

Содержание

1. Термины	2
2. Описание системы управления	3
3. Функциональная схема модуля ввода / вывода	4
4. Гальваническая изоляция	6
4.1. Применяемые компоненты для обеспечения гальванической изоляции	6
4.1.1. Изолированные DC / DC преобразователи	6
4.1.2. Преобразователи интерфейса RS-485 со встроенной изоляцией	6
4.1.3. Изоляция дискретных сигналов высокого напряжения	6
4.1.4. Изоляция цифровых сигналов	7
5. Протоколы обмена данными между модулями	8
5.1. Физический уровень	8
5.2. Прикладной уровень	8
6. Основные микроэлектронные компоненты	9
6.1. Приемопередатчик интерфейса RS-485 - CA-IS3098W	9
6.2. DC / DC преобразователи 24 В / 5 В	9
7. Описание плат	10
7.1. PM_CPU-RP - контроллер на базе Raspberry Pi	11
7.2. PM_CPU-ESP32_C3	15
7.3. PM MCU-ESP32_C3	16
7.4. PM_LED-10 - плата с 10 светодиодами	20
7.5. PM_LED-18 - плата с 18 светодиодами	24
7.6. PM_CNV-DI16_sink	28
7.7. PM_CNV-DQ16_src	33
7.8. PM_CNV-RQ8 - плата управления 8 реле	37
7.9. PM_CNV-AI4_W - плата аналогового ввода 4 тензодатчиков	41
7.10. PM_CNV-AI8_IU - плата аналогового ввода 8 датчиков 0..20 мА или 0..10 В ..	45
7.11. PM_CNV-AI4-RTD - плата аналогового ввода 4 термосопротивлений	49
7.12. PM_CNV-AI4-TC - плата аналогового ввода 4 термопар	50
7.13. PM_HMI-Keyboard	51
7.14. PM_HMI-Touch	55
7.15. PM_DBG-FFC	59
8. Комбинирование плат в модули	63
9. Габаритные размеры плат	64
Список использованных источников	66

1. Термины

CMTI Common Mode Transient Immunity - устойчивость к переходным процессам.

ESD Electrostatic Discharge - разряд электростатического электричества.

EFT Electrical Fast Transient - кратковременный выброс повышенного напряжения.

FFC Flat flexible cable - плоский гибкий кабель для электрического соединения печатных плат.

2. Описание системы управления

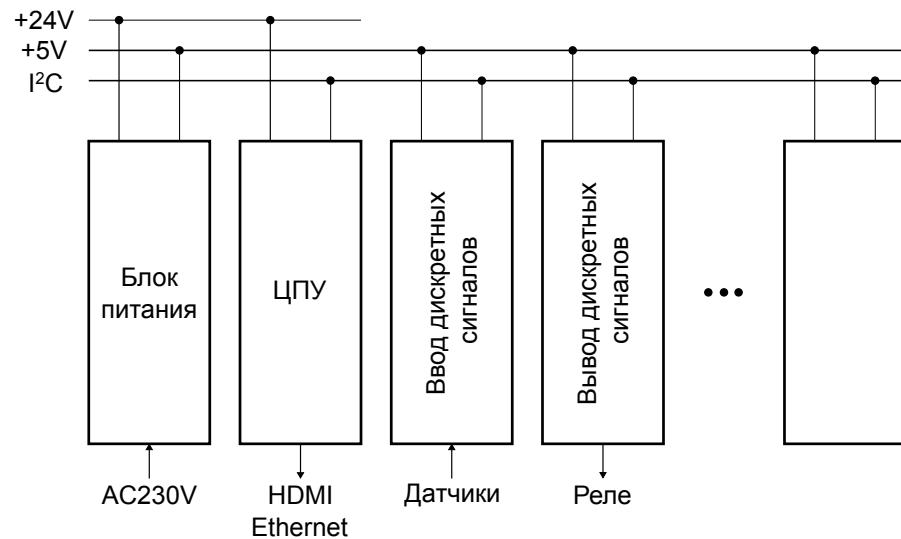


Рис. 1. Концепция модульной системы

Система управления состоит из набора совместимых по подключению и внешним габаритам модулей.

Отдельные модули связаны между собой общей шиной. Шина выполнена в виде стандартного кабеля с двумя витыми парами, обжатого двумя разъемами RJ11. Модули необходимо располагать так, чтобы суммарная длина шины была минимальной. По шине передаётся питание (GND, +5V) и сигналы интерфейса I²C (SDA, SCL).

Каждый модуль на шине имеет свой адрес, который задается DIP-переключателями на каждом модуле. Возможно использование до 8 модулей одного типа.

На данный момент реализованы модули:

Можно дополнительно реализовать:

- Модули аналоговых входов:
 - Тензодатчики
 - Ток 4-20mA
 - Напряжение 0-10V
 - Термосопротивление
 - Термопары
- Модули аналоговых выходов:
 - Ток 4-20mA
 - Напряжение 0-10V
- Модуль с аккумуляторными батареями
- Модуль управления RGB светодиодными лентами

3. Функциональная схема модуля ввода / вывода

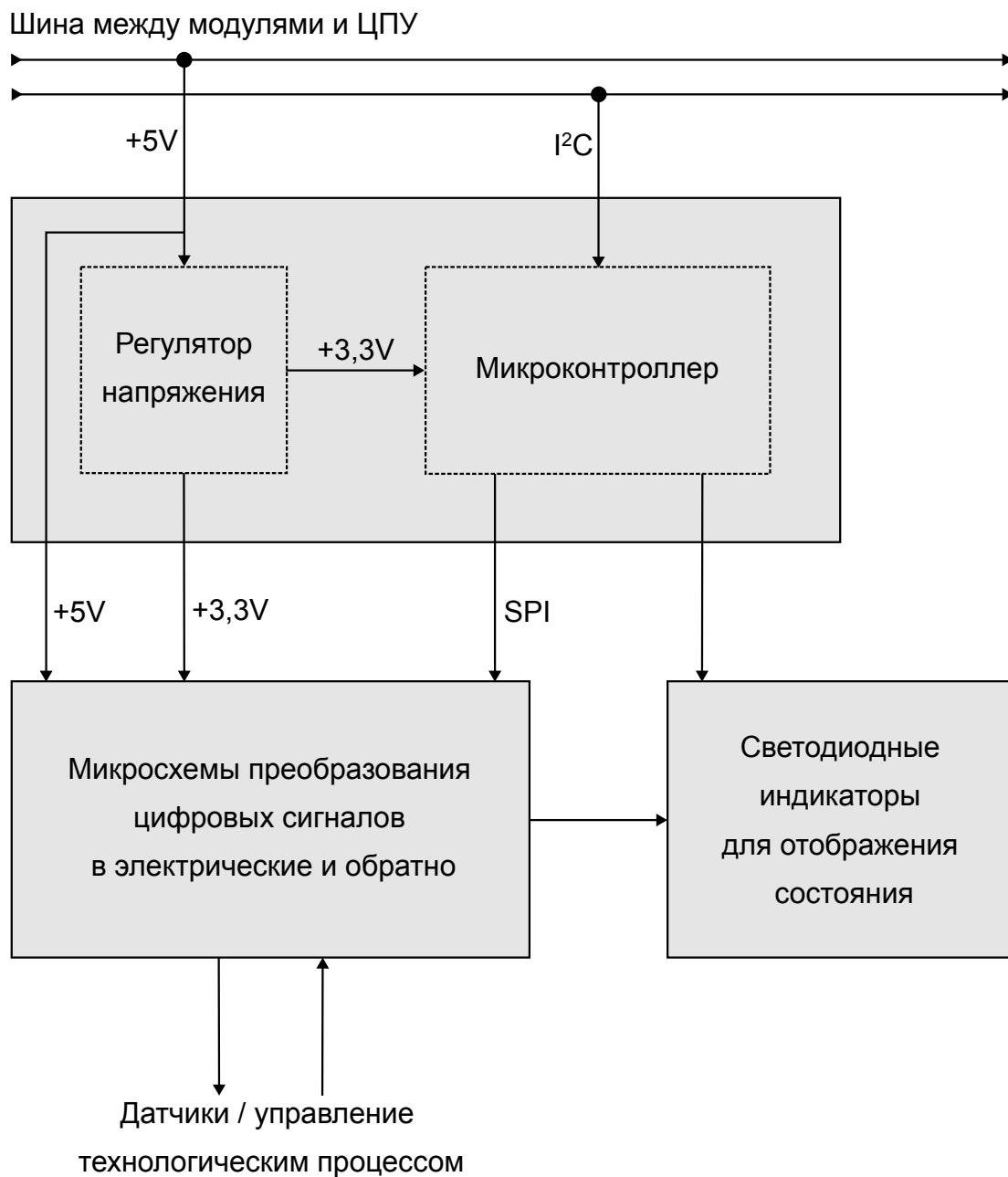


Рис. 2. Функциональная схема модуля ввода / вывода

Модуль состоит из трех функциональных частей, выполненных на отдельных платах.

Основная плата

Основная плата с микросхемами преобразования цифровых сигналов в электрические и обратно. Для разных модулей ввода / вывода данная плата отличается.

Плата с микроконтроллером

Вспомогательная плата с микроконтроллером и регулятором напряжения. Данная плата унифицирована для всех модулей. Микроконтроллер по интерфейсу I²C подключается к ЦПУ и по интерфейсу SPI управляет вспомогательными микросхемами.

Поскольку у каждого устройства на шине I²C должен быть уникальный адрес, на плате есть трехпозиционный DIP-переключатель для задания адреса конкретного модуля. Таким образом, можно использовать до 8 модулей одного типа.

В качестве микроконтроллера используется чип ESP32-C3. На чипе есть разъем для подключения внешней антенны, что дает возможность использовать беспроводное подключение.

Микроконтроллер программируется с помощью обычного кабеля Micro-USB. На плате выведены кнопки BOOT и EN, для перевода микроконтроллера в режим загрузки.

На плате есть LDO регулятор напряжения с выходом 3,3В.

Подключение к шине выполняется через разъемы RJ11 и кабель с двумя витыми парами.

Подключение к основной плате модуля и плате светодиодов выполняется через 10-пиновые кабели FFC.

Плата со светодиодами

Вспомогательная плата со светодиодами для отображения состояния микроконтроллера и электрических сигналов. В модуле может использоваться одна или две таких платы. Есть версии на 8 и на 16 светодиодов.

4. Гальваническая изоляция

Гальваническая изоляция в модулях ввода / вывода применяется по разным причинам:

- Предотвращает протекание выравнивающего тока из-за разности потенциалов объектов, заземленных на разных шинах [1]. У разных модулей и контроллера независимое подключение к датчикам / исполнительным механизмам.
- Повышает устойчивость к разрядам статического электричества (ESD), кратковременным выбросам повышенного напряжения (EFT) [2].

TODO - Нарисовать схему с областями изоляции.

4.1. Применяемые компоненты для обеспечения гальванической изоляции

4.1.1. Изолированные DC / DC преобразователи

4.1.2. Преобразователи интерфейса RS-485 со встроенной изоляцией

4.1.3. Изоляция дискретных сигналов высокого напряжения

В промышленности для подключения цифровых датчиков наиболее часто применяется постоянное напряжение 24 В, тогда как микроконтроллеры работают, как правило, на напряжении 3,3 В или 5 В.

В данном проекте в качестве изолятора применяется чип CA-IS3980S [3]. Чип обеспечивает изоляцию 2500 V_{RMS} и $\pm 300 \frac{kV}{\mu s}$ CMTI. Функциональная схема показана на рисунке 3.

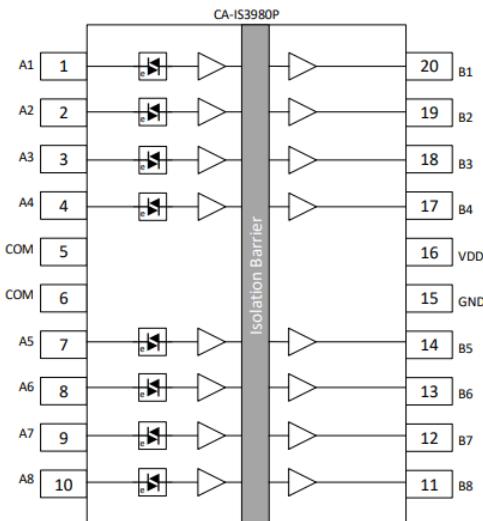


Рис. 3. Функциональная схема изолятора цифровых входов

На рисунке 4 показана упрощенная схема отдельного канала. The internal LED emulator output drives an ON-OFF keying (OOK) modulator, to transfer digital signals across the SiO₂ based isolation barrier between circuits with different power domains. In many applications, this capacitive isolation technology is replacing optocoupler-based solution because it can reduce the power requirements and take up less board space while offering the same isolation capability.

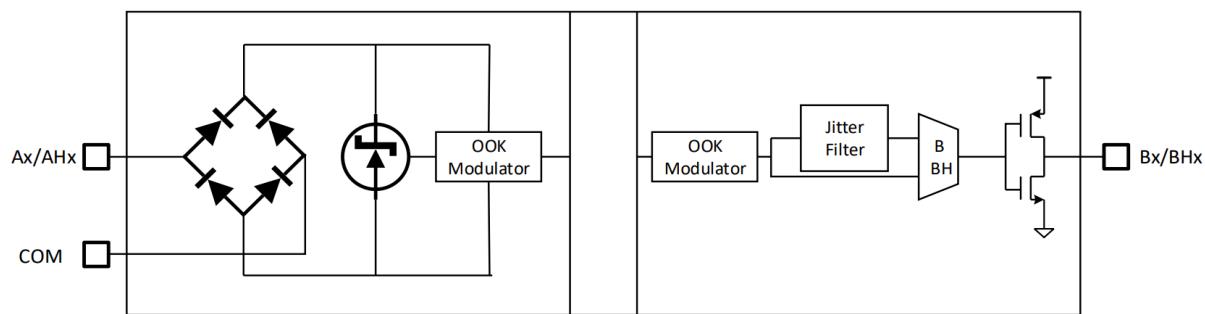


Рис. 4. Упрощенная схема для отдельного канала

On the output side, the signal is either passed directly to the output stage in the case of a high-speed channel (BHx), or the signal is routed through a debounce filter block in the case of a low-speed channel (Bx) for robust operation in industrial environments.

Данный чип применен на плате [PM_CNV-DI16_sink](#).

4.1.4. Изоляция цифровых сигналов

5. Протоколы обмена данными между модулями

5.1. Физический уровень

RS-485

Выбор скорости - скрины с логанализатора

Формула расчета времени передачи для Raspberry.

5.2. Прикладной уровень

Сериализация данных - MessagePack.

Контрольная сумма

Примеры структур обмена данных между модулями

6. Основные микроэлектронные компоненты

6.1. Приемопередатчик интерфейса RS-485 - CA-IS3098W

В микроконтроллерах / мини-компьютерах присутствует интерфейс UART. Для преобразования в протокол RS-485 используются передатчики CA-IS3098W [4] со встроенной гальванической изоляцией.

Основные параметры:

- Скорость передачи - до 20Mbps
- До 256 устройств в одном сегменте сети
- Гальваническая изоляция: $5 \text{ kV}_{\text{RMS}}$ и $\pm 150 \frac{\text{kV}}{\mu\text{s}}$ CMTI
- Защита от короткого замыкания и перегрева

На рисунке 5 показана функциональная схема передатчика.

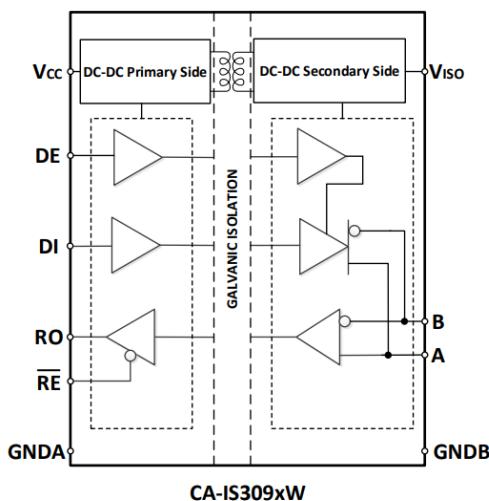


Рис. 5. Функциональная схема передатчика RS-485

Обозначения выводов:

- DE (Driver Output Enable) - Разрешение выходов передатчика
- DI (Driver Input) — Вход передатчика
- RO (Receiver Output) - Выход приемника
- \bar{RE} (Receiver Output Enable) - Разрешение выхода приемника
- A - Неинвертирующий вход/выход
- B - Инвертирующий вход/выход

Используется в модулях:

- PM_CPU-RP
- PM MCU-ESP32_C3

6.2. DC / DC преобразователи 24 В / 5 В

[5]:

7. Описание плат

7.1. PM_CPU-RP - контроллер на базе Raspberry Pi

ЦПУ на базе мини-компьютера Raspberry Pi, или совместимого по габаритам, креплению и 40-пиновому штекеру.

Программировать можно практически на всех языках программирования, поддерживающих архитектуру процессора ARM64.

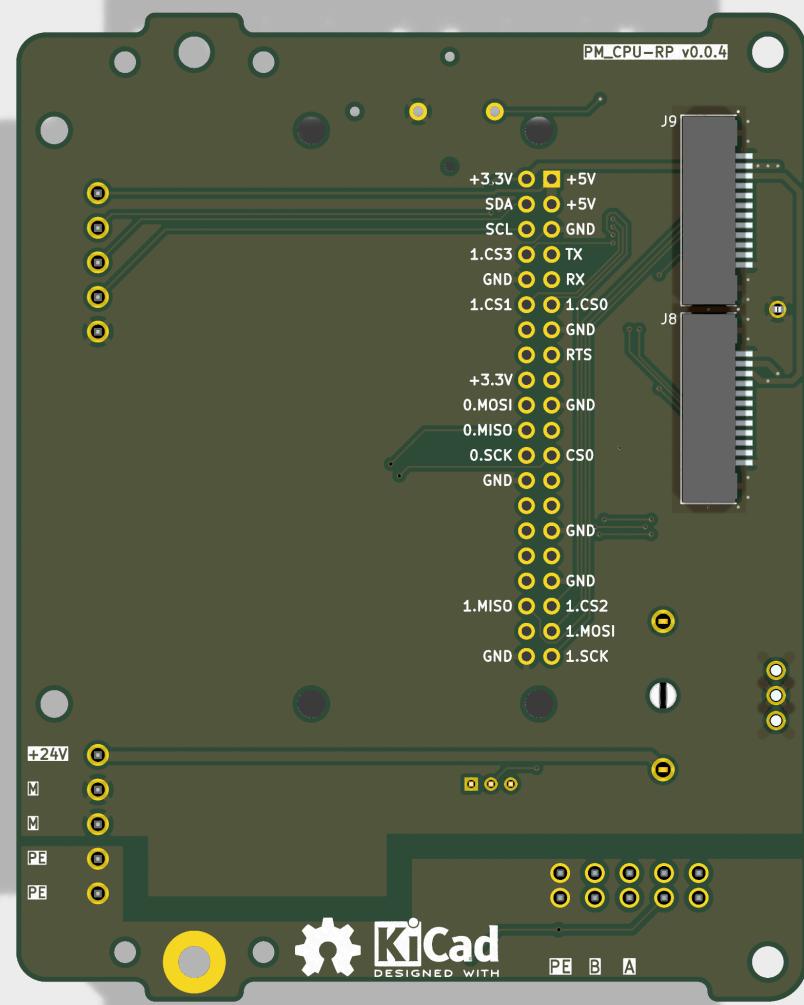
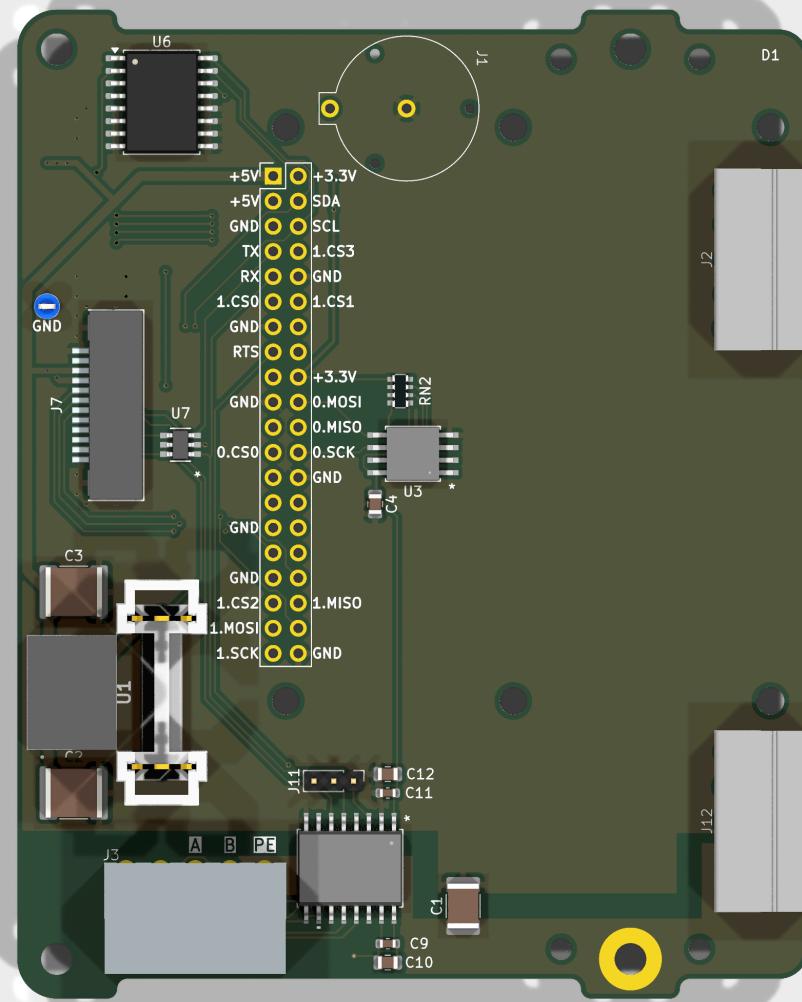


Таблица 1. Внешний вид платы PM_CPU-RP

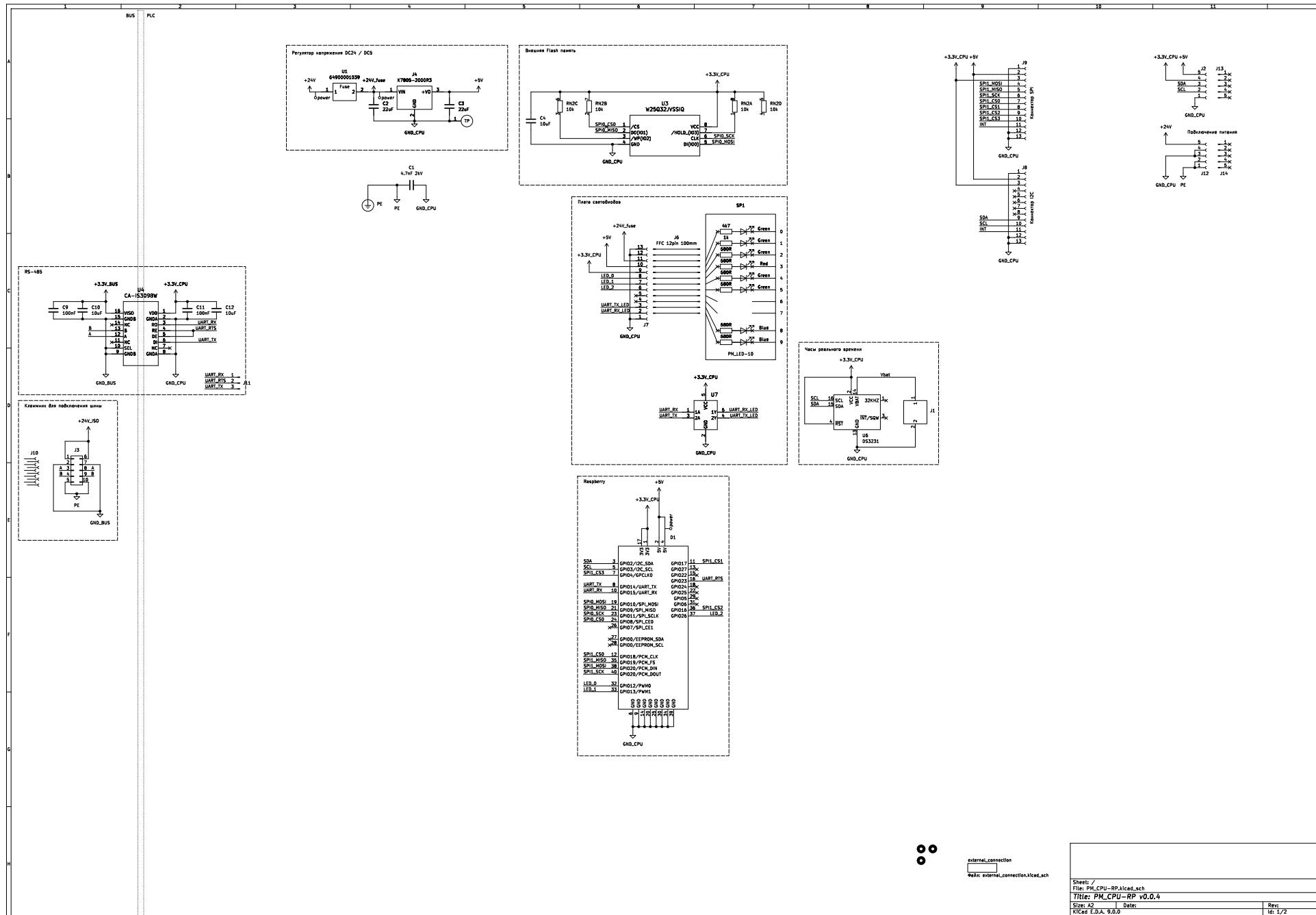


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема платы РМ CPU-RP

Обозначение	Количе- ство	part_ipn
C1	1	C_4.7nF_2kV_1812
C2, C3	2	C_22uF_50V_2220
C4, C10, C12	3	C_10uF_16V_0805_MLCC-X5R
C9, C11	2	C_100nF_16V_0603_MLCC-X7R
D2, D3, D4, D6, D7	5	XL-1606SYGC
D5	1	XL-1606SURC
D8, D9	2	XL-1606UBC
J1	1	BS-12-A1AJ002-F
J2, J12	2	15EDGRC-3.5-05P
J3	1	15EDGRHC-THR-3.5-10P
J4	1	K7805-2000R3
J6	1	FFC_12P_P1.0_100mm_straight
J7, J8, J9	3	AFA07-S12FCC-00
J10	1	15EDGKNH-3.5-10P
J11	1	PinHeader_01x03_P2.00_THT_straight
J13, J14	2	15EDGK-3.5-05P
R1	1	R_1k_0603_1%
R2	1	R_4k7_0603_1%
R3, R4, R5, R6, R7, R8	6	R_680R_0603_1%
RN2	1	R_10k_0603x4_1%
SP1	1	PM_LED-10-v0.0.1
U1	1	64900001039
U2	1	Keystone_5117
U3	1	W25Q32JVSSIQ
U4	1	CA-IS3098W
U6	1	DS3231SN
U7	1	SN74LVC2G14DBVR

Таблица 2. Перечень элементов платы PM_CPU-RP

7.2. PM_CPU-ESP32_C3

7.3. PM MCU-ESP32_C3

Плата с микроконтроллером ESP32-C3 и регулятором напряжения.

Функциональная схема платы представлена на рисунке 7.

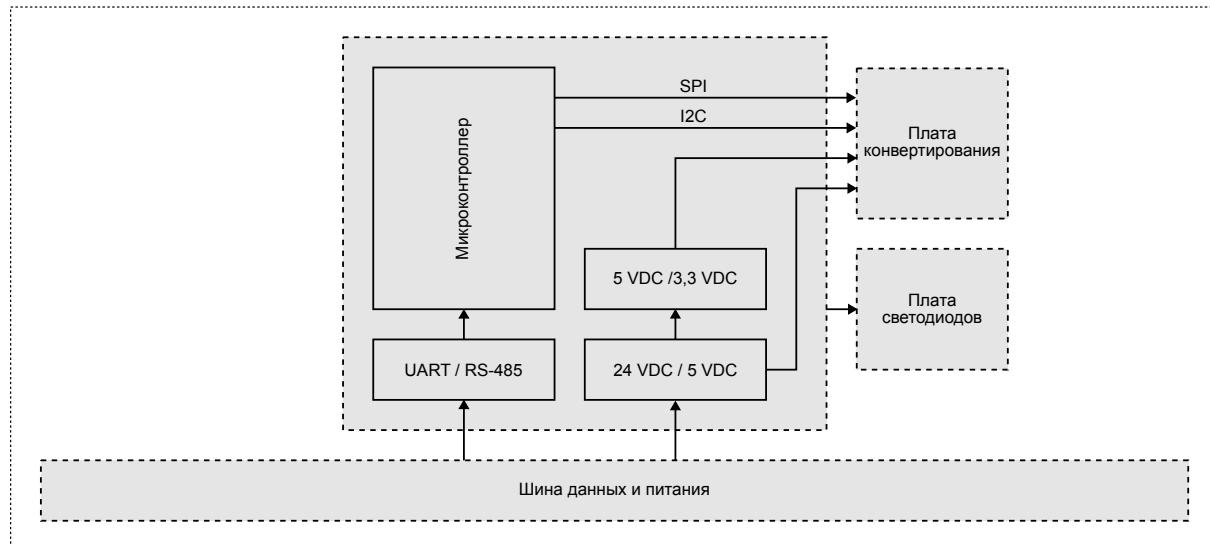


Рис. 7. Функциональная схема платы

Используется модуль на базе микроконтроллера ESP32-C3 [6]. В посадочное место можно установить 2 вида модулей:

- ESP32-C3-WROOM-02 - со встроенной антенной.
- ESP32-C3-WROOM-02U - без встроенной антенны. Есть выход IPEX для подключения внешней антенны.

В остальном модули ESP идентичны. Предпочтительным является использование модуля без антенны. Все соединения между модулями выполняются по проводной связи. Если все-таки беспроводное подключение необходимо, то нужно использовать внешнюю антенну. Платы могут располагаться в металлическом корпусе, который будет экранировать беспроводную связь.

Микроконтроллер подключается к шине RS-485 через приемопередатчик UART - RS-485 с гальванической изоляцией. Подробнее о преобразователе описано в разделе 6.1.

Поскольку у каждого устройства на шине данных должен быть уникальный адрес, на плате есть трехпозиционный DIP-переключатель для задания адреса конкретного модуля. Таким образом, можно использовать до $2^3 = 8$ модулей одного типа.

Микроконтроллер программируется с помощью обычного кабеля Micro-USB. На плате выведены кнопки BOOT и EN, для перевода микроконтроллера в режим загрузки.

На плате есть LDO регулятор напряжения с выходом 3,3В.

Подключение к шине выполняется через разъемы RJ11 и кабель с двумя витыми парами.

Подключение к основной плате модуля и плате светодиодов выполняется через 10-пиновые кабели FFC.

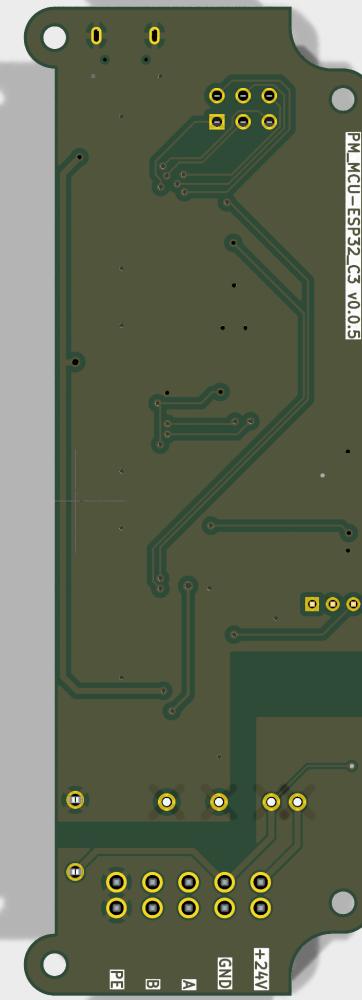
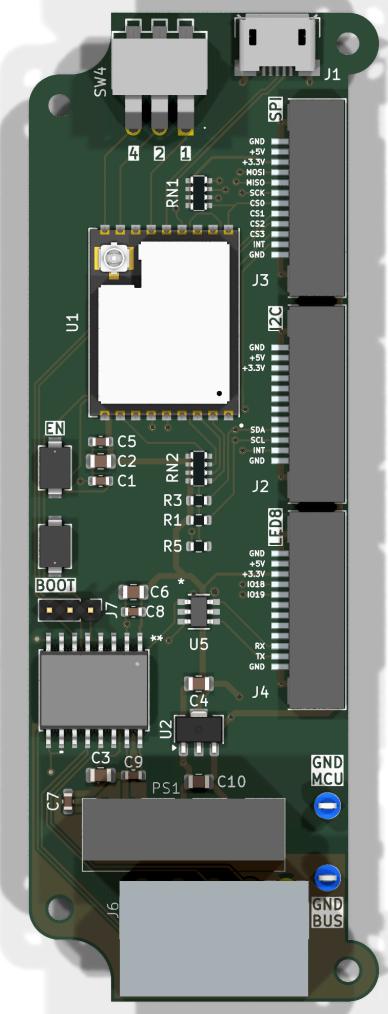


Таблица 3. Внешний вид платы PM_MCU-ESP32_C3

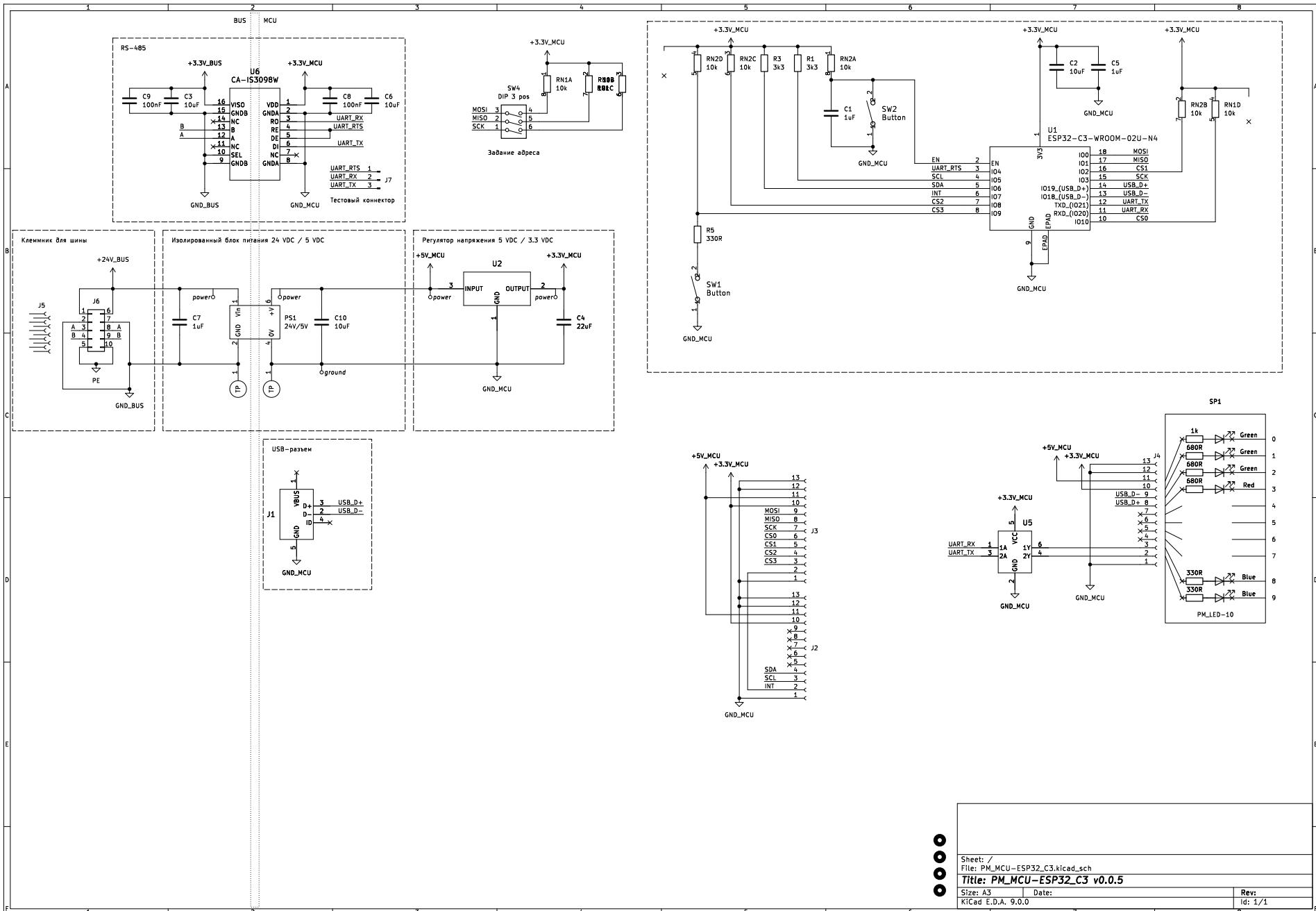


Рис. 8. Принципиальная электрическая схема платы PM MCU-ESP32_C3

Обозначение	Количе- ство	part_ipn
C1, C5	2	C_1uF_16V_0603_MLCC-X7R
C2, C3, C6, C10	4	C_10uF_16V_0805_MLCC-X5R
C4	1	C_22uF_16V_0805_MLCC-X5R
C7	1	C_1uF_50V_0603_MLCC-X7R
C8, C9	2	C_100nF_16V_0603_MLCC-X7R
D1, D3, D5	3	XL-1606SYGC
D2, D4	2	XL-1606UBC
D6	1	XL-1606SURC
J1	1	U254-051T-4BH83-S1S
J2, J3, J4	3	AFA07-S12FCC-00
J5	1	15EDGKNH-3.5-10P
J6	1	15EDGRHC-THR-3.5-10P
J7	1	PinHeader_01x03_P2.00_THT_straight
PS1	1	B2405LS-1WR3
R1, R3	2	R_3k3_0603_1%
R2	1	R_1k_0603_1%
R4, R8, R9	3	R_680R_0603_1%
R5, R6, R7	3	R_330R_0603_1%
RN1, RN2	2	R_10k_0603x4_1%
SP1	1	PM_LED-10-v0.0.1
SW1, SW2	2	TS-1088-AR02016
SW4	1	DA-03BLP
U1	1	ESP32-C3-WROOM-02U-N4
U2	1	CJA1117B-3.3
U3, U4	2	Keystone_5117
U5	1	SN74LVC2G14DBVR
U6	1	CA-IS3098W

Таблица 4. Перечень элементов платы PM MCU-ESP32_C3

7.4. PM_LED-10 - плата с 10 светодиодами

Плата с 8 светодиодами. Используются токоограничивающие резисторы номиналом 680 Ом, что при управлении светодиодами от напряжения 3,3В дает ток около 5mA.

Сигналы управления светодиодами подключаются через 10-пиновый шлейф FFC. На плате 4 параллельных разъема J1..J4, подключаться можно через любой.

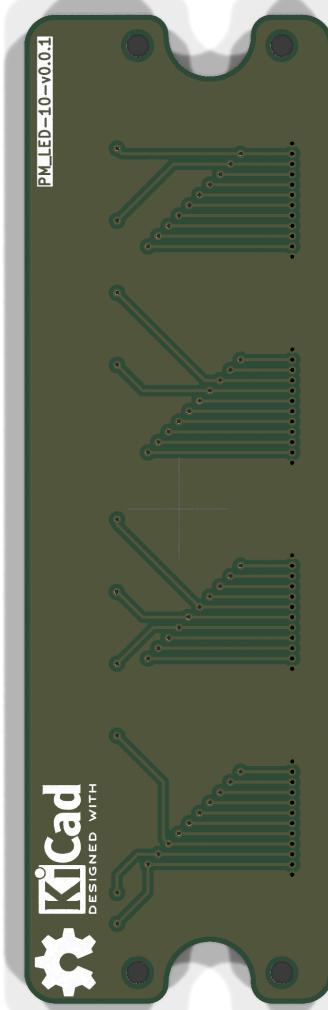
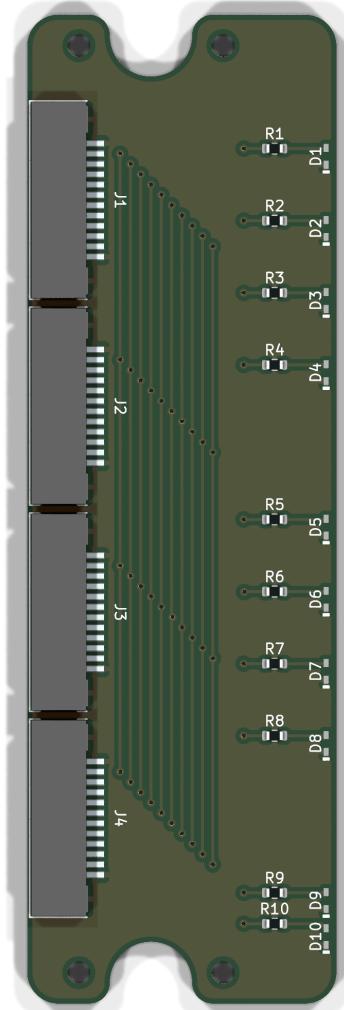


Таблица 5. Внешний вид платы PM_LED-10

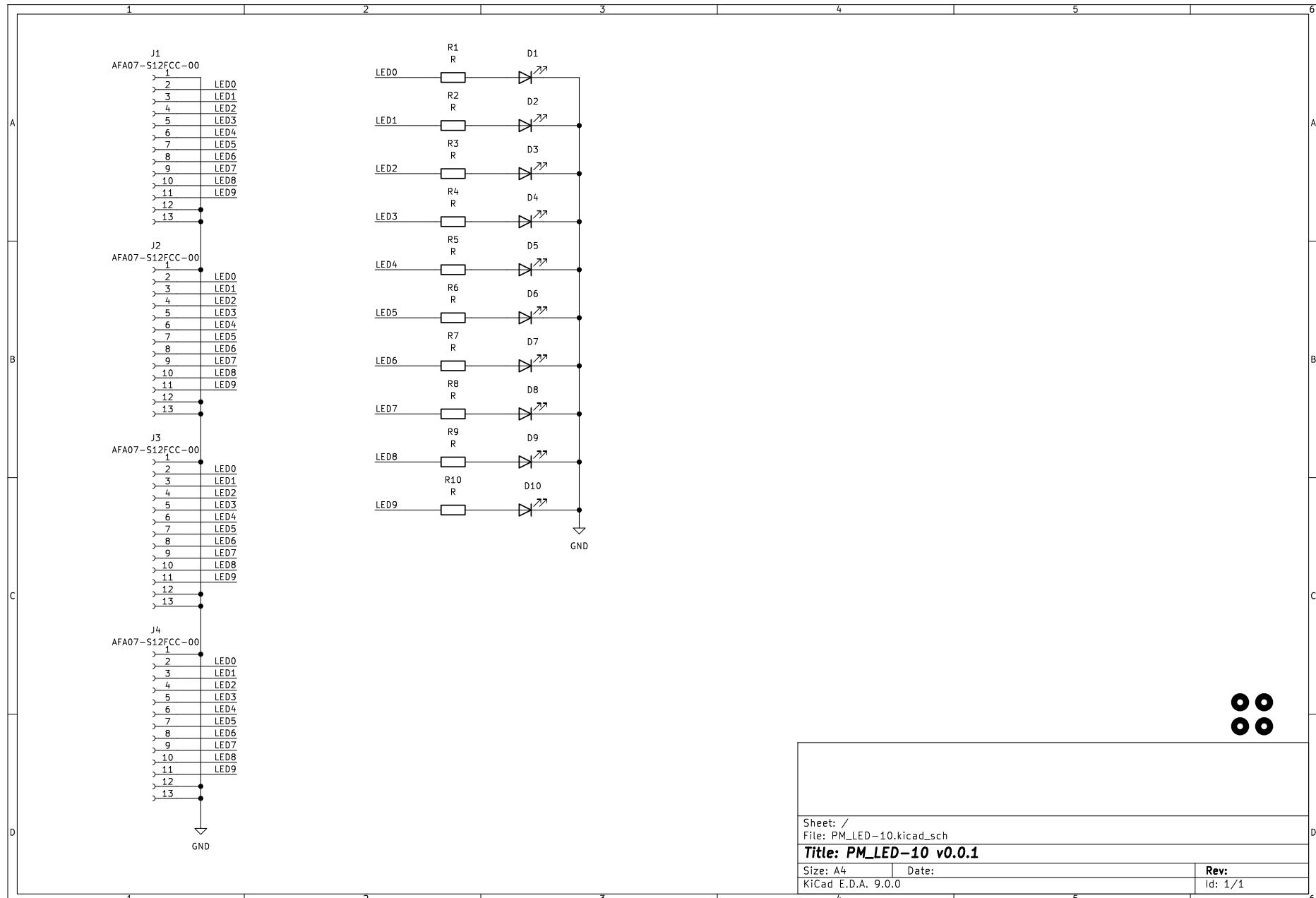


Рис. 9. Принципиальная электрическая схема платы PM_LED-10

Обозначение	Количе- ство	part_ipn
J1	1	AFA07-S12FCC-00

Таблица 6. Перечень элементов платы PM_LED-10

7.5. PM_LED-18 - плата с 18 светодиодами

Плата с 16 светодиодами. Используются токоограничивающие резисторы номиналом 680 Ом, что при управлении светодиодами от напряжения 3,3В дает ток около 5mA.

Сигналы управления светодиодами подключаются через два 10-пиновых шлейфа FFC. Каждый шлейф можно подключить в один из двух разъемов:

- верхние 8 светодиодов - через разъем J1 или J2
- нижние 8 светодиодов - через разъем J3 или J4

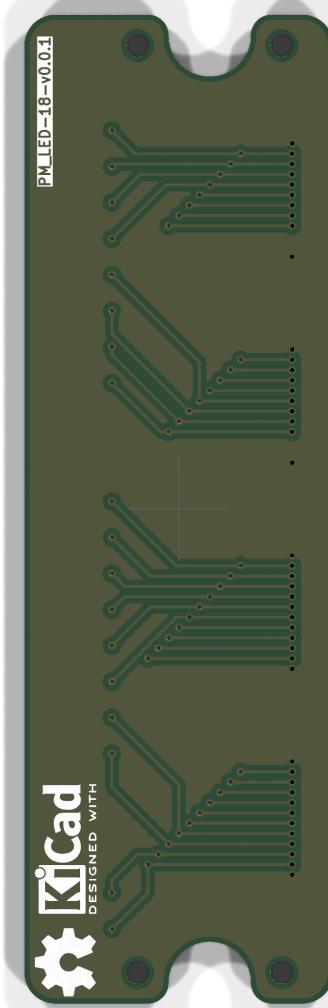
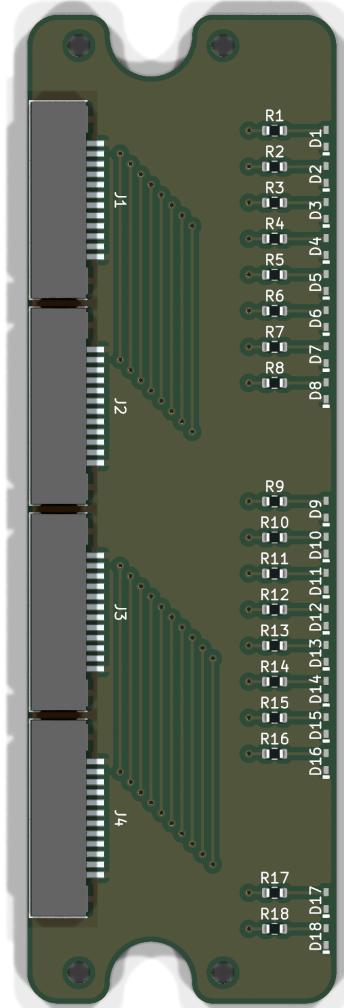


Таблица 7. Внешний вид платы PM_LED-18

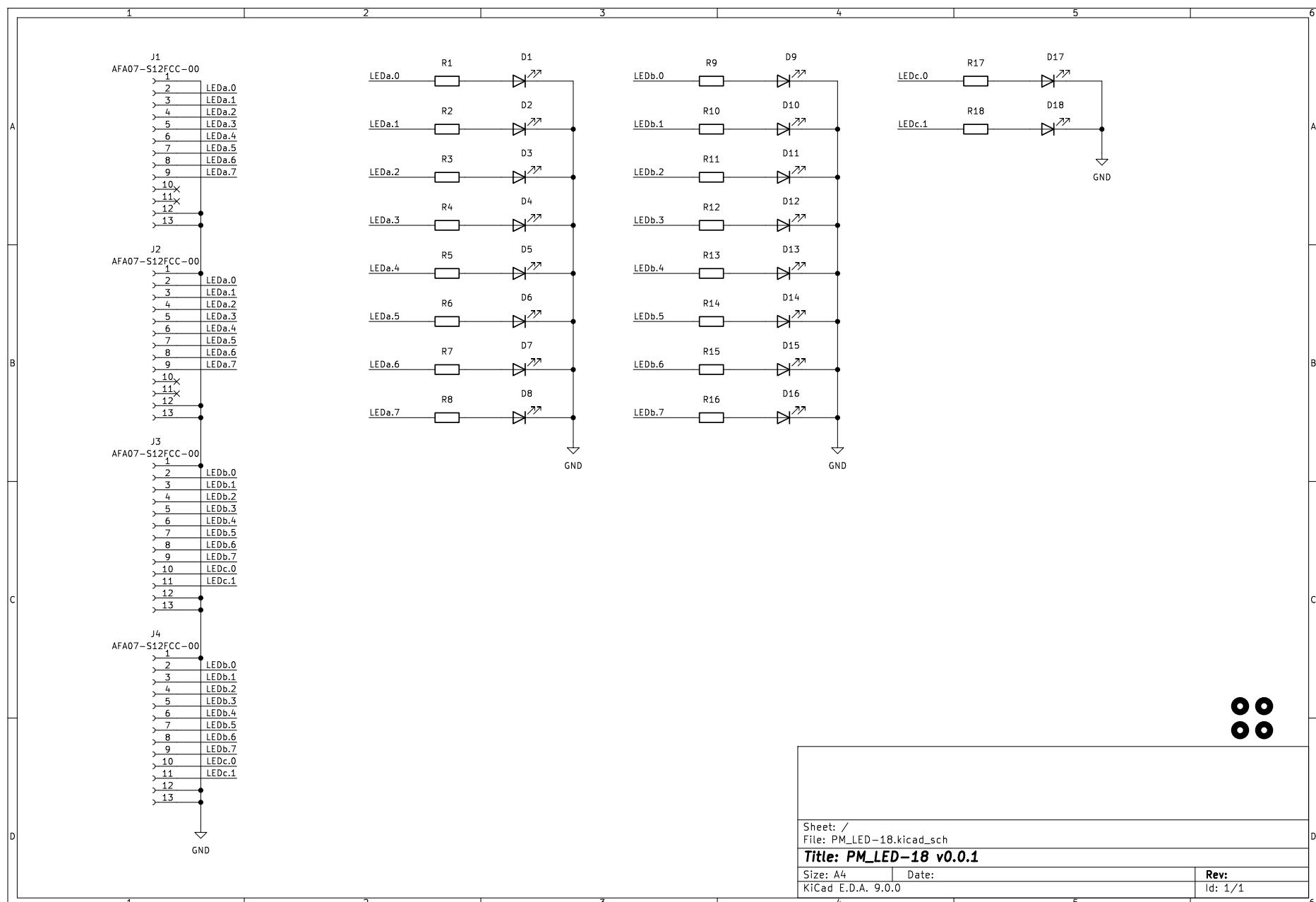


Рис. 10. Принципиальная электрическая схема платы PM_LED-18

Обозначение	Количе- ство	part_ipn
J1, J3	2	AFA07-S12FCC-00

Таблица 8. Перечень элементов платы PM_LED-18

7.6. PM_CNV-DI16_sink

Плата для подключения 16 дискретных входов. В схеме приведены компоненты для 24 В постоянного входного напряжения, но при изменении номиналов резисторов можно подключать датчики в диапазоне 5 .. 60 В.

Функциональная схема платы представлена на рисунке 11.

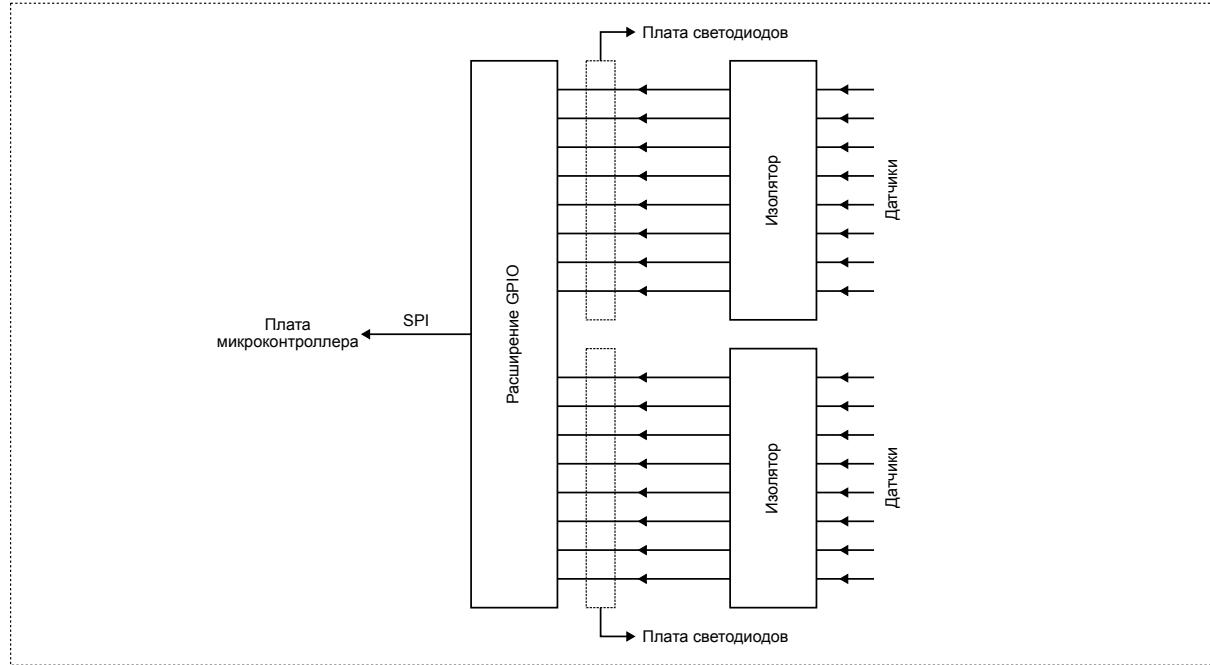


Рис. 11. Функциональная схема платы

Преобразование высокого входного напряжения в уровень напряжения микроконтроллера +3,3 В осуществляется с помощью чипа CA-IS3980S. Кроме понижения входного напряжения, чип также обеспечивает гальваническую изоляцию, подробнее в разделе 4.1.3. Основные характеристики:

- Совместимость со стандартом IEC 61131-2, тип входов 1, 2 и 3.
- 8 параллельных каналов.
- Скорость передачи до 2 Mbps.
- $\pm 300 \frac{kV}{\mu s}$ CMTI.
- $2500 V_{RMS}$ изоляция.

Все характеристики приведены в [3].

Схема подключения отдельного канала показана на рисунке 12.

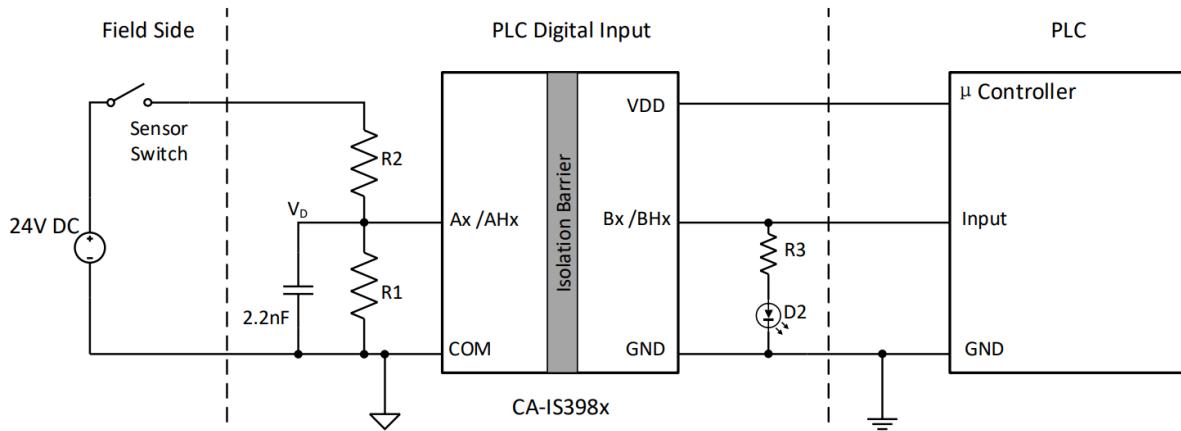


Рис. 12. Схема подключения отдельного канала

Номиналы выбираются исходя из напряжения и обеспечения требуемой характеристики. Рекомендуемые значения сопротивлений для напряжения 24 В приведены в таблице 9. Для подключения датчиков на другие уровни напряжения значения резисторов нужно корректировать.

Тип согласно IEC 61131-2	R_1	R_2
Тип 1	2,4 кОм	6,2 кОм
Тип 2	390 Ом	1,5 кОм
Тип 3	750 Ом	2,7 кОм

Таблица 9. Рекомендуемые значения сопротивлений для входного напряжения 24 В

После преобразования в напряжение 3,3 В цифровые сигналы поступают на вход расширителя входов MCP23S17. Расширитель входов сохраняет состояние входов в двух 8-битных регистрах. Микроконтроллер периодически опрашивает состояние регистров по шине SPI. Плата микроконтроллера подключается через разъем FFC.

С обратной стороны платы есть 4 перемычки - CS0, CS1, CS2, CS3. При сборке модуля необходимо замкнуть одну из 4. Также с обратной стороны платы есть коннектор FFC, который позволяет передавать шину данных на следующие платы. На каждой плате должны быть замкнуты разные перемычки CS. Таким образом, можно собрать модуль на 64 дискретных входа.

На плате есть два разъема FFC, через которые подключается плата светодиодов PM_LED-18.

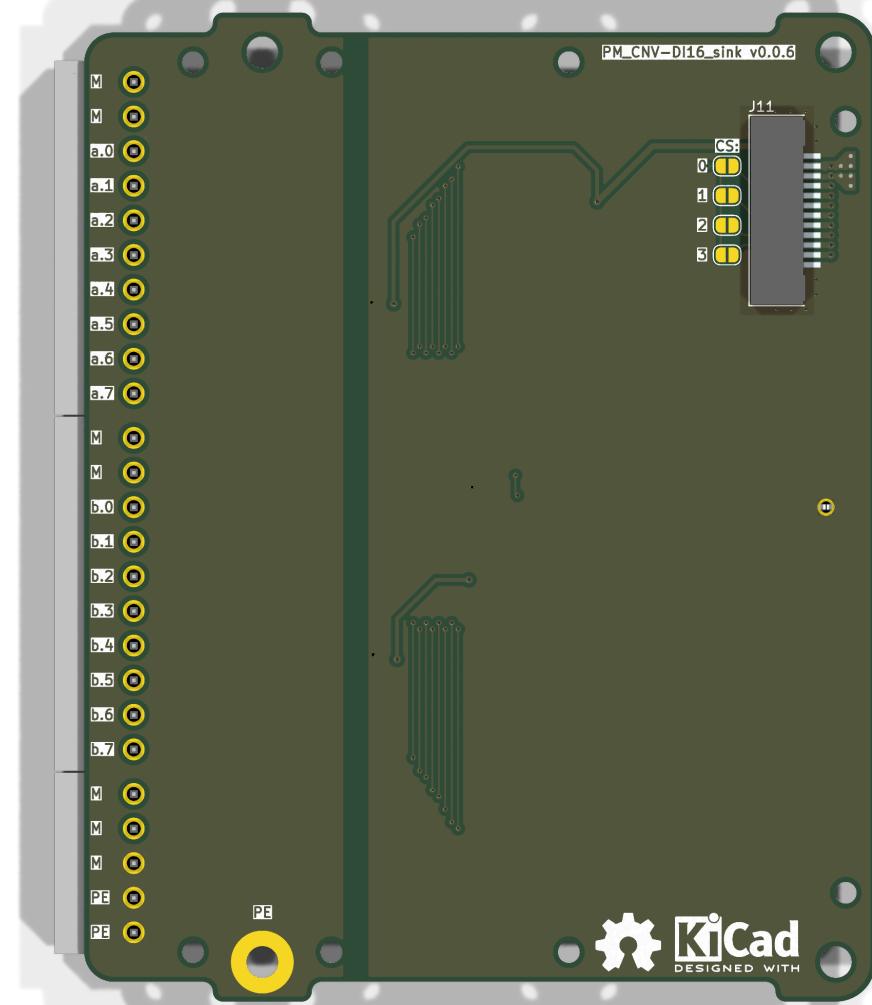
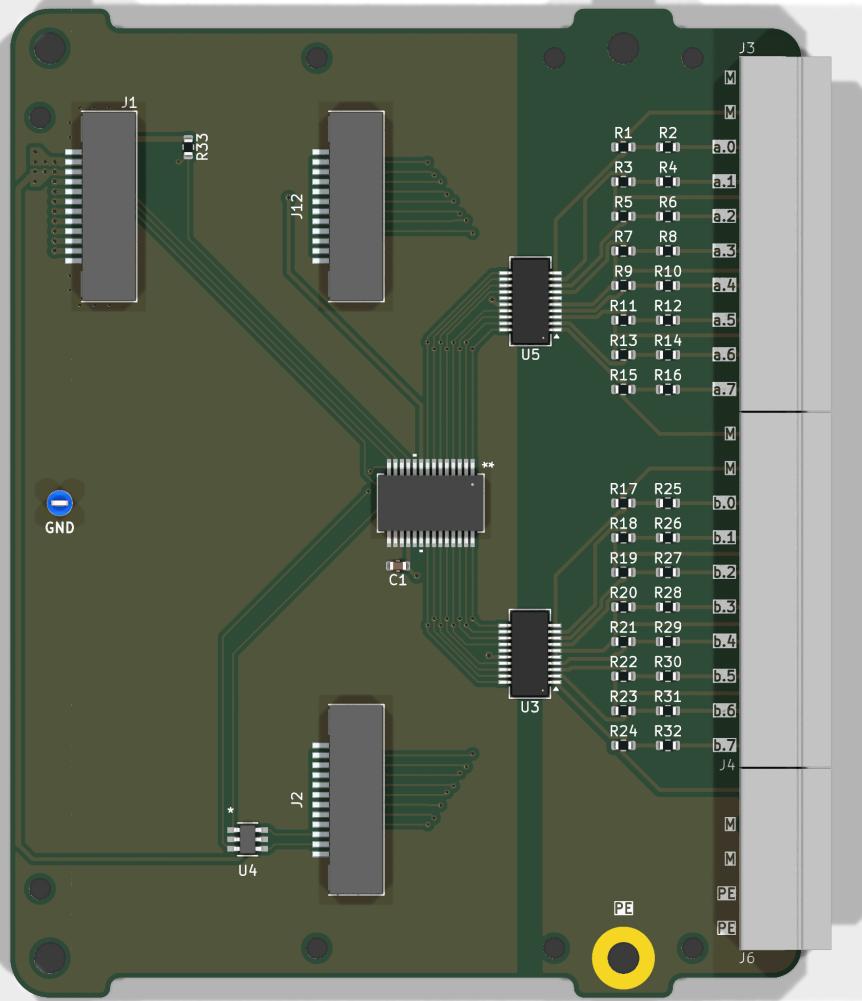


Таблица 10. Внешний вид платы PM_CNV-DI16_sink

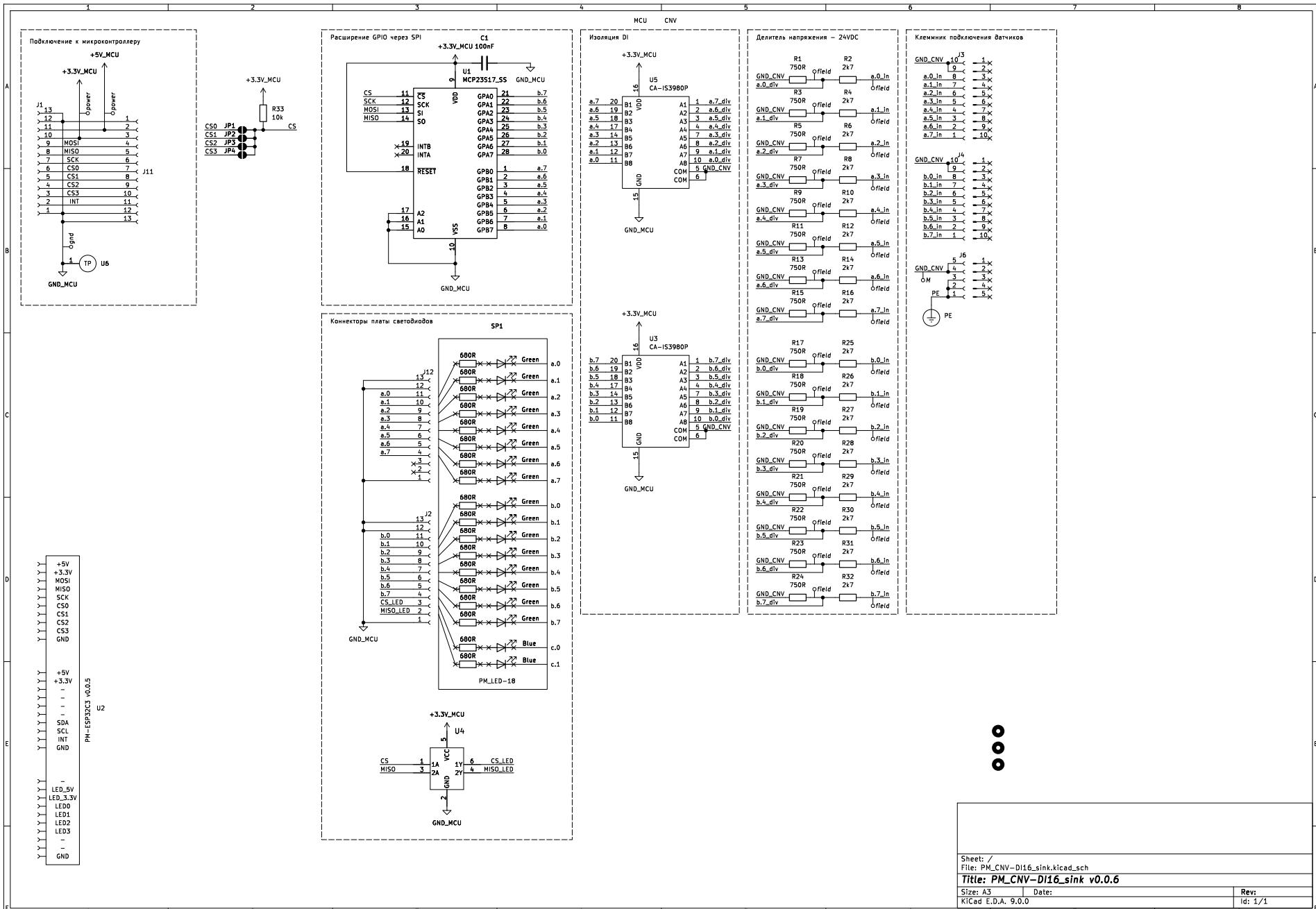


Рис. 13. Принципиальная электрическая схема платы PM_CNV-DI16_sink

Обозначение	Количе- ство	part_ipn
C1	1	C_100nF_16V_0603_MLCC-X7R
D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12, D13, D14, D15, D16	16	XL-1606SYGC
D17, D18	2	XL-1606UBC
J1, J2, J11, J12	4	AFA07-S12FCC-00
J3, J4	2	15EDGRC-3.5-10P
J6	1	15EDGRC-3.5-05P
J8, J9	2	15EDGK-3.5-10P
J10	1	15EDGK-3.5-05P
R1, R3, R5, R7, R9, R11, R13, R15, R17, R18, R19, R20, R21, R22, R23, R24	16	R_750R_0603_1%
R2, R4, R6, R8, R10, R12, R14, R16, R25, R26, R27, R28, R29, R30, R31, R32	16	R_2k7_0603_1%
R33	1	R_10k_0603_1%
R34, R35, R36, R37, R38, R39, R40, R41, R42, R43, R44, R45, R46, R47, R48, R49, R50, R51	18	R_680R_0603_1%
SP1	1	PM_LED-18-v0.0.1
U1	1	MCP23S17-E/SS
U3, U5	2	CA-IS3980P
U4	1	SN74LVC2G14DBVR
U6	1	Keystone_5117

Таблица 11. Перечень элементов платы PM_CNV-DI16_sink

7.7. PM_CNV-DQ16_src

Модуль для управления 16 дискретными выходами. Выходы постоянного напряжения до 50 В.

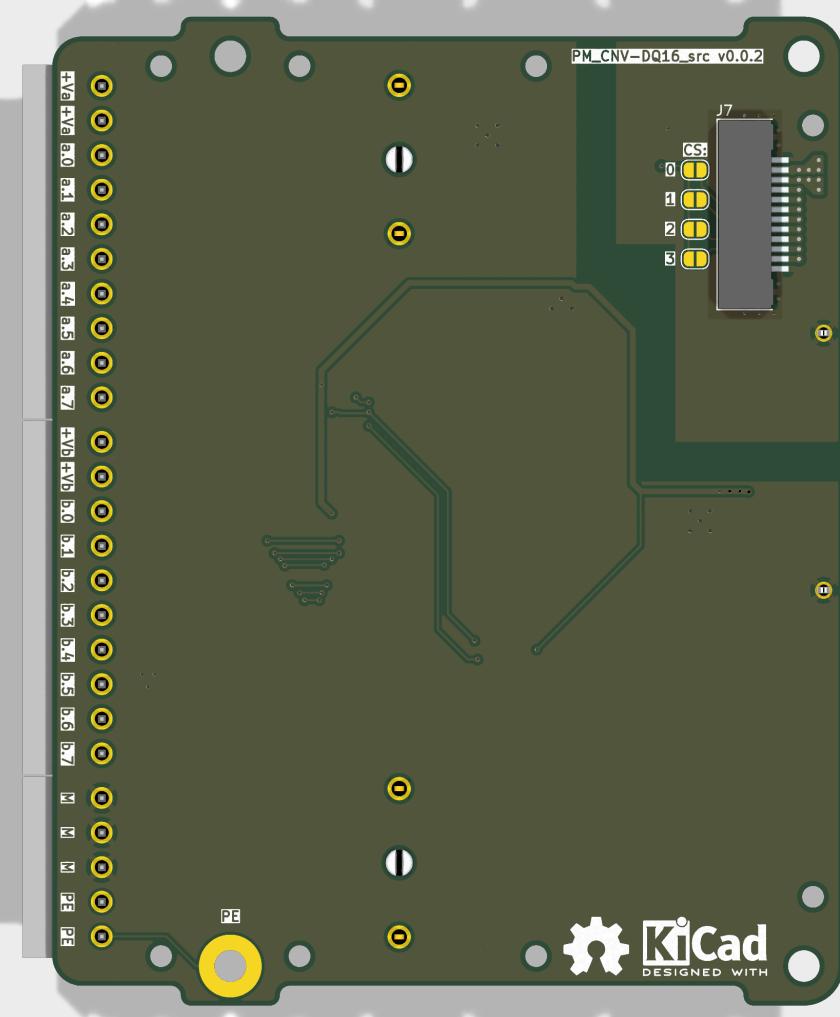
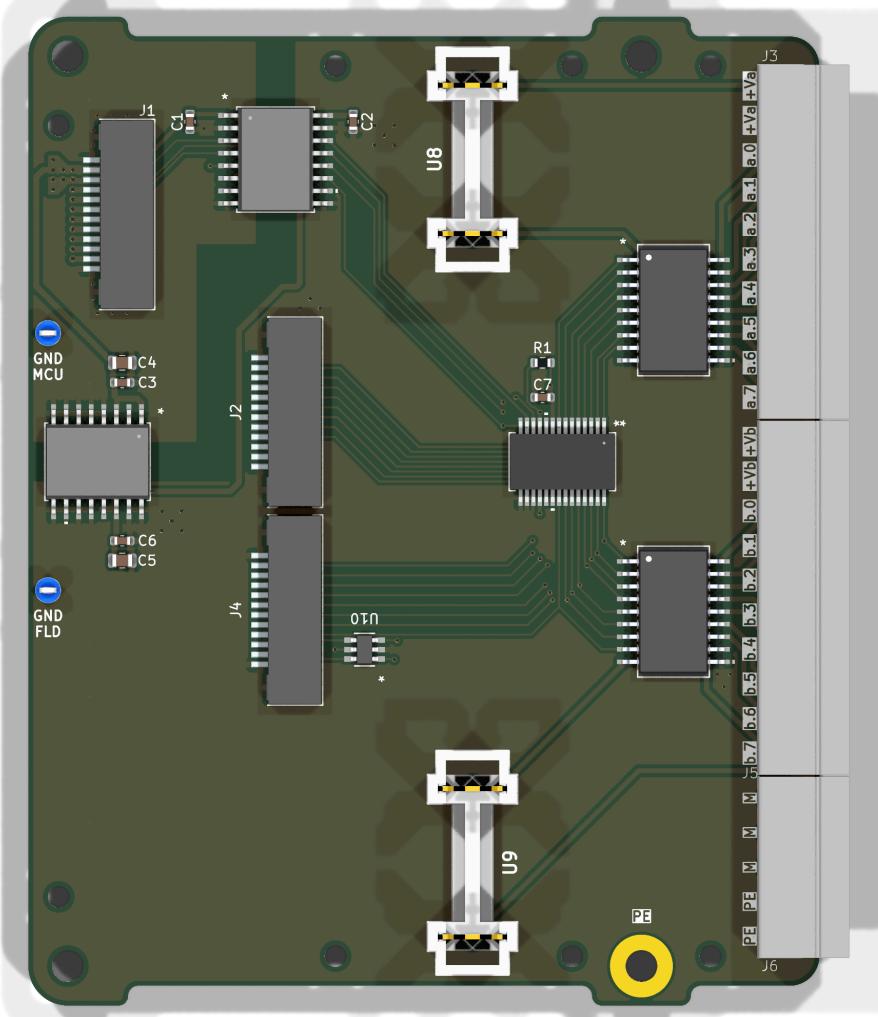


Таблица 12. Внешний вид платы PM_CNV-DQ16_src

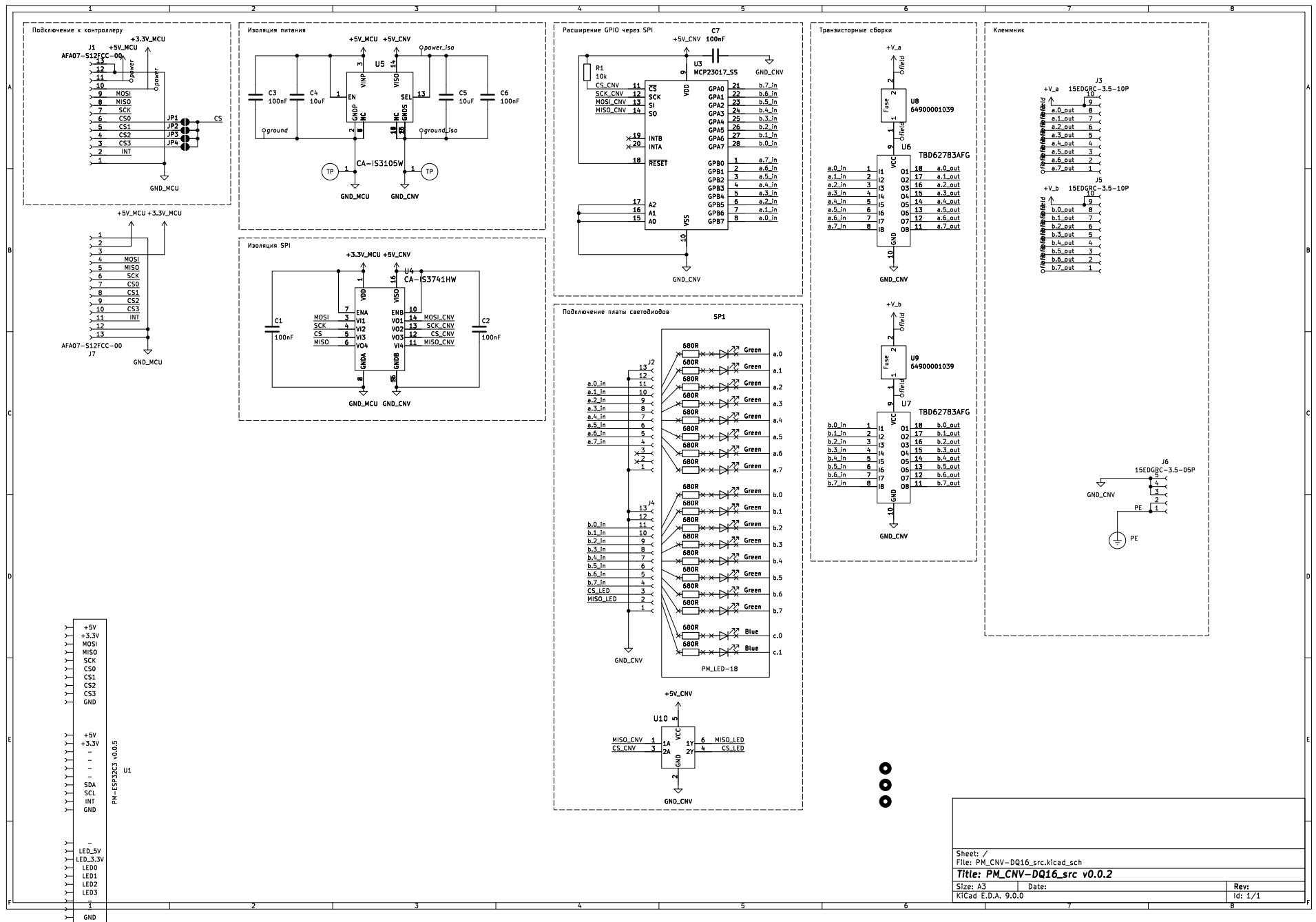


Рис. 14. Принципиальная электрическая схема платы PM_CNV-DQ16_src

Обозначение	Количе- ство	part_ipn
C1, C2, C3, C6, C7	5	C_100nF_16V_0603_MLCC-X7R
C4, C5	2	C_10uF_16V_0805_MLCC-X5R
D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12, D13, D14, D15, D16	16	XL-1606SYGC
D17, D18	2	XL-1606UBC
J1, J2, J4, J7	4	AFA07-S12FCC-00
J3, J5	2	15EDGRC-3.5-10P
J6	1	15EDGRC-3.5-05P
R1	1	R_10k_0603_1%
R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19	18	R_680R_0603_1%
SP1	1	PM_LED-18-v0.0.1
U2, U11	2	Keystone_5117
U3	1	MCP23S17-E/SS
U4	1	CA-IS3741HW
U5	1	CA-IS3105W
U6, U7	2	TBD62783AFG
U8, U9	2	64900001039
U10	1	SN74LVC2G14DBVR

Таблица 13. Перечень элементов платы PM_CNV-DQ16_src

7.8. PM_CNV-RQ8 - плата управления 8 реле

Модуль для подключения 8 релейных выходов. Допустимая подключаемая нагрузка на канал 2А. Контакты реле подключаются независимо, что позволяет подключать нагрузку от разных источников.

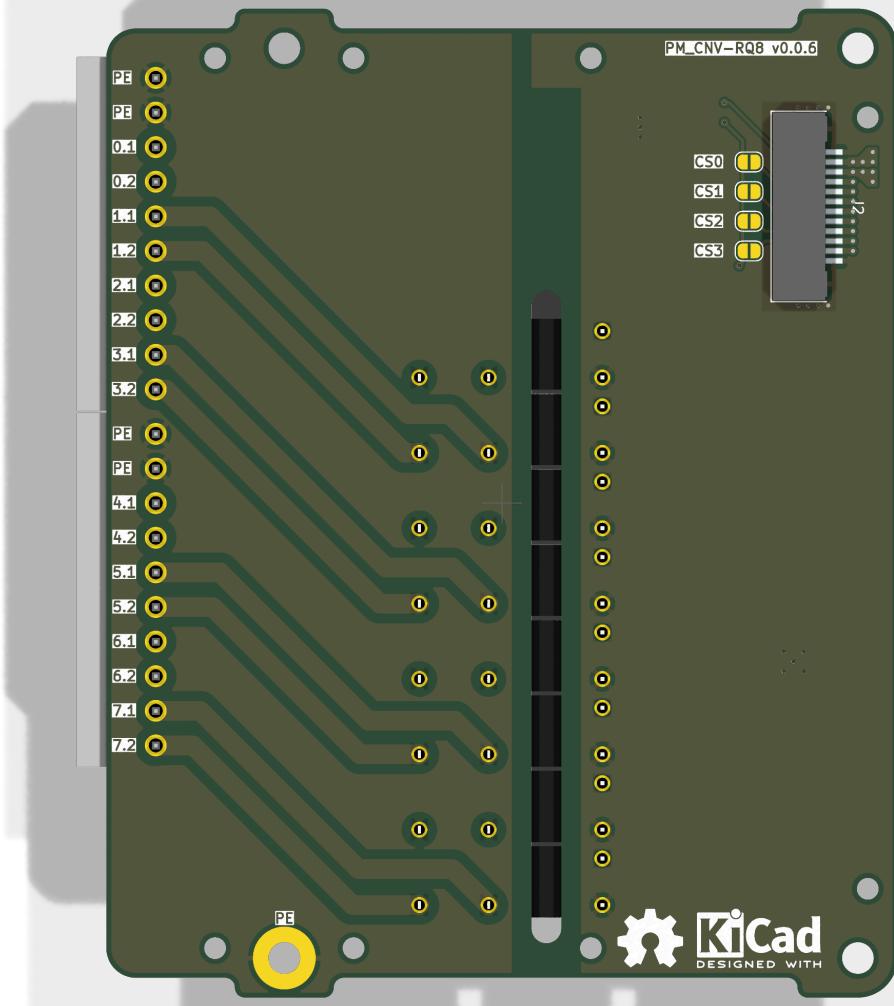
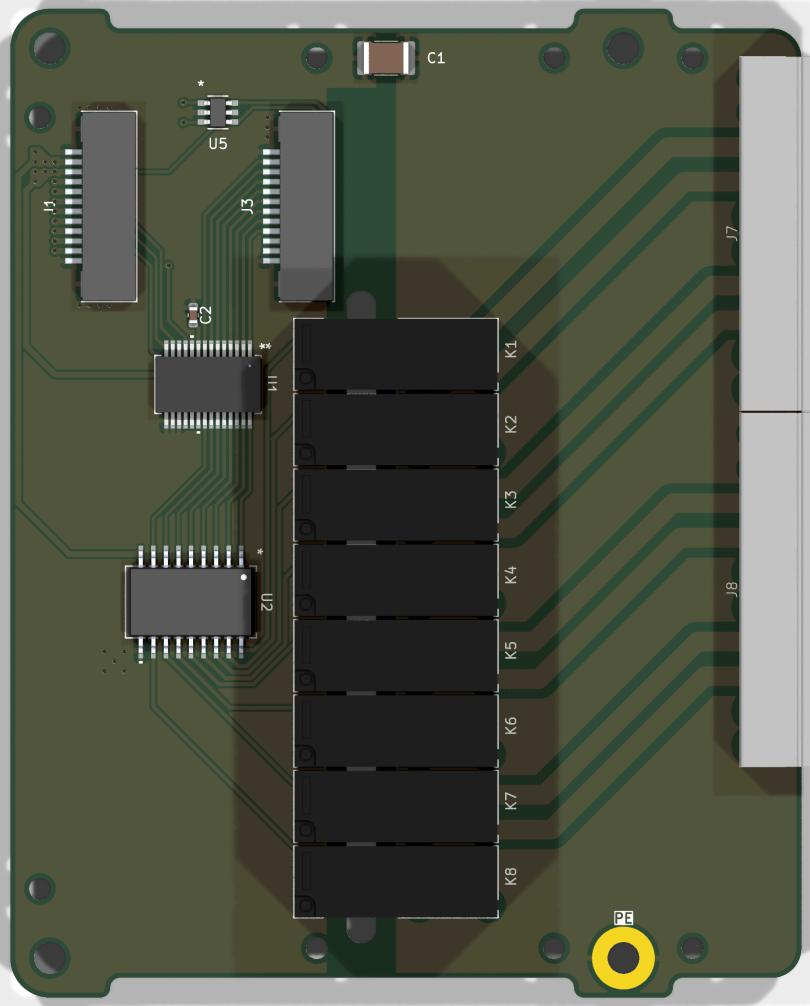


Таблица 14. Внешний вид платы PM_CNV-RQ8

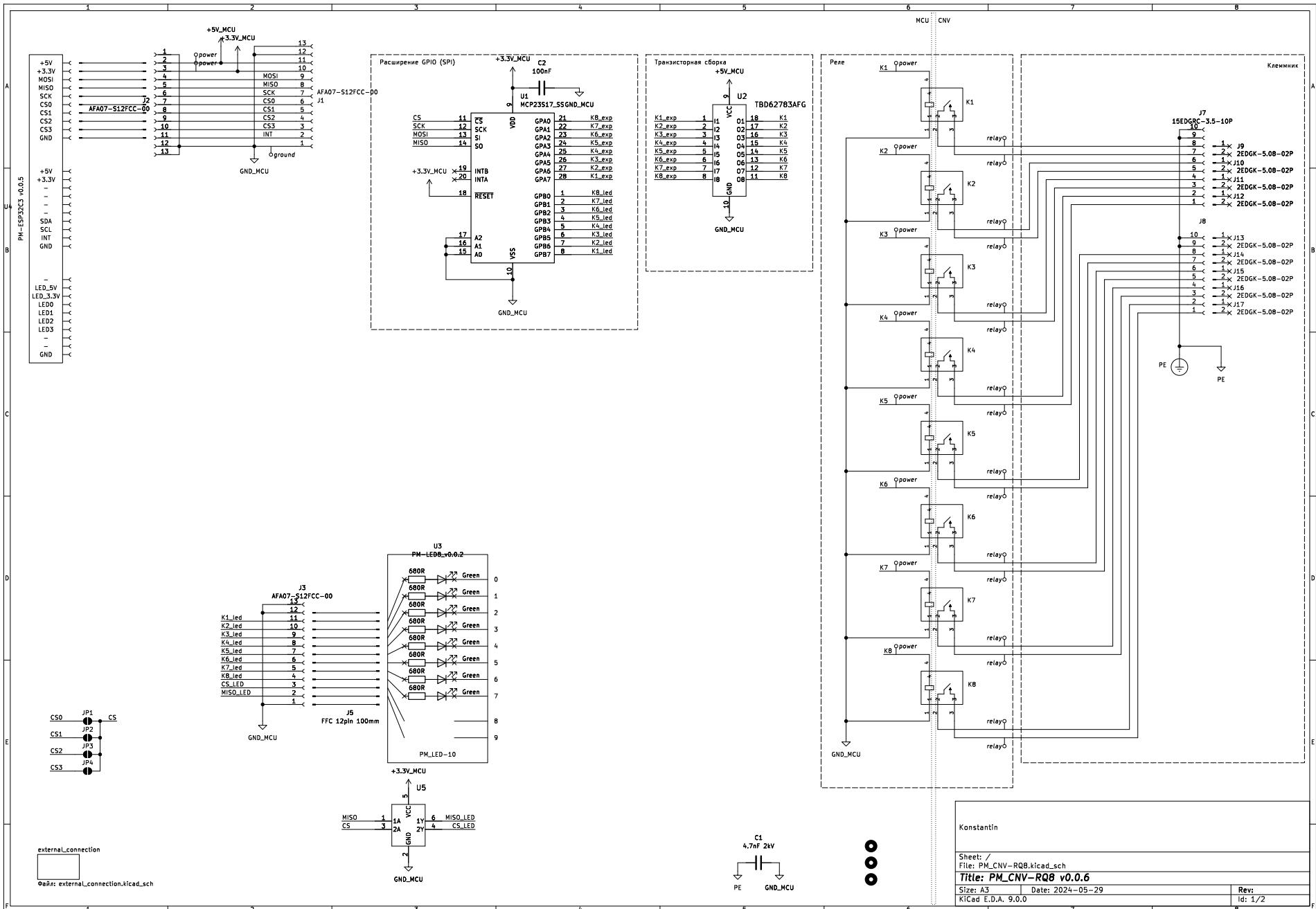


Рис. 15. Принципиальная электрическая схема платы PM_CNV-RQ8

Обозначение	Количе- ство	part_ipn
C1	1	C_4.7nF_2kV_1812
C2	1	C_100nF_16V_0603_MLCC-X7R
D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8	8	XL-1606SYGC
J1, J2, J3	3	AFA07-S12FCC-00
J4	1	FFC_10P_P1.0_50mm_reverse
J5	1	FFC_12P_P1.0_100mm_straight
J7, J8	2	15EDGRC-3.5-10P
J9, J10, J11, J12, J13, J14, J15, J16, J17	9	2EDGK-5.08-02P
K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8	8	G5NB-1A-E-DC5
R34, R35, R36, R37, R38, R39, R40, R41	8	R_680R_0603_1%
U1	1	MCP23S17-E/SO
U2	1	TBD62783AFG
U3	1	PM_LED-10-v0.0.1
U5	1	SN74LVC2G14DBVR

Таблица 15. Перечень элементов платы PM_CNV-RQ8

7.9. PM_CNV-AI4_W - плата аналогового ввода 4 тензодатчиков

Плата аналогового ввода для опроса сигналов тензодатчиков. Можно подключить до 4 тензодатчиков.

Опрос датчиков построен на базе АЦП AD7193 компании Analog Devices. Основные характеристики АЦП:

- Тип АЦП - 24-разрядный сигма-дельта ($\Sigma - \Delta$).
- Встроенный усилитель с программируемым коэффициентом усиления 1 .. 128. Позволяет измерять напряжения в диапазоне 40 мВ .. 5 В.
- Низкий уровень шумов. До 22 разрядов при низкой частоте дискретизации.
- 4 дифференциальных канала измерения. Автоматический мультиплексор.
- Подключается к микроконтроллеру по интерфейсу SPI.

Гальваническая изоляция от микроконтроллера реализована с помощью 2 микросхем:

- CA-IS3105W - DC / DC преобразователь для цепей питания.
- CA-IS3741HW - преобразователь сигналов.

Пример отладочной платы от производителя CN0102 - [7].

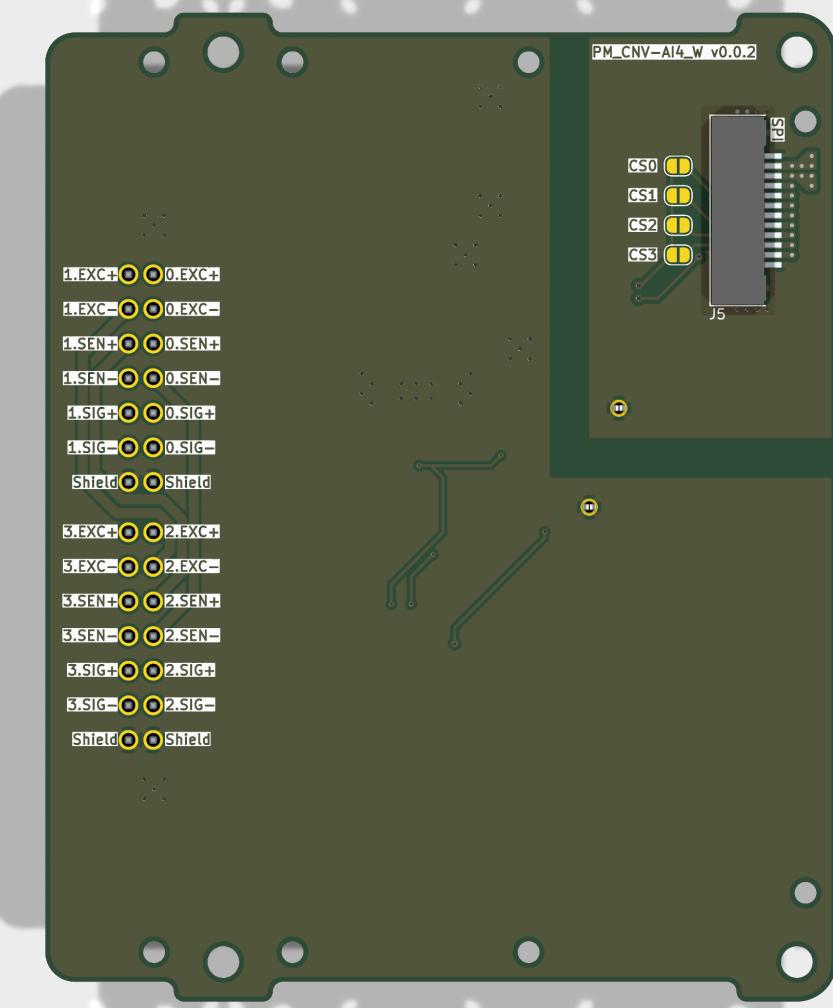
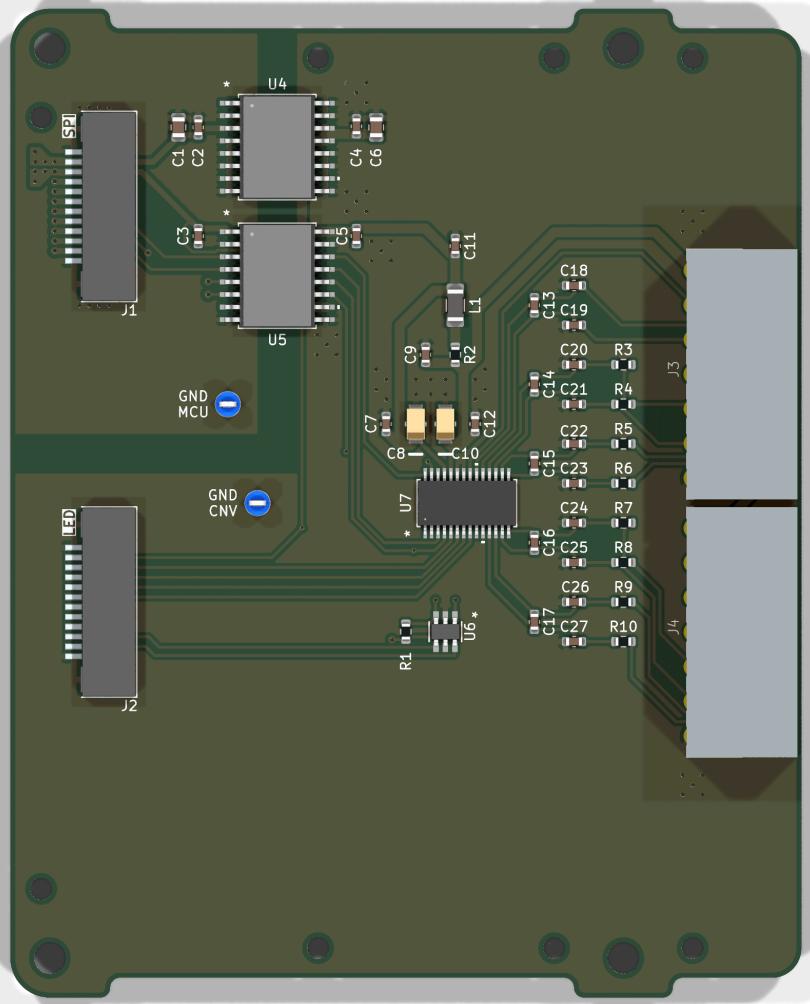


Таблица 16. Внешний вид платы PM_CNV-AI4_W

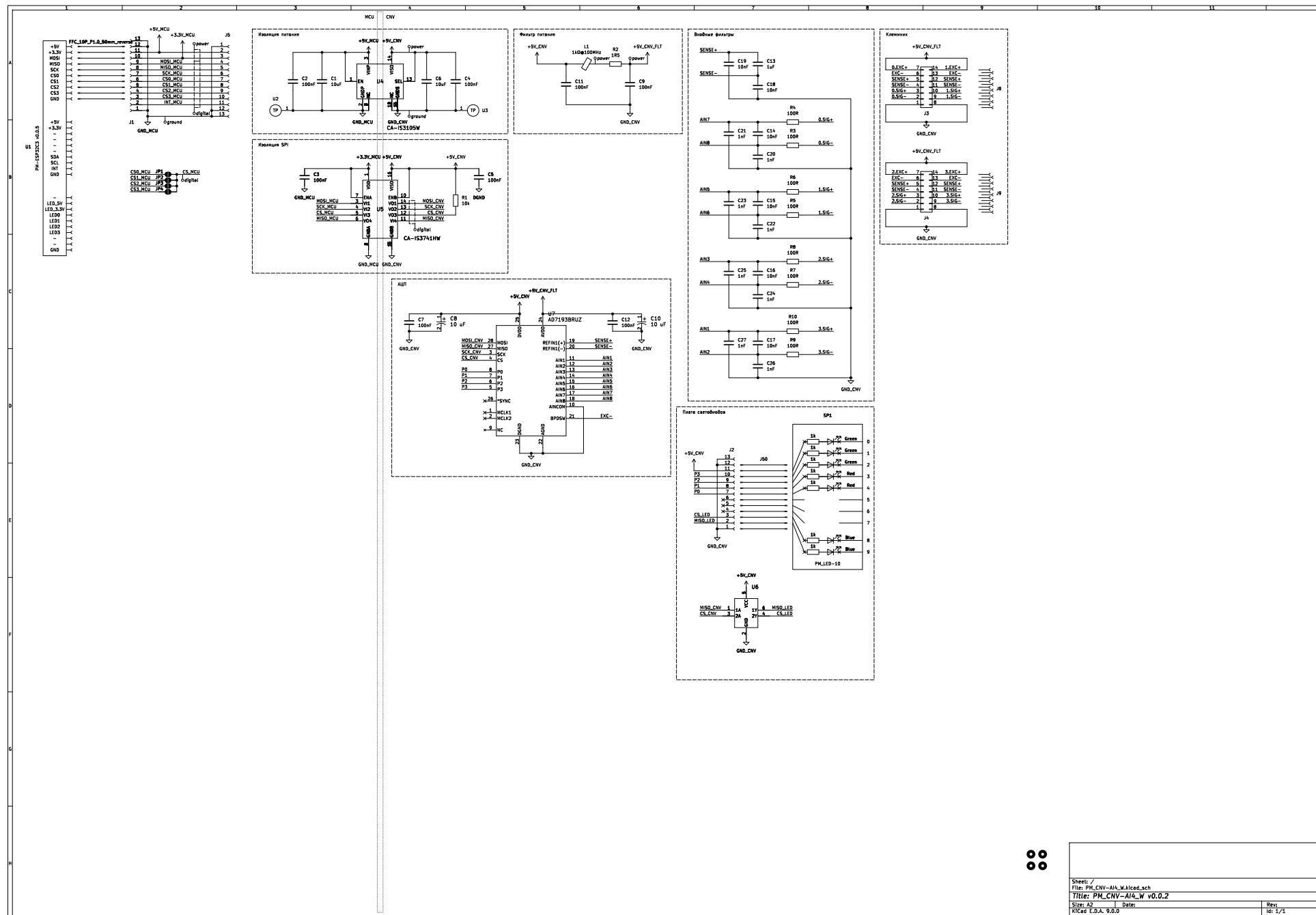


Рис. 16. Принципиальная электрическая схема платы РМ CNV-AI4 W

Обозначение	Количе- ство	part_ipn
C1, C6	2	C_10uF_16V_0805_MLCC-X7R
C2, C3, C4, C5, C7, C9, C11, C12	8	C_100nF_16V_0603_MLCC-X7R
C8, C10	2	TAJA106M016RNJ
C13	1	C_1uF_16V_0603_MLCC-X7R
C14, C15, C16, C17, C18, C19	6	C_10nF_16V_0603_MLCC-X7R
C20, C21, C22, C23, C24, C25, C26, C27	8	C_1nF_16V_0603_MLCC-X7R
D1, D2, D3	3	XL-1606SYGC
D4, D5	2	XL-1606SURC
D6, D7	2	XL-1606UBC
J1, J2, J5	3	AFA07-S12FCC-00
J3, J4	2	15EDGRHC-THR-3.5-14P
J8, J9	2	15EDGKNH-3.5-14P
J10	1	FFC_10P_P1.0_50mm_reverse
J50	1	FFC_12P_P1.0_100mm_straight
L1	1	FB_300mΩ_1kΩ@100MHz_1206
R1	1	R_10k_0603_1%
R2	1	R_1R5_0603_1%
R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10	8	R_100R_0603_1%
R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17	7	R_1k_0603_1%
SP1	1	PM_LED-10-v0.0.1
U2, U3	2	Keystone_5117
U4	1	CA-IS3105W
U5	1	CA-IS3741HW
U6	1	SN74LVC2G14DBVR
U7	1	AD7193BRUZ

Таблица 17. Перечень элементов платы PM_CNV-AI4_W

**7.10. PM_CNV-AI8_IU - плата аналогового ввода 8 датчиков 0..20 мА
или 0..10 В**

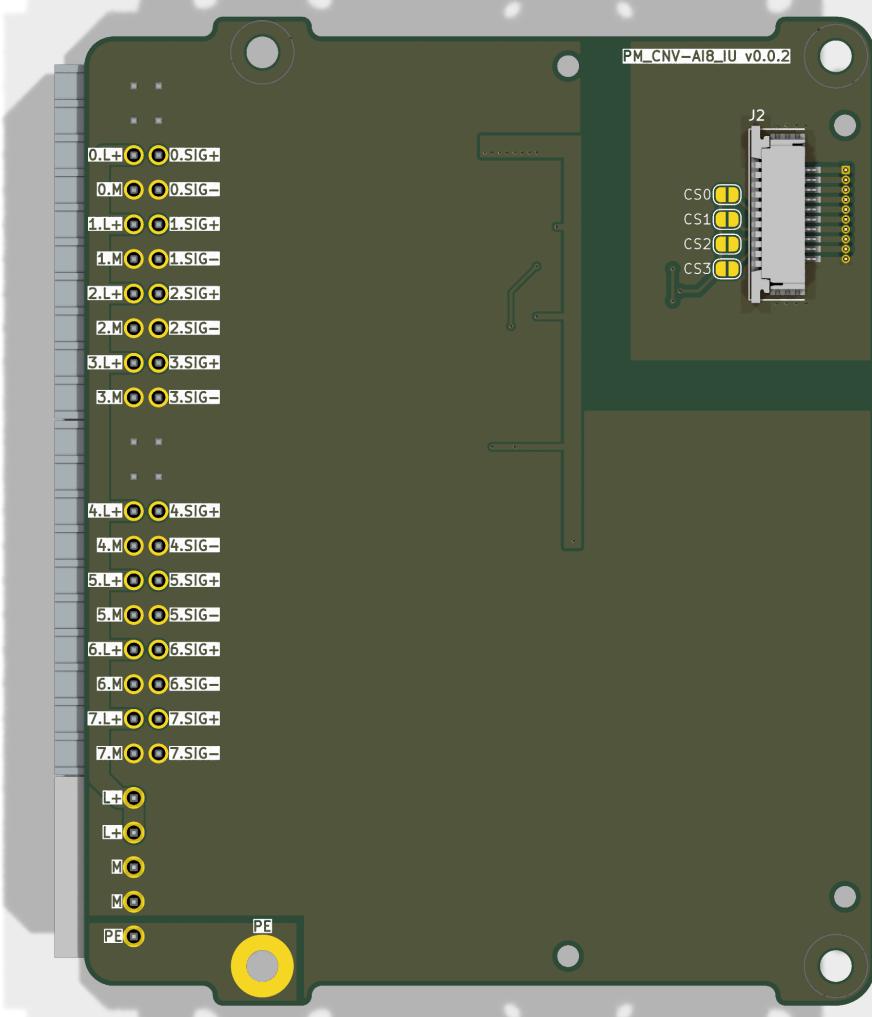
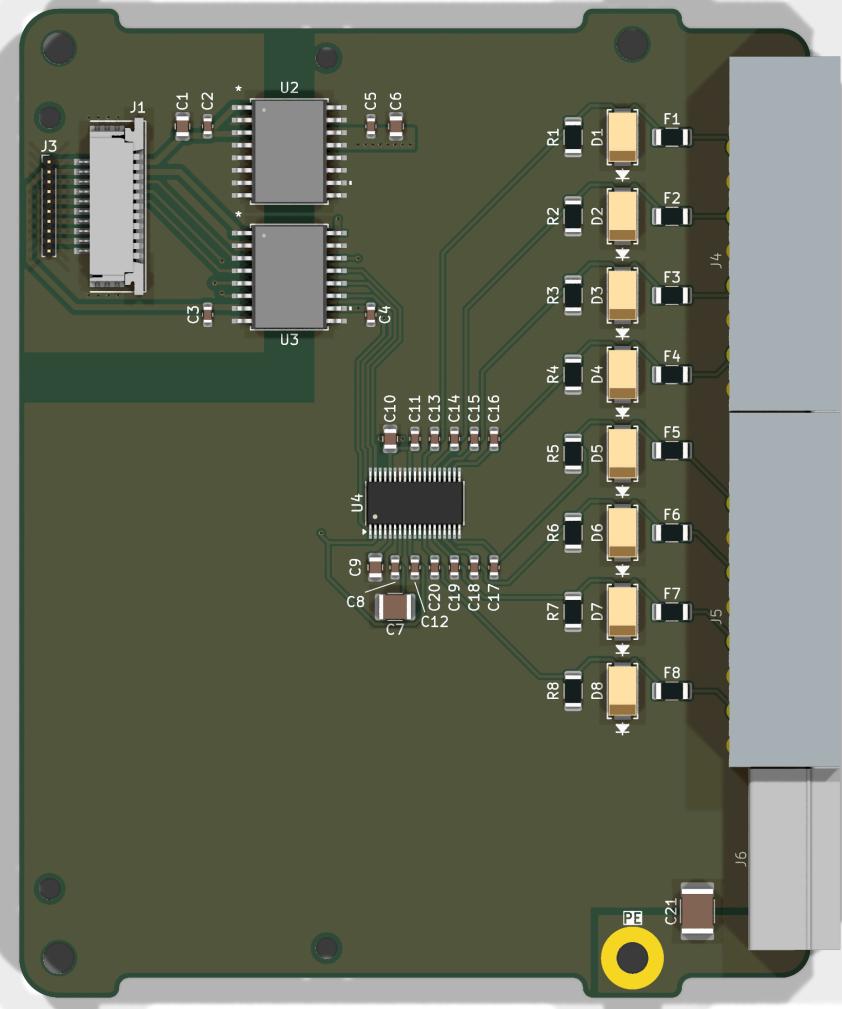


Таблица 18. Внешний вид платы PM_CNV-AI8_IU

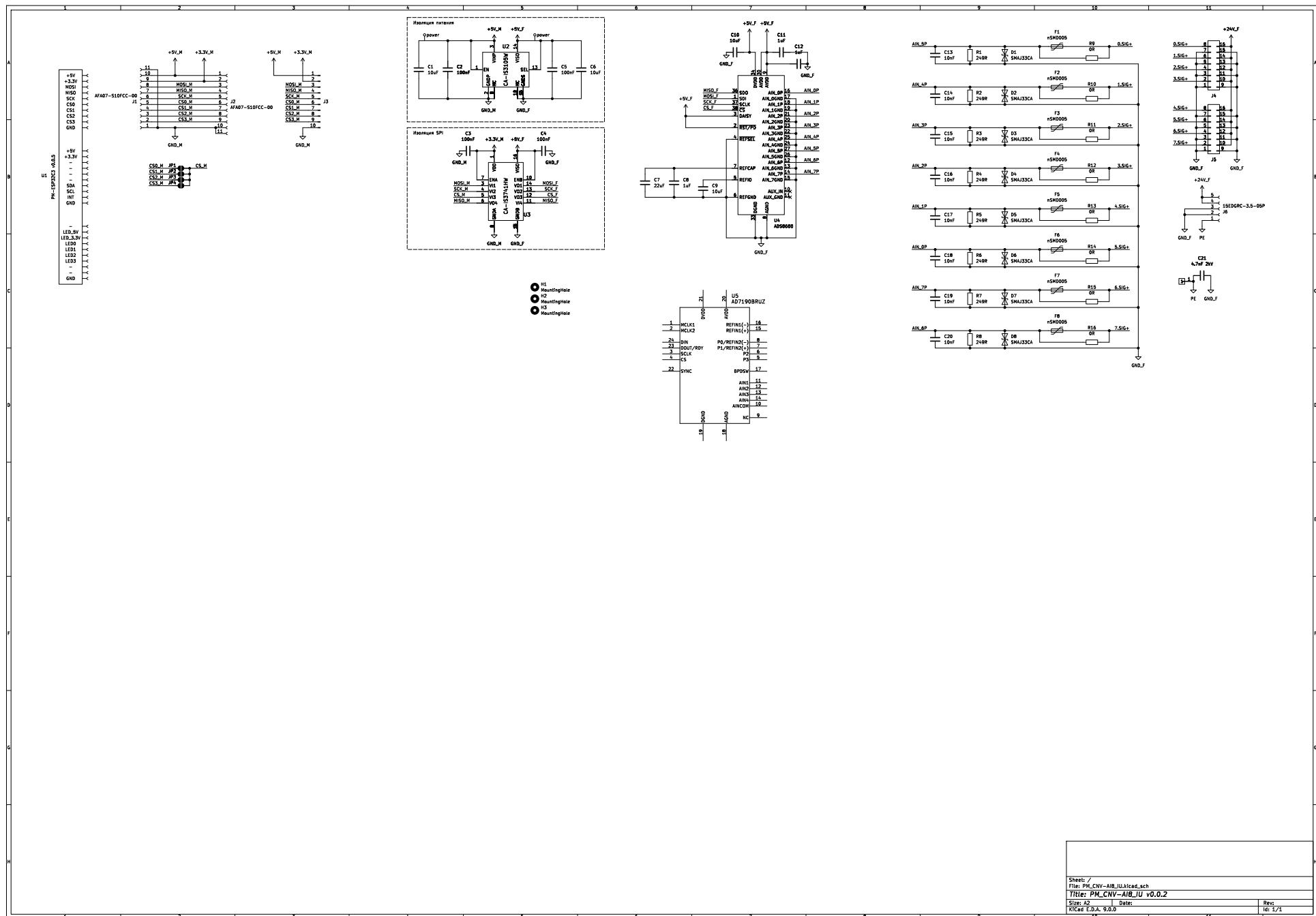


Рис. 17. Принципиальная электрическая схема платы PM_CNV-AI8_IU

Обозначение	Количе- ство	part_ipn
C1, C6, C9, C10	4	C_10uF_16V_0805_MLCC-X7R
C2, C3, C4, C5	4	C_100nF_16V_0603_MLCC-X7R
C7	1	C_22uF_16V_1210_MLCC-X7R
C8, C11, C12	3	C_1uF_16V_0603_MLCC-X7R
C13, C14, C15, C16, C17, C18, C19, C20	8	C_10nF_50V_0603_MLCC-C0G
C21	1	C_4.7nF_2kV_1812
D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8	8	SMAJ33CA
F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8	8	nSMD005
J1, J2	2	AFA07-S10FCC-00
J3, U4	2	
J4, J5	2	15EDGRHC-THR-3.5-16P
J6	1	15EDGRC-3.5-05P
R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8	8	R_249R_1206_0.1%_25ppm
R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16	8	R_0R_1206_1%
U2	1	CA-IS3105W
U3	1	CA-IS3741HW
U5	1	AD7190

Таблица 19. Перечень элементов платы PM_CNV-AI8_IU

7.11. PM_CNV-AI4-RTD - плата аналогового ввода 4 термосопротивлений

7.12. PM_CNV-AI4-TC - плата аналогового ввода 4 термопар

7.13. PM_HMI-Keyboard

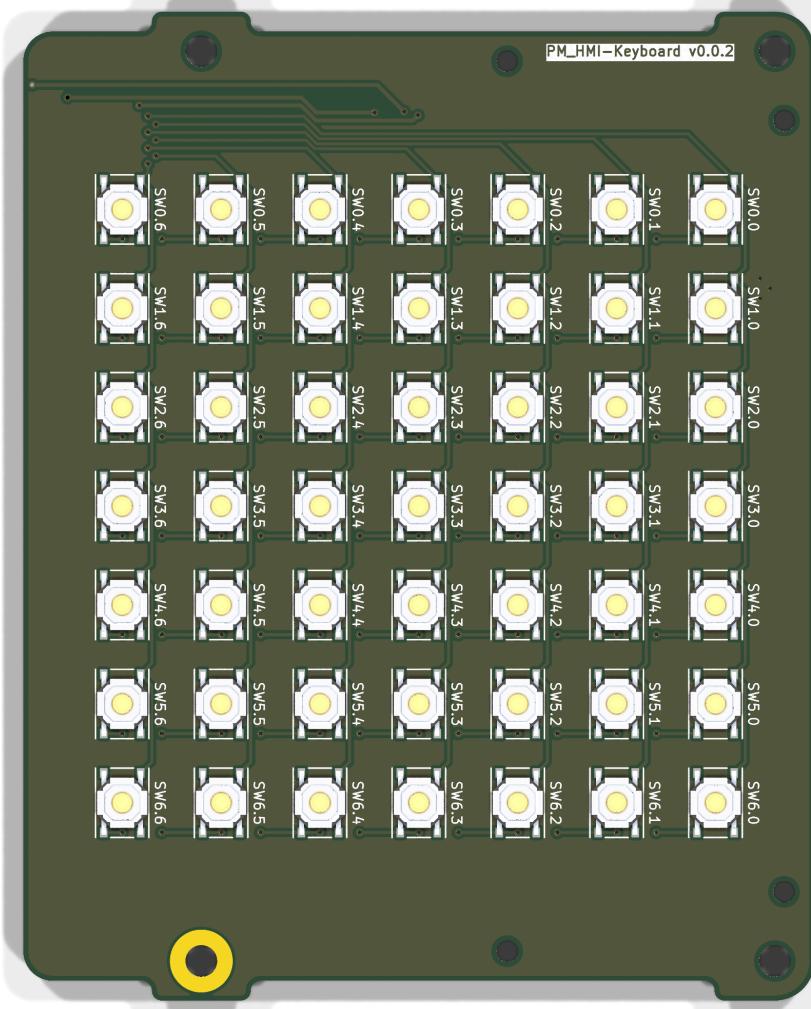
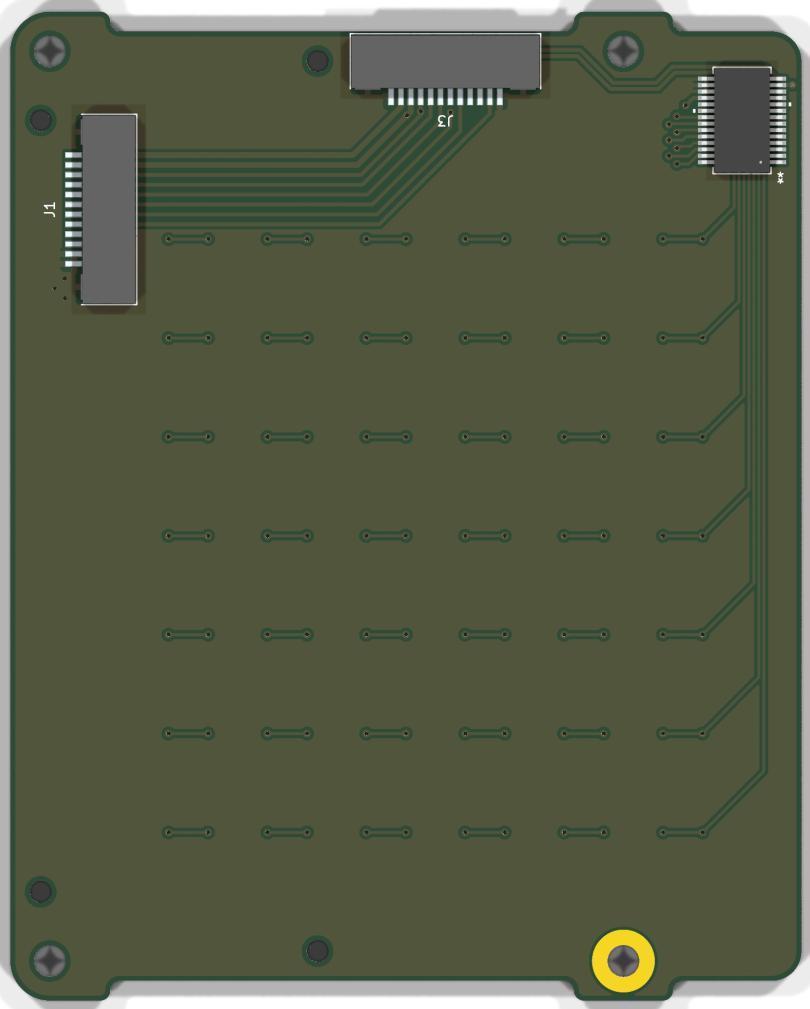


Таблица 20. Внешний вид платы PM_HMI-Keyboard

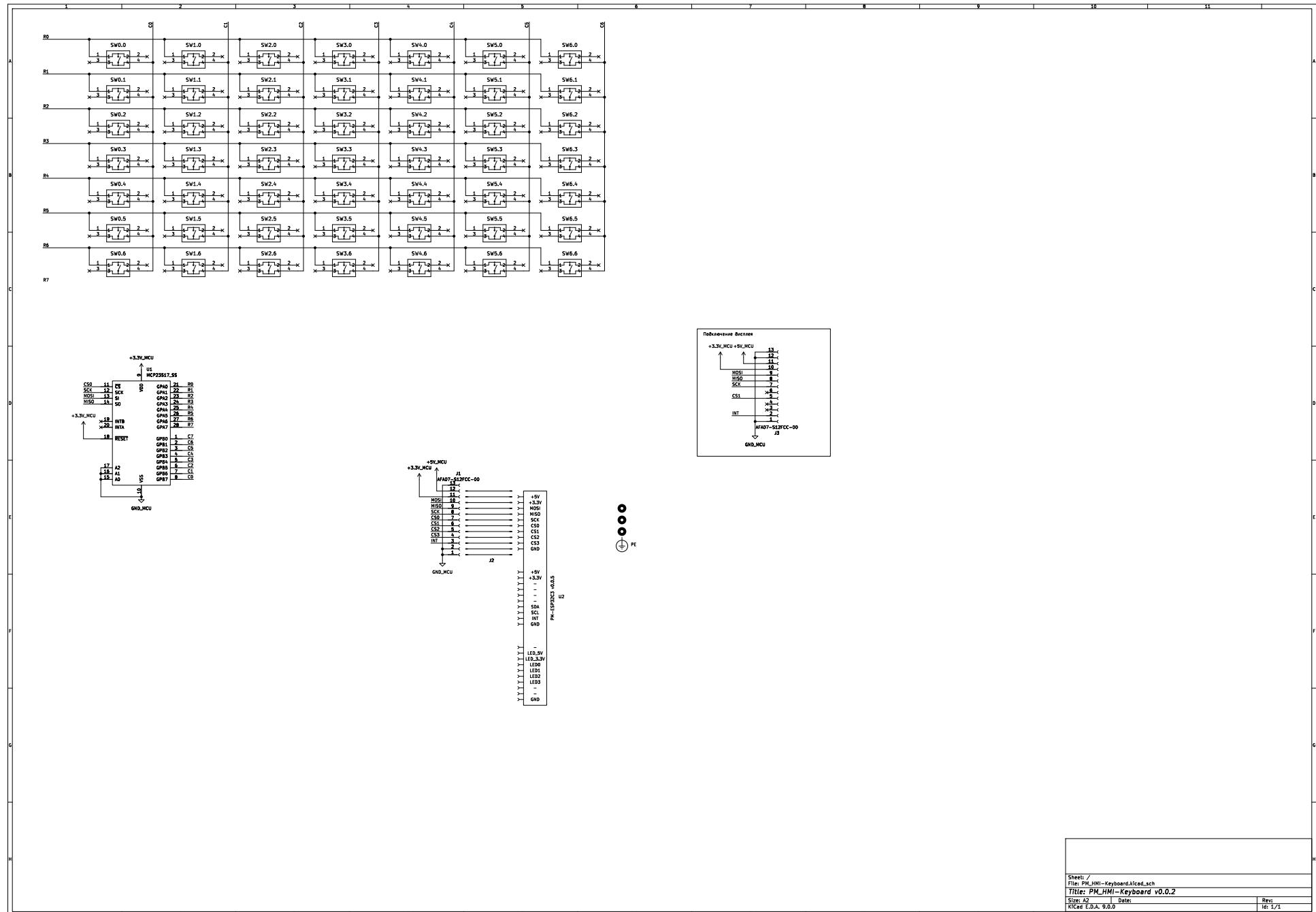


Рис. 18. Принципиальная электрическая схема платы PM_HMI-Keyboard

Обозначение	Количе- ство	part_ipn
J1, J3	2	AFA07-S12FCC-00
J2	1	FFC_12P_P1.0_100mm_straight
SW0.0, SW0.1, SW0.2, SW0.3, SW0.4, SW0.5, SW0.6, SW1.0, SW1.1, SW1.2, SW1.3, SW1.4, SW1.5, SW1.6, SW2.0, SW2.1, SW2.2, SW2.3, SW2.4, SW2.5, SW2.6, SW3.0, SW3.1, SW3.2, SW3.3, SW3.4, SW3.5, SW3.6, SW4.0, SW4.1, SW4.2, SW4.3, SW4.4, SW4.5, SW4.6, SW5.0, SW5.1, SW5.2, SW5.3, SW5.4, SW5.5, SW5.6, SW6.0, SW6.1, SW6.2, SW6.3, SW6.4, SW6.5, SW6.6	49	TS-1187A-B-A-B
U1	1	MCP23S17-E/SS

Таблица 21. Перечень элементов платы PM_HMI-Keyboard

7.14. PM_HMI-Touch

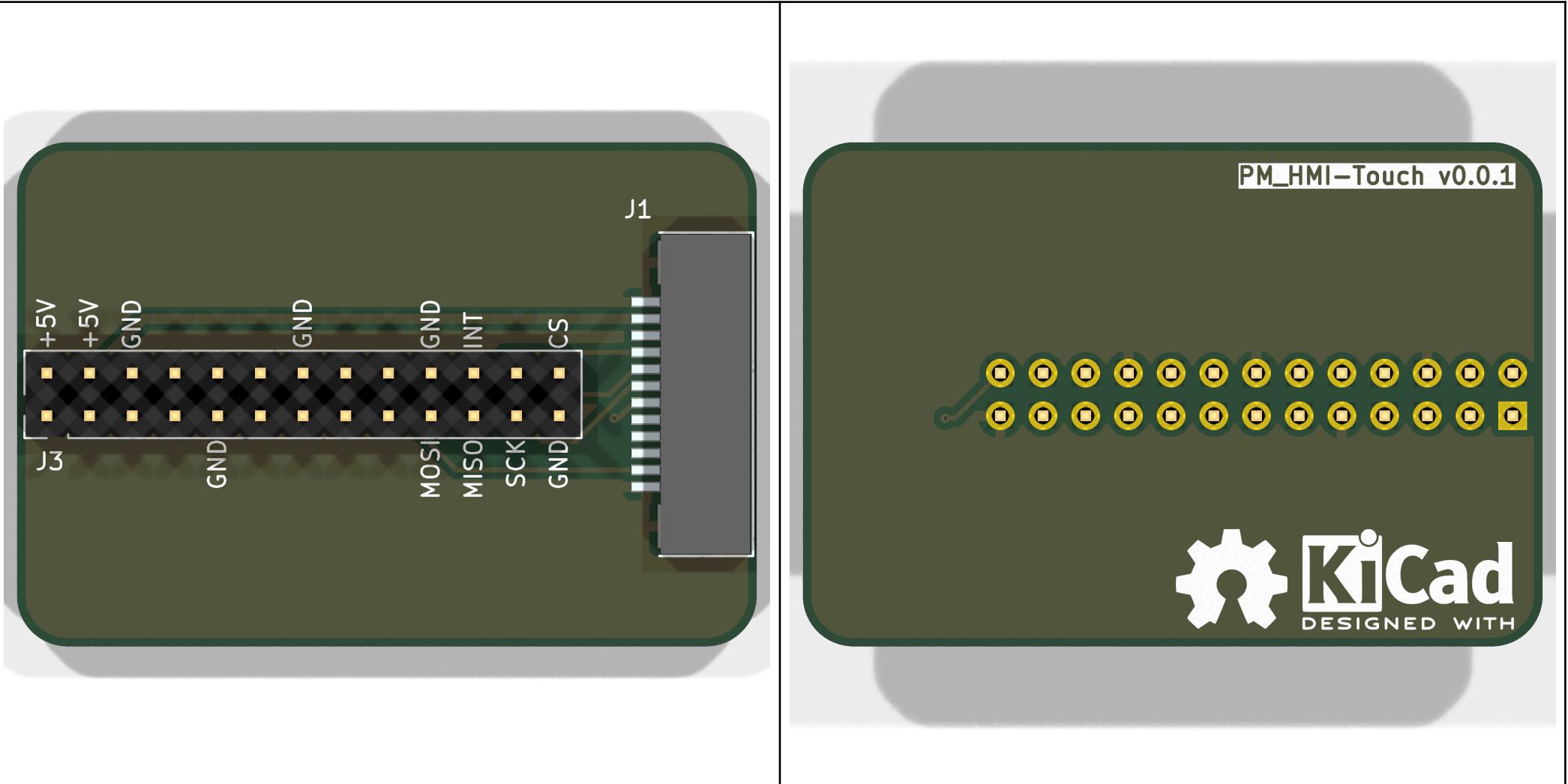


Таблица 22. Внешний вид платы PM_HMI-Touch

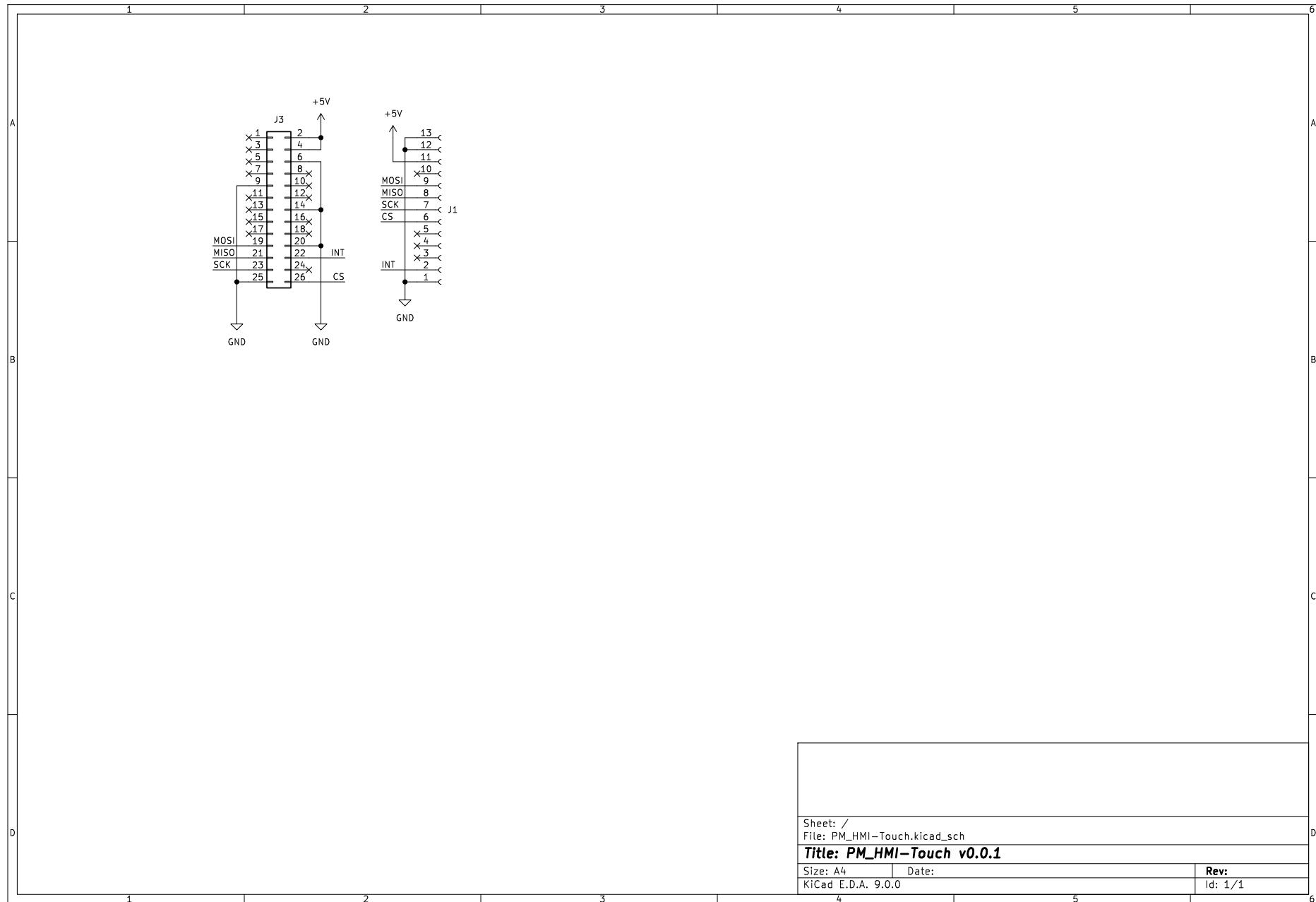
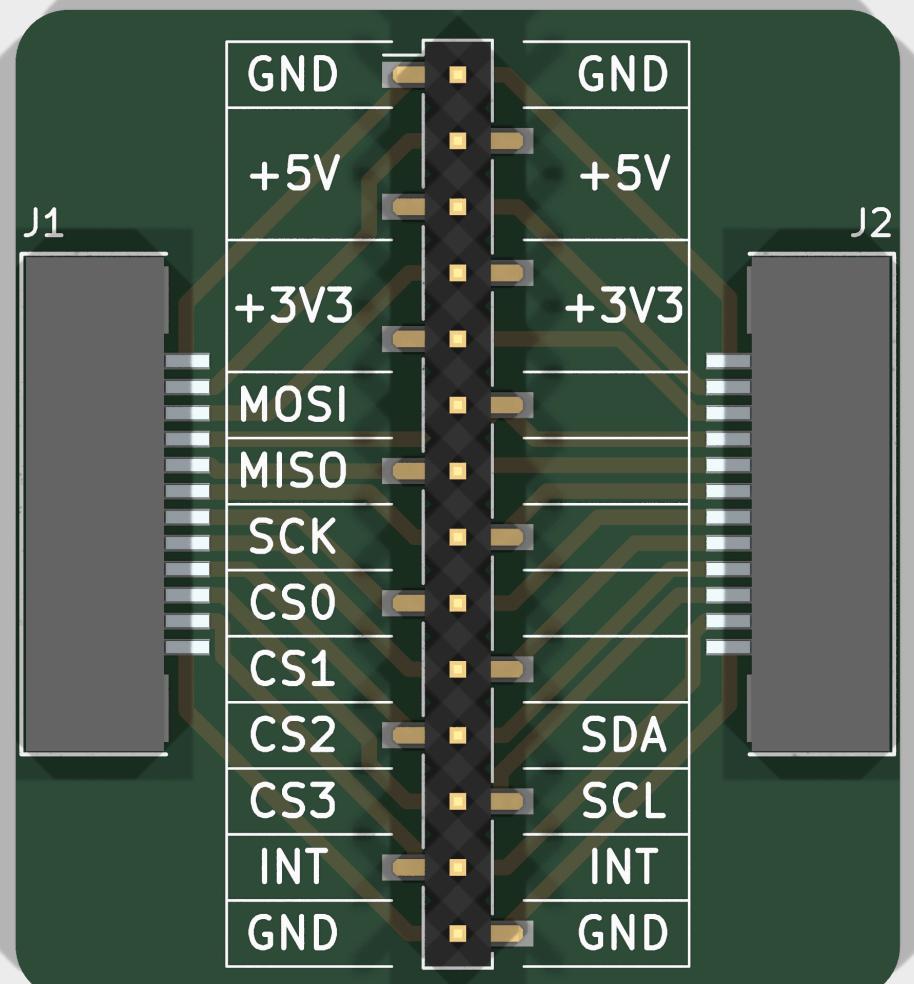


Рис. 19. Принципиальная электрическая схема платы PM_HMI-Touch

Обозначение	Количе- ство	part_ipn
J1	1	AFA07-S12FCC-00
J3	1	PinHeader_02x13_P2.54_THT_straight

Таблица 23. Перечень элементов платы PM_HMI-Touch

7.15. PM_DBG-FFC



PM_DBG-FFC v0.0.2

Таблица 24. Внешний вид платы PM_DBG-FFC

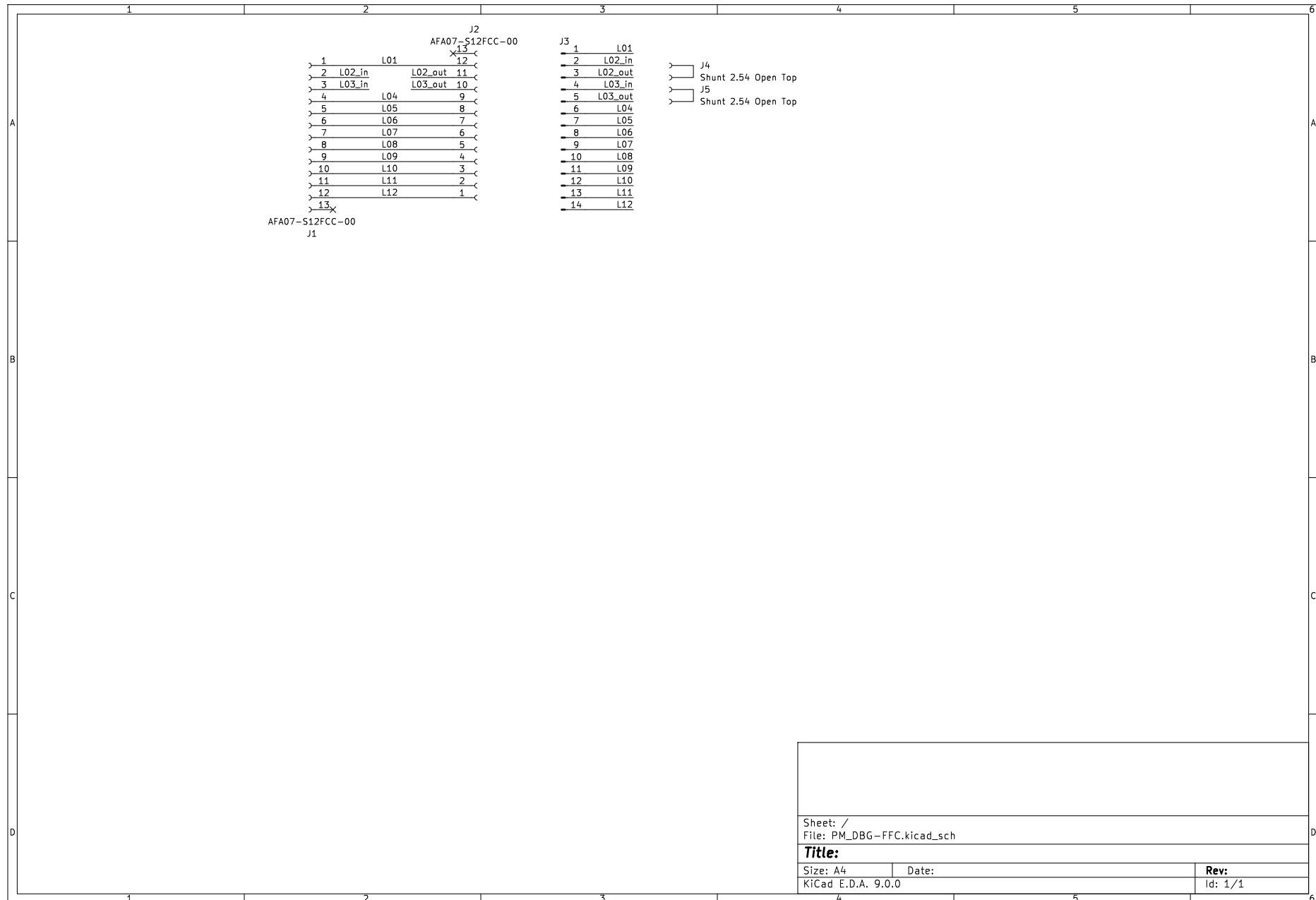


Рис. 20. Принципиальная электрическая схема платы PM_DBG-FFC

Обозначение	Количе- ство	part_ipn
J1, J2	2	AFA07-S12FCC-00
J3	1	PinHeader_01x14_P2.54_SMD_straight
J4, J5	2	Shunt 2.54 Open Top

Таблица 25. Перечень элементов платы PM_DBG-FFC

8. Комбинирование плат в модули

9. Габаритные размеры плат

На рисунке 21 показаны габаритные размеры и отверстия для крепления основных плат. Плату можно крепить к корпусу двумя способами:

- используя 4 отверстия диаметром 3.2 мм
- используя 4 выступа по краям сверху и снизу платы

На рисунке 22 показаны габаритные размеры плат светодиодов PM_LED-10 и PM_LED-18. Плата крепится к основной плате с помощью стоек диаметром 2 мм.

На рисунке 23 показаны габаритные размеры платы микроконтроллера PM MCU-ESP32_C3. Плата крепится к основной плате с помощью стоек диаметром 2 мм.

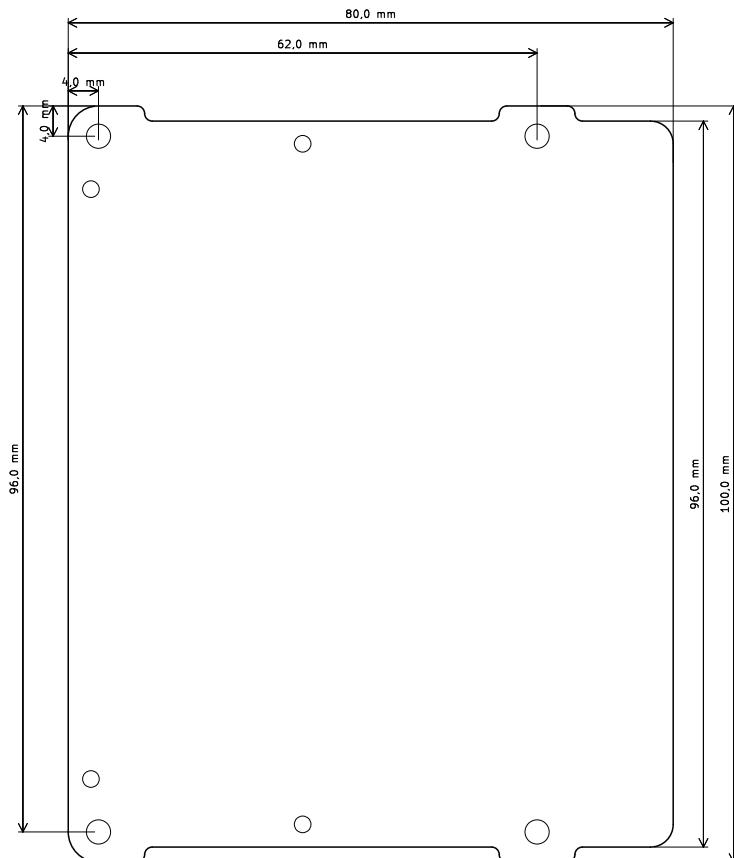


Рис. 21. Размеры основной печатной платы

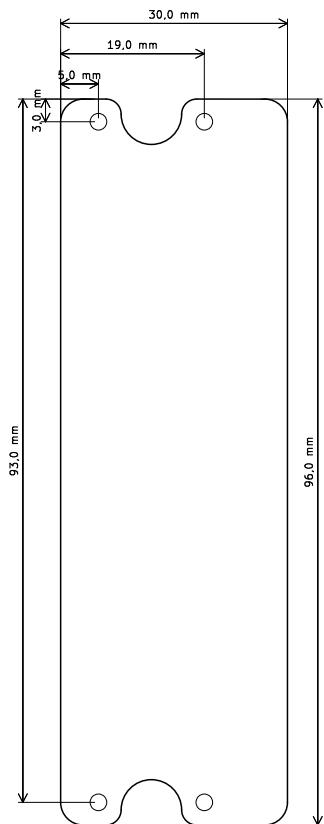


Рис. 22. Размеры платы светодиодов

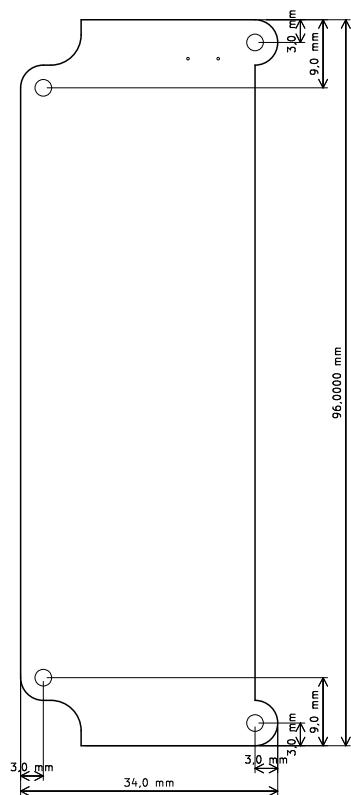


Рис. 23. Размеры платы микроконтроллера

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] Anant Kamath, «Signal and Power Isolation Considerations for Compact, Efficient Analog Input Modules», окт. 2020. [Онлайн]. Доступно на: <https://www.ti.com/lit/wp/slla529/slla529.pdf>
- [2] Anant Kamath, «How to use isolation to improve ESD, EFT and surge immunity in industrial systems», сен. 2017. [Онлайн]. Доступно на: <https://www.ti.com/lit/an/slyt725/slyt725.pdf>
- [3] Shanghai Chipanalog Microelectronics Co., «CA-IS398x Isolated Octal Industrial Digital Input», 2020. [Онлайн]. Доступно на: <https://e.chipanalog.com/Public/Uploads/uploadfile/files/20240611/CAIS398XdatasheetVersion1.09en.pdf>
- [4] Shanghai Chipanalog Microelectronics Co., «CA-IS309x 5kVRMS Isolated RS-485 Transceivers with Integrated DC-DC Converter», 2020. [Онлайн]. Доступно на: <https://e.chipanalog.com/Public/Uploads/uploadfile/files/20250305/CAIS30923098datasheetVersion1.13en20241216.pdf>
- [5] Texas Instruments, «Isolated Power Topologies for PLC I/O Modules and Other Low-Power Applications», ноя. 2022. [Онлайн]. Доступно на: <https://www.ti.com/lit/po/sloa327a/sloa327a.pdf>
- [6] Espressif Systems, «ESP32-C3-WROOM-02/02U», 2024. [Онлайн]. Доступно на: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3-wroom-02_datasheet_en.pdf
- [7] Analog Devices, «Precision Weigh Scale Design Using the AD7190 24-Bit Sigma-Delta ADC with Internal PGA». [Онлайн]. Доступно на: <https://www.analog.com/en/resources/reference-designs/circuits-from-the-lab/cn0102.html#rd-overview>