Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Институт машиностроения, материалов и транспорта

Высшая школа автоматизации и робототехники

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

**Разработка платы управления шаговыми двигателями станка с ЧПУ**

по дисциплине «Современные методы автоматизированного  
проектирования электронных узлов роботов»

Выполнил

студент гр. 3331506/70401 Паньков И. С.

Руководитель

ведущий инженер-электроник Капустин Д. А.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_ 2021 г.

Санкт-Петербург

2021

СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc71073386)

[1 Цели и задачи 4](#_Toc71073387)

[2 Микроконтроллер STM32F407 5](#_Toc71073388)

[2.1 Основные особенности 5](#_Toc71073389)

[3 Понижающий преобразователь напряжения TPSM84209 6](#_Toc71073390)

[3.1 Основные особенности 6](#_Toc71073391)

[4 Защитная микросхема TPS2640 7](#_Toc71073392)

[4.1 Основные особенности 7](#_Toc71073393)

[5 Приёмопередатчик интерфейса RS-232 MAX3232 8](#_Toc71073394)

[5.1 Основные особенности 8](#_Toc71073395)

[5.2 Предназначение выводов интегральной микросхемы 9](#_Toc71073396)

[6 Описание работы устройства 10](#_Toc71073397)

[6.1 Питание устройства 10](#_Toc71073398)

[6.2 Электрическая защита устройства 10](#_Toc71073399)

[6.3 Электростатическая защита устройства 11](#_Toc71073400)

[7 Расчёт стоимости производства устройства 12](#_Toc71073401)

[7.1 Стоимость производства печатной платы 12](#_Toc71073402)

[7.2 Стоимость закупки компонентов 12](#_Toc71073403)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 15](#_Toc71073404)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 16](#_Toc71073405)

[Приложение А Схема электрическая функциональная 17](#_Toc71073406)

[Приложение Б Схема электрическая принципиальная 18](#_Toc71073407)

[Приложение В 3D-модель печатной платы 21](#_Toc71073408)

[Приложение Г Список электронных компонентов 22](#_Toc71073409)

# ВВЕДЕНИЕ

# Цели и задачи

Целью работы является приобретение основных навыков проектирования печатных плат под управлением микроконтроллера: составление электрической схемы устройства, подбор и расчёт электронных компонентов, трассировка печатной платы и расчёт стоимости устройства.

Задача состоит в разработке платы управления шаговыми двигателями станка с числовым программным управлением (ЧПУ) на базе микроконтроллера STM32F407. На плате также должны быть предусмотрены разъём для питания устройства от источника напряжения 24 В, преобразователь напряжения для понижения напряжения питания до уровня, необходимого для питания микроконтроллера, разъёмы для трёх плат контроллеров шаговых двигателей, разъёмы для концевых выключателей (по два на каждую из трёх осей), разъём для связи с платой управления питанием и разъём для связи устройства с материнской платой по интерфейсу RS-232, а также преобразователь из интерфейса RS-232 в транзисторно-транзисторную логику устройства (ТТЛ).

Необходимо создать проект в САПР Altium Designer, состоящий из принципиальной электрической схемы устройства и печатной платы, подготовить список электронных компонентов и файлы для производства печатной платы, предоставить схему и отчёт по лабораторной работе в формате PDF.

# Микроконтроллер STM32F407

## Основные особенности

# Понижающий преобразователь напряжения TPSM84209

## Основные особенности

# Защитная микросхема TPS2640

## Основные особенности

# Приёмопередатчик интерфейса RS-232 MAX3232

## Основные особенности

Интегральная микросхема MAX3232 — это приёмопередатчик интерфейса RS-232, состоящий из двух приёмников и двух передатчиков, а также сдвоенной схемы накачки заряда с защитой от электростатического разряда величиной до 15 кВ. Схема накачки и четыре внешних конденсатора позволяют работать от одного источника питания в диапазоне напряжений от 3 В до 5,5 В. Устройство поддерживает скорость передачи данных до 250 кбит/с и максимальную скорость нарастания выходного сигнала 30 В/мкс [5, p. 1].

Интегральная микросхема выпускается в четырёх различных 16-выводных корпусах: двух вариантах SOIC-16 — широком и узком, SSOP-16 и TSSOP-16. Для платы управления использовался вариант поставки MAX3232CDW в широкой конфигурации корпуса SOIC-16 габаритами  мм. Условное графическое обозначение микросхемы MAX3232CDW представлено на рисунке Рисунок 5.1. Основные характеристики микросхемы MAX3232CDW представлены в таблице Таблица 5.1.

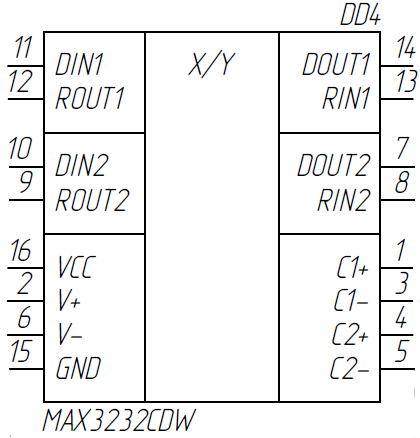


Рисунок 5.1 — Условное графическое обозначение  
интегральной микросхемы MAX3232CDW

Таблица 5.1 — Основные характеристики интегральной микросхемы MAX3232CDW

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристика | Значение |
| Диапазон напряжений питания () | от 3,0 В до 3,6 В |
| Выходное напряжение передатчика | от –5,4 В до +5,4 В |
| Максимальный потребляемый ток | 1 мА |
| Максимальная скорость передачи данных | 250 кбит/с |
| Диапазон рабочих температур | от 0 °C до +70 °C |

## Предназначение выводов интегральной микросхемы

Интегральная микросхема MAX3232CDW имеет следующие выводы:

# Описание работы устройства

Функциональная электрическая схема станка с ЧПУ представлена в приложении А. Принципиальная электрическая схемы платы управления представлена в приложении Б.

Представленная схема решает задачу управления шаговыми двигателями станка с ЧПУ путём подачи команд с микроконтроллера STM32F407VGT6.

## Питание устройства

Питание устройства напряжением 24 В обеспечивается путём подключения к ATX-разъёму 4-1775099-0 *X*1 кабеля, идущего от вторичного источника питания, который расположен на плате управления питанием.

Ток, идущий через разъём *X*1 от источника питания, разделяется на две цепи: силовую цепь питания контроллеров шаговых двигателей и сигнальную цепь питания цифровых микросхем, находящихся на устройстве: защитной микросхемы TPS26400PWPR *DD*1, преобразователя напряжения TPSM84209RKHT *DD*2, микроконтроллера STM32F407VGT6 *DD*3 и приёмопередатчика RS-232 MAX3232CDW *DD*4.

## Электрическая защита устройства

Для защиты микроконтроллера от подачи повышенного и пониженного напряжения, а также напряжения обратной полярности в схеме устройства присутствует защитная микросхема TPS26400PWPR *DD*1.

С помощью внешнего делителя напряжения с помощью данной схемы можно настроить верхний и нижний допустимые пределы входного напряжения, она обладает встроенной защитой от напряжения обратной полярности и электростатического разряда, способна регулировать скорость изменения напряжения и величину тока.

## Электростатическая защита устройства

Для защиты от электростатического разряда (ЭСР) и электромагнитных помех выводов портов ввода-вывода общего назначения микроконтроллера STM32F407VGT6 *DD*3, подключённых к разъёмам с открытыми контактами (штыревым разъёмам) *X*2…*X*10, на плате предусмотрены шесть диодных сборок TPD2S017DBVR *VD*3…*VD*5, *VD*7…*VD*9.

Данные диодные сборки предоставляют эффективную защиту от ЭСР величиной до 11 кВ и защиту от помех для логических сигналов уровнем до 5 В. Для более качественного подавления помех между выводами VCC и GND диодных сборок установлены конденсаторы CC0603KRX7R6BB104 *C*4…*C*6, *VD*7…*VD*9 *C*37…*C*39.

# Расчёт стоимости производства устройства

## Стоимость производства печатной платы

Произведём оценку стоимости производства печатной платы. Спроектированная плата имеет два проводящих слоя толщиной 18 мкм и размеры  мм. Диаметр переходных отверстий — 0,3 мм. Маска и маркировка (шелкография) нанесены с обоих сторон платы.

При заказе производства серии из 10 плат с указанными выше параметрами в компании «Резонит» стоимость партии оценивается в 7946 руб. 04 коп. (см. рисунок Рисунок 3.1). Исходя из этого, стоимость производства одной печатной платы составляет величину порядка 794 руб. 60 коп.

Изображение выглядит как текст

Автоматически созданное описание

Рисунок 7.1 — Калькулятор заказов на сайте компании «Резонит» [6]

## Стоимость закупки компонентов

Список электронных компонентов приведён в приложении В.

Произведём оценку стоимости закупки компонентов. Для этого воспользуемся услугами сайта компании-дистрибьютера электронных компонентов «Mauser Electronics» [7]. С помощью инструмента Price and Availability Assistant выполним расчёт стоимости компонентов. Информация о стоимости компонентов приведена в таблице Таблица 3.1.

В соответствии с таблицей Таблица 3.1, суммарная стоимость компонентов составляет $47.33, что по курсу $1 = 74,86 руб. соответствует 3543 руб. 12 коп.

Таким образом, стоимость производства платы и закупки компонентов (то есть стоимость устройства) составляет величину порядка 4337 руб. 72 коп.

Таблица 7.1 — Стоимость компонентов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Part Number  Mauser Electronics | Part Number  производителя | Производитель | Количество | Цена за штуку | Стоимость |
| 520-HCU1200-20X | ECS-120-20-4X | ECS | 1 | $0.69 | $0.69 |
| 603-CC603KRX7R9BB104 | CC0603KRX7R9BB104 | Yageo | 2 | $0.10 | $0.20 |
| 603-CC603KRX7R9BB105 | CC0603KRX7R9BB105 | Yageo | 2 | $0.50 | $1.00 |
| 603-CC603KRX7R6BB225 | CC0603KRX7R6BB225 | Yageo | 3 | $0.19 | $0.57 |
| 603-CC603KRX7R6BB104 | CC0603KRX7R6BB104 | Yageo | 16 | $0.044 | $0.70 |
| 667-EEE-FTH101XAP | EEE-FTH101XAP | Panasonic | 4 | $0.66 | $2.64 |
| 603-CC1206KR9BB106 | CC1206KKX5R9BB106 | Yageo | 1 | $0.39 | $0.39 |
| 603-C0603FRNPO9BN101 | CC0603FRNPO9BN101 | Yageo | 1 | $0.17 | $0.17 |
| 603-CC1206MKX57BB476 | CC1206MKX5R7BB476 | Yageo | 2 | $1.63 | $3.26 |
| 603-CC603KRX7R6BB105 | CC0603KRX7R6BB105 | Yageo | 3 | $0.17 | $0.51 |
| 603-CC603KRX7R6BB103 | CC0603KRX7R6BB103 | Yageo | 2 | $0.10 | $0.20 |
| 603-CC603FRNPO9BN200 | CC0603FRNPO9BN200 | Yageo | 2 | $0.25 | $0.50 |
| 74-293D105X9025A2TE3 | 293D105X9025A2TE3 | Vishay | 1 | $0.40 | $0.40 |
| 74-293D104X9050A2TE3 | 293D104X9050A2TE3 | Vishay | 5 | $0.54 | $2.70 |
| 595-TPS26400PWPR | TPS26400PWPR | Texas Instruments | 1 | $2.89 | $2.89 |
| 595-TPSM84209RKHT | TPSM84209RKHT | Texas Instruments | 1 | $4.78 | $4.78 |
| 511-STM32F407VGT6 | STM32F407VGT6 | STMicroelectronics | 1 | $11.25 | $11.25 |
| 595-MAX3232СDW | MAX3232СDW | Texas Instruments | 1 | $1.98 | $1.98 |
| 81-BLM18KG221SH1D | BLM18KG221SH1D | Murata | 1 | $0.10 | $0.10 |
| 603-RC0603FR-0710KL | RC0603FR-0710KL | Yageo | 4 | $0.10 | $0.40 |
| 603-RC0603FR-0722RL | RC0603FR-0722RL | Yageo | 6 | $0.10 | $0.60 |
| 603-RC0603FR-07270KL | RC0603FR-07270KL | Yageo | 2 | $0.10 | $0.20 |
| 603-RC0603FR-072K4L | RC0603FR-072K4L | Yageo | 1 | $0.10 | $0.10 |
| 603-RC0603FR-0713KL | RC0603FR-0713KL | Yageo | 1 | $0.10 | $0.10 |
| 603-RC0603FR-0724KL | RC0603FR-0724KL | Yageo | 1 | $0.10 | $0.10 |

Продолжение таблицы Таблица 3.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 603-RC0603FR-0751KL | RC0603FR-0751KL | Yageo | 1 | $0.10 | $0.10 |
| 603-RC0603FR-0716KL | RC0603FR-0716KL | Yageo | 1 | $0.10 | $0.10 |
| 603-RC0603FR-072K2L | RC0603FR-072K2L | Yageo | 1 | $0.10 | $0.10 |
| 611-SDA01H1SBD | SDA01H1SBD | C&K Swithes | 1 | $1.14 | $1.14 |
| 506-FSM4JSMA | FSM4JSMA | TE Connectivity | 1 | $0.24 | $0.24 |
| 576-SD24C-01FTG | SD24C-01FTG | Littelfuse | 1 | $0.45 | $0.45 |
| 863-MBR140SFT1G | MBR140SFT1G | ON Semiconductor | 8 | $0.42 | $3.36 |
| 595-TPD2S017DBVR | TPD2S017DBVR | Texas Instruments | 6 | $0.60 | $3.60 |
| 576-SD12C-01FTG | SD12C-01FTG | Littelfuse | 2 | $0.51 | $1.02 |
| 571-4-1775099-0 | 4-1775099-0 | TE Connectivity | 1 | $0.39 | $0.39 |
| — | DS1021-1x6SF11-B | Connfly Electronic | 1 | $0.02 | $0.02 |
| — | DS1069-3MVW6X | Connfly Electronic | 1 | $0.01 | $0.01 |
| — | DS1021-1x3SF11-B | Connfly Electronic | 6 | $0.01 | $0.06 |
| — | DS1069-4MVW6X | Connfly Electronic | 1 | $0.01 | $0.01 |
| — | DS1023-1x8SF11 | Connfly Electronic | 6 | $0.05 | $0.30 |
|  |  |  |  | Итого: | $47.33 |

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы изучен принцип функционирования импульсного платы управления шаговыми двигателями в составе станка с числовым программным управлением.

Изучен принцип функционирования микроконтроллера на базе ядра Cortex-M4 архитектуры ARM, способы его подключения к питанию, а также программирования и отладки.

Произведён расчёт электронных компонентов, необходимых для функционирования понижающего преобразователя напряжения в требуемом режиме работы — с заданными значениями выходных тока и напряжения, а также диапазона входных напряжений.

Произведён расчёт электронных компонентов, необходимых для функционирования защитной микросхемы, которая обеспечивает безопасное функционирование устройства при различных неблагоприятных условиях электропитания.

Произведён расчёт электронных компонентов, необходимых для корректного функционирования преобразователя интерфейсов UART — RS-232 и самого интерфейса RS-232.

Выполнена принципиальная электрическая схема устройства, а также компоновка и трассировка печатной платы в среде автоматизированного проектирования и разработки Altium Designer.

Рассчитана стоимость производства печатной платы и закупки электронных компонентов для поверхностного монтажа.

Представлены принципиальная электрическая схема, файлы для производства печатной платы, список электронных компонентов и файлы проекта САПР Altium Designer.

В результате выполнения работы получены навыки проектирования плат под управлением микроконтроллера.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. STM32F405xx, STM32F407xx. Arm® Cortex®-M4 32b MCU + FPU, 210DMIPS, up to 1 MB Flash/192 + 4 KB RAM, USB OTG HS/FS, Ethernet, 17 TIMs, 3 ADCs, 15 comm. interfaces & camera [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f407vg.pdf> (дата обращения: 01.03.2021).
2. RM0090. Reference manual. STM32F405/415, STM32F407/417, STM32F427/437 and STM32F429/439 advanced Arm®-based 32-bit MCUs [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.st.com/resource/en/reference_manual/dm00031020-stm32f405415-stm32f407417-stm32f427437-and-stm32f429439-advanced-armbased-32bit-mcus-stmicroelectronics.pdf> (дата обращения: 01.03.2021).
3. TPS26400 42-V, 2-A eFuse With Integrated Reverse Input Polarity Protection [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps2640.pdf> (дата обращения: 01.03.2021).
4. TPSM84209 4.5-V to 28-V input, 1.2-V to 6-V output, 2.5-A power module [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tpsm84209.pdf> (дата обращения: 01.03.2021).
5. MAX3232 3-V to 5.5-V Multichannel RS-232 Line Driver/Receiver With ±15-kV ESD Protection [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/max3232.pdf> (дата обращения: 01.03.2021).
6. Резонит [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.rezonit.ru/> (дата обращения: 01.03.2021).
7. Mouser Electronics [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.mouser.com/> (дата обращения: 01.03.2021).

# Приложение А Схема электрическая функциональная

# Приложение Б Схема электрическая принципиальная

# Приложение В 3D-модель печатной платы

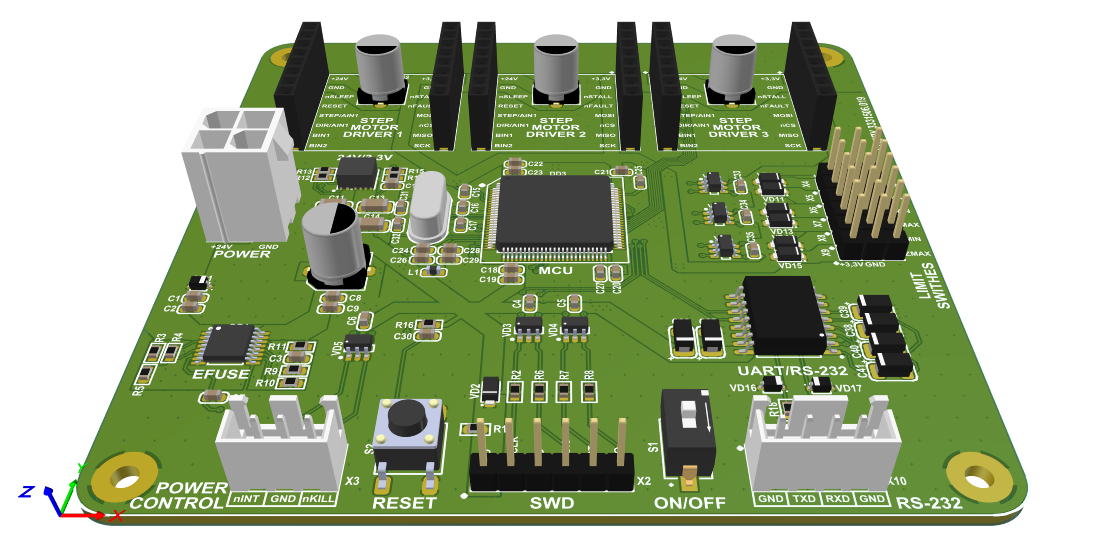


Рисунок В.1 — 3D-модель печатной платы (вид сверху)

Изображение выглядит как текст, цепь, электроника

Автоматически созданное описание

Рисунок В.1 — 3D-модель печатной платы (вид сверху)

# Приложение Г Список электронных компонентов

Таблица Г.1 — Список электронных компонентов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Описание | Наименование | Производитель | Количество |
| Кварцевый резонатор 12 МГц нагрузочные конденсаторы 20 пФ | ECS-120-20-4X | ECS, Inc. International | 1 |
| Конденсатор керамический чип 0603 100 нФ 50 В ±10 % | CC0603KRX7R9BB104 | YAGEO Corp. | 2 |
| Конденсатор керамический  чип 0603 1 мкФ 50 В ±10 % | CC0603KRX7R9BB105 | YAGEO Corp. | 2 |
| Конденсатор керамический  чип 0603 2,2 мкФ 10 В ±10 % | CC0603KRX7R6BB225 | YAGEO Corp. | 3 |
| Конденсатор керамический  чип 0603 100 нФ 10 В ±10 % | CC0603KRX7R6BB104 | YAGEO Corp. | 16 |
| Конденсатор электролитический алюминиевый 100 мкФ 50 В ±20 % | EEEFTH101XAP | Panasonic Corporation | 4 |
| Конденсатор керамический  чип 1206 10 мкФ 50 В ±10 % | CC1206KKX5R9BB106 | YAGEO Corp. | 1 |
| Конденсатор керамический  чип 0603 100 пФ 50 В ±1 % | CC0603FRNPO9BN101 | YAGEO Corp. | 1 |
| Конденсатор керамический  чип 1206 47 мкФ 16 В ±20 % | CC1206MKX5R7BB476 | YAGEO Corp. | 2 |
| Конденсатор керамический  чип 0603 1 мкФ 10 В ±10 % | CC0603KRX7R6BB105 | YAGEO Corp. | 3 |
| Конденсатор керамический  чип 0603 10 нФ 10 В ±10 % | CC0603KRX7R6BB103 | YAGEO Corp. | 2 |
| Конденсатор керамический  чип 0603 20 пФ 50 В ±1 % | CC0603FRNPO9BN200 | YAGEO Corp. | 2 |
| Конденсатор танталовый  чип 3216-18 1 мкФ 25 В ±10 % | 293D105X9025A2TE3 | Vishay Intertechnology, Inc. | 1 |
| Конденсатор танталовый  чип 3216-18 100 нФ 50 В ±10 % | 293D104X9050A2TE3 | Vishay Intertechnology, Inc. | 5 |
| Защитная микросхема eFuse  42 В и 2 А | TPS26400PWPR | Texas Instruments Inc. | 1 |
| Понижающий преобразователь напряжения 4,5…28 В / 1,2…6,0 В  и 2,5 А | TPSM84209RKHT | Texas Instruments Inc. | 1 |
| ARM Cortex-M4 32-разрядный  микроконтроллер 168 МГц  1 Мбайт FLASH-памяти | STM32F407VGT6 | STMicroelectronics | 1 |
| Приемопередатчик RS-232 | MAX3232СDW | Texas Instruments Inc. | 1 |
| Ферритовая бусина 220 Ом ±25 % | BLM18KG221SH1D | Murata Manufacturing Co., Ltd. | 1 |
| Резистор чип 0603  10 кОм ±1 % 0,1 Вт | RC0603FR-0710KL | YAGEO Corp. | 4 |
| Резистор чип 0603  22 Ом ±1 % 0,1 Вт | RC0603FR-0722RL | YAGEO Corp. | 6 |
| Резистор чип 0603  270 кОм ±1 % 0,1 Вт | RC0603FR-07270KL | YAGEO Corp. | 2 |
| Резистор чип 0603  2,4 кОм ±1 % 0,1 Вт | RC0603FR-072K4L | YAGEO Corp. | 1 |
| Резистор чип 0603  13 кОм ±1 % 0,1 Вт | RC0603FR-0713KL | YAGEO Corp. | 1 |
| Резистор чип 0603  24 кОм ±1 % 0,1 Вт | RC0603FR-0724KL | YAGEO Corp. | 1 |

Продолжение таблицы Г.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Резистор чип 0603  51 кОм ±1 % 0,1 Вт | RC0603FR-0751KL | YAGEO Corp. | 1 |
| Резистор чип 0603  16 кОм ±1 % 0,1 Вт | RC0603FR-0716KL | YAGEO Corp. | 1 |
| Резистор чип 0603  2,2 кОм ±1 % 0,1 Вт | RC0603FR-072K2L | YAGEO Corp. | 1 |
| 2-х позиционный движковый  переключатель | SDA01H1SBD | C&K | 1 |
| Тактовая кнопка поверхностного монтажа | FSM4JSMA | TE Connectivity | 1 |
| Двунаправленная диодная сборка для подавления помех 24 В | SD24C-01FTG | Littelfuse, Inc. | 1 |
| Диод Шоттки 40 В 1 А | MBR140SFT1G | ON Semiconductor | 8 |
| Диодная сборка для  подавления помех 5 В | TPD2S017DBVR | Texas Instruments Inc. | 6 |
| Двунаправленная диодная сборка для подавления помех 12 В | SD12C-01FTG | Littelfuse, Inc. | 2 |
| ATX Power 4 pin гнездо прямой | 4-1775099-0 | TE Connectivity | 1 |
| PLS 6 pin 2,54 мм вилка прямой | DS1021-1x6SF11-B | Connfly Electronic Co., Ltd. | 1 |
| CWF 3 pin 2,5 мм вилка прямой | DS1069-3MVW6X | Connfly Electronic Co., Ltd. | 1 |
| PLS 3 pin 2,54 мм вилка прямой | DS1021-1x3SF11-B | Connfly Electronic Co., Ltd. | 6 |
| CWF 4 pin 2,5 мм вилка прямой | DS1069-4MVW6X | Connfly Electronic Co., Ltd. | 1 |
| PBS 8 pin 2,54 мм гнездо прямой | DS1023-1x8SF11 | Connfly Electronic Co., Ltd. | 6 |