



# ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ЗАНЯТИЕ 14

## Оглавление

ОГЛАВЛЕНИЕ .....	2
МИНИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ЗАПУСКА МК .....	3
ПИТАНИЕ .....	3
СБРОС .....	8
ЗАГРУЗКА .....	11



## Минимальные условия запуска МК

Минимальные условия запуска микроконтроллера зависят от конкретной модели и производителя микроконтроллера, но можно выделить общие основные элементы для большинства случаев.

Для запуска микроконтроллера важно обеспечить надежное и стабильное питание как для его аналоговых, так и для цифровых компонентов. Аналоговое питание обычно требует чистоты и стабильности для точного аналогового преобразования, в то время как цифровые компоненты могут быть более устойчивы к перепадам напряжения.

Поскольку переходные процессы могут оказывать влияние на стабильность питания, особенно при включении, необходимо реализовать отложенный старт. Это может включать в себя использование мягкого старта, при котором питание постепенно увеличивается до требуемого уровня, чтобы избежать переходных процессов.

Для прошивки микроконтроллера через разъем требуется наличие специализированного программатора или отладчика, который будет подключен к микроконтроллеру через этот разъем. Также необходимо предусмотреть наличие внутреннего загрузчика, который позволит микроконтроллеру принимать новую прошивку через указанный разъем.

Конфигурирование внутреннего загрузчика может включать в себя настройку параметров коммуникационного интерфейса (например, UART, SPI) и адреса памяти для загрузки новой прошивки.

Для примеров будет использован микроконтроллер STM32F401RBT6.

## Питание

Для начала работы с любым микроконтроллером стоит ознакомиться с документацией от производителя. В данном случае для этой модели документ будет иметь название DS9716 (DataSheet). И, в частности, Application Note AN4488 Getting started with STM32F4xxxx MCU hardware development. Все эти документы доступны на сайте производителя, либо через программный комплекс STM32CubeMX или STM32CubeIDE.

Если в даташите присутствует общая информация, хоть и в весьма развернутом виде, но в различных AN даются более узконаправленные

рекомендации. Поэтому, согласно AN4488, для устройств серии STM32F4 требуется рабочее напряжение питания от 1,8 до 3,6В (VDD), а аналоговые периферийные устройства микроконтроллера питаются через независимый домен питания VDDA. Перед нами обзорная схема организации питания микроконтроллера серии STM32F4.

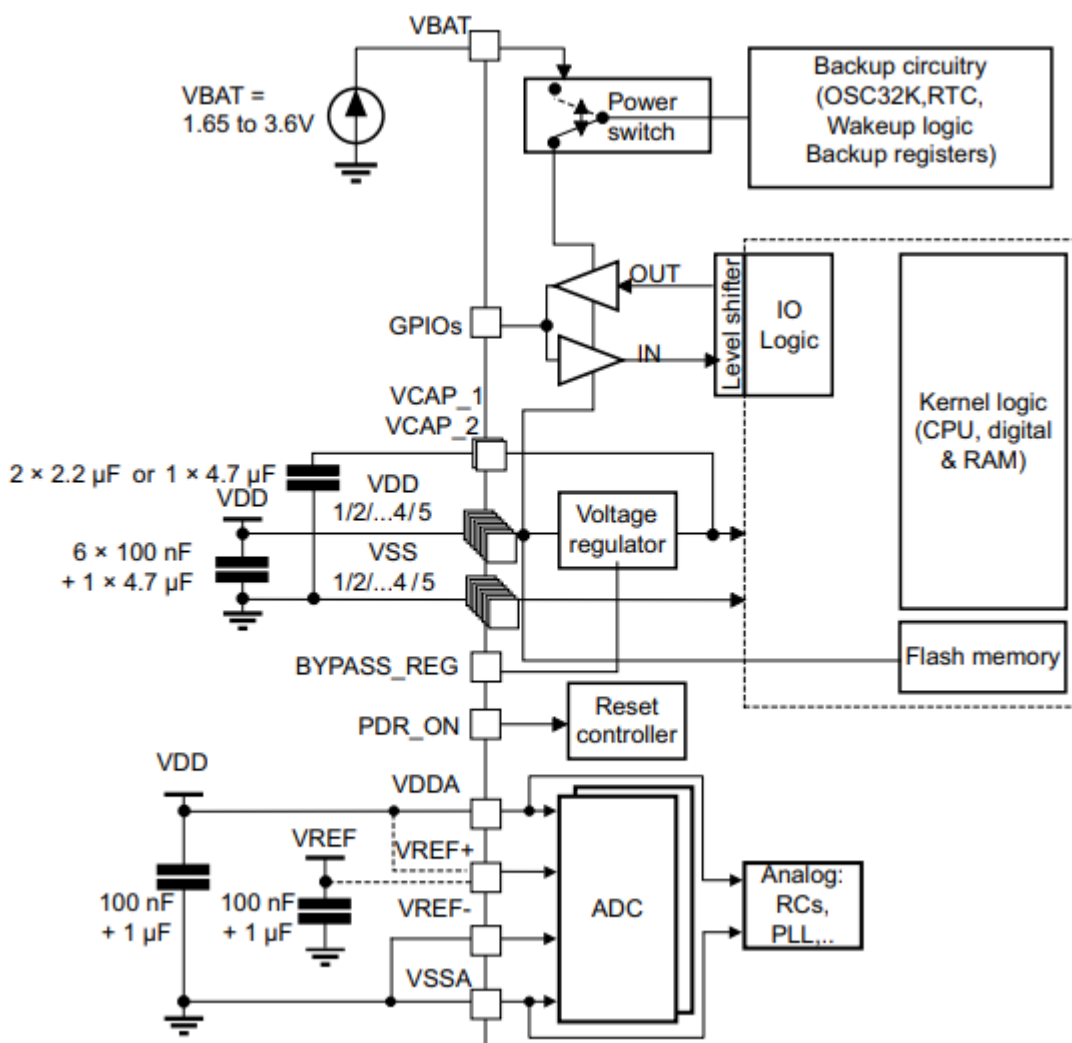


Рис. 1

VDD — внешний источник питания для портов ввода/вывода, внутреннего регулятора, который чаще всего называют «цифровым питанием» и VDDA — внешний источник питания для аналоговых периферийных блоков – «аналоговое питание». VREF- опорное напряжение для АЦП (аналогово-цифровой преобразователь).

Производитель предоставляет схемы организации питания и рекомендуемые им номиналы сглаживающих конденсаторов. Эта схема будет успешно работать в большинстве случаев и в каких-либо расчетах не нуждается.

Если углубиться в тему обеспечения качественного питания микросхем, то можно выделить пару распространенных вариантов уменьшения импульсов питающего напряжения.

**Шунтирование** — это метод уменьшения протекания высокочастотного тока по цепи с высоким импедансом путем создания альтернативного пути (байпаса) для этого тока. При шунтировании, обычно используется конденсатор ( $C_{byp}$ ), который подключается параллельно к основной цепи. Это позволяет снизить шумовой ток в линиях электропитания. Пример на рисунке ниже.



Рис. 2

**Развязка** — это процесс изоляции двух цепей, которые находятся на общей линии питания. Обычно развязка осуществляется с помощью фильтра нижних частот, и степень изоляции может отличаться в разных направлениях. Развязка применяется для предотвращения передачи шума из одной части цепи в другую. На рисунке 3 показан пример развязки, включающий шунтирующий конденсатор ( $C_{byp}$ ), а также компоненты развязывающей схемы, такие как  $L_{dec}$  и  $C_{dec}$ . Обратите внимание, что при использовании развязки обычно также включают шунтирование для достижения наилучших результатов.

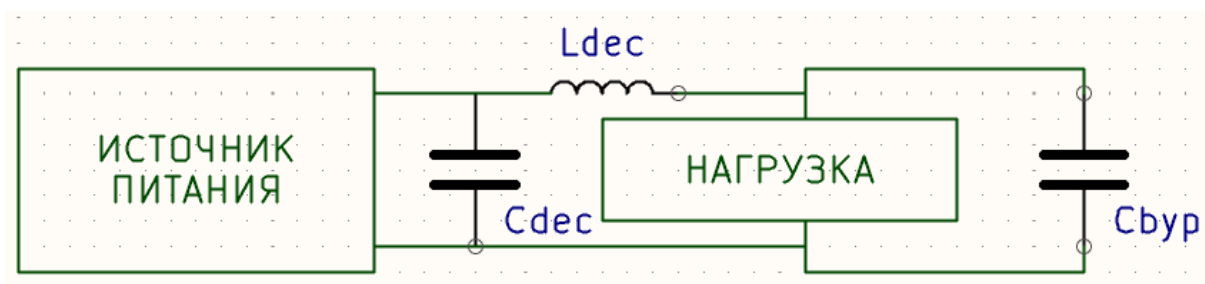


Рис. 3

Построение корректно работающей цепи шунтирования действительно является сложной задачей. Однако, для достижения эффективного шунтирования, необходимо учитывать несколько факторов как на этапе проектирования схемы, так и на этапе разработки печатной платы.

Первоначально, важно определить потребителей, генерирующих значительные пульсации тока, а также узлы с высокой индуктивностью. Это могут быть, например, микросхемы с быстро изменяющимся током потребления или узлы с индуктивными компонентами, такими как катушки или трансформаторы.

После определения этих узлов и потребителей, шунтирующие конденсаторы должны быть размещены вблизи этих компонентов (рис. 4). Это позволяет снизить путь протекания шунтирующего тока и уменьшить скорость изменения тока, протекающего через потребителей. Большинство производителей микросхем дают рекомендации по размещению шунтирующих конденсаторов вблизи выводов питания и на пути протекания тока. Эти рекомендации основаны на оптимальной производительности и снижении электромагнитных помех.

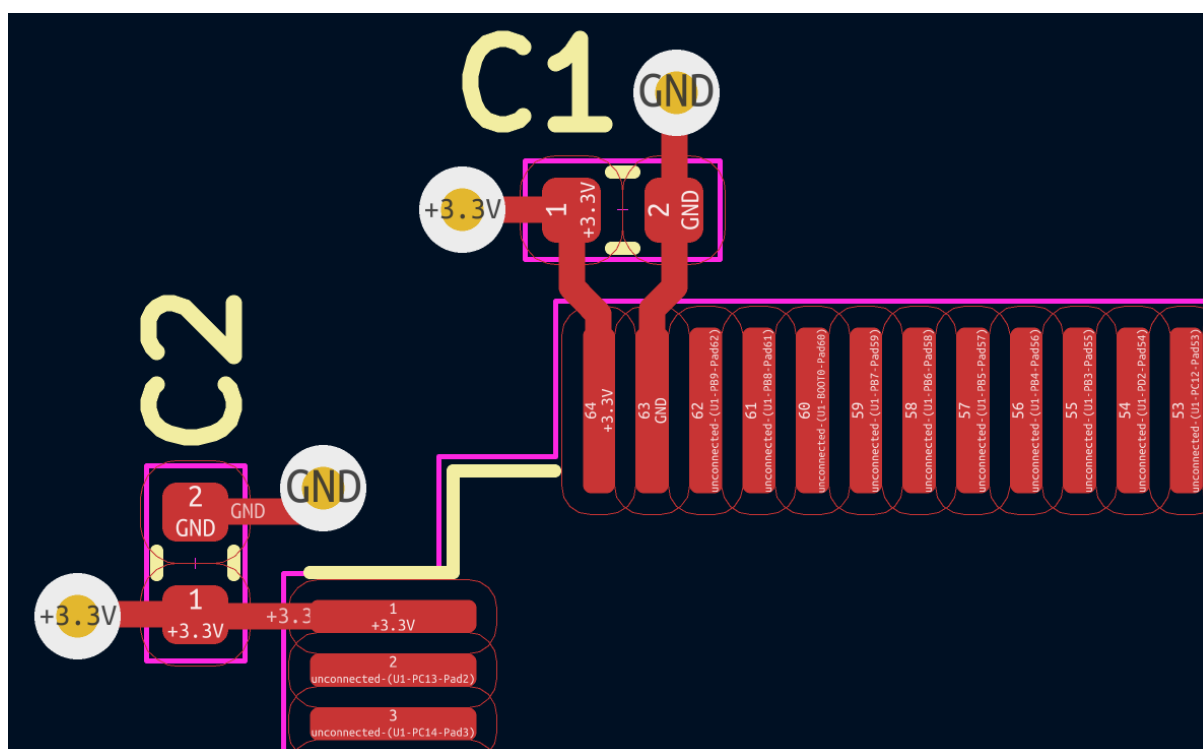


Рис. 4

При проектировании схем мы часто заранее понимаем, какая часть схемы будет источником помех в цепях питания. Обычно это связано с силовыми ключами и другими элементами, которые коммутируют значительные токи или работают на высоких частотах. Идеальным решением было бы использование отдельного источника питания для этой части схемы. Однако это не всегда возможно, и в таких случаях мы можем попытаться изолировать одну часть общей цепи питания от помех другой части. Для этой цели применяется развязка по цепи питания.

Развязка выполняет две функции для снижения передачи шума (см. рис. 5), где схематично показан путь тока в типовой цепи развязки. Во-первых, поскольку развязка всегда включает элемент с высоким импедансом в последовательности с линией питания, она обеспечивает шунтирование. Это означает, что шумовой ток будет протекать через обходной элемент с низким импедансом, а не через источник питания. Во-вторых, развязка действует как фильтр нижних частот, что ослабляет высокочастотное содержание любого тока, протекающего через последовательный элемент. Это увеличивает вероятность того, что регулятор сможет эффективно реагировать и поддерживать стабильное напряжение питания.

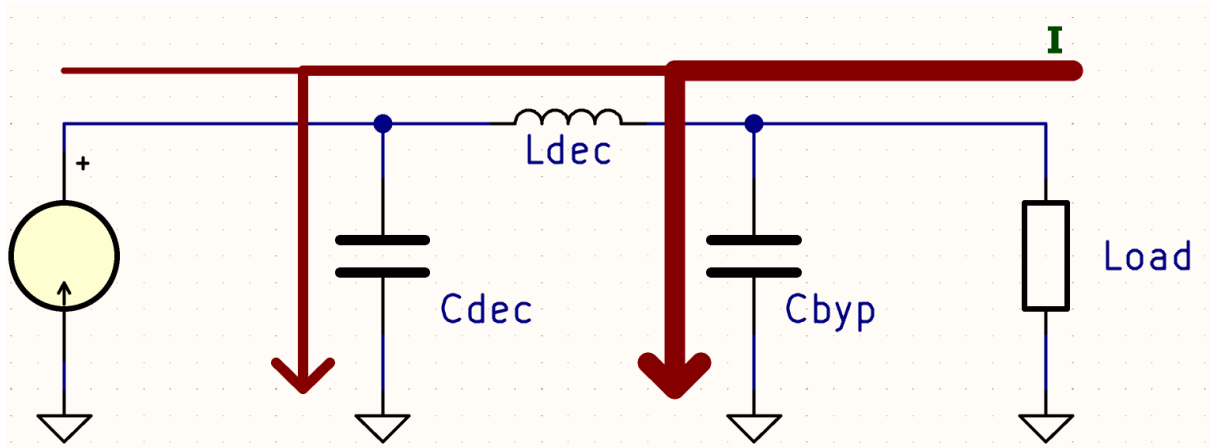


Рис. 5

Таким образом, развязка по цепи питания позволяет снизить передачу шума в цепях питания двумя способами: через шунтирование и фильтрацию высокочастотных составляющих. Это важный прием при проектировании схем, который помогает обеспечить стабильное и надежное питание для электронных устройств.

# Сброс

Формирование сигнала сброса представляет собой еще один ключевой этап успешного запуска микроконтроллера. Сброс играет важную роль в инициализации процессов функционирования микроконтроллера, обеспечивая безопасное состояние всех периферийных блоков, регистров и ядра.

Если обратиться к AN4488 13 странице, то там можно найти схему формирования сброса.

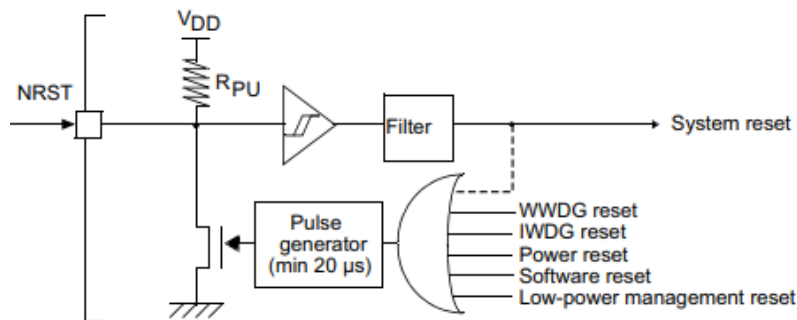


Рис. 6

На схеме видно, что после подачи питания резистор  $R_{PU}$  устанавливает логическую единицу на входе NRST. После этого сигнал сброса становится неактивным, и микроконтроллер начинает свою работу. Из этой схемы можно сделать несколько выводов:

- Внешние компоненты схемы формирования сигнала сброса не обязательны и могут отсутствовать.
- Супервайзеры питания<sup>1</sup>, такие как Power-on reset (POR) и Power-down reset (PDR)<sup>2</sup>, могут влиять на состояние сигнала сброса.

Именно супервайзеры питания формируют активный уровень сигнала сброса, предотвращая работу микроконтроллера при питании напряжением, выходящем за пределы безопасного диапазона (диапазон указывается в техническом описании).

Существует три типа сигнала сброса: системный сброс (system reset), сброс по питанию (power reset) и сброс, сформированный резервным доменом (backup domain reset). Именно системный сброс инициируется

---

<sup>1</sup> В контексте микроконтроллеров, супервайзер питания (Power Supervisor) — это часть интегральной схемы, обеспечивающая надежное контрольное управление электропитанием для обеспечения стабильной работы микроконтроллера и связанных с ним устройств.

<sup>2</sup> Подробнее о супервайзерах питания в одном из следующих курсов.



формирователем сигнала сброса микроконтроллера сразу после подачи питания.

Если речь вести о схемотехнике внешних цепей сброса микроконтроллера, то имеют смысл два варианта:

- Вывод NRST не подключен, и микроконтроллер работает с использованием внутренних цепей формирования сигнала сброса.
- Вывод NRST имеет внешний конденсатор небольшой емкости, предотвращающий перезагрузку микроконтроллера от импульсных помех и наводок.

Резистор  $R_{PU}$ , который уже входит во внутреннюю схемотехнику цепи сброса имеет сопротивление около 40 кОм, согласно таблице 54 из даташита на микроконтроллер. Именно его существование позволяет нам не устанавливать внешний резистор для формирования цепи сброса, довольствуясь лишь внешним конденсатором на 100 нФ, емкость которого можно уменьшить до 10 нФ при надобности. Ну и при помощи банальной тактовой кнопки реализуется ручной сброс, как на многих отладочных платах (рис.8), довольно распространённое схемотехническое решение.

$R_{PU}$	Weak pull-up equivalent resistor <sup>(6)</sup>	All pins except for PA10 (OTG_FS_ID)	$V_{IN} = V_{SS}$	30	40	50	kΩ
		PA10 (OTG_FS_ID)		7	10	14	

Рис. 7

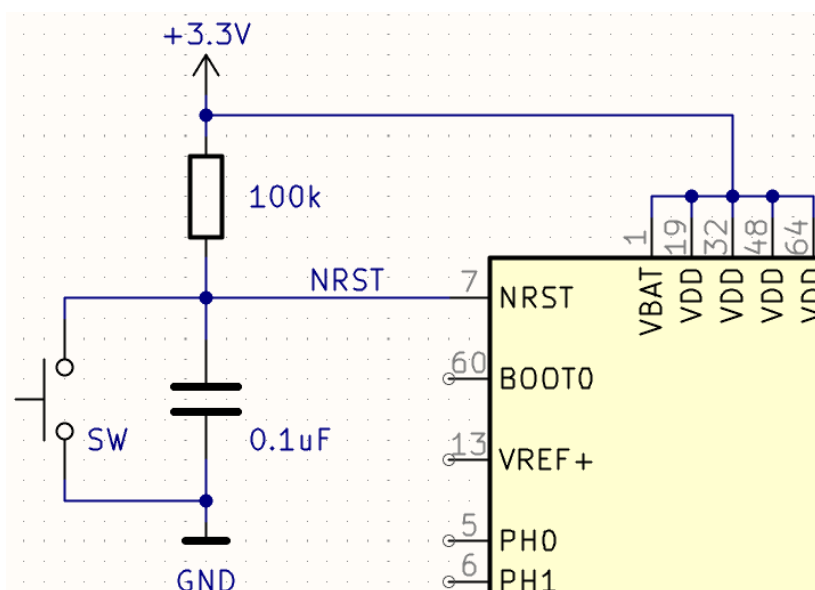


Рис. 8

Помимо указанных вариантов сброса, которые функционируют внутри контроллера, можно упомянуть класс устройств, известные как внешние сторожевые таймеры или супервайзеры сигнала сброса.

Супервизоры MAX809/810, разработанные компанией Maxim в начале 90-х годов, долгое время были стандартом качества для других производителей. ON Semiconductor выпускает эту серию супервизоров под маркировкой Maxim. Также их производит NXP, но их потребление тока выше — около 17 мкА. Эти супервизоры обеспечивают защиту от кратковременных провалов напряжения питания.

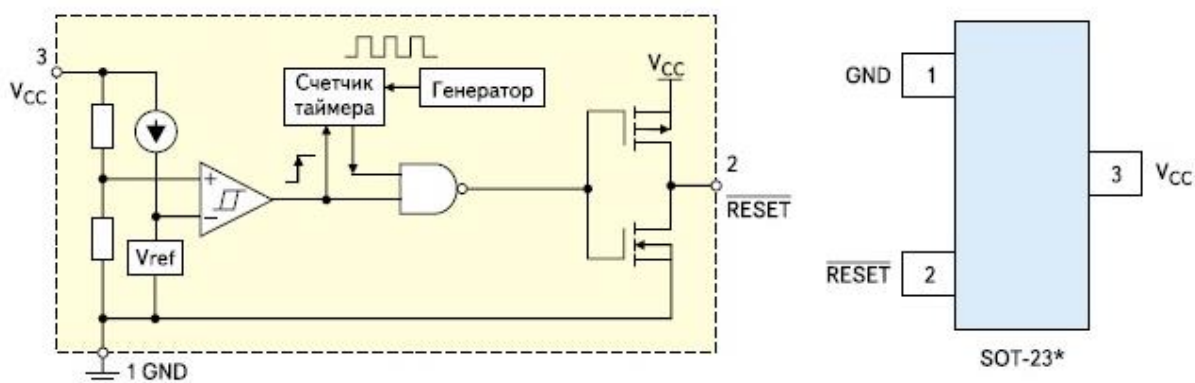


Рис. 9

Супервизоры, выпускаемые компанией Maxim, потребляют от 17 до 100 мкА в зависимости от температуры и напряжения питания. Они доступны в корпусах типов SOT-23 или SC-70 (SOT-323) компактного размера. Формирование сигнала сброса осуществляется за счет термокомпенсированного источника опорного напряжения, резистивного делителя входного напряжения, компаратора, схемы таймера для задержки и выходного пушпульного драйвера. При изготовлении микросхемы резистивная цепь может быть скорректирована на различные допуски питающего напряжения (5, 10, 15 или 20%), что позволяет выбрать определенный порог сброса для каждого случая работы микропроцессора.

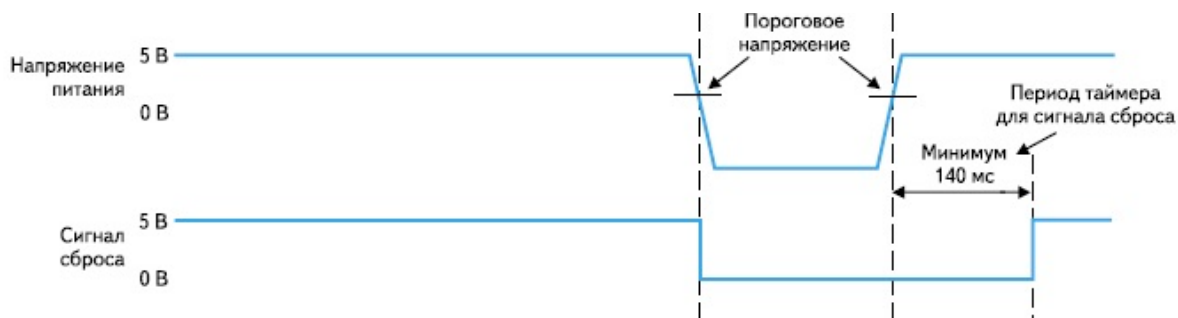


Рис. 10

Хотя у микросхемы есть пушпульный выход, требуется установка подтягивающего резистора, так как при падении напряжения питания ниже порога 1 В выход переходит в режим с открытым стоком. MAX810 отличается наличием инвертора перед выходным каскадом. Типичное потребление составляет около 500 нА. Типовая схема подключения на рис. 11.

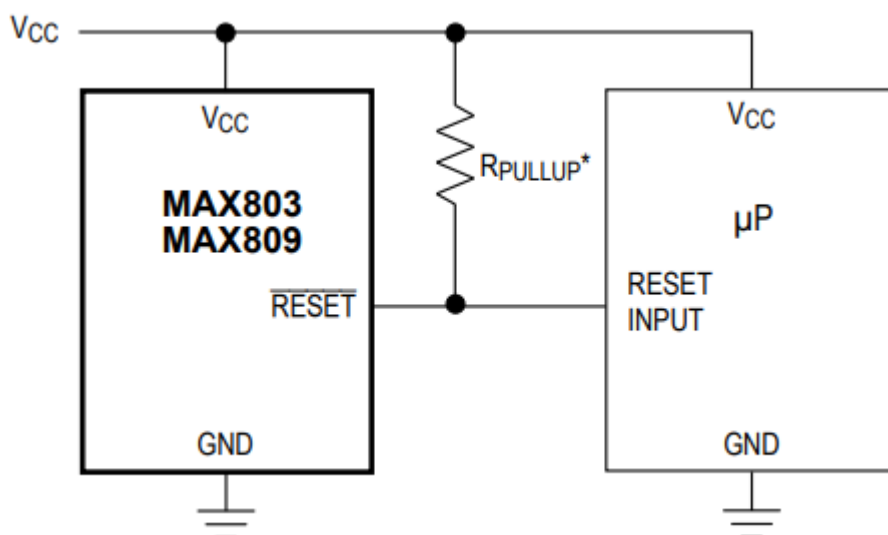


Рис. 11

## Загрузка

У микроконтроллеров, производимых компанией STMicroelectronics, есть интересная особенность. В процессе производства во внутреннее загрузочное ПЗУ, или системную память, записывается код специального загрузчика. Основная задача этого загрузчика заключается в загрузке прикладной программы во внутреннюю флэш-память через одно из доступных последовательных периферийных устройств, таких как USART, CAN, USB, I2C, SPI. Довольно подробно об этом производитель упоминает в документе AN2606 STM32 microcontroller system memory boot mode.

BOOT mode selection pins		Boot mode	Aliasing
BOOT1	BOOT0		
x	0	Main Flash memory	Main Flash memory is selected as boot space
0	1	System memory	System memory is selected as boot space
1	1	Embedded SRAM	Embedded SRAM is selected as boot space

Рис. 12

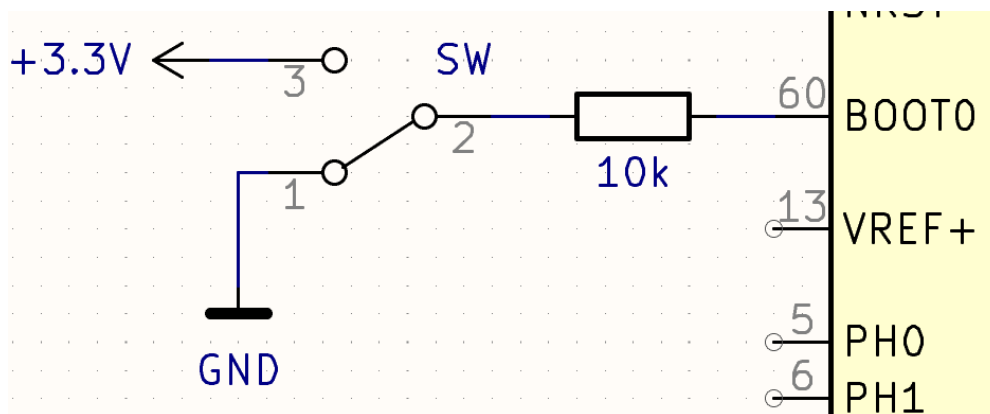


Рис. 13

Работа встроенного загрузчика не влияет на функционирование и доступность системных интерфейсов программирования и отладки, таких как JTAG и SWD. Высокий уровень на выводе BOOT0 в сочетании с подачей питания и выполнением процедуры сброса не приведет к началу выполнения прикладного кода, загруженного в память микроконтроллера, а запустит код загрузчика. Это является одной из распространенных ошибок. Одним из вариантов реализации переключения режимов загрузки показана на рис. 13, в некоторых случаях выводят на трехпиновый разъем и переключают джампером, как это реализовано на широко распространённой плате BluePill.

Возвращаясь к минимальным требованиям для запуска микроконтроллера, необходимо обеспечить запуск прикладного программного обеспечения, которое уже находится во внутренней флэш-памяти микроконтроллера. Для этого следует подключить вывод BOOT0 к линии VSS (GND).

## Разъем для программирования

Еще одним немаловажным моментом является обеспечение возможности «залить» прошивку в микроконтроллер. В этом может помочь реализация разъема для программирования. В минимальном своем варианте потребуется использование разъема на 4 пина: +3V3, GND, DIO, CLK (рис. 15). А для реализации полноценного Debug (рис. 16) порта уже задействуется разъем на 9 пинов (включая плюс и минус питания).

SWJ-DP pin name	JTAG debug port		SW debug port		Pin assignment
	Type	Description	Type	Debug assignment	
JTMS/SWDIO	I	JTAG test mode selection	I/O	Serial wire data input/output	PA13
JTCK/SWCLK	I	JTAG test clock	I	Serial wire clock	PA14
JTDI	I	JTAG test data input	-	-	PA15
JTDO/TRACESWO	O	JTAG test data output	-	TRACESWO if async trace is enabled	PB3
JNTRST	I	JTAG test nReset	-	-	PB4

Рис. 14

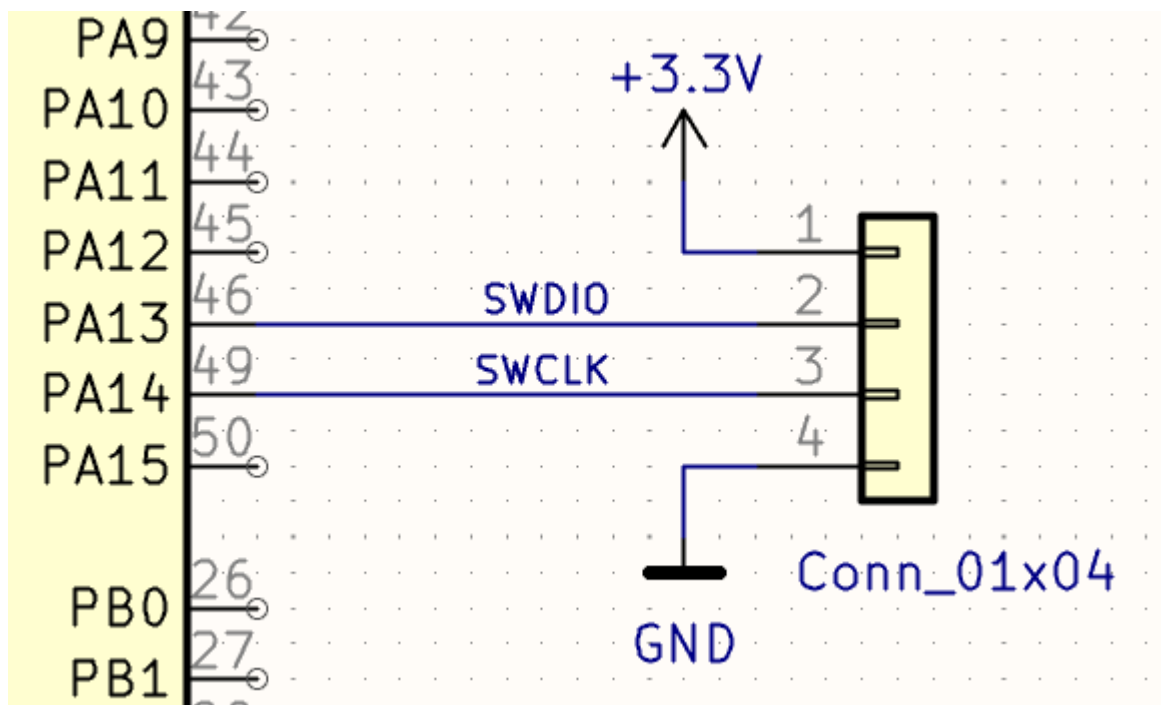


Рис. 15



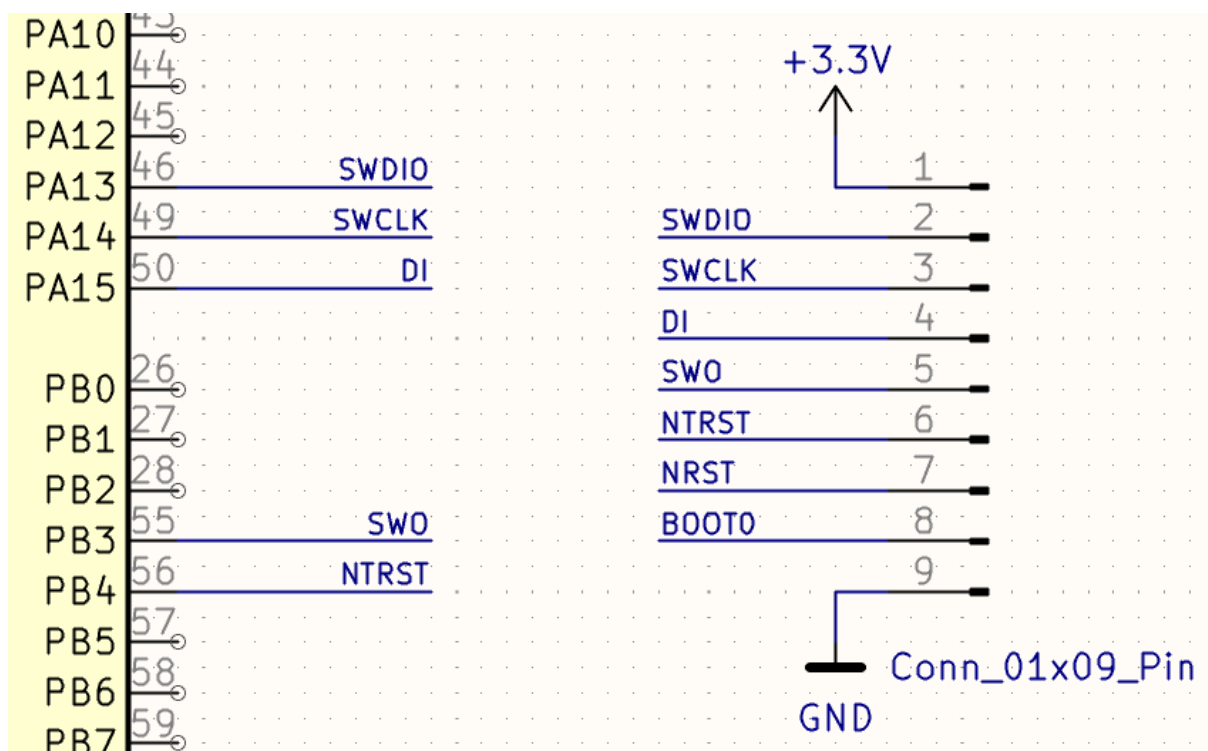


Рис. 16

Есть стандартные разъемы для подключения интерфейса, например Разъем ARM JTAG 20 представляет собой 20-выводной разъем с шагом 2,54 мм. Его можно использовать как в стандартном режиме JTAG (IEEE 1149.1), так и в режиме последовательной проводной отладки (SWD).



Рис. 17

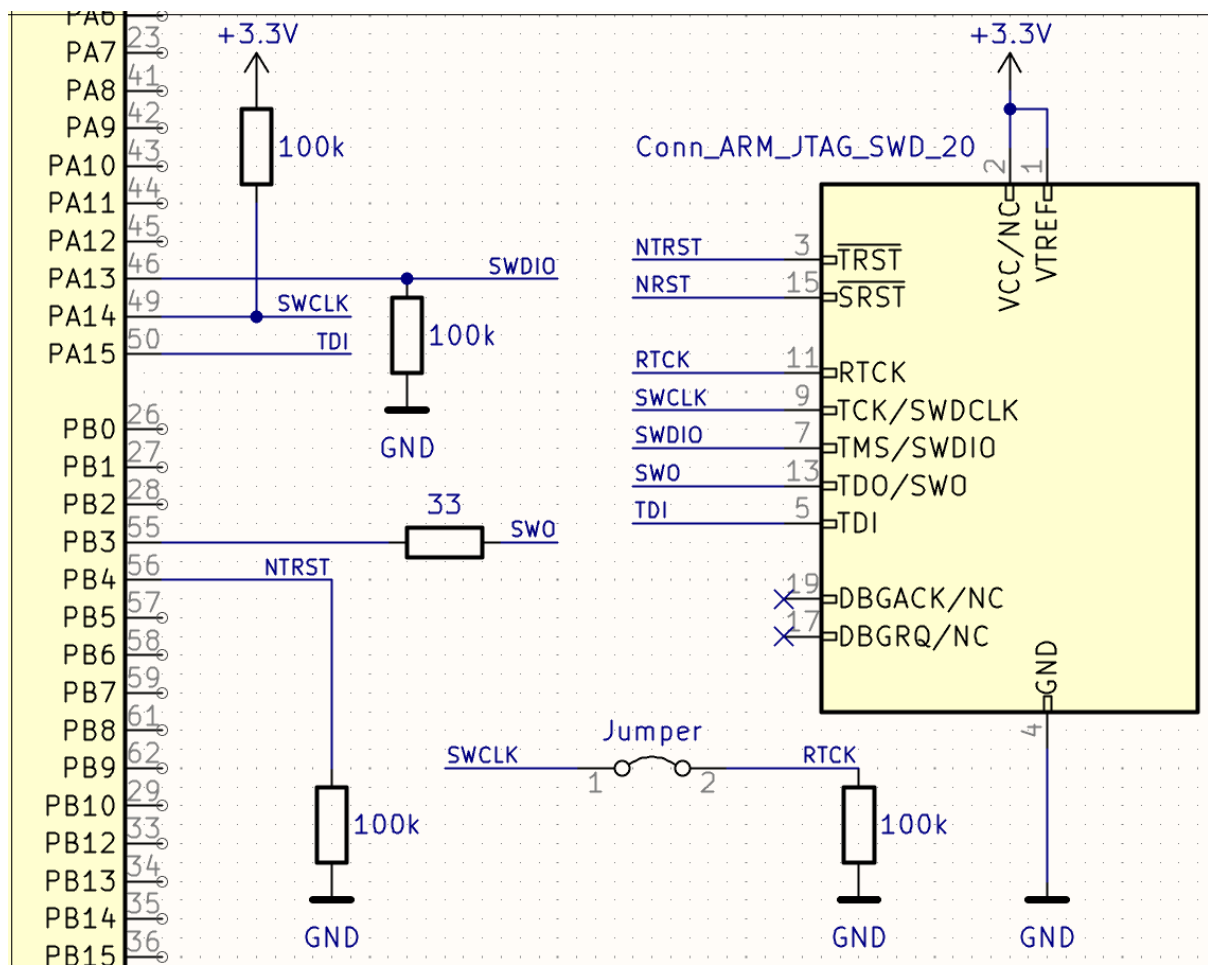


Рис. 18