

A/D PŘEVODNÍK NA PROCESORU ARM – OBECNĚ

Procesor ARM je vybaven 12-bitovým A/D převodníkem s postupnou aproximací, ke kterému můžeme připojit až 42 multiplexovaných kanálů tvořených 40 externími a dvěma interními zdroji signálu.

- **A/D převod** může být v jednoduchém, kontinuálním, skenovacím nebo injektovaném (vloženém) režimu.
- **Výsledek** může být uložen se zarovnáním doleva nebo doprava.
- **Analogový watchdog** umožňuje detekovat překročení definované horní a dolní prahové hodnoty vstupního napětí.
- **Převod** je vždy prováděn maximální frekvencí systémových hodin. Během převodu je výrazně snížena spotřeba procesoru.
- **Převod** může být naprogramován na 12, 10, 8 nebo 6 bitový.
- **Na konci** každého převodu nebo skenovací sekvence může být generováno **přerušeni**.
- **Ve skenovacím režimu (SCAN)** můžeme zrealizovat převody v naprogramovaném pořadí vstupů.

A/D PŘEVODNÍK NA PROCESORU ARM – OBECNĚ

- **Pro každý kanál** můžeme stanovit individuální čas vzorkování.
- **Převod** může být odvozen od vzestupné nebo sestupné hrany externího signálu. Doba převodu A/D je 1 μ s při kmitočtu 16 MHz a až 4 μ s při 4 MHz nezávisle na hodinovém kmitočtu APB.
- **Při plné rychlosti** musí být ADC napájen v rozsahu 2,4 až 3,6 V. Pro nižší rychlosti 1,8V. Vstupní napětí převodníku musí ležet v intervalu $\pm V_{REF}$.
- Procesor je vybaven zdrojem **referenčního napětí** V_{REFINT} o typické hodnotě 1,21V (1,18 ÷ 1,24V). Pro **přesnější měření** si nejprve změříme hodnotu referenčního napětí V_{REFINT_DATA} , ke které provedeme přepočítání naměřené hodnoty s $V_{REFINT}=1.21V$.
- **Pro přesná měření** využijeme v procesoru uloženou kalibrovanou hodnotu napěťové reference V_{REFINT_CAL} při 30°C a $V_{DDA}=3.3 V$ v adresovém prostoru 0x1FFF7A2A ÷ 0x1FFF7A2B. Změřením aktuální hodnoty napěťové reference v kanálu 17 získáme hodnotu V_{REFINT_DATA} .

- **Hodnotu neznámého napětí** pak vypočteme ze vztahu

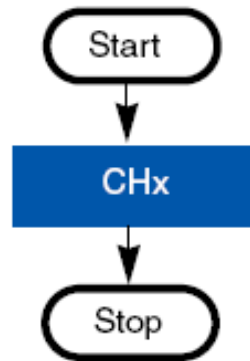
$$V_x = \frac{3,3 * V_{refint_cal} * ADC_data_x}{V_{refint_data} * FULL_scale}$$

kde ADC_data_x je změřená hodnota napětí v kanále x a $FULL_scale$ je největší hodnota pro nastavený bitový rozsah 12 bitů ($2^{12}-1=4095$) nebo pro 8 bitů ($2^8-1=255$).

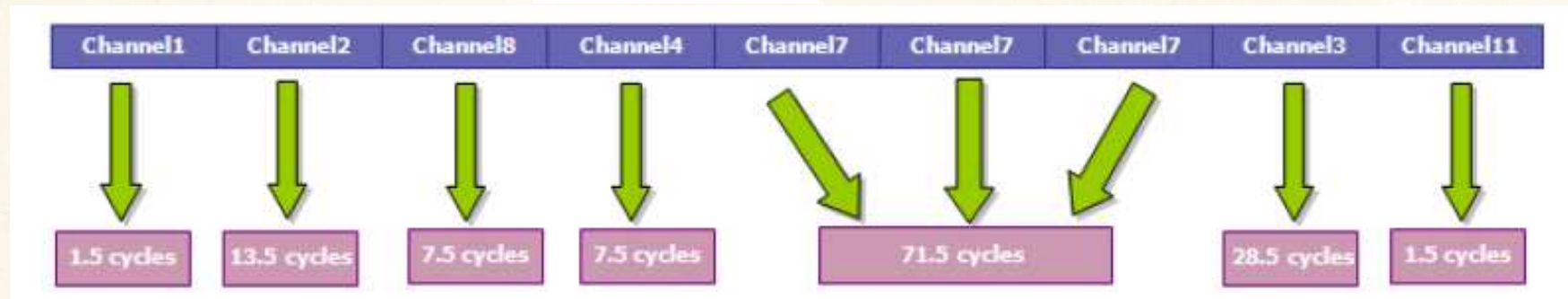
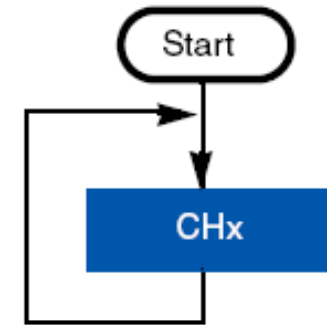
- **Kompensace referenčního napětí v závislosti na teplotě.** Pro opravdu přesná měření je třeba korigovat hodnotu referenčního napětí v závislosti na teplotě. V takovém případě stanovíme teplotu pomocí teplotního čidla a provedeme korekci na změřenou teplotu. Závislost není výrobcem specifikována, garantovaná odchylka je maximálně 10mV v celém rozsahu teplot.

A/D PŘEVODNÍK NA PROCESORU ARM – OBECNĚ

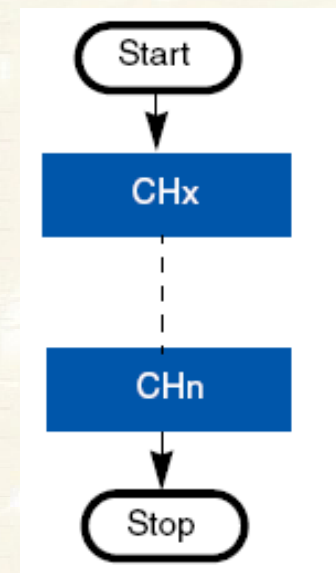
- Jeden kanál, jeden A/D převod



- Jeden kanál, kontinuální A/D převod

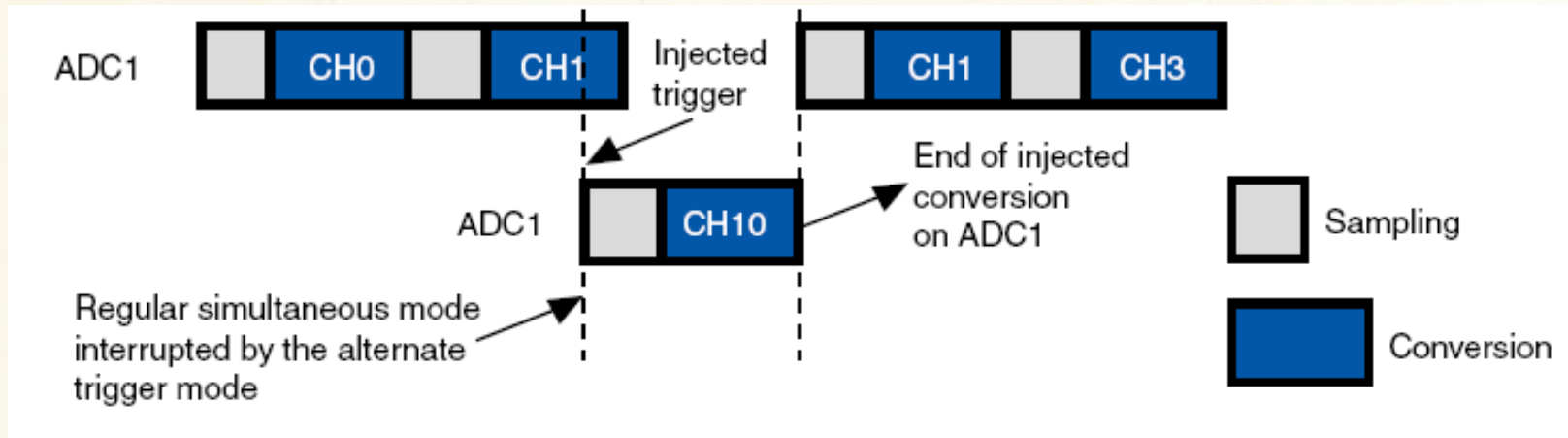


- Jeden vícekanálový (skenovací), převodní mód

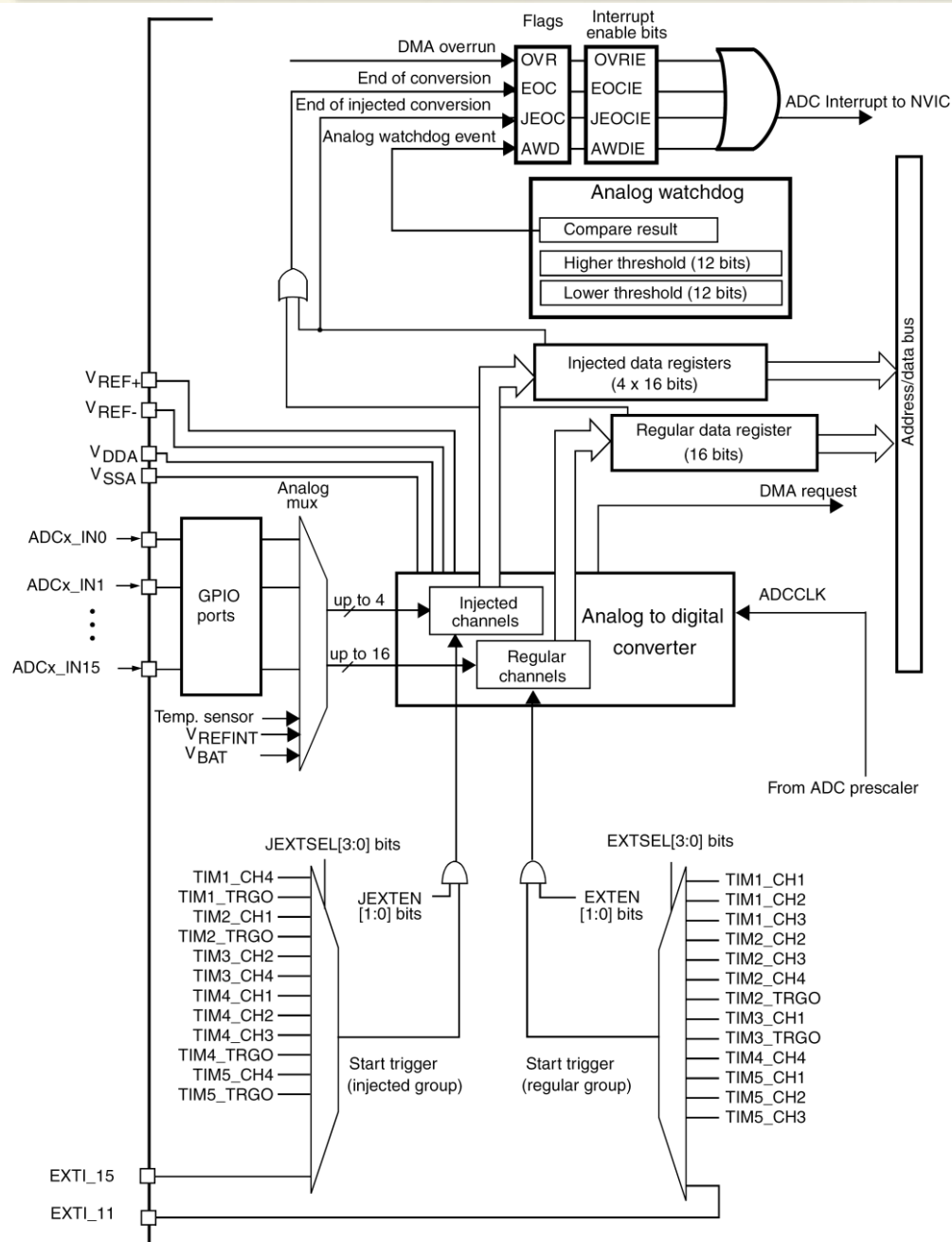


A/D PŘEVODNÍK NA PROCESORU ARM – OBECNĚ

○ Injektovaný převodní mód



A/D PŘEVODNÍK NA PROCESORU ARM F401 – OBECNĚ



Procesor má 16 multiplexovaných kanálů organizovaných do:

- Regulární skupiny
- Injektované skupiny

Regulární skupina až 16 kanálů v pořadí určeném registry `ADC_SQRx` a počtem kanálů v `ADC_SQR1`.

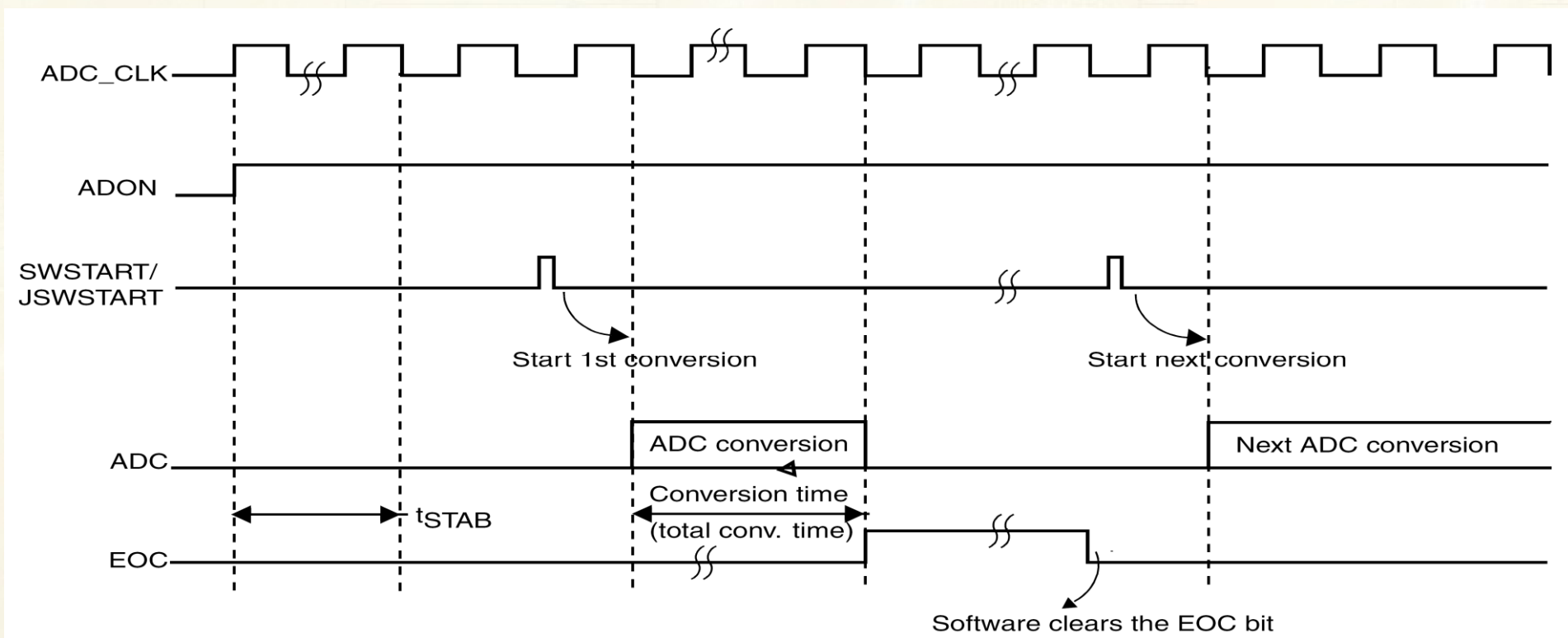
Injektovaná skupina má 4 kanály konfigurované registrem `ADC_JSQR`.

Kanál 17 – interní reference
Kanál 18 – měření baterie VBAT a teplotní senzor.

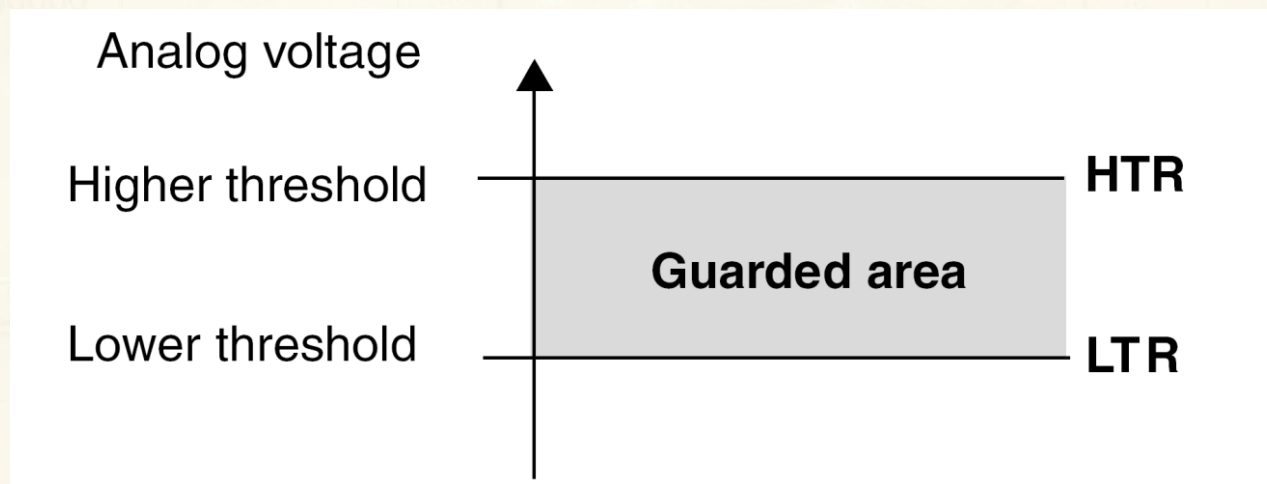
A/D PŘEVODNÍK NA PROCESORU ARM – OBECNĚ

Single conversion mód – jeden převod při bitu $CONT=0$ spuštěný $SWSTART$ bitem v ADC_CR2 nebo $JSWSTART$ pro injektovaný kanál. Převedená hodnota v ADC_DR registru oznámená ukončením převodu EOC a příznakem přerušování $EOCIE$.

Continuous conversion mode – pro $CONT=1$ spuštěný stejně a indikovaný po každém převodu stejně jako single mód.



Analogový watchdog – umožňuje indikovat pro stanovený rozsah ADC napětí, které je mimo stanovený rozsah nastavením bitu AWD. Meze se stanovují ve spodních 12 bitech registrů ADC_HTR a ADC_LTR. Přerušení povoluje bit AWDIE v ADC_CR1 registru.



Skenovací mód – je nastaven bitem SCAN v ADC_CR1 registru. Po nastavení provádí převod všech zvolených kanálů. Po ukončení převodu jednoho kanálu pokračuje v převodu následujícího kanálu. Po ukončení skupiny pokračuje od prvního kanálu pokud je nastaven bit CONT.

Je-li nastaven bit DMA, pak DMA kontrolér zajišťuje přenos převedených hodnot skupiny do SRAM po každém převodu. Bit EOC je nastaven v registru ADC_SR:

- Na konci každé skupiny převodů při vynulovaném bitu EOCS.
- Na konci každého převodu kanálu ve skupině, pokud EOCS=1.

Programovatelný čas vzorkování kanálu - ADC vzorkuje vstupní napětí po určitý počet cyklů ADCCLK, které lze upravit pomocí bitů SMP [2:0] v registrech ADC_SMPR1 a ADC_SMPR2. **Každý kanál může mít jinou dobu vzorkování.** Celková doba převodu se vypočítá takto: $T_{conv} = \text{doba vzorkování} + 12 \text{ cyklů}$.

Režim rychlé konverze – je dán nejkratší dobou vzorkování kanálu (3 cykly) a případně snížením přesnosti převodu. Bity RES jsou slouží k výběru počtu bitů dostupných v datovém registru. Minimální doba převodu je pro každé rozlišení následující:

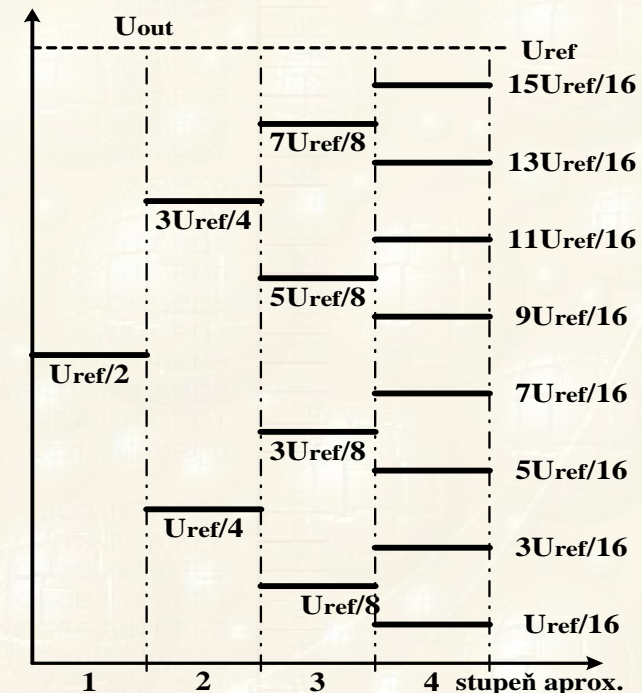
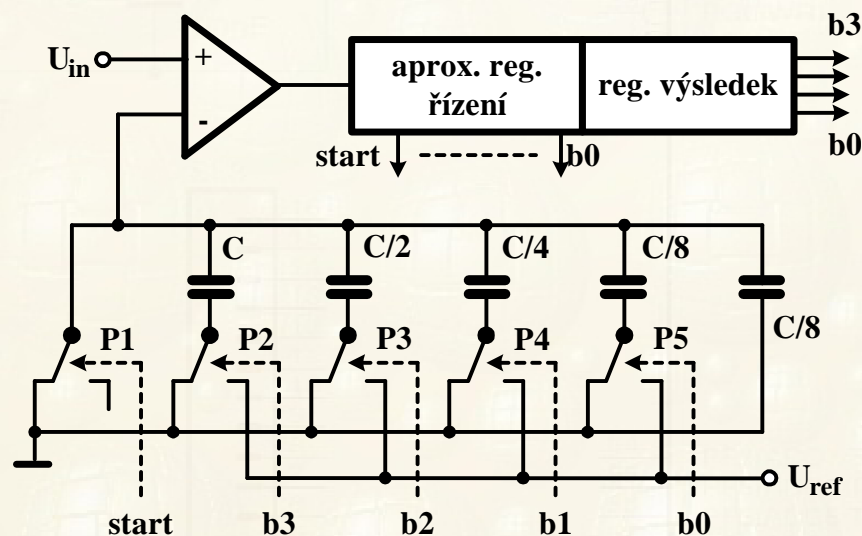
- 12 bitů: $3 + 12 = 15$ cyklů ADCCLK,
- 10 bitů: $3 + 10 = 13$ cyklů ADCCLK,
- 8 bitů: $3 + 8 = 11$ cyklů ADCCLK
- 6 bitů: $3 + 6 = 9$ cyklů ADCCLK.

A/D PŘEVODNÍK NA PROCESORU ARM – S POSTUPNOU APROXIMACÍ

Na obrázku je ideové schéma převodníku s postupnou aproximací. Ve skutečnosti je na vstupu kapacita, představující obvod S/H, která se účastní převodu ve struktuře s přeléváním náboje viz. přednáška.

➤ Chování vstupu převodníku ARM.

- Vliv doby vzorkování na aperturové zkreslení.
- Vliv přepínání (multiplexování) kanálů.
- Omezení frekvenčního rozsahu vstupního napětí.
- Vliv vzorkovacího kmitočtu a frekvence vzorkovaného signálu.

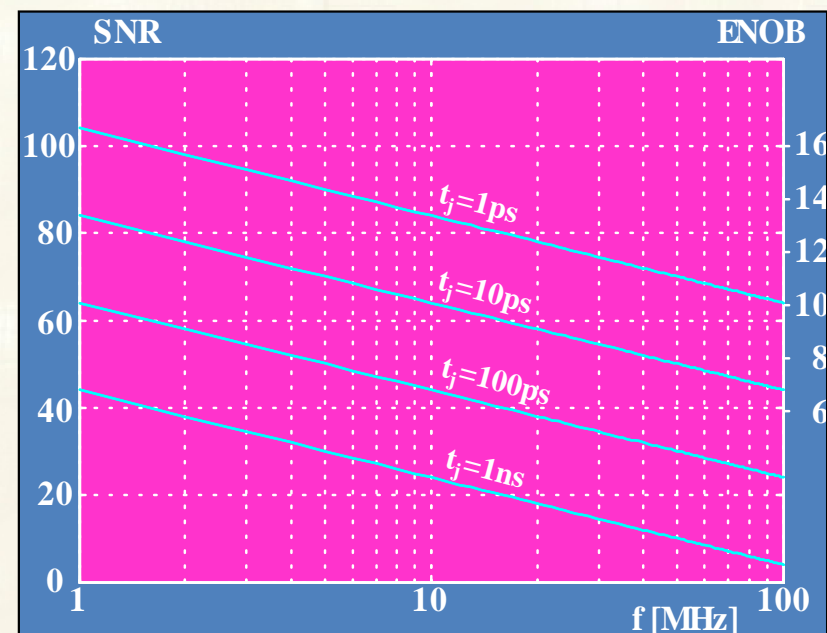
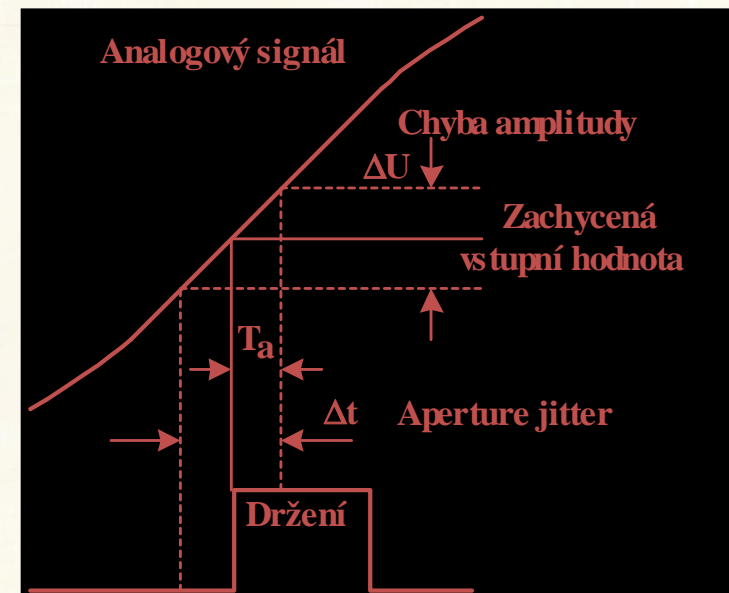


VLIV APERTUROVÉHO ZKRESLENÍ

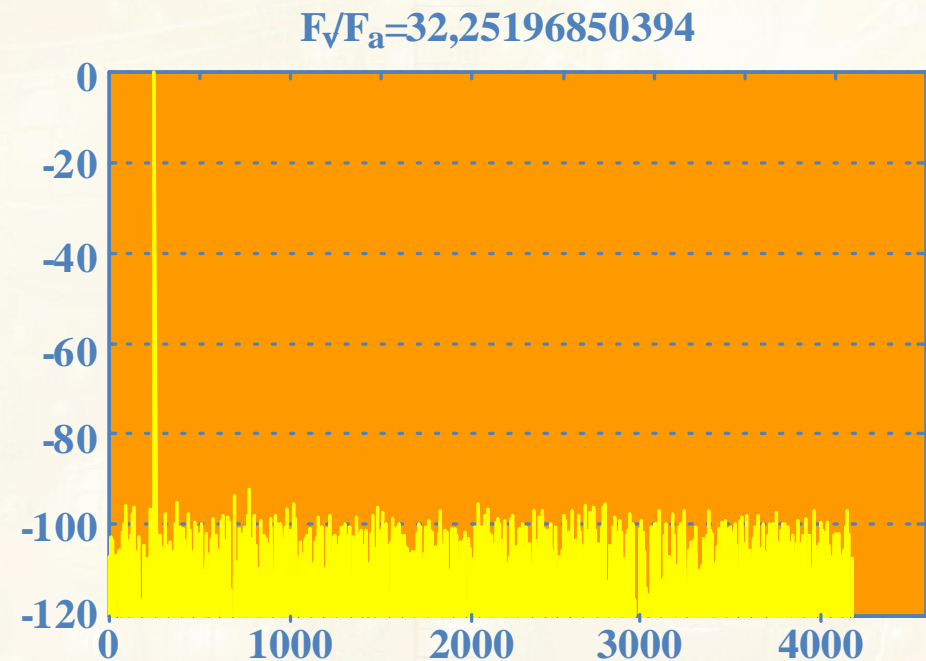
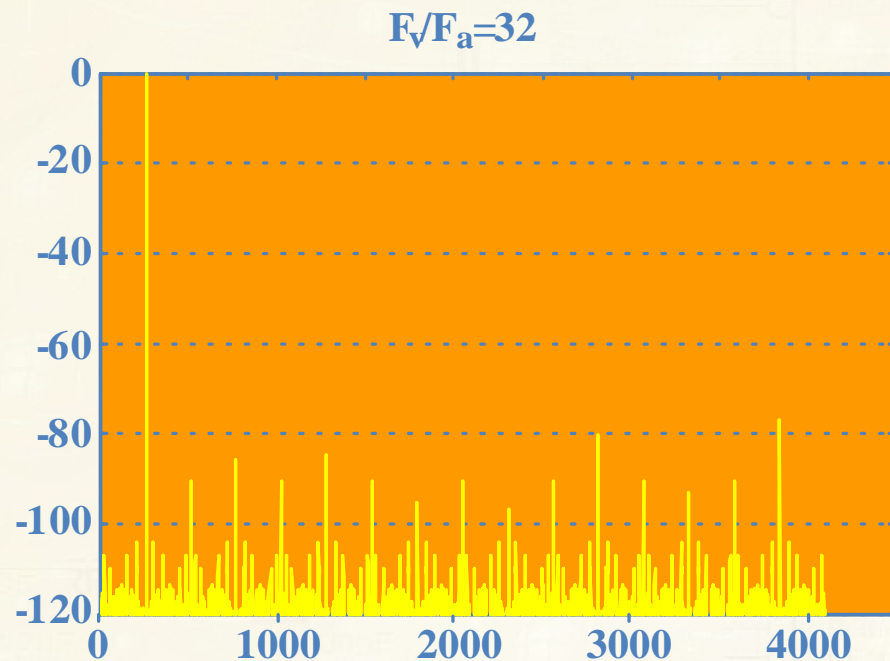
Pokles SNR A/D převodníku se vstupním kmitočtem lze vydedukovat z obrázku. Jev se nazývá doba odběru vzorku T_a a způsobuje při vzorkování časově proměnného signálu s časovou změnou du/dt chybu

$$du_a = \frac{du}{dt} \cdot T_a$$

Stejné problémy vytváří i nestabilita (nepokoj) vzorkovacího kmitočtu, který způsobuje, že neodebíráme signál v přesně definovaných okamžicích, ale s určitým zpožděním nebo předstihem. Obě změny potom degradují poměr SNR jak vyplývá z obrázku.



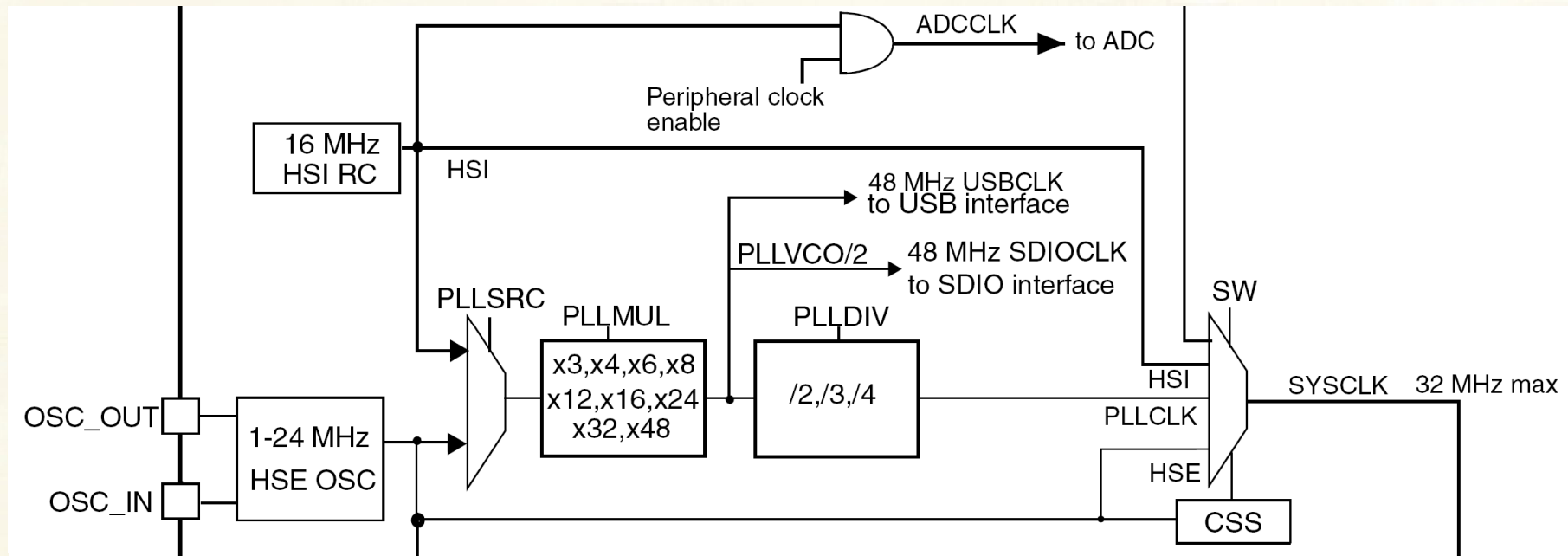
VLIV POMĚRU KMITOČTŮ VZORKOVÁNÍ A VZORKOVANÉHO



Digitalizace harmonického signálu soudělným vzorkovacím kmitočtem vede k tomu, že ze signálu odbíráme stále stejné hodnoty zasažené stejnou kvantizační chybou. Na druhém obrázku je situace zobrazena pro necelistvý poměr obou kmitočtů. Pokud není přítomen šum, může se tento jev nepříznivě projevit v poměru SFDR.

A/D PŘEVODNÍK NASTAVENÍ

Hodinový signál pro A/D převodník je vyvedený přímo z oscilátoru HSI o kmitočtu 16MHz. Jestliže povolíme hodiny pro převodník, může být jeho kmitočet vydělen hodnotou 1, 2 nebo 4 bity **ADCPRE** v **ADC_CCR**.



A/D PŘEVODNÍK INICIALIZACE

```
void Inicializace_ADC(void)
{
    // Inicializace HSI hodin je již v podprogramu SystemCoreClockSetHSI
    // RCC->CR |= ((uint32_t)RCC_CR_HSION);
    // setbit(RCC->CR, 0); // Povolení HSI
    // while ((RCC->CR & RCC_CR_HSIRDY) == 0);
    // while (!getbit(RCC->CR, 1)); // Čekej až bude HSI stabilní
    // Inicializace ADC

    RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_ADC1EN;
    // setbit(RCC->APB2ENR, 8); // Povolení hodin pro ADC1
    ADC->CCR &= ~ADC_CCR_TSVREFE; // Zakázání teplotního senzoru
    ADC->CCR |= ADC_CCR_ADCPRE_1; // Předdělič ADC = HSI/4
    ADC1->SQR1 &= ~ADC_SQR1_L; // Jeden převod
    ADC1->SQR5 &= ~ADC_SQR5_SQ1; // Všechny převody z kanálu 0 (tj. PA_0)
    // clearbit(ADC1->SQR3, 0); // 1st conversion in regular sequence will be from
    // channel 0
    // clearbit(ADC1->SQR3, 1); // reset state - all conversions from channel0 (PA_0)
    // clearbit(ADC1->SQR3, 2); // this is just an example
    // clearbit(ADC1->SQR3, 3);
    // clearbit(ADC1->SQR3, 4);

#ifdef BIT12
    ADC1->CR1 &= ~ADC_CR1_RES // 12 bitová konfigurace
    // clearbit(ADC1->CR1, 24); // 12-bit resolution (Tconv = 15 ADCCLK cycles)
    // clearbit(ADC1->CR1, 25); // Reset state
#endif
    ADC1->CR2 &= ~ADC_CR2_ALIGN; // Zarovnání doprava
    // clearbit(ADC1->CR2, 11); // Right alignment, reset state
#ifdef HISAMP
    ADC1->SMPR2 |= ADC_SMPR2_SMP0 // Vzorkování po dobu 480 cykly
    // setbit(ADC1->SMPR2, 0); // channel0 sample rate: 480 cycles
    // setbit(ADC1->SMPR2, 1);
    // setbit(ADC1->SMPR2, 2);
#endif
    ADC1->CR2 |= ADC_CR2_ADON; // Povolení ADC převodníku
}
```


OVĚŘENÍ KONFIGURACE A/D PŘEVODNÍKU NA CVIČENÍ

Cíl: *Napište program, který inicializuje kanál ADC0 (pin PA0), provede jeho spuštění a odešle naměřenou hodnotu po sériovém kanálu do PC.*

- 1. Vyjdeme z úlohy 4, do které přidáme podprogram inicializace vstupu ADC0 A/D převodníku (vývod PA0), str.14*
- 2. Za inicializace vývodů přidáme konfiguraci vývodu PA0 na analogový vstup. Konfigurace AFR není třeba.*
- 3. Za inicializací Serial2, přidáme inicializaci ADC0*
- 4. Do hlavní smyčky vložíme spuštění ADC, vyčkání na konec převodu a přečtení převedené hodnoty.*
- 5. Naměřenou hodnotu převedte do hexadecimální nebo dekadické soustavy.*
- 6. Získanou hodnotu odešlete po sériovém kanále.*
- 7. Pootočte trimrem na nastavném modulu a opakujte změření hodnoty.*

ZADÁNÍ ÚLOHY 5

Navrhněte v jazyce C program realizující měřič napětí na odbočce trimru přivedené k vývodu procesoru PA0.

Zobrazená hodnota bude převedena do dekadické soustavy a zobrazena na LED displeji. Pro 12-ti bitový převod se bude pohybovat v intervalu $\langle 0 \div 4095 \rangle$.

Rozšíření:

*Doplňte program, který převede změřenou hodnotu z ADC na napětí v rozsahu ADC převodníku $\langle 0 \div 3,3 \rangle [V]$ a následně ji zobrazí ve tvaru X.XXX. Při převodu hodnoty na číslo BCD využijte některý z převodů popsaných v materiálu *Převod Binárně-Dekadický.pdf*. Data budou odesílána po sériové lince do PC jako záznam naměřených hodnot se zvolenou periodou.*