

3. Mikrokontroléry v IoT II. – Periferie procesoru.

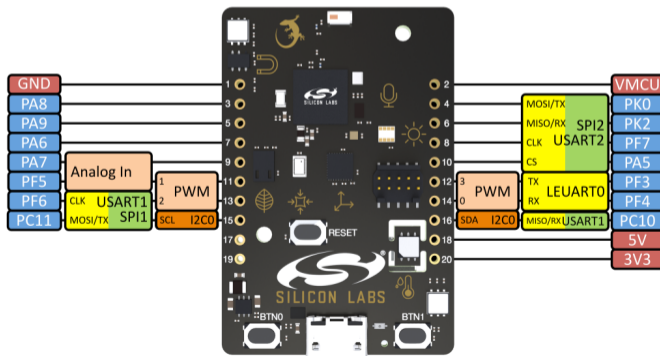
B0B37NSI – Návrh systémů IoT

Stanislav Vítek

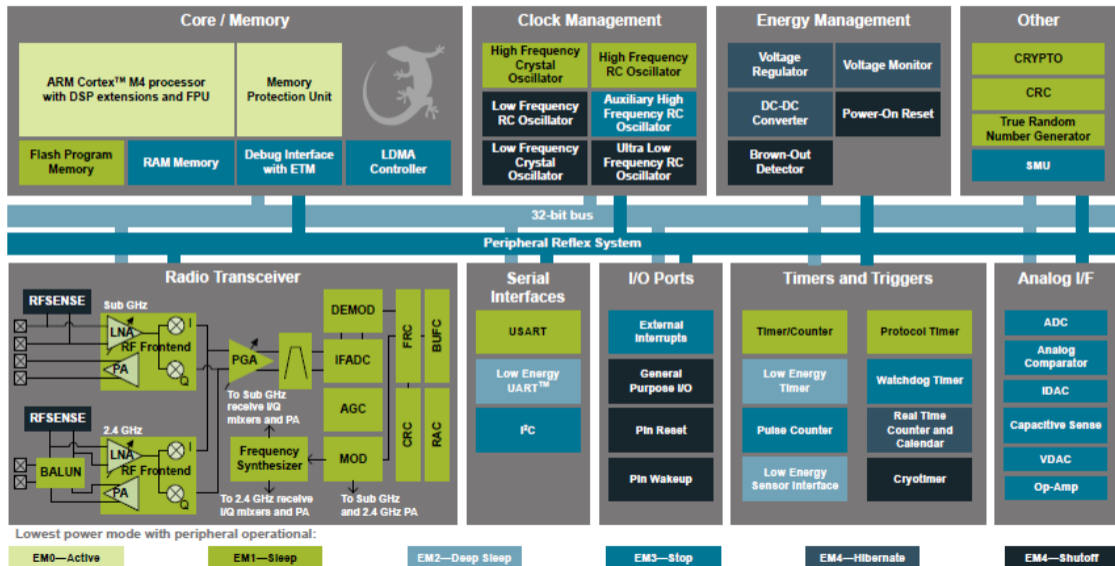
Katedra radioelektroniky
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení v Praze

- ARM Cortex-M4, 32bitový procesor @ až 40 MHz
- Flexibilní systém managementu spotřeby (5 módů)
- 1024 kB Flash, 256 kB RAM
- Až 65 GPIO pinů (konfigurovatelné push-pull, open-drain, pull-up/down, ...)
- 16 asynchronních externích přerušení, 8 DMA kanálů
- 12 kanálový Peripheral Reflex System – autonomní systém signalizace mezi periferiemi pro operace v low-energy módech
- Vysoká podpora šifrovacích metod
- Komunikační rozhraní: 4x USART, 1x low-energy USART, 2x I²C
- Čítače/časovače: 2x 16bitový, 2x 32bitový (všechny 3-4 compare/capture/PWM kanály), 16bitový LE, 32bitový ultra LE pro periodické probouzení z různých energetických módů, 32bitový RT, 3kanálový 16bitový čítač pulsů, 2x watchdog s dedikovaný RC oscilátorem

- Analogové periferie: 12bitový ADC (1Ms/s), 12bitový DAC (500 kbps), až tři operační zesilovače, proudový DAC, 2x analogový komparátor
- LE sensor interface: autonomní monitorování periférií v deep sleep módu
- Debug rozhraní: JTAG, serial-wire (SWD)

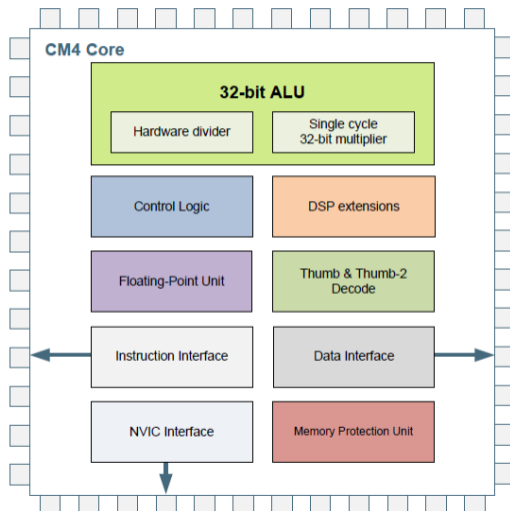


Silicon Labs EFR32 – architektura



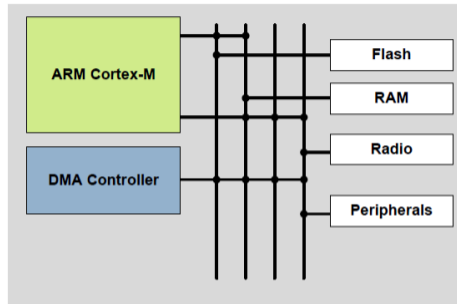
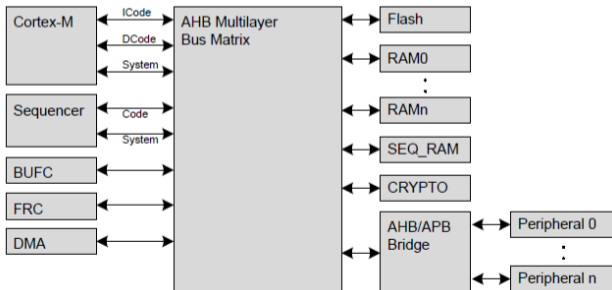
Silicon Labs EFR32 – jádro procesoru

- Harvardská architektura
- Oddělená datová a programová sběrnice
- Třístupňová pipeline
- Bit-banding – atomické operace s bity
- 24b SysTick pro real-time OS



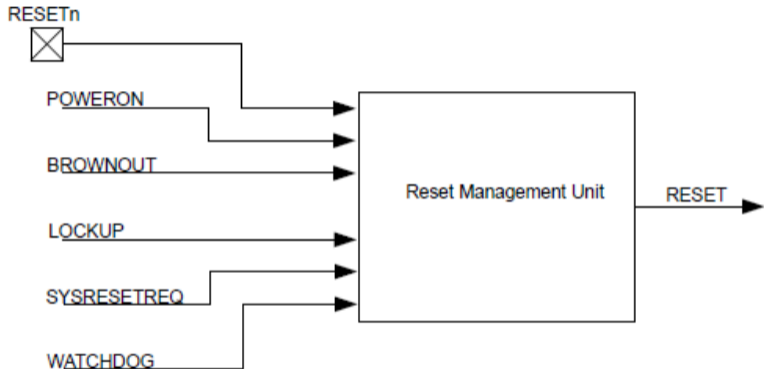
Paměť a sběrnice

- AMBA AHB [↗](#)
- ICode – vyzvedávání instrukcí z paměti
- DCode – přístup k datům
- System – přístup k celé paměti (vyjma programu)



Reset Management Unit

- Power-on Reset
- Brown-out Detection
- RESETn pin reset
- Watchdog reset
- Software reset



Energy Management Unit

Current Mode	EM Transition Action					
	Enter EM0 Active	Enter EM1 Sleep	Enter EM2 Deep Sleep	Enter EM3 Stop	Enter EM4 Hibernate	Enter EM4 Shutoff
EM0 Active		Sleep (WFI, WFE)	Deep Sleep (WFI, WFE)	Deep Sleep (WFI, WFE)	EM4 Entry	EM4 Entry
EM1 Sleep	IRQ		Peripheral wake up done ¹	Peripheral wake up done ¹		
EM2 Deep Sleep	IRQ	Peripheral wake up req ¹				
EM3 Stop	IRQ	Peripheral wake up req ¹				
EM4 Hibernate	Wake Up					
EM4 Shutoff	Wake Up					
Note: 1. Peripheral wake-up from EM2/3 to EM1 and then automatically back to EM2/3 when done.						

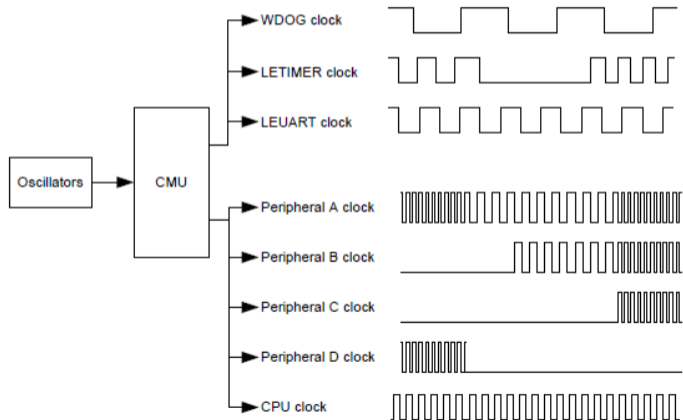
The CSEN, LESENSE, ADC, RAC, and LEUART have the ability to temporarily wake up the part from either EM2 Deep Sleep or EM3 Stop to EM1 Sleep in order to transfer data. Once completed, the part is automatically placed back into the EM2 Deep Sleep or EM3 Stop mode.

Mbed OS – Platform – Power management

- Low-power verze časovačů, neblokují sleep módy – `LowPowerTimer`, `LowPowerTicker` a `LowPowerTimeout`
- V Mbed OS je funkce `sleep()`, která automaticky vybere vhodný režim spánku
Není třeba ji volat explicitně, Mbed OS volí režim spánku v případě nečinnosti.
- K dispozici jsou dva režimy spánku:
 1. **Režim spánku** – Systémové hodiny jádra se zastaví, dokud nedojde k resetu nebo přerušení. Tím se eliminuje dynamické napájení, které využívá procesor, paměťové systémy a sběrnice. Tento režim zachovává stav procesoru, periférií a paměti, periférie nadále pracují a mohou generovat přerušení. Procesor lze probudit libovolným interním přerušením periférie nebo přerušením externího pinu.
 2. **Režim hlubokého spánku** – Tento režim je podobný režimu spánku, ale šetří více energie a má delší dobu probuzení. Další energii šetří vypnutím vysokorychlostních hodin. Z tohoto důvodu můžete do tohoto režimu přejít pouze tehdy, když se nepoužívají periferní zařízení závislá na vysokorychlostních hodinách. Mezi periférie, které nespolehají na vysokorychlostní hodiny, patří rozhraní API `LowPowerTicker`, `RTC` a `InterruptIn`. Tento režim zachovává všechny stavy.

Clock Management Unit

- Mezi oscilátory lze přepínat
- Lze získat výstup oscilátoru na pin



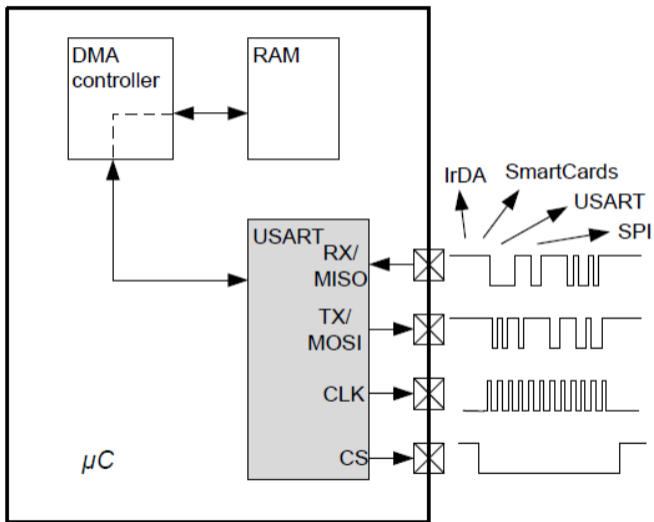
Silicon Labs EFR32 – oscilátory

název	frekvence	popis
HFXO	38–40 MHz	vysoká přesnost, minimální jitter, vyžadován pro všechny RF aplikace
HFRCO	1–38 MHz	středně přesný, typicky používán během startu HFXO a jako zdroj hodin, pokud není aktivní RF komunikace
AUXHFRCO	1–38 MHz	středně přesný, alternativní zdroj hodin pro ADC a debugovací rozhraní
LFRCO	32768 Hz	středně přesný zdroj hodin pro RT aplikace
ULFRCO	1000 Hz	watchdog časovač

- RC oscilátory mohou být kalibrovány oproti krystalovému – kompenzace změn napájecího napětí nebo teploty
- Oscilátory lze konfigurovat prostřednictvím Clock Management Unit

USART – Universal Synchronous Asynchronous RX/TX

- UART
- RS232, RS485
- SPI
- MicroWire
- Smart Cards
- IrDA



Mbed OS – Drivers – SPI/SPIslave

- Rozhraní pro komunikaci po SPI sběrnici
- Defaultní nastavení: 8bitová komunikace, 1 MHz
- Více: <https://os.mbed.com/docs/mbed-os/v6.15/apis/spi.html> ↗

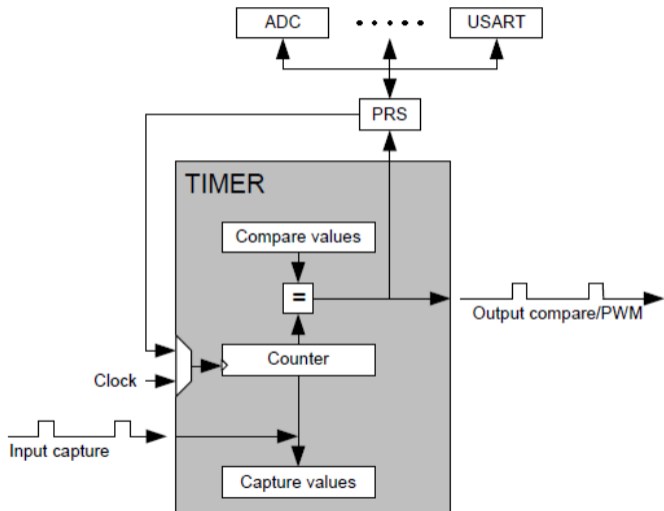
```
1  SPI spi(D11, D12, D13); // mosi, miso, sclk
2  DigitalOut cs(D0);
3  // ---
4  cs = 1; // Chip must be deselected
5  // Setup the spi for 8 bit data, high steady state clock,
6  // second edge capture, with a 1MHz clock rate
7  spi.format(8, 3);
8  spi.frequency(1000000);
9  cs = 0; // Select the device by setting chip select low
10 spi.write(0x8F); // Send the command to read register
11 int whoami = spi.write(0x00); // Send a dummy byte to receive
12 cs = 1;
```

LEUART – Low Energy UART

- UART komunikace v LE režimu
- Využívá oscilátor 32.768 kHz, max. baudrate 9600
- Spotřeba v řádu μA při komunikaci
- Pomocí LEUART lze probudit CPU z Deep Sleep režimu, případně využít DMA bez CPU

Čítač / časovač

- Režimy čítačů
 - Count up
 - Count down
 - Count up/down
 - Count from external pins
- Kontrola (pin nebo registr)
 - Start
 - Stop
 - Reload & Start
- Input capture
 - Měření délky pulsu
 - Měření periody
 - Možnost filtrace dig. šumu



Silicon Labs EFR32 – čítače/časovače

Název	Instance	Zdroj hodin	Popis
RTCC	1	LF XO / LFR CO	32bitový čítač reálného času a kalendář, umožňuje probuzení jádra procesoru
TIMER	2	HFXO / HFR CO	16bitový čítač (Mbed OS – TIMER0)
WTIMER	2	HFXO / HFR CO	32bitový čítač
SysTick	1	podle konfigurace systému	32bitový systémový čítač, integrovaný v Cortex-M4 jádře
WDOG	2	LF XO, (U)LFR CO	Pokud je watchdog aktivní, musí být pravidelně dotazován, jinak způsobí reset
LETIMER	1	LF XO, (U)LFR CO	Low energy čítač

- Rozhraní pro volání funkce (přerušeni) v zadaném intervalu opakování
- Lze vytvořit libovolný počet instancí
- Volat lze statickou funkci, členskou funkci třídy, funktor nebo instanci [Callback](#)
- Omezení pro ISR
 - Žádný blokující kód v ISR: vyhněte se jakémukoli volání `wait`, nekonečnému cyklu `while` nebo obecně blokujícím voláním.
 - Žádný [printf](#), [malloc](#) nebo [new](#) v ISR: vyhněte se volání objemných knihovnických funkcí. Zejména některé knihovnické funkce nejsou re-entrantní a jejich chování by mohlo být při volání z ISR nesprávné.
 - Zatímco je událost připojena k Tickeru, je blokován hluboký spánek, aby bylo zachováno přesné časování. Pokud nepotřebujete mikrosekundovou přesnost, zvažte místo toho použití třídy [LowPowerTicker](#), protože ta režim hlubokého spánku neblokuje.

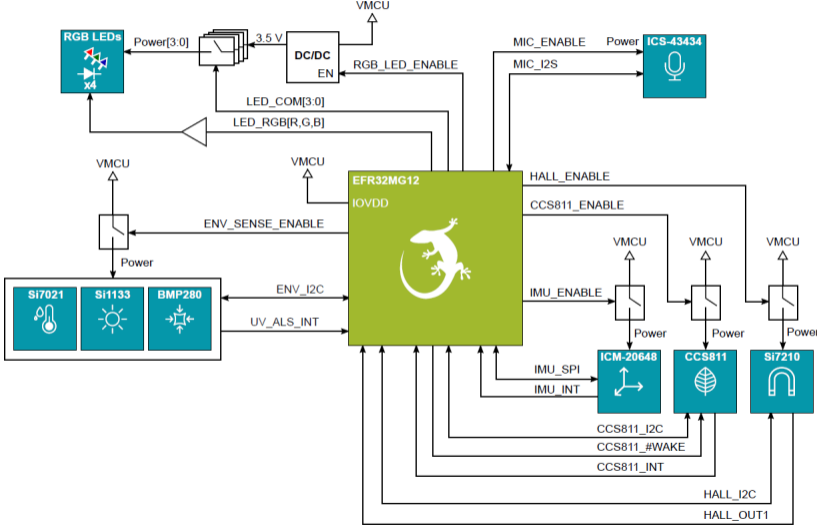
```
1  Ticker flipper;
2  DigitalOut led1(LED1);
3  DigitalOut led2(LED2);
5  void flip()
6  {
7      led2 = !led2;
8  }
9  // ---
10 led2 = 1;
11 flipper.attach(flip, 2.0); // ISR a interval (2 seconds)
13 while (1) {
14     led1 = !led1;
15     ThisThread::sleep_for(200);
16 }
```

Mbed OS – Platform – Time API – Timer

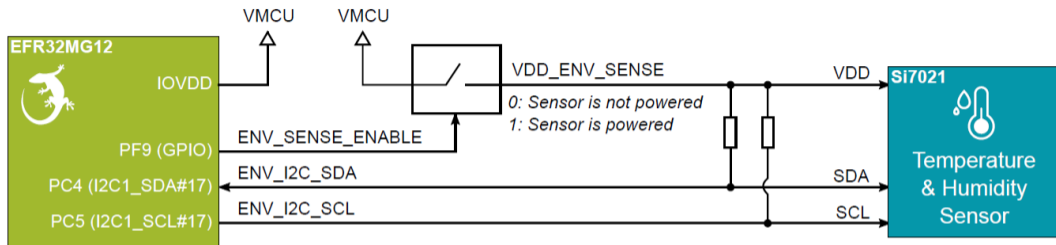
- Rozraní pro vytvoření, spuštění a zastavení časovače s lepším než ms rozlišením
- Lze nezávisle vytvářet, spouštět a zastavovat libovolný počet instancí
- Když je časovač spuštěn, je blokován hluboký spánek, aby bylo zachováno přesné časování. Pokud nepotřebujete mikrosekundovou přesnost, zvažte místo toho použití tříd `LowPowerTimer` nebo `Kernel::Clock`, protože ty režim hlubokého spánku neblokují.

```
1  using namespace std::chrono;
3  Timer t;
4  // ---
5  t.start();
6  printf("Hello World!\n");
7  t.stop();
8  printf("The time taken was %llu milliseconds\n", duration_cast<
    milliseconds>(t.elapsed_time()).count());
```

Thunderboard – zapojení senzorů

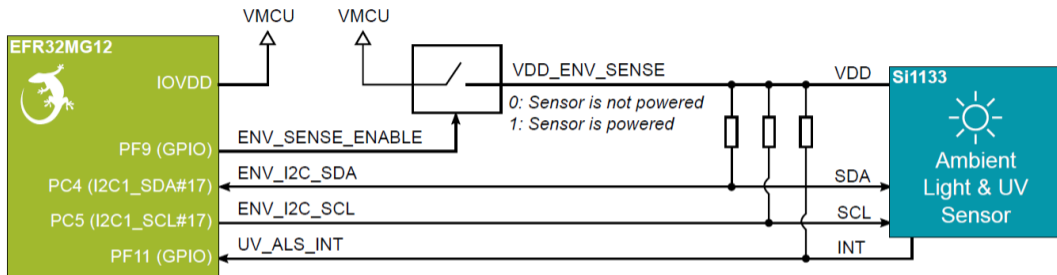


Si7021 Relative Humidity and Temperature Sensor



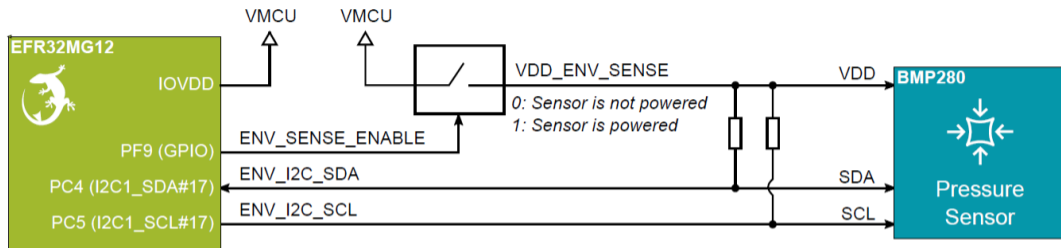
- Napájení senzoru Si7021 je aktivováno přivedením log. 1 PF9 ([ENV_SENSE_ENABLE](#). Přivedení log. 1 na tento pin způsobí také aktivaci senzorů Si1133 a BMP280.
- Dále k senzoru Si7021 vedou vodiče [ENV_I2C_SDA](#) (pin PC4) a [ENV_I2C_SCL](#) (pin PC5), které připojují senzor k mikrokontroléru prostřednictvím sběrnice I2C.

Si1133 UV Index and Ambient Light Sensor



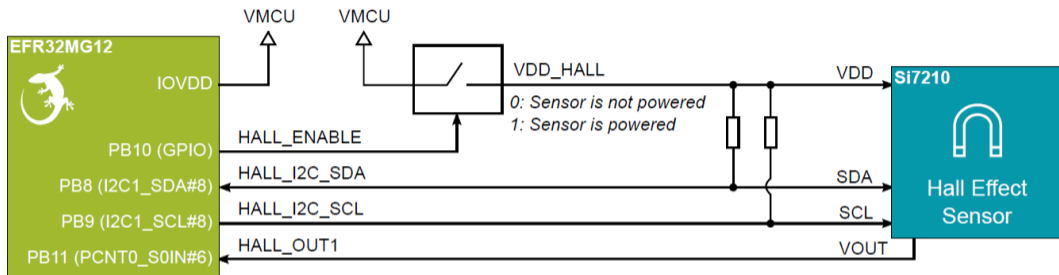
- Zapojení senzoru Si1133 je velmi podobné zapojení senzoru Si7021. Rozdíl je v tom, že k senzoru Si1133 vede navíc vodič **UV_ALS_INT**, který umožňuje vyvolat přerušení na konci měření okolního světla.

BMP280 Barometric Pressure Sensor



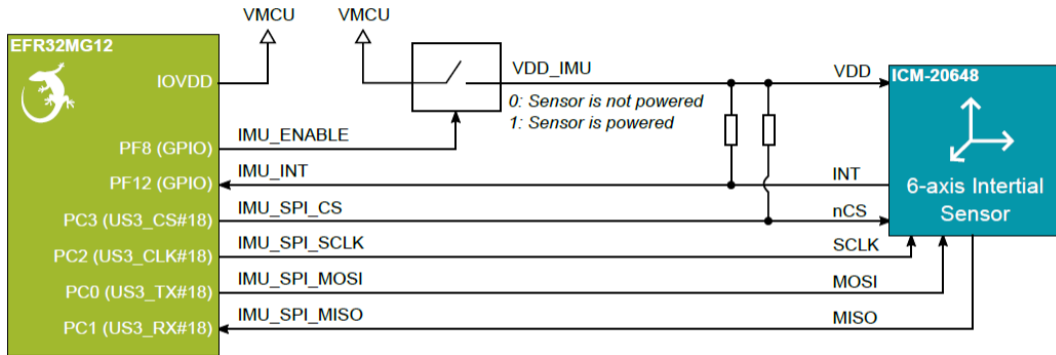
- Zapojení senzoru BMP280 je identické zapojení senzoru Si7021, senzor je připojen na stejnou sběrnici I2C.

Si7210 Hall Effect Sensor



- Napájení Si7210 je aktivováno log. 1 na pinu **PB10** (**HALL_ENABLE** a senzor komunikace prostřednictvím I2C pomocí pinů **PB8** (**HALL_I2C_SDA**) a **PB9** (**HALL_I2C_SCL**).
- Vodič **HALL_OUT1** připojený na pin **PB11** může sloužit pro generování digitálního poplachu, pokud hodnota měřeného magnetického pole přesáhne předem definovaný práh.

ICM-20648 6-Axis Inertial Sensor



- Šestiosý inerciální senzor využívá pro komunikaci rozhraní SPI.
- Pro aktivaci senzoru slouží vodič **IMU_SPI_CS** (**PC3**) a pro vedení hodinového signálu vodič **IMU_SPI_SCLK** (**PC2**).
- Data do senzor se posílají vodičem **IMU_SPI_MOSI** (**PC0**) a ke čtení ze senzoru slouží vodič **IMU_SPI_MISO** (**PC1**). Napájení je aktivováno log. 1 na pinu **PF8**.