

KURS STM32

Wojciech Olech

CZĘŚĆ VI: PRZETWORNIK ANALOGOWO-CYFROWY (ADC)

ADC

ADC (przetwornik analogowo-cyfrowy) służy do odczytywania napięcia analogowego i konwersji jego wartości na liczbę, w celu jej przetworzenia.

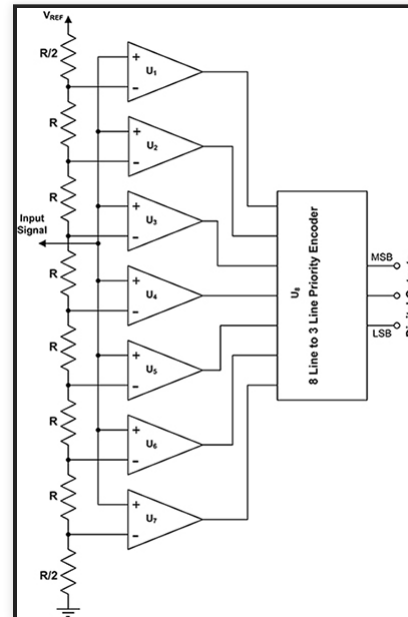
Najważniejsze charakterystyki ADC to:

- Rozdzielczość - wyrażana w bitach, im większa tym lepiej ponieważ pozwala na dokładniejszy odczyt.
- Maksymalna szybkość samplowania (czas samplowania) - im szybciej, tym lepiej, ale zazwyczaj wraz ze wzrostem szybkości tracimy dokładność pomiaru

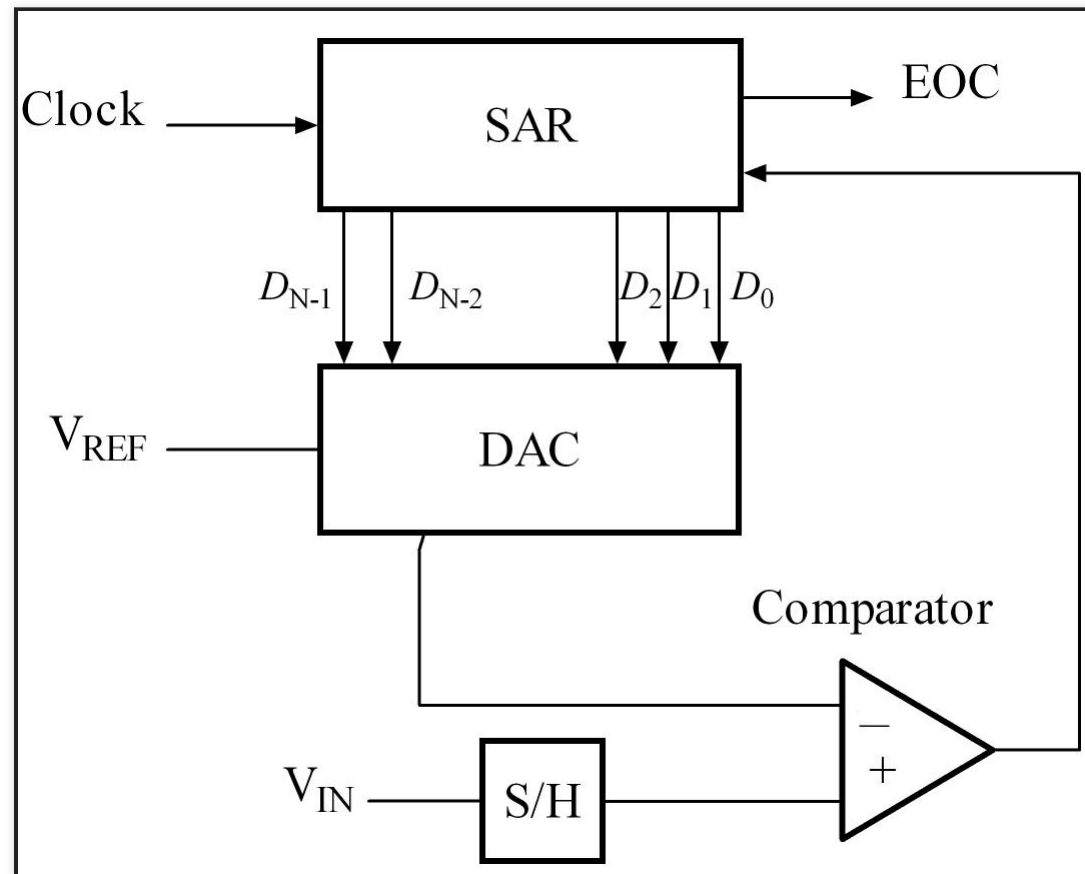
Dodatkowo, czasami ma również znaczenie nieliniowość i szumy przetwornika.

POPULARNE RODZAJE PRZETWORNIKÓW ADC

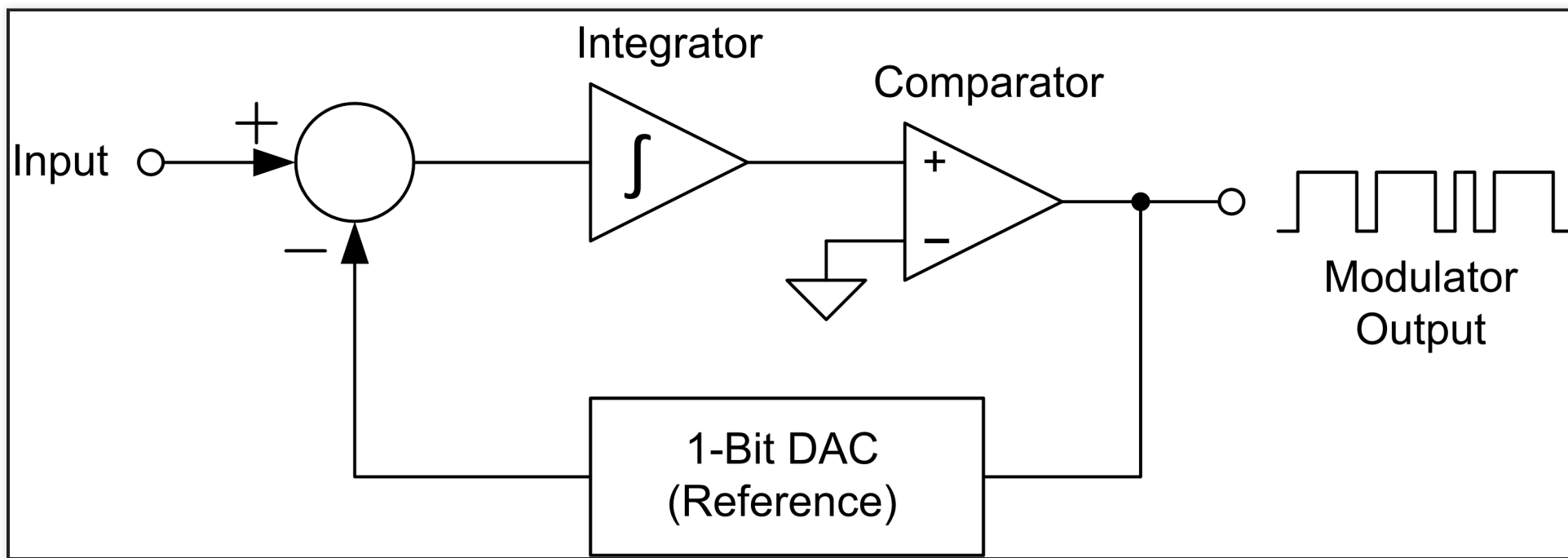
- Direct-conversion (flash) ADC: Składa się z komparatorów samplujących sygnał równoległe. Bardzo szybki (sample rate mierzony w GHz), ale wymaga dużej ilości komparatorów ($2^N - 1$), ma dużą pojemność wejściową, wymaga dużo mocy i jest podatny na błędy.



- Successive approximation (SAR) ADC: Działa na zasadzie sukcesywnej komparacji wartości wejściowej z wartością generowaną przez wewnętrzne źródło sygnału (DAC) krok po kroku. Wejściowy sygnał jest porównywany z generowanymi przez DAC wartościami, które z kolei są generowane na podstawie uprzednio zmierzonych wartości zaczynając od $\frac{1}{2}V_{ref}$.



- Przetwornik Sigma-delta ($\Sigma\Delta$) - modulatory sigma-delta generują impulsy o częstotliwości proporcjonalnej do napięcia wejściowego, a następnie je zliczają, co pozwala otrzymać wartość liczbową. Charakteryzują się one niskim szumem i wysoką dokładnością pomiarów.



Każdy przetwornik analogowo-cyfrowy wymaga do działania **napięcia wejściowego i napięcia referencyjnego** (lub kilku napięć referencyjnych). Napięcie referencyjne określa maksymalną (lub minimalną, w przypadku bipolarnych przetworników) wartość napięcia jaką dany przetwornik może zmierzyć, oraz jego dokładność (a co za tym idzie, błąd kwantyzacji)

Rozdzielczość napięciową przetwornika określa się wzorem $V_{res} = V_{ref} \cdot 2^{-n}$, gdzie V_{ref} to napięcie referencyjne, a n to rozdzielczość przetwornika.

Przykładowo, dla 8-bitowego przetwornika ADC z napięciem referencyjnym 5V rozdzielczość napięciowa będzie wynosić $V_{res} = 5 \cdot 2^{-8} = 5 \cdot \frac{1}{1024} \approx 4.9\text{mV}$

Oznacza to, że najmniej znaczący bit (LSB) ma wagę około 4.9mV, czyli przetwornik może mierzyć wartości z krokiem 4.9mV. Jeśli podamy mu do zmierzenia wartość 100mV, to zwróci wartość 20, co po ponownym przeliczeniu na napięcie będzie wynosić $20 \cdot 4.9\text{mV} = 98\text{mV}$, co daje nam błąd kwantyzacji o wielkości 2mV dla tego pomiaru.

Błąd kwantyzacji można zmniejszyć zwiększając rozdzielczość napięciową poprzez zmniejszanie napięcia referencyjnego lub zwiększanie ilości bitów.

W mikrokontrolerach STM32 najczęściej używany jest przetwornik z sukcesywną aproksymacją (SAR) o maksymalnej rozdzielczości 12 bitów. Wyjątkiem jest seria STM32F37x, gdzie jest używany przetwornik z modulacją Sigma-Delta o maksymalnej rozdzielczości 16 bitów.

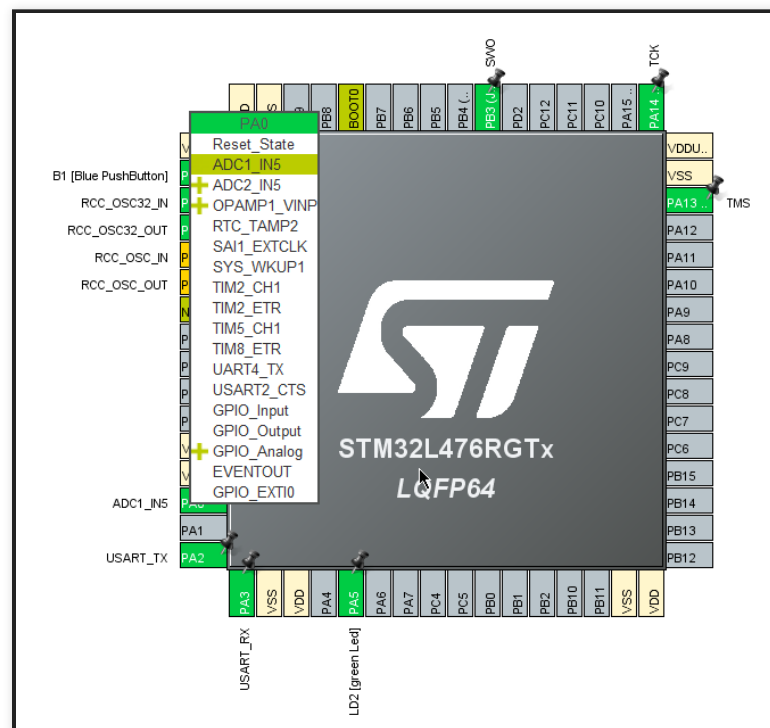
ADC w STM32 może mierzyć napięcie w dwóch trybach: **single-ended** i **differential**.

Tryb single-ended mierzy wartość z użyciem jednego kanału, pomiędzy nim a V_{ref}

Tryb differential mierzy napięcie pomiędzy dwoma kanałami.

KONFIGURACJA ADC W DEVICE MANAGERZE

Żeby włączyć przetwornik ADC w Device Managerze, należy w zakładce "Analog" włączyć interesujące nas kanały. Można sprawdzić który pin należy do danego kanału konkretnego ADC poprzez kliknięcie na niego w widoku pinoutu, ale zmiana trybu pinu w tym widoku nie włączy danego kanału, nadal należy to zrobić w konfiguracji ADC.



USTAWIENIA ADC

Po skonfigurowaniu jednego z kanałów ADC możemy zmienić jego ustawienia.

- Clock Prescaler - prescaler zegara jakim będzie taktowany **cały ADC** (nie pojedynczy kanał). Im większy, tym wolniej będzie przebiegał pomiar. **Asynchroniczny** prescaler pozwala na taktowanie ADC innym zegarem niż HCLK (główny zegar mikrokontrolera), **synchroniczny** prescaler wymusza taktowanie ADC zegarem HCLK.
- Resolution - rozdzielczość bitowa ADC, im mniejsza tym szybciej następuje konwersja pomiarów przez SAR, dzięki czemu rośnie częstotliwość próbkowania.
- Continuous Conversion Mode - możemy skonfigurować ADC żeby zapętlił próbkowanie, co spowoduje że po rozpoczęciu pomiaru będzie on wykonywany w kółko do momentu jego ręcznego zatrzymania.
- Overrun behaviour - jeśli dane z aktualnego pomiaru nie zostaną odczytane przez procesor przed rozpoczęciem nowego pomiaru, nastąpi *overrun*. Możemy wybrać czy po jego nastąpieniu stare dane mają zostać zachowane czy nadpisane.
- Enable Regular Oversampling - niektóre serie STM32 mają wbudowane w ADC oversamplery które mierzą analogową wartość kilkakrotnie a następnie ją obrabiają (na przykład uśredniają), co przekłada się na dokładniejsze pomiary. To pole aktywuje oversampler.

- Number of Conversions - ilość konwersji przeprowadzanych przez ADC. Należy pamiętać żeby ją zwiększyć i każdą konwersję (Rank) odpowiednio skonfigurować, ponieważ jeśli tego nie zrobimy to domyślnie ADC wykona tylko jedną konwersję na pierwszym skonfigurowanym przez nas kanale.
- Rank - tutaj możemy skonfigurować kanał (Channel) i czas samplowania (Sampling Time).

ZADANIE 1: POMIAR WEWNĘTRZNEJ TEMPERATURY MIKROKONTROLERA

Na start, zmierzmy wartość czujnika temperatury wbudowanego w mikrokontroler. W konfiguracjach ADC szukamy checkboxa *Temperature Sensor Channel* i go zaznaczamy.

Czujnik temperatury jest dość specyficznym elementem procesora z kilku powodów

- Zwraca on temperaturę **wewnątrz** opakowania. Oznacza to że nie możemy go wykorzystać do pomiaru temperatury otoczenia. Jest on również dość niedokładny.
- W bibliotekach HALa znajdują się makra które umożliwiają konwersję napięcia na temperaturę. Wartości kalibracyjne czujnika są zapisane w pamięci mikrokontrolera na etapie jego produkcji.
- Wymaga odpowiedniego czasu pomiaru żeby uzyskać poprawną temperaturę.

Wymagania dotyczące timingów oraz adresy wartości kalibracyjnych można znaleźć w datasheecie mikrokontrolera (sekcje "Temperature Sensor Characteristics" oraz "Analog to digital converter (ADC) -> Temperature sensor")

Zaczniemy od zebrania czystych danych z czujnika. W tym celu, musimy skonfigurować ADC żeby czas samplowania był większy lub równy czasowi podanemu w datasheecie.

Na stronie 110 datasheeta (<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f401cb.pdf>) można znaleźć charakterystyki czujnika temperatury. Interesuje nas w tej chwili T_{S_temp}

DODATKOWE MATERIAŁY

Reference Manual do serii mikrokontrolera którego używamy

Tryby pracy ADC w STM32:

https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/c4/63/a9/f4/ae/f2/48/5d/CD00258

Jak uzyskać jak najlepszą dokładność przetwarzania oraz szczegółowy opis pracy przetwornika ADC w STM32:

https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/group0/3f/4c/a4/82/bd/63/4e/92/

Tryby pracy ADC w STM32F30x:

https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/48/64/0d/61/be/65/48/ae/DM0000

Przetwarzanie audio z użyciem STM32L4:

https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/group0/24/d3/31/a0/9d/5a/4a/de