

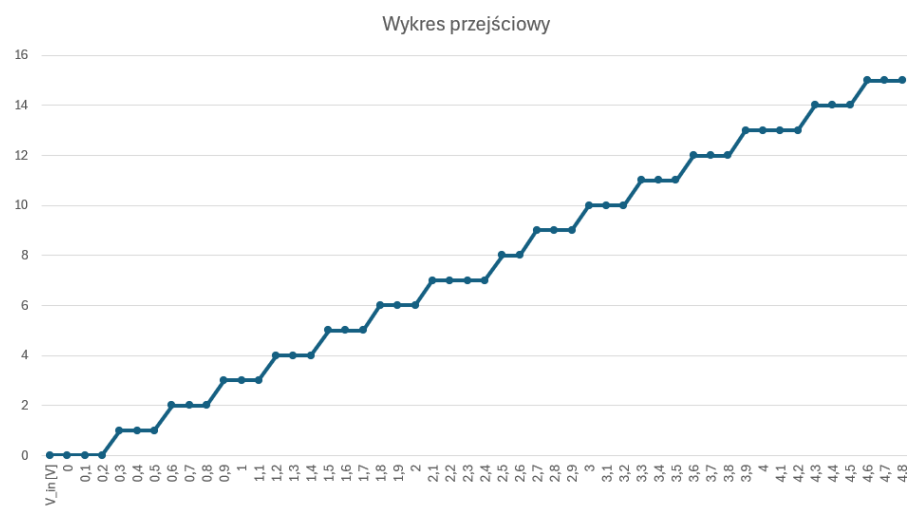
Zgodnie ze schematem blokowym modułu, układ składa się z komparatora, licznika 4-bitowego oraz przetwornika C/A w pętli sprzężenia zwrotnego. Procedura weryfikacji polegała na podaniu napięcia na wejście analogowe (**Analog Input**, V_i). Następnie wartość napięcia była stopniowo regulowana. Poprawność konwersji weryfikowano, obserwując stan diod LED podłączonych do wyjść cyfrowych przetwornika (B_0 - B_3), które reprezentowały wynikową wartość binarną napięcia wejściowego.

Tabela 1: Tabela przejściowa

V_in [V]	Słowo_dec	Słowo
0	0	0000
0,1	0	0000
0,2	0	0000
0,3	1	0001
0,4	1	0001
0,5	1	0001
0,6	2	0010
0,7	2	0010
0,8	2	0010
0,9	3	0011
1	3	0011
1,1	3	0011
1,2	4	0100
1,3	4	0100
1,4	4	0100
1,5	5	0101
1,6	5	0101
1,7	5	0101
1,8	6	0110
1,9	6	0110
2	6	0110
2,1	7	0111
2,2	7	0111
2,3	7	0111
2,4	7	0111
2,5	8	1000
2,6	8	1000
2,7	9	1001
2,8	9	1001
2,9	9	1001
3	10	1010
3,1	10	1010
Ciąg dalszy na następnej stronie		

Tabela 1 – ciąg dalszy z poprzedniej strony

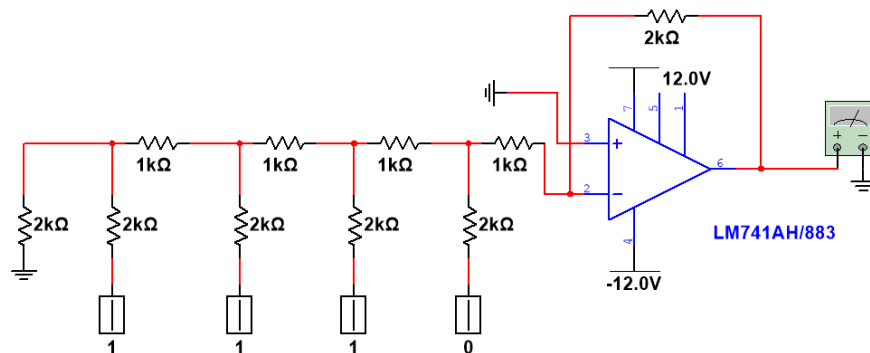
V_in [V]	Słowo_dec	Słowo
3,2	10	1010
3,3	11	1011
3,4	11	1011
3,5	11	1011
3,6	12	1100
3,7	12	1100
3,8	12	1100
3,9	13	1101
4	13	1101
4,1	13	1101
4,2	13	1101
4,3	14	1110
4,4	14	1110
4,5	14	1110
4,6	15	1111
4,7	15	1111
4,8	15	1111



Rysunek 2: Obwód do zadania 1

3.2 Zadanie 2

Zrealizować przetwornik cyfrowo-analogowy (C/A) wykorzystując moduł laboratoryjny DB16.



Rysunek 3: Obwód do zadania 2

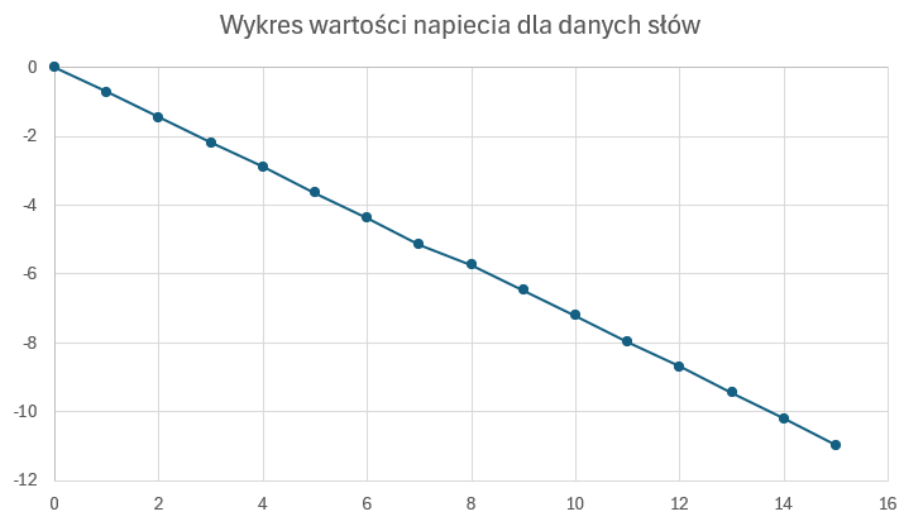
Procedura pomiarowa polegała na podłączeniu multimetru cyfrowego do wyjścia analogowego układu (V_o). Następnie na wejścia cyfrowe ($D_0 - D_3$, gdzie D_3 to MSB) podawano sekwencyjnie 4-bitowe słowa kodowe, począwszy od wartości 0000_2 (0_{10}), aż do 1111_2 (15_{10}). Dla każdej kombinacji wejściowej zmierzono i zanotowano wartość napięcia wyjściowego, co pozwoliło na wyznaczenie charakterystyki przetwarzania układu.

Tabela 2: Charakterystyka przetwarzania przetwornika C/A (pomiar)

Słowo_dec	Słowo	V_o [V]
0	0000	0
1	0001	-0,723
2	0010	-1,449
3	0011	-2,193
4	0100	-2,892
5	0101	-3,633
6	0110	-4,38
7	0111	-5,14
8	1000	-5,74
9	1001	-6,47
10	1010	-7,21
11	1011	-7,97
Ciąg dalszy na następnej stronie		

Tabela 2 – ciąg dalszy z poprzedniej strony

Słowo_dec	Słowo	V_o [V]
12	1100	-8,69
13	1101	-9,45
14	1110	-10,21
15	1111	-10,98



Rysunek 4: Wykres do zadania 2

4 Dyskusja błędów

W przeprowadzonych zadaniach zrealizowano przetwornik analogowo-cyfrowy (A/C) wykorzystując moduł laboratoryjny DB22 oraz przetwornik cyfrowo-analogowy (C/A) wykorzystując moduł laboratoryjny DB16.

W zadaniu pierwszym na wejście podawano napięcie od 0 V do 5 V za pomocą zasilacza laboratoryjnego oraz podłączono zestaw taktujący o częstotliwości 1 kHz. Stopniowo zwiększając napięcie wejściowe, obserwowano zmiany słowa wyjściowego na diodach LED. Zgodnie z podstawą teoretyczną, dominującym źródłem niedokładności był błąd kwantyzacji. Jest on nieunikniony w systemach cyfrowych, ponieważ ciągły sygnał napięciowy musi zostać odwzorowany na skończoną liczbę poziomów (w tym przypadku 16 dla 4 bitów). Na podstawie Tabeli 1 wyznaczono średnią wartość kwantu (LSB), która wynosi $q \approx 0,3$ V.

Istotę tego błędu obrazuje fakt, że przetwornik jest nieczuły na zmiany napięcia mniejsze od wartości kwantu. Jak wynika z danych pomiarowych, dla napięć 0,6 V, 0,7 V oraz 0,8 V układ zwraca tę samą wartość cyfrową (0010₂), mimo wzrostu napięcia wejściowego. Charakterystyka schodkowa widoczna na Rysunku 2 potwierdza monotoniczność przetwornika (wzrost napięcia nie powoduje spadku kodu). Oprócz błędu kwantyzacji, na wynik wpływ miały również błędy statyczne zastosowanych elementów (np. tolerancja rezystorów, błąd offsetu komparatora), niepewność nastaw zasilacza laboratoryjnego przy ręcznym zadawaniu napięcia lub szybkość przetwarzania sygnału.

W zadaniu drugim przeanalizowano przetwornik C/A z drabiną rezystorową. Do wejścia podłączono +12V oraz -12V, a następnie za pomocą przełączników na wejściu ustawiając odpowiednie słowo badano napięcie na wyjściu. Zależność napięcia wyjściowego od słowa wejściowego jest wysoce liniowa, co widać na Rysunku 4. Na podstawie wykonanych pomiarów dopasowano liniową charakterystykę teoretyczną przetwornika. Otrzymano równanie:

$$V_{\text{teo}}(k) = -0.7277 \cdot k + 0.0119$$

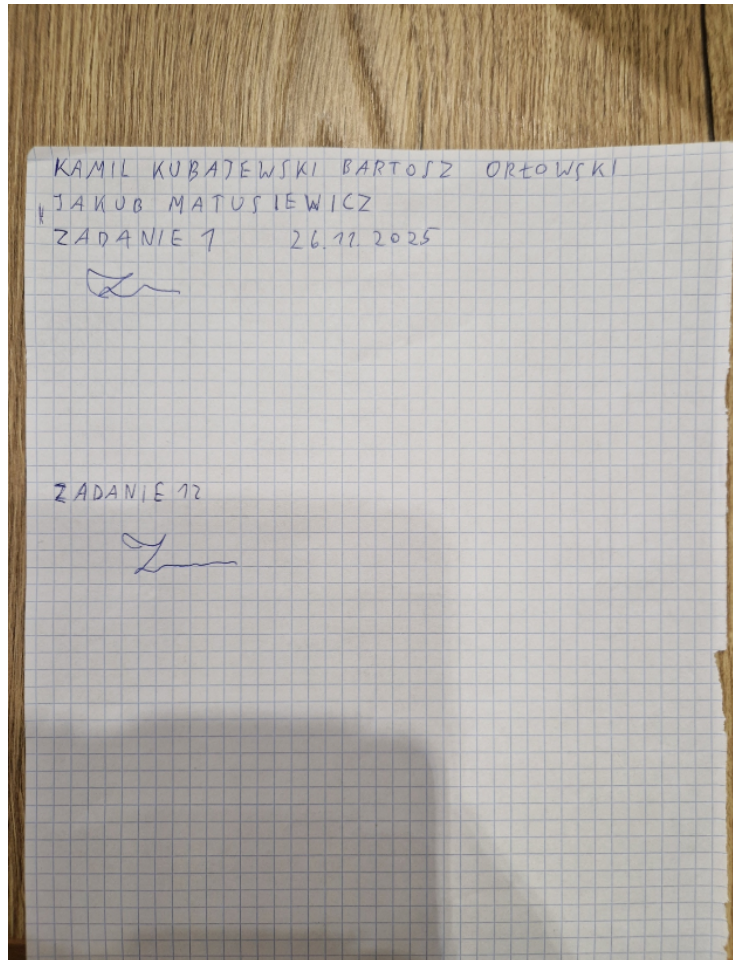
co oznacza, że idealny krok napięciowy (LSB) wynosi około 0.728 V. Następnie porównano wartości zmierzone z teoretycznymi dla każdego kodu wejściowego. Odchylenia były niewielkie i wynosiły od ok. 1% do kilku procent, co jest zgodne z tolerancją rezystorów drabinki R-2R. Ponadto należy uwzględnić inne, typowe źródła błędów występujące w przetwornikach (C/A), które mogły przyczynić się do obserwowanych rozbieżności. Należą do nich błąd pomiarowy multimetru, napięciowe odchyłki źródła zasilania ± 12 V oraz spadki na przewodach i stykach przełączników; wpływ offsetu i ograniczeń dynamicznych układów wzmacniających lub buforujących oraz zakłócenia i szumy środowiskowe.

5 Wnioski

6 Literatura

- [1] Walt Kester, *The Data Conversion Handbook*, Analog Devices, dostęp online: <https://www.analog.com/en/resources/technical-books/data-conversion-handbook.html>, data dostępu: listopad 2025.
- [2] *Principles of Data Acquisition and Conversion*, Texas Instruments, dostęp online: <https://www.ti.com/lit/an/sbaa051a/sbaa051a.pdf>, data dostępu: listopad 2025.
- [3] *Jitter effects on Analog to Digital and Digital to Analog Converters*, The Well Tempered Computer, dostęp online: <https://www.thewelltemperedcomputer.com/Lib/Troisi.pdf>, data dostępu: listopad 2025.
- [4] C. F. Coombs, *Electronic Instruments Handbook Third Edition*, Pdfcoffee, dostęp online: <https://pdfcoffee.com/electronic-instrument-handbook-third-edition-2-pdf-free.html>, data dostępu: listopad 2025.
- [5] *Układy elektroniczne i technika pomiarowa*, Uniwersytet Warszawski, Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki, dostęp online: https://wazniak.mimuw.edu.pl/index.php?title=Uk%C5%82ady_elektroniczne_i_teknika_pomiarowa, data dostępu: listopad 2025.
- [6] *Analog-to-digital converter*, Wikipedia, dostęp online: https://en.wikipedia.org/wiki/Analog-to-digital_converter, data dostępu: listopad 2025.
- [7] *Digital-to-analog converter*, Wikipedia, dostęp online: https://en.wikipedia.org/wiki/Digital-to-analog_converter, data dostępu: listopad 2025.

7 Protokół



Rysunek 5: Protokół