

Основы электроники

Домашнее задание №15

Евгений Зеленин

29 октября 2024 г.

1. Схема подключения STM32f103c8t6 к периферии

Условия задачи. Реализовать схему подключения четырех тактовых кнопок, *microUSB* разъема и интерфейса *SWD* к *stm32f103c8t6*. Разъемом входящего питания будет являться *microUSB*, с него приходящие 5 Вольт также обеспечить приемлемой защитой от ESD, преобразовать в подходящее при помощи любого подходящего преобразователя (LDO или DC-DC, без разницы). Для задачи выполнить принципиальную схему в KiCAD, приложить описание проведенной работы и обоснование выбранных компонентов в формате PDF. Выбрать (создать) компоненты, развести плату, приложить чертежи в PDF с трассировкой и скрин с 3D видом верх (низ). Пояснительные чертежи размеров, надписи и прочая пользовательская информация выполняются на слоях *User.Drawings* и *User.Comments*.

Общая схема периферийных модулей

На рисунке 1 изображено подключение микроконтроллера STM32F103C8T6 к периферии. Для разработки этой схемы использованы рекомендации производителей и типовые решения из datasheet на электронные компоненты. Приступим к описанию и обоснованию выбора компонентов периферийных модулей.

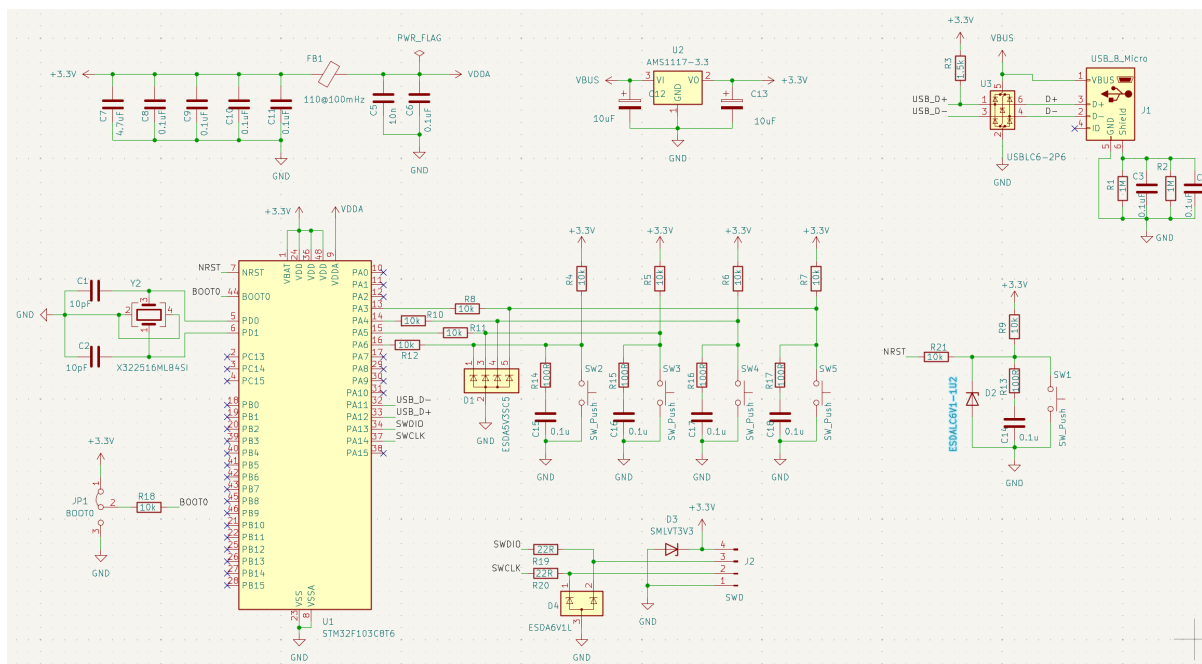


Рис. 1: Схема периферии микроконтроллера

Выбор и подключение кварцевого резонатора

В соответствии с Datasheet, максимальная частота кварцевого резонатора для данного МК - 16МГц, номинал согласующих конденсаторов должен находиться в пределах 5-25 пФ (Рисунок 2). Под эти требования подходит кварц X322516MLB4SI ($C_L = 9\text{ пФ}$, $C_S = 4\text{ пФ}$, $ESR = 60\text{ Ом}$). Номинал конденсаторов $C_{1,2} = 2 \cdot (9 - 4) = 10\text{ пФ}$. Требуется использовать сопротивление R_{ext} только в случаях, когда допустимая мощность рассеивания кристаллом ниже, чем мощность, которую может обеспечить микроконтроллер (Основное назначение R_{ext} в исключении избыточной генерации). Во всех остальных случаях, это сопротивление должно отсутствовать (рисунок 3).

Table 22. HSE 4-16 MHz oscillator characteristics^{(1) (2)}

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
f_{OSC_IN}	Oscillator frequency	-	4	8	16	MHz
R_F	Feedback resistor	-	-	200	-	k Ω
i_2	HSE driving current	$V_{DD} = 3.3\text{ V}$, $V_{IN} = V_{SS}$ with 30 pF load	-	-	1	mA
g_m	Oscillator transconductance	Startup	25	-	-	mA/V
$t_{SU(HSE)}^{(3)}$	Startup time	V_{DD} is stabilized	-	2	-	ms

1. Resonator characteristics given by the crystal/ceramic resonator manufacturer.
2. Evaluated by characterization, not tested in production, unless otherwise specified.
3. $t_{SU(HSE)}$ is the startup time measured from the moment it is enabled (by software) to a stabilized 8 MHz oscillation is reached. This value is measured for a standard crystal resonator and it can vary significantly with the crystal manufacturer

For C_{L1} and C_{L2} , it is recommended to use high-quality external ceramic capacitors in the 5 pF to 25 pF range (typ.), designed for high-frequency applications, and selected to match

The following equation gives the expression of C_L :

$$C_L = \frac{C_{L1} \times C_{L2}}{C_{L1} + C_{L2}} + C_s$$

AN2867 Rev 21

Рис. 2: Требования к кварцевому резонатору и согласующим конденсаторам

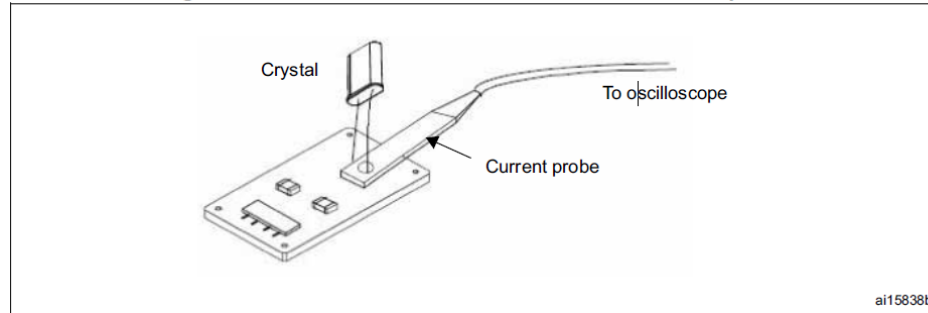
В соответствии с рекомендацией AN2867 (Рисунок 3), для расчета R_{ext} требуется использовать токовый пробник для осциллографа и подстроечный резистор для выбора оптимального значения "Drive Level". В виду отсутствия возможностей провести такие испытания будем использовать типовое включение, без использования R_{ext} , а углубляться в дальнейшие изыскания лишь в случае нарушения генерации.

3.5.1 Calculating the drive level

The drive level is the power dissipated in the crystal. It must be limited, otherwise the quartz crystal can fail because of excessive mechanical vibrations. The maximum drive level is specified by the crystal manufacturer, usually in mW. Exceeding this value can lead to crystal damage, or to a shorter device lifetime.

The drive level is given by the formula: $DL = ESR \times I_Q^2$, 1

Figure 7. Current drive measurement with a current probe



3.5.3 Calculating the external resistor

The role of this resistor is to limit the drive level of the crystal. With C_{L2} , it forms a low-pass filter that forces the oscillator to start at the fundamental frequency and not at overtones (prevents the oscillator from vibrating at the odd harmonics of the fundamental frequency). If the power dissipated in the crystal is higher than the value specified by the crystal manufacturer, the external resistor R_{Ext} becomes mandatory to avoid overdriving the crystal. If the power dissipated in the selected quartz is lower than the drive level specified by the crystal manufacturer, the insertion of R_{Ext} is not recommended and its value is then 0 Ω .

An initial estimation of R_{Ext} is obtained by considering the voltage divider formed by R_{Ext} and C_{L2} . Thus, the value of R_{Ext} is equal to the reactance of C_{L2} .

Therefore, $R_{Ext} = 1 / (2 \pi F C_{L2})$, and so, with an oscillation frequency of 8 MHz and $C_{L2} = 15$ pF, we have $R_{Ext} = 1326 \Omega$.

The recommended way of optimizing R_{Ext} is to first choose C_{L1} and C_{L2} as explained before, and to connect a potentiometer in the place of R_{Ext} . The potentiometer should be initially set to be approximately equal to the capacitive reactance of C_{L2} . It should then be adjusted as required, until an acceptable output and crystal drive level are obtained.

Рис. 3: Требования к выбору R_{ext} , AN2867

Цепь питания

В качестве источника питания будем использовать Micro-USB разъем. Корпус разъема подключен к земле платы через развязывающий конденсатор и резистор 1М.

Для питания МК требуется преобразовать входящие 5в в 3.3в, для этого будем использовать LDO стабилизатор AMS1117-3.3. Для фильтрации импульсных помех к каждому выводу питания МК подключен фильтрующий конденсатор, расположение максимально близкое к выводам. Аналоговое питание VDDA фильтруется с помощью ферритовой бусины FB_1 рассчитанной на 100МГц (ожидаемая частота пульсаций). Схема включения LDO типовая.

Подключение кнопок

Чтобы подключить кнопки к МК, для защиты цепей от статики, воспользуемся рекомендациями из документа AN5612 (рисунок 4). Так как у нас четыре кнопки, воспользуемся сборкой из четырех TVS диодов ESDA5V3SC5.

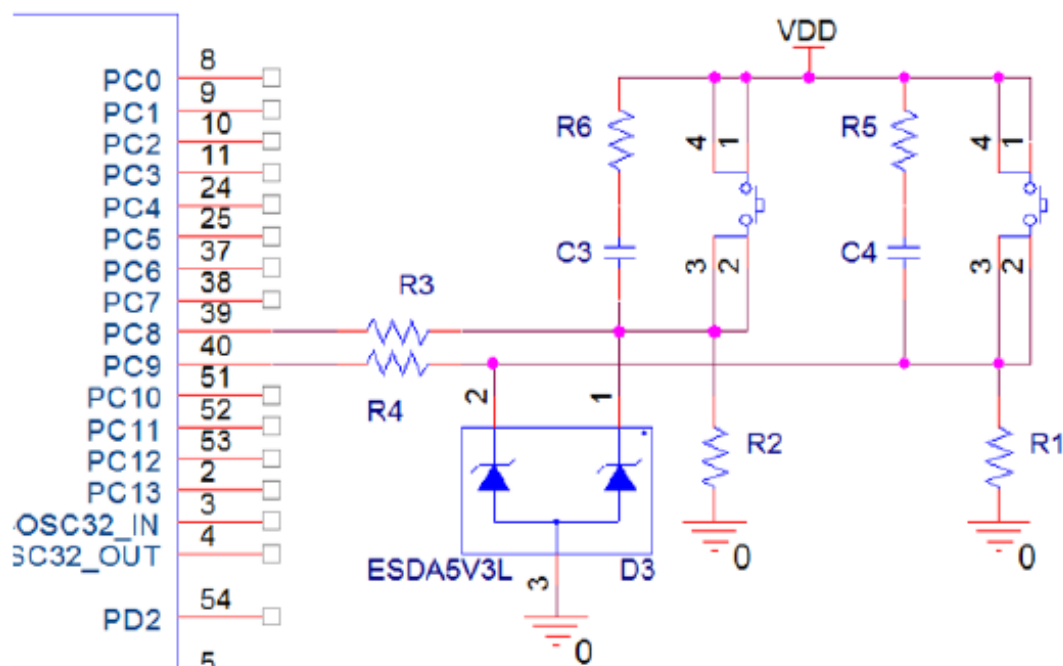


Рис. 4: Рекомендованное подключение кнопок, AN5612

Подключение USB порта

Для защиты цепей USB порта в режиме Full Speed, используем микросхему USBLC6-2P6. Также, для полноценной работы, в соответствии с рекомендацией AN4879, требуется притянуть порт D+ к 3.3в. через резистор 1.5кОм (Рисунок 5).

Figure 10. USB FS upstream port without embedded pull-up resistor in bus-powered applications

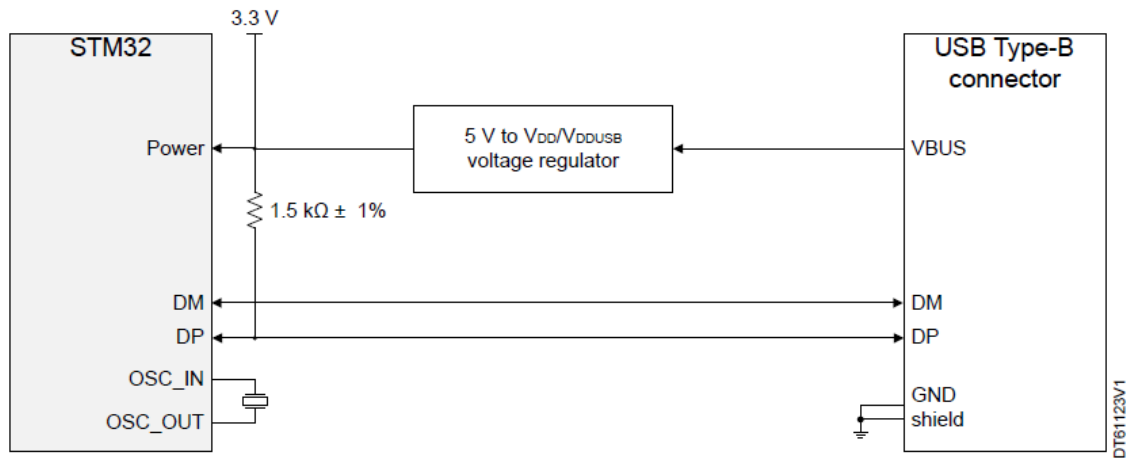


Figure 31. USB 2.0 full-speed port ESD protection

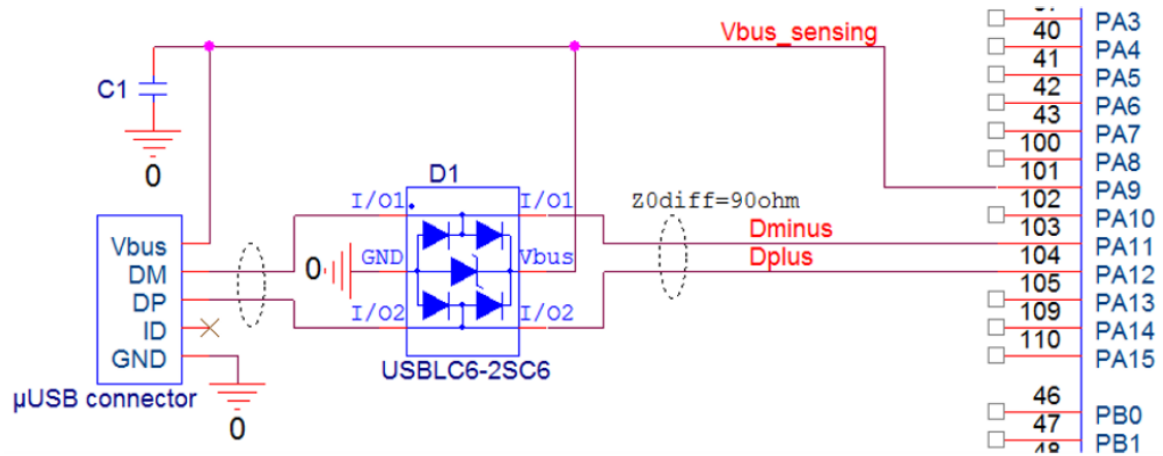


Рис. 5: Подключение USB-порта, рекомендации AN4879, AN5612

Подключение отладочного интерфейса SWD

Также, как и в предыдущих случаях, воспользуемся рекомендациями AN5612, только с небольшими поправками: для отладки достаточно использовать два порта SWDIO и SWCLK, а NRST вынесем на отдельную кнопку. Также, используем токоограничительные резисторы $R_{19,20}$ на 22 Ом (Типовое включение SWD в Nucleo). В таком случае, достаточно применить сборку из TVS диодов ESDA6V1L для портов SWDIO и SWCLK, а для защиты питания 3.3в использовать SMLVT3V3. Подключение кнопки сброс ничем не отличается от подключения остальных кнопок, за исключением того что вместо сборки из 4-ех TVS диодов используется один ESDALC6V1-1U2.

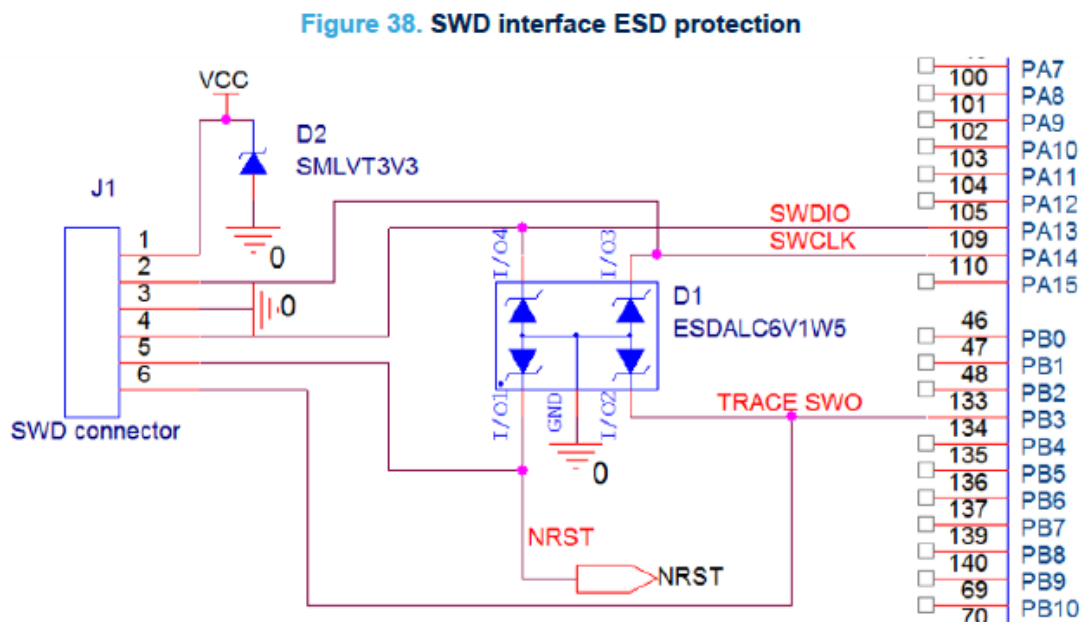


Рис. 6: Подключение SWD-интерфейса, AN5612

2. Проект печатной платы в KiCAD

Условия задачи. Выбрать(создать) компоненты, развести плату, приложить чертежи в PDF с трассировкой и скрин с 3D видом верх(низ). Пояснительные чертежи размеров, надписи и прочая пользовательская информация выполняются на слоях *User.Drawings* и *User.Comments*.

Приступим к трассировке печатной платы. Вначале, разместим кварц и выполним его обвязку. Для этого, воспользуемся рекомендациями производителей (Рисунки 7, 8).

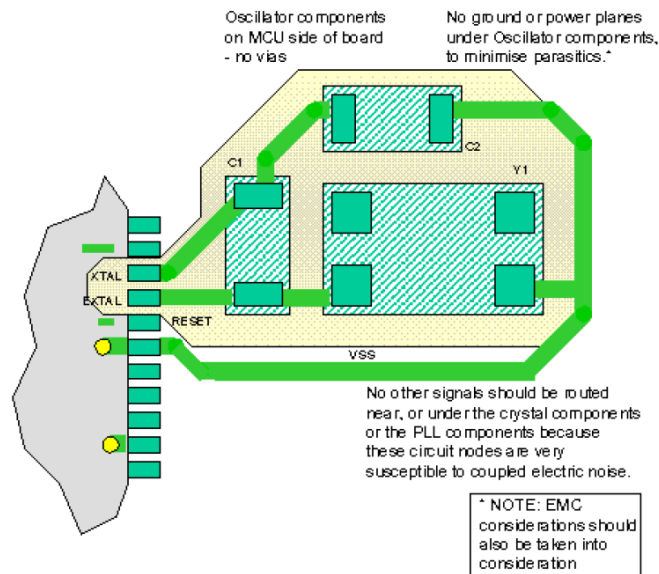


Figure 5. Recommended PCB Layout

The following list contains highly recommended guidelines for crystal circuit design and layout. Failure to meet these guidelines can result in unstable crystal operation or failed crystal start up.

- Parasitic capacitance on EXTAL is absolutely critical—probably the most critical of any layout issue. The XTAL pin is not as sensitive.
- Consider all routing from the EXTAL pin through the resonator and the blocking cap to the actual connection to VSS.
- To minimize capacitance, do not put a ground plane or power plane under the crystal, EXTAL pin, or associated routing.
- If you must place a ground plane layer under the EXTAL pin, minimize capacitance by placing the layer at a minimum distance of $3 \times$ the ball pitch space.
- The clock input circuitry is sensitive to noise, so it is mandatory to have excellent supply routing and decoupling.
- Bypass (decouple) the power supplies of all i.MX processors as close to the processor as possible. Use one decoupling capacitor per power supply pair (for example, VDD/VSS or VDDX/VSSX). To offer better performances over a broader spectrum, it is sometimes helpful to use two capacitors with a ratio of about 100.
- Do not cross sensitive signals *on any layer*. If you must cross a sensitive signal with another signal, cross at right angles and on the most distant layer possible.
- Do not cross the oscillator signals with any other signal on any level.
- Mount the oscillator components as close as possible to the i.MX processor.

Рис. 7: Рекомендации NXP

В соответствии с рекомендациями NXP (Рисунок 7), под кристаллом должен отсутствовать

земляной полигон, цепи питания, сигнальные линии. Соединение с землей должно производиться в одной точке.

Figure 13. Recommended layout for an oscillator circuit

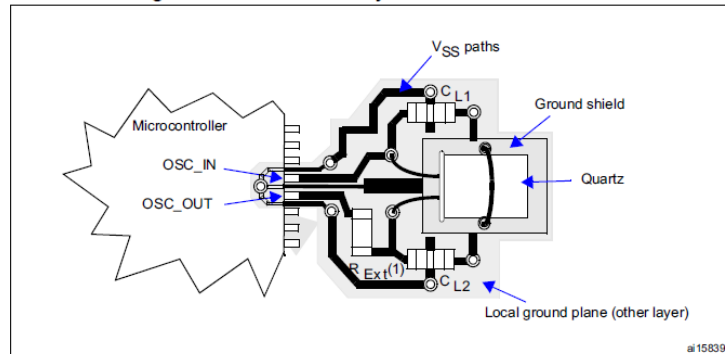


Figure 14. PCB with separated GND plane and guard ring around the oscillator

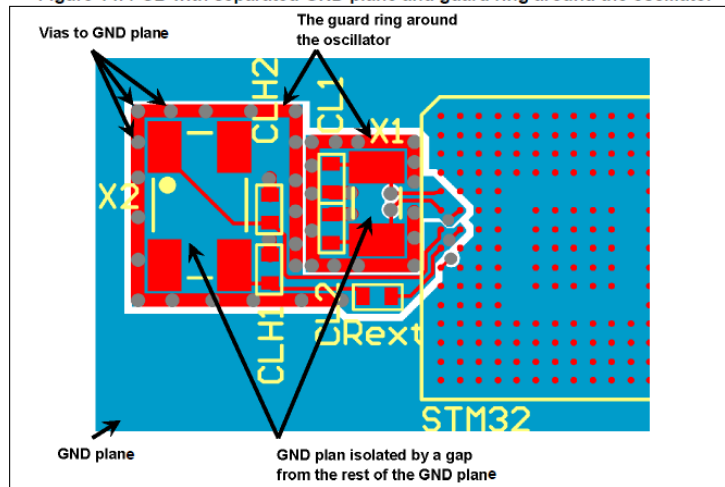


Figure 15. GND plane

GND plan isolated by a gap from the rest of the GND plane

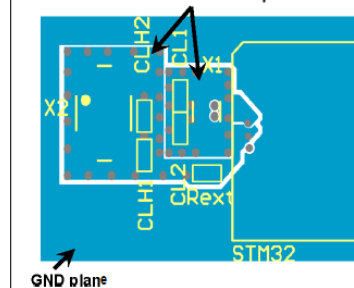


Figure 16. Signals around the oscillator

Signals kept away from oscillator zone Protected crystals

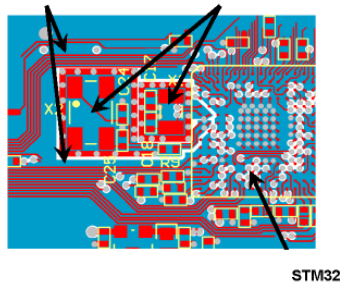


Рис. 8: Рекомендации STM

Как видно из рисунка 8, рекомендуется делать отдельный земляной полигон под кварцем, нагрузочными конденсаторами, дорожками. Также, рекомендуется изолировать участок с кварцем от остальной части платы с помощью дорожки подключенной к земляному полигону. Подключение земляного полигона к основной земле осуществляется в одной точке. Так как этот вариант наиболее сложный, в учебных целях выполним трассировку таким образом. На рисунке 9 показан скриншот платы.

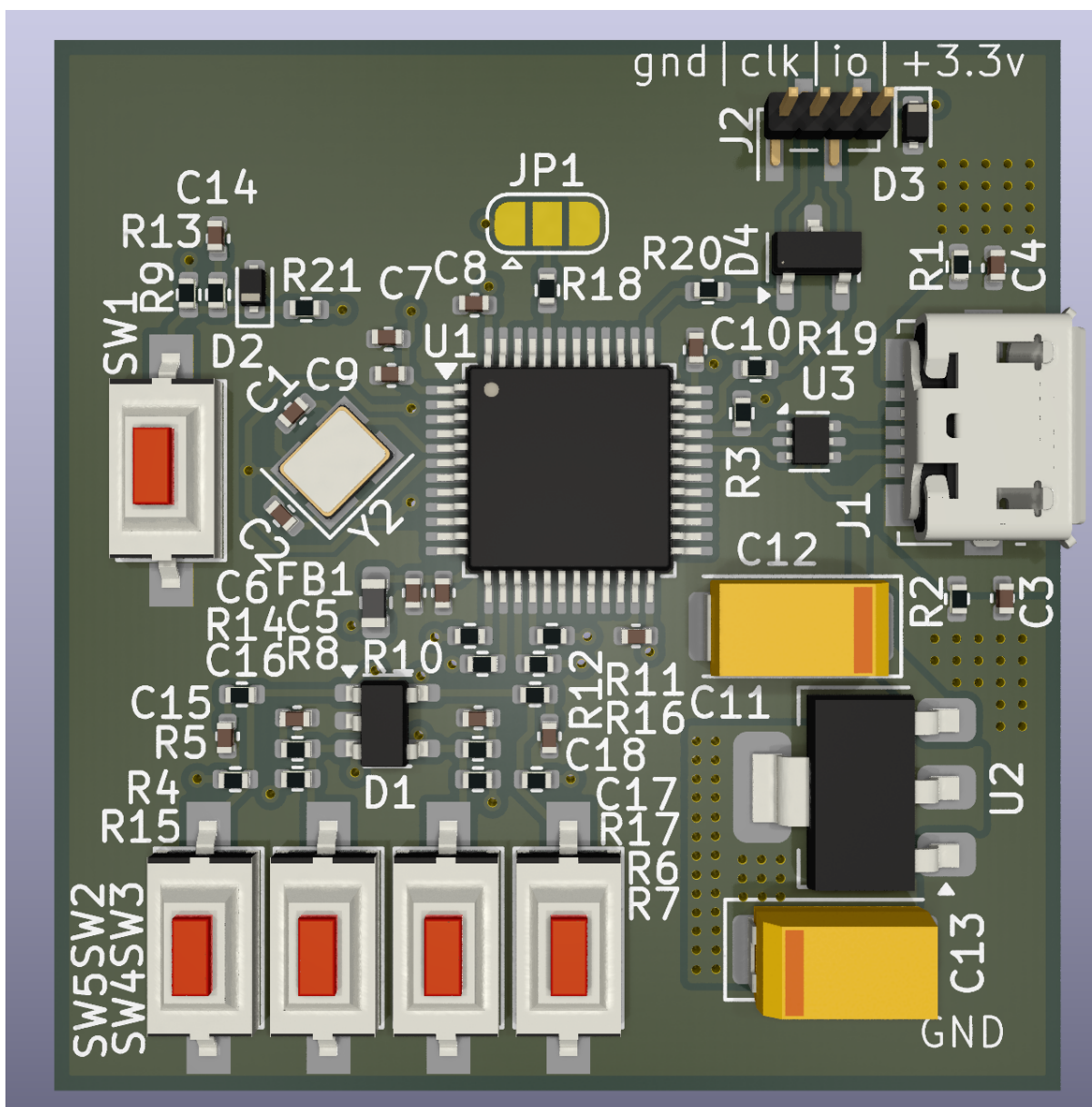


Рис. 10: 3D-вид - верх

Не могу не отметить, что последние два задания, если их делать по-настоящему, требуют достаточно глубокого погружения. На выполнение каждого из них (14, 15 задания) ушло примерно по две недели вдумчивого чтения по вечерам (утрам) различной литературы, даташитов. Ваши комментарии и рекомендации здорово помогают смотреть на проблемные, узкие места новым взглядом и производить поиск в нужном направлении. Огромнейшее Вам спасибо за этот курс электроники!

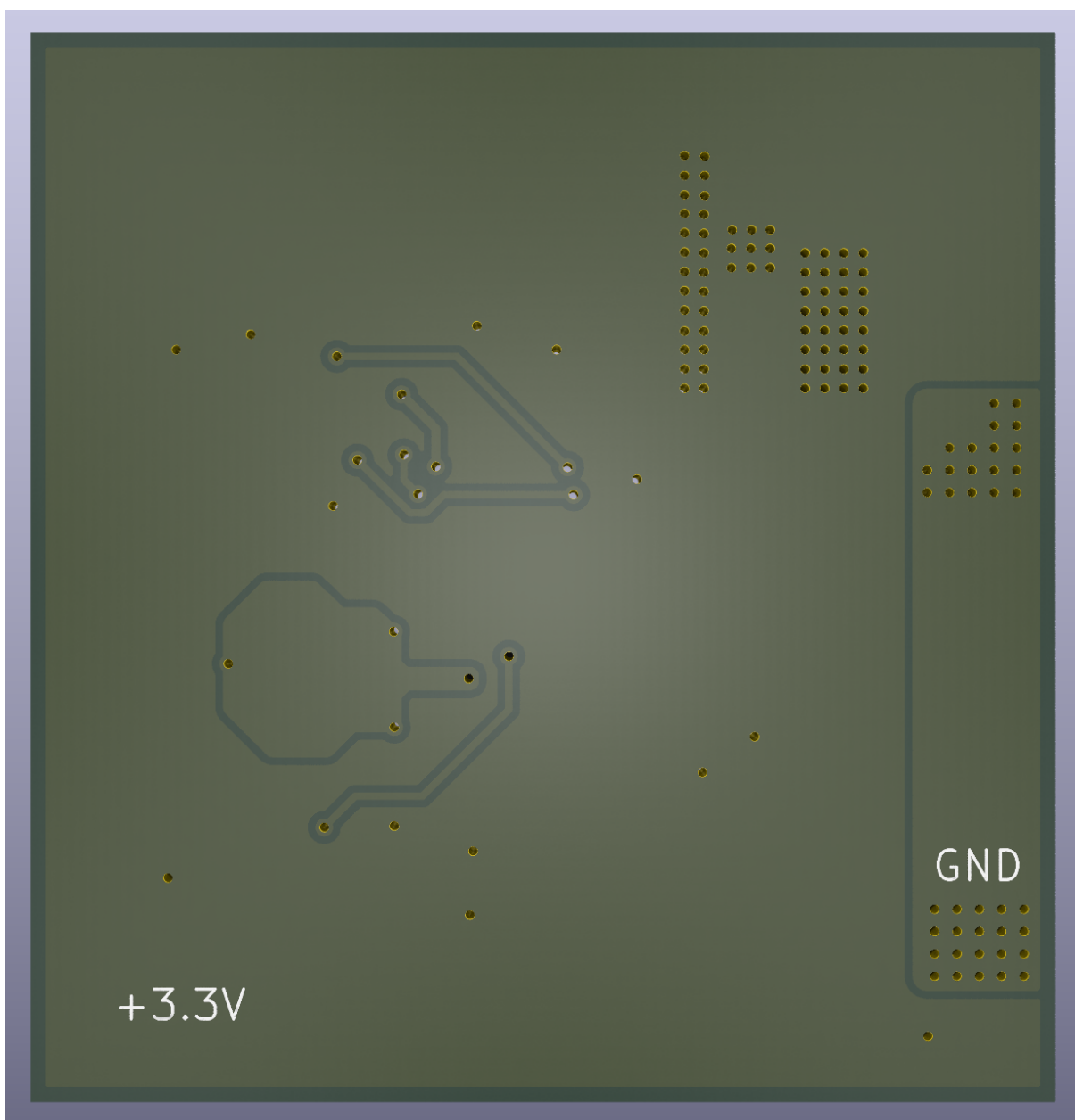


Рис. 11: 3D-вид - низ

3. Материалы к занятию

Схемы и материалы к занятию расположены в папке на google диске по следующей ссылке:
материалы к ДЗ-15