

Интерфейсы вычислительных систем.
Индивидуальное задание.
Вариант 1.2

1. Анализ поставленного задания и разработка структурной схемы

Задание: разработать машинку на радиоуправлении согласно следующим требованиям.

Требования:

1. Устройство должно быть реализовано на базе МК ESP32 (ESP32-D0WDR2-V3).
2. Привод движения представлен 2-я коллекторными двигателями.
3. Привод направления представлен сервоприводом.
4. Аккумулятор должен обеспечивать возможность устройства автономно работать в течение 20 минут.
5. В качестве устройства ввода используется камера.
6. Обеспечить работу устройства ввода по каналу WI-FI.
7. Приемник радиосигнала представлен схемой MX-RM-5V.

Таким образом, структурная схема будет представлена следующими блоками:

1. Блок управления
2. Блок ввода
3. Приемник радиосигнала
4. Блок питания
5. Блок движения
6. Блок направления

Блок управления: МК ESP32-D0WDQ6-V3, имеющий встроенный модуль WI-FI, а также поддерживающий большинство низкоскоростных интерфейсов.

Icons = 240 мА

$$V_{dd} = 3,3 \text{ В}$$

Блок ввода: Камера OV7670/5642, передающая изображение по I2S. Этот интерфейс поддерживается на произвольных пинах МК, выбранной нами серии.

$$I_{cons} = 22 \text{ мА}$$

$$V_{dd} = 2,5 \dots 3 \text{ В}$$

Приемник радиосигнала: приемник MX-RM-5V обеспечивает прием сигнала по радиоканалу, и транслирует оттуда данные, задействуя всего один GPIO МК, что важно, поскольку блок ввода (камера) задействует до 18 GPIO. Также следует подключить выход приемника через делитель напряжения для согласования с уровнем напряжения на МК.

$$I_{cons} = 4,5 \text{ мА}$$

$$V_{dd} = 5 \text{ В}$$

Блок движения: два коллекторных двигателя постоянного тока F130-13180 для управления движением вперед-назад. Управлять питанием двигателей мы будем напряжением с выхода МК через транзисторный мост в составе драйвера L298N включенный в цепь питания, считаем, что он входит в наш блок.

$$I_{cons} = 211 * 2 = 422 \text{ мА}$$

$$I_{cons} (L298N) = 36 \text{ мА}$$

$$V_{dd} = 5 \dots 6 \text{ В}$$

Блок направления: серводвигатель MS-1.3-9 с крутящим моментом 1,3 кг/см при напряжении 4.8В и диапазонов вращения 180°, обеспечивает выбор направления поворота с его удержанием при внешнем воздействии. Аналогично блоку движения в данном блоке в цепь управления мы включим один MOSFET транзистор, на который подадим ШИМ с МК.

$$I_{cons} = 500 \text{ мА}$$

$$V_{dd} = 5 \text{ В}$$

Блок питания: аккумулятор для поддержания автономной работы в течение 20 минут, напряжением не ниже 5В (максимальное напряжение питания, используемое в устройстве) А-BLOCK C60.10BP (никель-кадмиевый, перезаряжаемый), а также кнопка включения-выключения для подключения к зарядному устройству или же автономной работы, разъем для зарядного устройства. Согласно данным по току потребления устройств получим общее потребление, которое удовлетворяет автономности для 20 и более минут работы:

$$V_{dd} = 6 \text{ В}, W = 1000 \text{ мАч}$$

$$I_{cons_total} = 240 + 22 + 4,5 + 422 + 36 + 500 = 1224,5 \text{ мА}$$

$$T_p = W / I_{cons_total} = 1000 / 1224,5 = 0,81 \text{ ч} = 48 \text{ мин.}$$

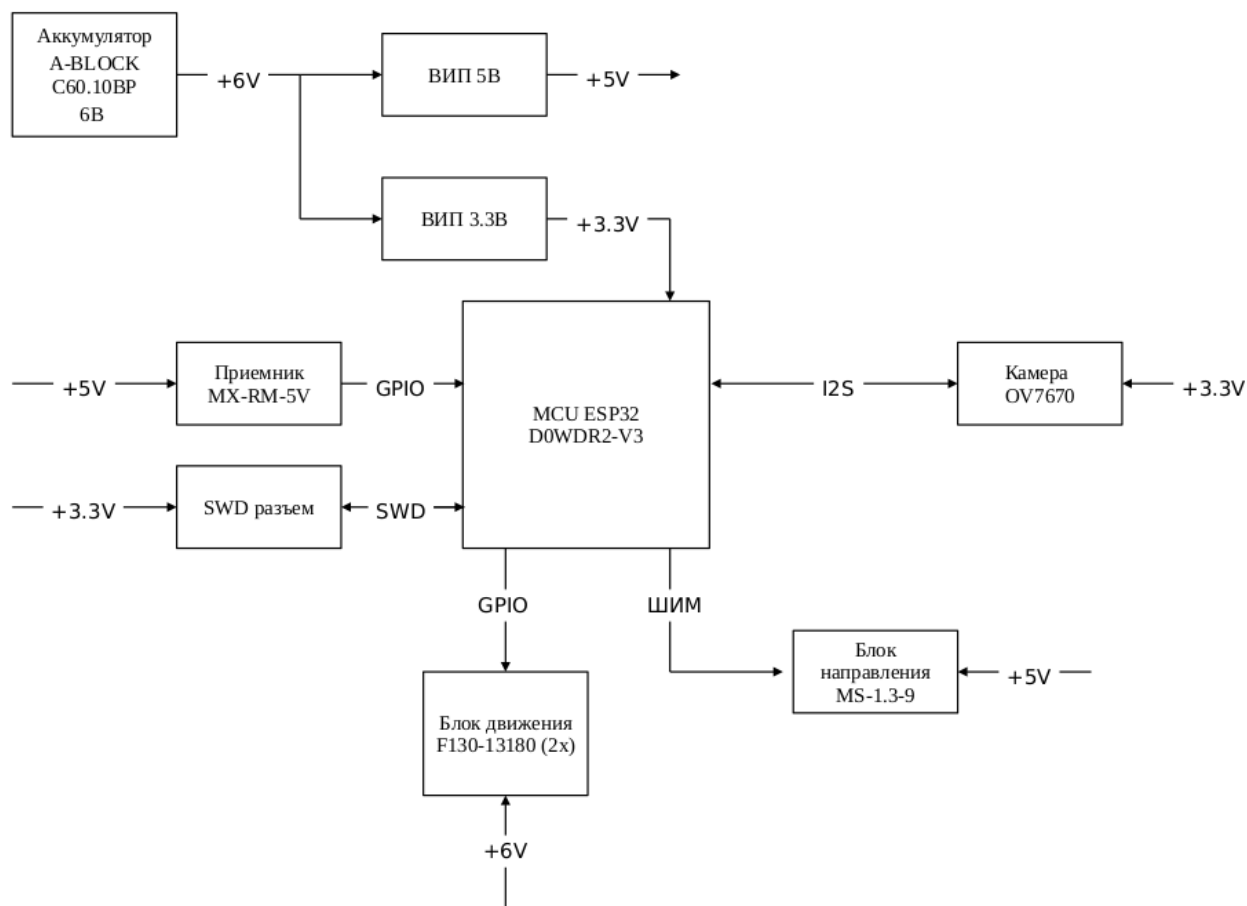


Рисунок 1. Предварительная структурная схема

2. Выбор электронной компонентной базы

Габариты всех элементов адекватно соотносятся с габаритами конечного устройства, не превышают его собственных возможных размеров (относительно аналогов).

Начнем выбор с разъемов и переключателей: разъем для подключения интерфейса SWD и разъем для внешнего зарядного устройства, для отключения автономного питания на время зарядки добавим переключатель.

В качестве разъёма для зарядного устройства выберем разъём питания гнездо REXANT 2,1 x 5,5 мм., для отключения питания используем переключатель движковый KLS7-SS-12F19-G5. Для SWD выберем разъем 1-825437-2 AMPMODU.



Рисунок 2. REXANT 2,1 x 5,5 мм



*Рисунок 3. Разъем 1-825437-2
AMPMODU*



*Рисунок 4. Переключатель KLS7-SS-
12F19-G5*

Теперь выберем активные элементы и микросхему.

Для блока управления, как уже оговаривалось, нами выбрана микросхема ESP32-D0WDQ6-V3, имеющая 49 pin-ов, поддерживающая работу интерфейсов I2S, SWD (JTAG), имеющая встроенный ШИМ контроллер, а также обладающая Wi-Fi модулем, необходимой для беспроводной передачи изображения. Спецификация микросхемы при описании подключения ссылается на включение модуля ESP32-S и ESP32-WROOM, подключим все элементы аналогично, и отдельно отметим, что мы также реализуем на плате PCB-антенну, будем использовать кварцевый генератор DSO321SR на 40МГц с рабочим напряжением

3.3 В, а в цепь VDD – GND включим супрессор PESD3V3L1BA во избежание КЗ и воздействия возможных резких перепадов.

В блоке приемника, схема MX-RM-5V обеспечивает прием сигнала по радиоканалу, и транслирует оттуда данные. Необходим резистивный делитель, обеспечивающий понижение напряжения с выхода этой схемы в 1,5 раза ($U_{in}/U_{out} = 5В / 3,3В = 1,5$), для этого используем два резистора номиналами 10кОм и 20кОм.

В блоке ввода используем модуль камеры OV7670/5642, конфигурируемой по I2S интерфейсу, и передающей по нему изображение. Интерфейс I2S поддерживается произвольными GPIO, для буферизации изображения будет использоваться внутренняя память МК, в связи с этим разрешение изображения будет пониженным. Так как разрешение камеры составляет 640 x 480, а размер одного пикселя в памяти составляет 1 байт, то для передачи изображения нам необходимо $640 * 480 = 307200 \text{ Б} \approx 300\text{кБ}$ ОЗУ, в то время как наш МК имеет встроенные 2МБ ОЗУ, чего достаточно для наших задач.

В блоке движения предлагается использовать два коллекторных двигателя постоянного тока F130-13180 для управления движением вперед-назад. Оба двигателя будут отвечать за перемещение в одном направлении, а его выбор будет обеспечиваться транзисторным Н-мостом, реализованном в схеме драйвера L298N. Эта схема поддерживает подключение сразу двух двигателей. Необходимо питание для логической части схемы 5В и для питания двигателей 6В, в схеме используем любые быстрые диоды ($U_{пр} \leq 1,2 \text{ В}$, $I_{пр} = 2 \text{ А}$).

В блоке направления будем использовать один N-MOSFET транзистор, для этих целей нам подойдет АО3480А N-MOSFET 30В, пороговое напряжение которого составляет 1.5В, а максимальный допустимый ток сток-исток 5,7А (при нормальных условиях эксплуатации, на высоких температурах — 4,7А). Включим его в цепь управления сервоприводом MS-1.3-9, подключив к затвору выход GPIO, поддерживающий ШИМ. В этом случае допустимый ток сток-исток будет взят с запасом в 11,4 раз, поскольку потребляемый ток сервопривода составляет 0,5мА, а пороговое напряжение — с запасом в 2 раза (3,3В с выхода МК на затвор).

Как уже было указано, для подключения в блоке питания аккумулятора A-BLOCK C60.10BP используем ранее выбранные разъем и подвижный переключатель.

В блоке питания необходимо применить ВИП для формирования напряжения 3,3В для управляющей части схемы. Так как по заданию требуется

импульсный ВИП, а потребление управляющей части схемы не более 240мА, выбран DC/DC преобразователь TPS54202DDCR.

Для ВИПа 5В воспользуемся линейным стабилизатором LM317 — ток потребления в цепи питания 5В не превысит 1.1А (два коллекторных двигателя и приемник) при допустимом значении выходного тока 2,2 А.

Тогда, дополненная структурная схема примет следующий вид:

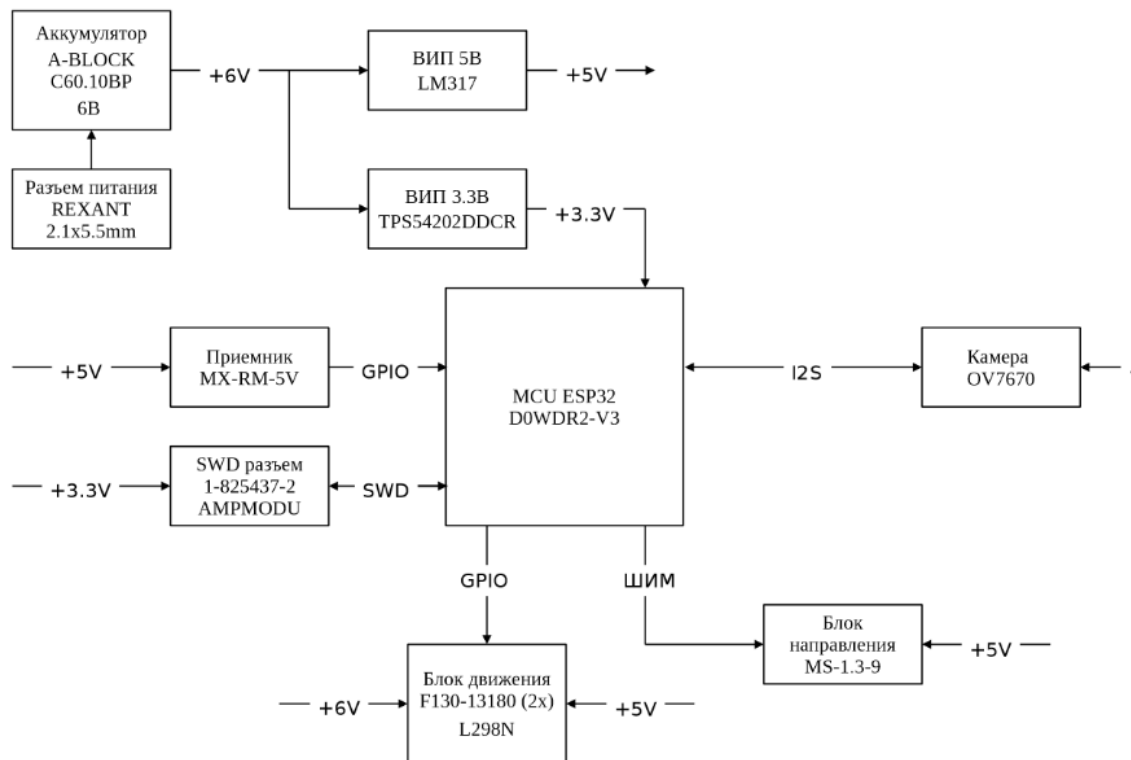


Рисунок 5. Уточненная структурная схема

3. Разработка схемы эклектической принципиальной.

На данном этапе уточняется выбранный перечень ЭКБ и далее поблочно разрабатывается схема электрическая принципиальная (схема ЭЗ).

Начнем с разбора необходимых для подключения периферии контактов МК, проверим, нет ли конфликтов подключения обвязки блока управления и других блоков, а также отсутствие конфликтов между всею другими блоками. Сперва подключим всё согласно спецификации, на ESP32-S – кварцевый генератор (выбран нами ранее), антенна (номиналы реактивных элементов уже подобраны под частоту Wi-Fi сигнала 2,4 ГГц), реактивные элементы. Затем подключим SWD и конфигурационные пины для выбора режима работы МК:

IO0 low и IO2 low – загрузка прошивки.

IO0 high и IO2 any – использование загруженной прошивки.

(подключим GPIO0 через кнопку к 3,3 В, поставим джампер на GND).

IO5 high и MTDO low – SDIO fall-in/rise-out

IO5 high и MTDO high – SDIO rise-in/rise-out

(подтянем IO5 к +3,3 В)

Также добавим два джампера в цепь EN – один для возможности установки значения с SWD-разъема, другой – для возможности перезагрузки при отладке.

Далее из оставшихся пинов выберем любые свободные не output-only для подключения драйвера двигателей и сервопривода, поскольку все GPIO поддерживают ШИМ. Затем свободные output-only пины подключим к выходам камеры, работающим только на запись (VSYNC и HREF), а остальные подключим произвольно, так как I2S поддерживается на всех выводах.

Таблица 1. Подключение устройств к МК

ESP32 pins	Connected Device	Device pins
MTDI	SWD	MTDI
MTCK		MTCK
MTMS		MTMS
MTDO		MTDO
GPIO22	OV7670 (camera)	SIO C
GPIO21		SIO D
VDET_1 (GPIO34, input-only)		VSYNC (output-only)
VDET_2 (GPIO35, input-only)		HREF (output-only)
32K_XN (GPIO33)		PCLK
32K_XP (GPIO32)		XCLK
GPIO4		D7
SD_DATA_0 (GPIO7)		D6
SD_DATA_1 (GPIO8)		D5
SD_DATA_2 (GPIO9)		D4
GPIO16		D3
GPIO17		D2
GPIO18		D1
GPIO19		D0
GPIO23	L298N (driver)	IN1
GPIO25		IN2
GPIO23		IN3
GPIO25		IN4
GPIO26	MS-1.3-9 (servo motor)	CNTRL
GPIO27	MX-RM-5V (radio-reciever)	OUT
CHIP_PU	Конфигурационные пины	+3.3V, кнопка на GND (+джампер)
GPIO0		+3.3V, джампер на GND
GPIO2		GND
GPIO5		+3.3V

Таким образом, с учетом подключений, описанных в табл. 1, а также согласно спецификации, первичная обвязка МК выглядит как представлено на рисунке 6.

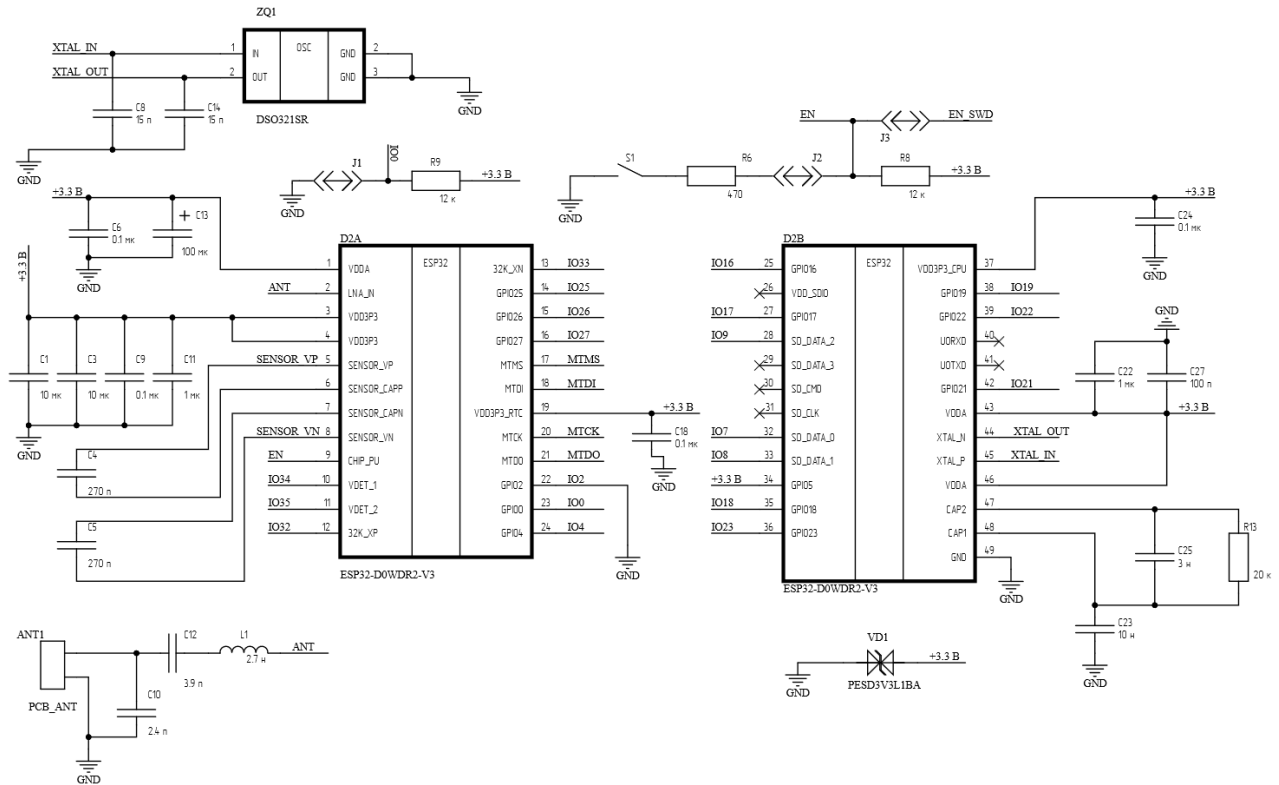


Рисунок 6. Первичная обвязка МК

Далее рассчитаем ВИПы.

ВИП +3.3 В (TPS54202):

$$U_{ref} = 0,596 \text{ В}$$

$$R_{11} = 100 \text{ кОм}$$

$$U_{in} = 6 \text{ В}$$

$$U_{out} = 3,3 \text{ В}$$

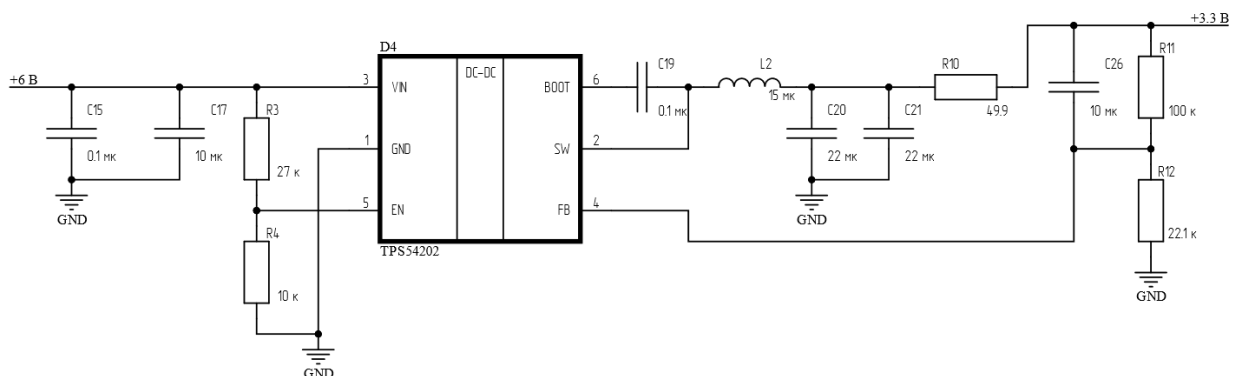


Рисунок 7. ВИП +3,3 В (TPS54202)

$$R_{12} = \frac{R_{11} \cdot U_{ref}}{U_{out} - U_{ref}} = \frac{100 \cdot 10^3 \cdot 0,596}{3,3 - 0,596} \approx 21.1 \text{ кОм} \text{ (ближайший из номиналов E96)}$$

Остальные компоненты выберем согласно пользовательскому сопровождению для выходного напряжения 3,3 В.

При подключении выбранных нами индуктивностей и емкостей спецификация гарантирует нам, что колебания выходного напряжения относительно заданного уровня не превысят 30мВ, что удовлетворяет требованиям питания МК и камеры (< 80 мВ и < 100 мВ соответственно).

ВИП +5 В (LM317):

$U_{ref} = 1,25 \text{ В}$

$R1 = 240 \text{ Ом}$

$U_{in} = 6 \text{ В}$

$U_{out} = 5 \text{ В}$

$I_{adj} = 100 \text{ мкА}$

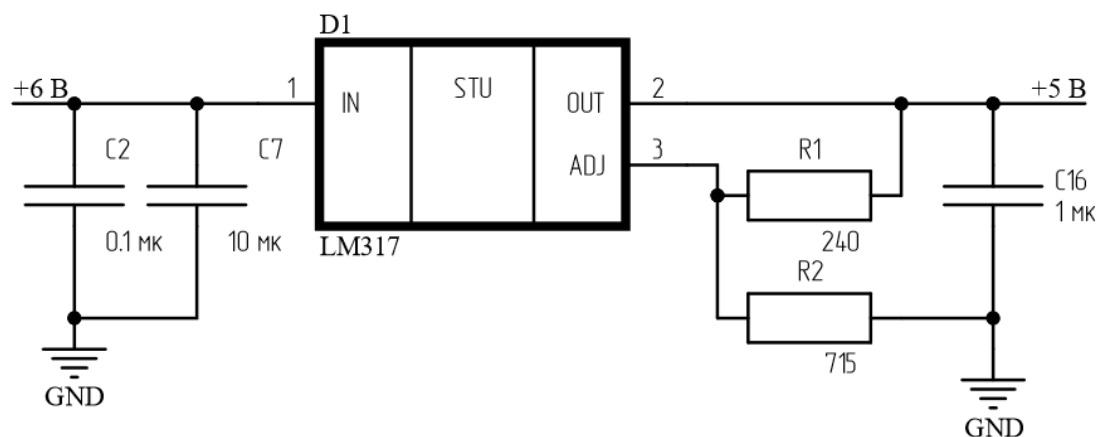


Рисунок 8. ВИП +5 В (LM317)

$$U_{out} = U_{ref} \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{adj} * R2$$

Тогда согласно расчетам, ближайший из номиналов E96 для R2 составит $R2 = 715 \text{ Ом}$

Подключение камеры и SWD разъема уже было разобрано выше, их схема приведена на рисунке 9.

Подключение сервопривода будем производить через транзистор, согласно подбору, приведенному в части 2. Также включим ограничивающий резистор для ограничения тока на затворе. Подключение коллекторных двигателей через драйверы будем производить с помощью L298N согласно схеме, приведенной в спецификации. Логическая часть схемы будет питаться от источника +5 В, в то время как питание двигателей будет поддерживаться источником +6 В. В таком случае схема будет выглядеть так, как приведено на рисунке 10.

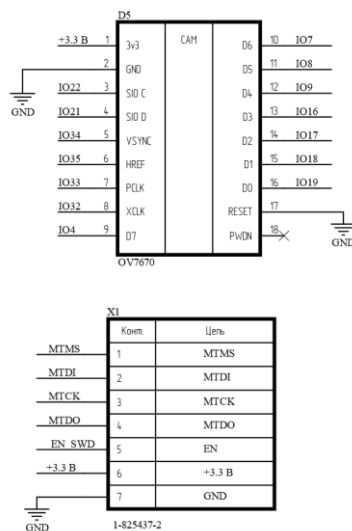


Рисунок 9. Подключение OV7670 и SWD

Аккумулятор подключим через подвижный переключатель, для выбора режима зарядки (устройство отключено) и режима питания устройства (устройство включено). Включение приведено на рисунке 11.

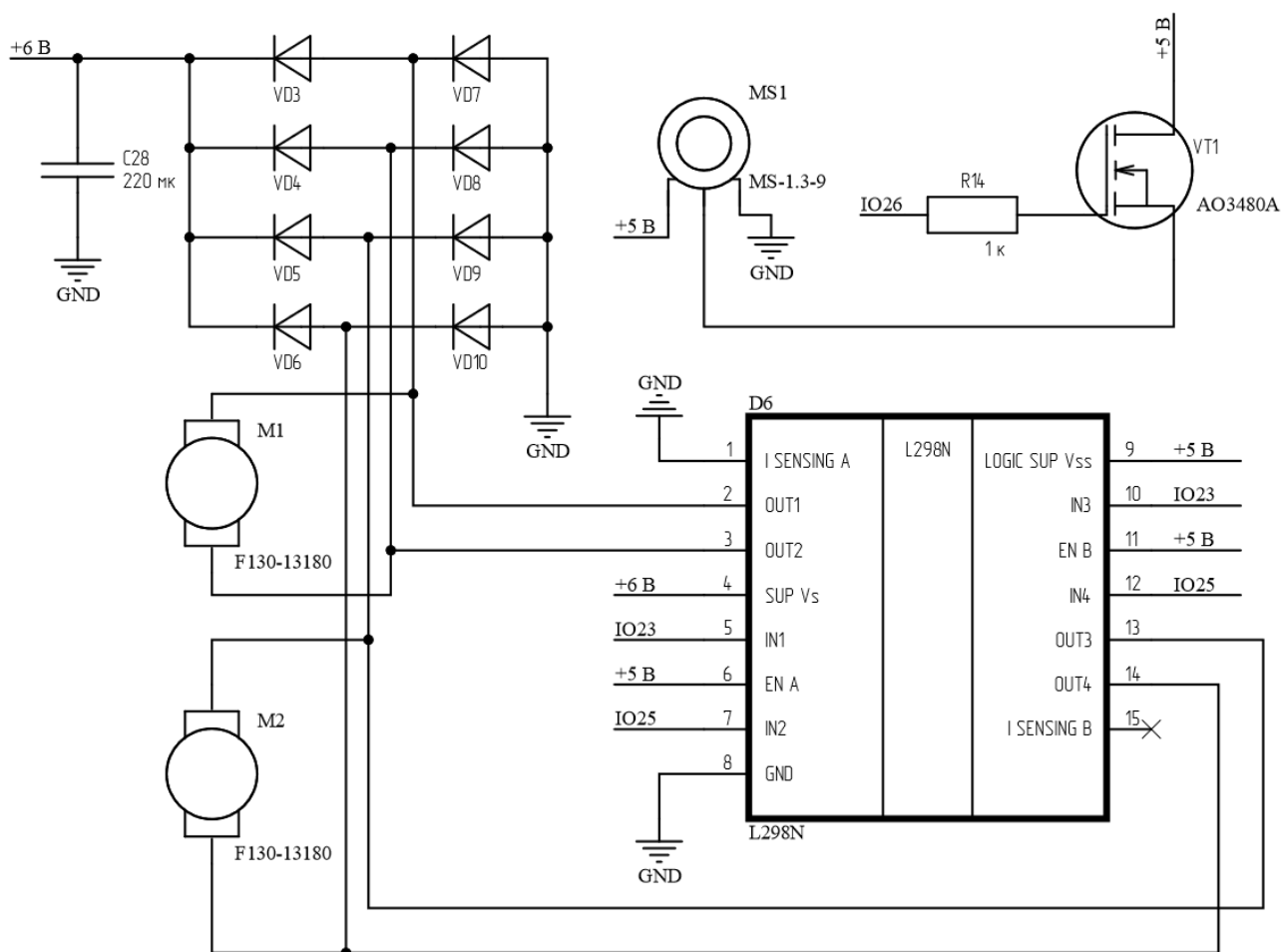


Рисунок 10. Подключение MS-1.3-9 и коллект. двиг. через L298N

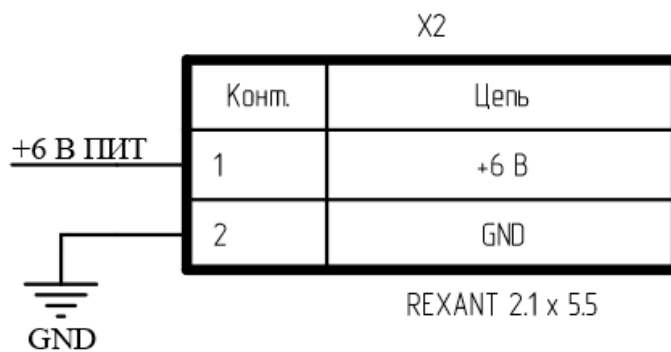
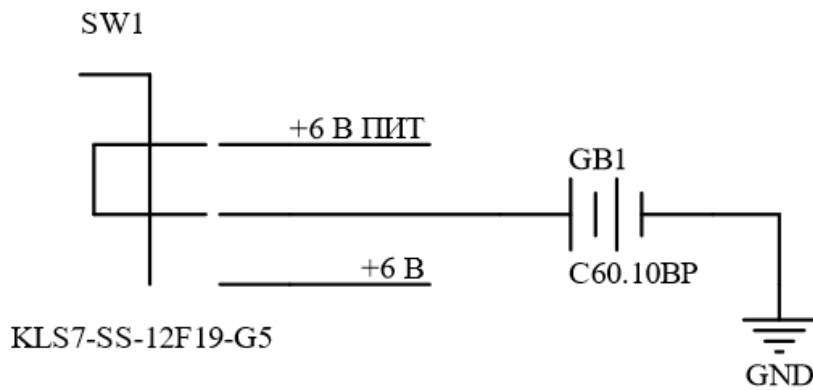


Рисунок 11. Подключение аккумулятора

Также не составит труда подключение модуля с радио-ресивером для дистанционного управления, поскольку нам лишь нужно запитать его от +5В и считать сигнал через делитель на одном из выбранных ранее GPIO. Номиналы для делителя подобраны в части 2 так, чтобы $U_{IO27} = U_{пит} * R_{16} / (R_{15} + R_{16})$, тогда напряжение составит $U_{IO27} = 5 * 20 * 10^3 / ((10 + 20) * 10^3) = 3,3$ В. Схема приведена на рисунке 12.

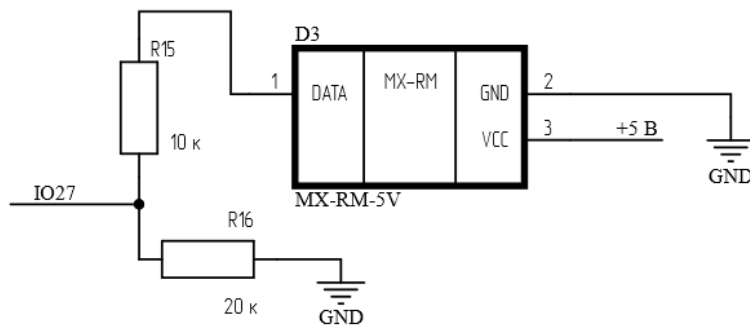


Рисунок 12. Подключение MX-RM-5V