



**Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie**

Raport z projektu

**Układ do pomiaru natężenia prądu poniżej
jednego LSB przetwornika A/C**

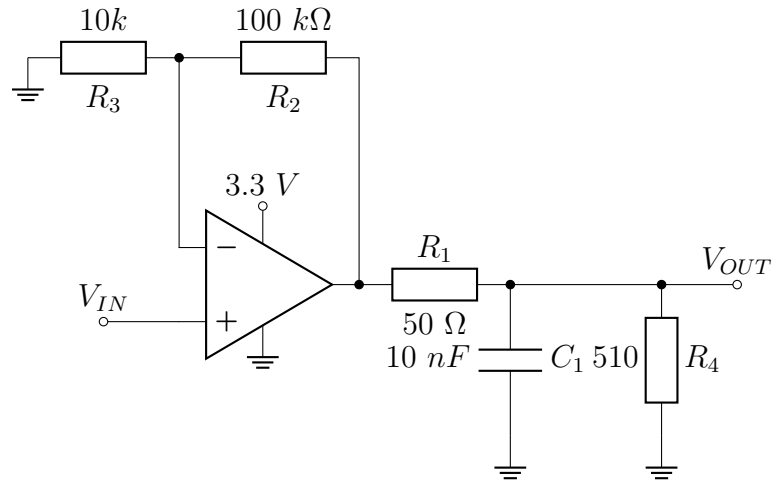
z przedmiotu

**Analogowe układy peryferyjne w
systemach cyfrowych**

Elektronika i telekomunikacja - Systemy wbudowane, rok II studiów magisterskich

Piotr Kowol, Piotr Mosurek, Michał Nizioł

19 lutego 2026



Rysunek 1.3: Schemat pasywnego filtra RC o częstotliwości granicznej $f_g \approx 318 \text{ kHz}$.

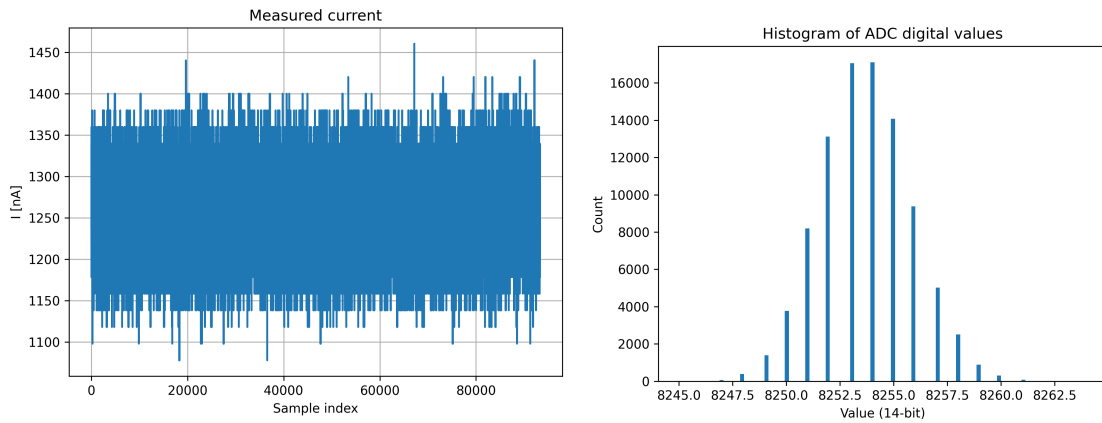
parametr	wartość	komentarz
czułość	$10 \frac{\text{mV}}{\mu\text{A}}$	czułość układu bez ditheringu
zakres pomiarowy	$\pm 100 \mu\text{A}$	-
zakres napięcia wspólnego	$0.7 \div 2.8 \text{ V}$	-
częstotliwość graniczna	30 Hz	ograniczenie od INA333
pasmo szumu białego	$100 \text{ Hz} \div 300 \text{ kHz}$	
napięcie szumu	$\approx 1.5 \text{ mV}$	w paśmie $100 \text{ Hz} \div 300 \text{ kHz}$
częstotliwość próbkowania	$f_s = 300 \text{ kHz}$	z dokumentacji STM32F103C8T6
częstotliwość nadpróbkowania	$f_{OVS} = 18.75 \text{ kHz}$	nadpróbkowanie 16 razy
dodatkowe bity	+2 bity	na podstawie AN5537
teoretyczna wartość mierzanego prądu przy ditheringu	$I_{meas} \approx 25 \text{ nA}$	jeśli nie tracimy na ENOB

Tabela 1.1: Parametry zaprojektowanego układu do pomiaru prądu.

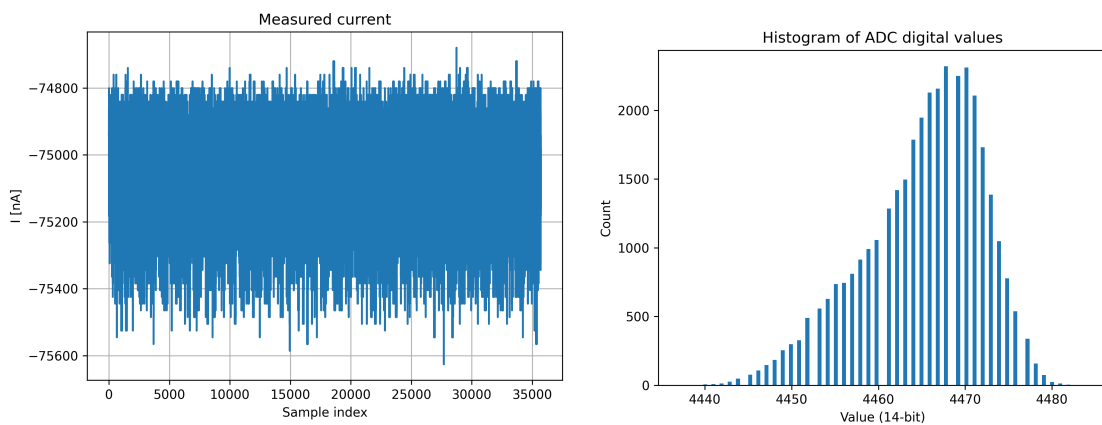
2. Pomiary

Podczas pomiarów wystąpiły problemy z rozkładem prawdopodobieństwa szumu - była widoczna asymetria powodowana przez układ zasilania - LDO. Asymetria była zależna od natężenia i polaryzacji prądu. Rozwiązaniem było zastosowanie zasilacza laboratoryjnego - szum był Gaussowski, do puki zasilacz się nie nagrzał - potem rozkład nieco się zniekształcił, ale znacznie mniej niż w przypadku LDO. Przebiegi czasowe oraz rozkłady prawdopodobieństwa dla kilku pomiarów przedstawiono na rysunkach 2.1 - 2.5. Dodatkowa filtracja pozwala uzyskać dokładniejsze wyniki, co zostało przedstawione na rysunku 2.6. Dodatkowym utrudnieniem w przeprowadzaniu pomiarów było występowanie zewnętrznych zakłóceń, co powodowało chwilowe zmiany napięcia wejściowego przetwornika ADC, oraz wprowadzało zniekształcenie w histogramie.

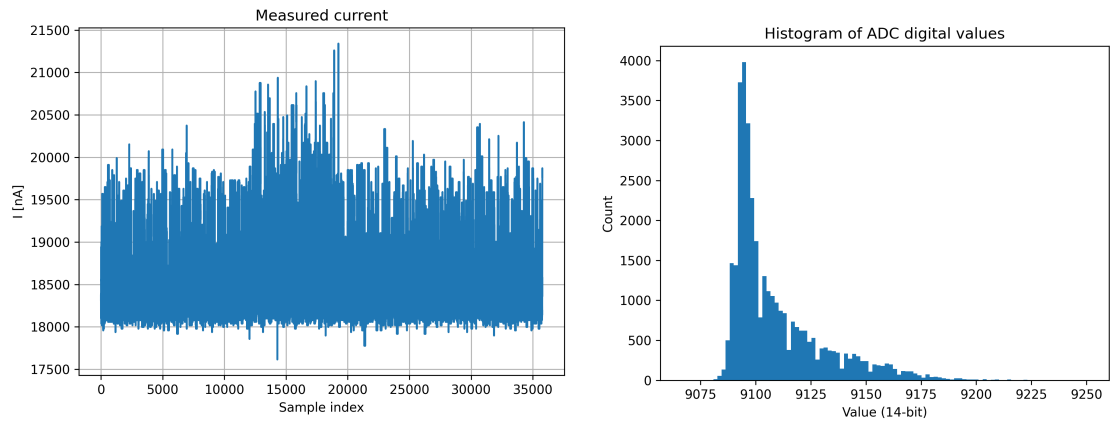
Zastosowany algorytm oblicza sumę 16 próbek, a następnie dzieli wynik przez 4, co pozwala zapisać wynik na 14 bitach zamiast 12. Tak przygotowane dane są przesyłane do komputera przez UART.



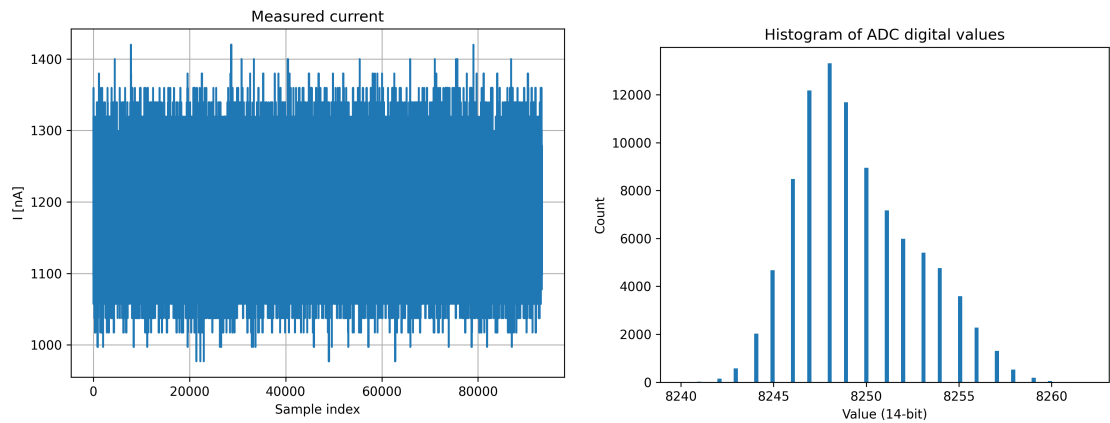
Rysunek 2.1: Mierzony prąd oraz rozkład prawdopodobieństwa szumu dla prądu $0 \mu A$ przy zasilaniu z LDO - nie widać zniekształceń.



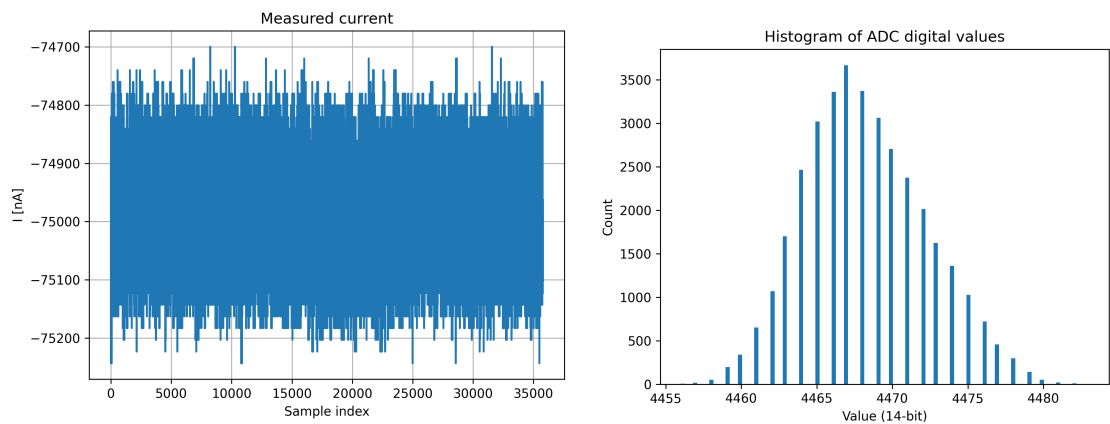
Rysunek 2.2: Mierzony prąd oraz rozkład prawdopodobieństwa szumu dla prądu $-75 \mu A$ przy zasilaniu z LDO - odwrócona polaryzacja oraz zniekształcenie dla wyższych wartości.



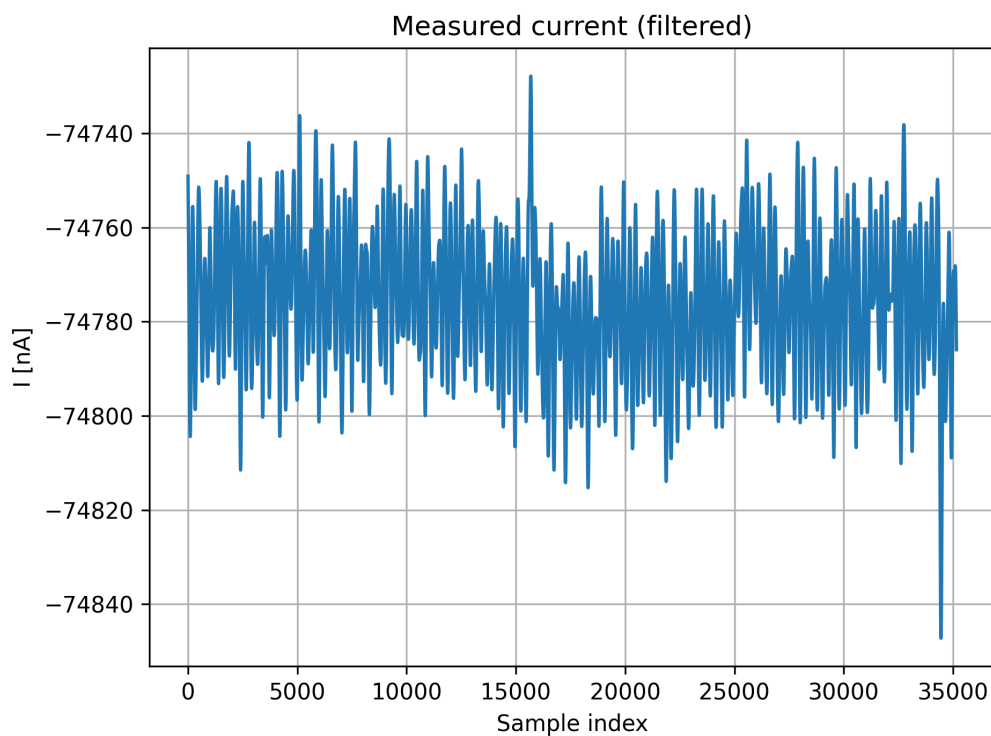
Rysunek 2.3: Mierzony prąd oraz rozkład prawdopodobieństwa szumu dla prądu $16 \mu A$ przy zasilaniu z LDO - zniekształcenie dla mniejszych wartości.



Rysunek 2.4: Mierzony prąd oraz rozkład prawdopodobieństwa szumu dla prądu $0 \mu A$ przy zasilaniu z zasilacza laboratoryjnego - widać niewielkie zniekształcenie, ale nie zmienne.



Rysunek 2.5: Mierzony prąd oraz rozkład prawdopodobieństwa szumu dla prądu $-75 \mu A$ przy zasilaniu z zasilacza laboratoryjnego - zniekształcenie niemalże takie same jak dla zerowego prądu z zasilacza, można zauważyć zewnętrzne zakłócenie.



Rysunek 2.6: Przebieg prądu $-75 \mu A$ po filtracji przy zasilaniu z zasilacza.

3. Podsumowanie

Mimo napotkanych problemów udało się zrealizować pomiar poniżej 1 LSB - dzięki decymacji zwiększono rozdzielczość przetwornika o 2 bity.