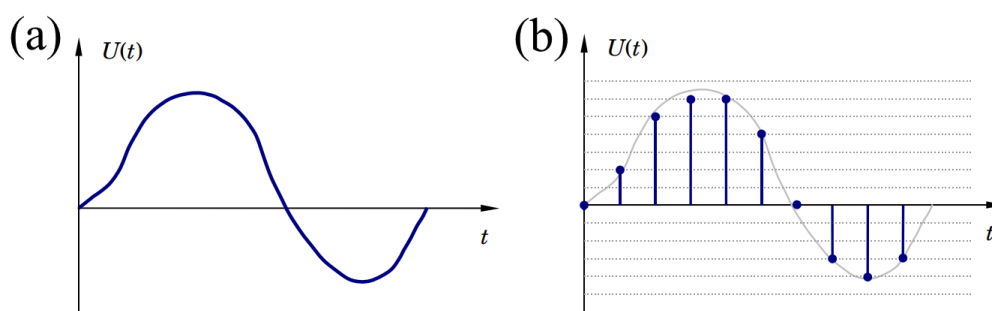


imię i nazwisko	data wykonania	prowadzący ćwiczenia
Krzysztof Czarnowus	29.05.2024 r. grupa 15 (środa, godz. 12.15)	dr Szymon Niedźwiecki
6. Przetworniki cyfrowo-analogowe C/A i analogowo-cyfrowe A/C		

1. Wstęp teoretyczny

Jednym z możliwych podziałów sygnałów ze względu na ich ciągłość w wartościach i czasie jest podział na sygnały analogowe, spróbkowane, skwantowane oraz cyfrowe. Sygnał analogowy jest ciągły w obu tych wymiarach – może przyjmować dowolną wartość zarówno czasową, jak i napięciową; jego przeciwieństwem jest sygnał cyfrowy, przyjmujący w nich jedynie wartości dyskretne¹. Na rysunku 1 przedstawiono zestawienie obu tych rodzajów.



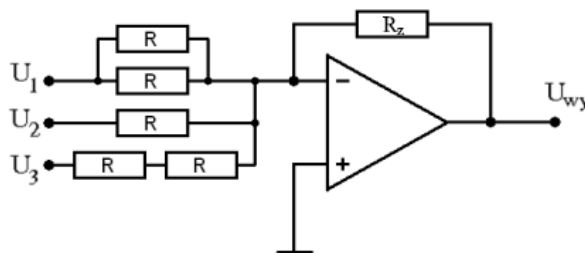
Rys. 1. Poglądowe przedstawienie kształtów sygnału (a) analogowego oraz (b) cyfrowego¹.

Najprostszym urządzeniem pełniącym funkcję przetwornika analogowo-cyfrowego jest komparator – układ kombinacyjny służący do porównywania dwóch doprowadzonych do niego napięć². Na wyjściu pojawia się logiczna jedynka w przypadku, kiedy na wejściu nieodwracającym jest wyższe napięcie od wejścia odwracającego, w przeciwnym wypadku otrzymuje się logiczne zero³. Komparator jest szczególnym rodzajem wzmacniacza operacyjnego działającego bez pętli sprzężenia zwrotnego i może być częścią bardziej zaawansowanych układów konwersyjnych, jak np. przetwornik ADC SAR⁴.

Innym rodzajem takiego przetwornika jest również oparty o odpowiedni układ komparatorów przetwornik analogowo-cyfrowy typu FLASH. Składa się on z kilku niezależnych modułów: modułu komparatorów oraz modułu realizującego ręcznie programowaną pamięć: RPP-S (pamięć stała) bądź RPP-SRAM (pamięć SRAM)⁵. Pierwszy z nich konwertuje napięcie na wstępną postać cyfrową, przedstawioną w kodzie linijkowym,

za pomocą drugiego możliwa jest natomiast konwersja na inną postać kodu binarnego – naturalnego bądź też Graya.

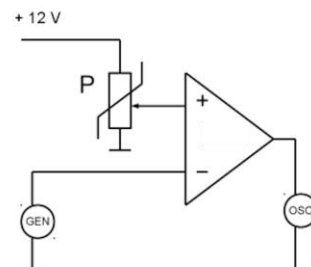
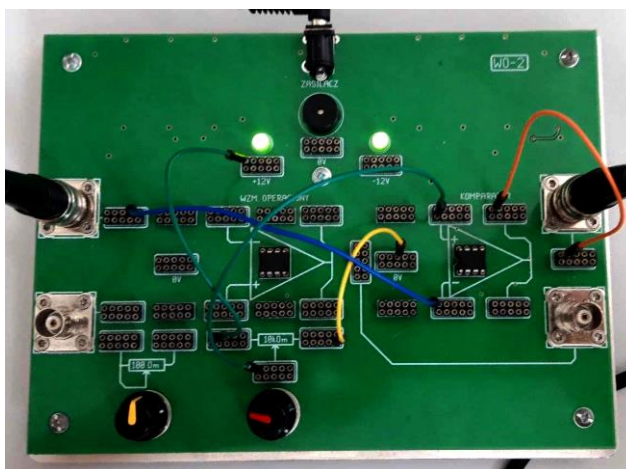
Możliwe jest również wykonanie prostego przetwornika cyfrowo-analogowego – taką funkcję może bowiem pełnić sumator oparty o wzmacniacz operacyjny, jeśli tylko wartości oporników przy odpowiednich wejściach dobierze się w ten sposób, aby napięcie wejściowe było proporcjonalne do wartości binarnej stanów podawanych na wejścia jako logiczne jedynki bądź zera. W praktyce jest to możliwe do zrealizowania, jeśli opór na wejściu podłączonym do $n+1$ bitu w kolejności starszeństwa będzie dwa razy mniejszy od oporu na wejściu n -tego bitu. Zakładając, że konwertowany sygnał jest ośmiobitowy, zrealizowanie odpowiedniego układu z użyciem sumatora jest możliwe przy zastosowaniu oporników o identycznej rezystancji – poprzez połączenie ich szeregowo (przy najmniej znaczącym bicie) oraz równoległe (przy najbardziej znaczącym). Schemat takiego układu przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat sumatora trójwejściowego realizującego funkcję przetwornika cyfrowo-analogowego.

R oraz R_z są opornikami o odpowiednich rezystancjach⁶.

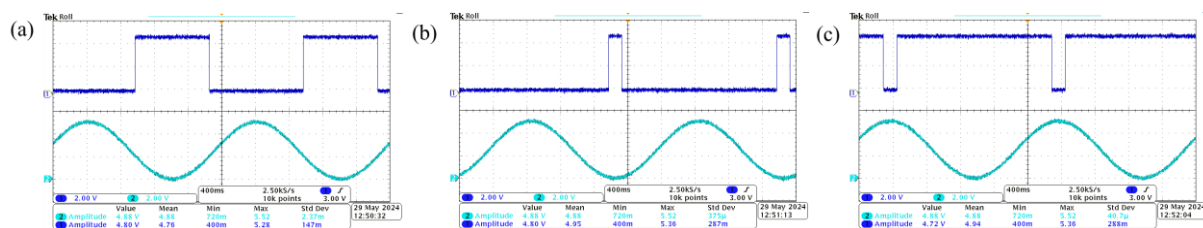
2. Opis ćwiczeń oraz omówienie wyników



Rys. 3. Płytką WO-2 (po lewej) realizująca schemat zastosowanego układu (po prawej). GEN jest generatorem funkcyjnym, OSC oscyloskopem, a P potencjometrem⁶.

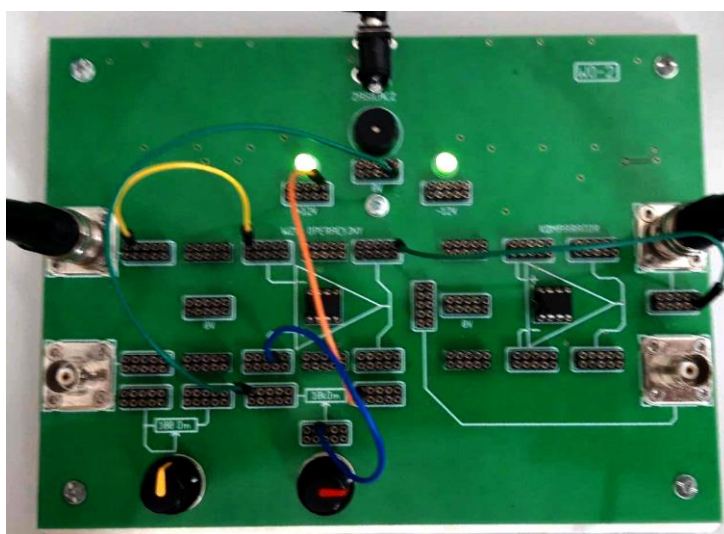
Skonstruowano układ, w którym na jedno wejście komparatora podawano z generatora funkcyjnego sygnał sinusoidalny zmieniający się w zakresie 0 - 5 V oraz częstotliwości 500 mHz, natomiast drugie podłączono do potencjometru wysyłającego stały sygnał o zadawanym napięciu. Schemat układu oraz zdjęcie jego realizacji na płycie UC-2 przedstawiono na rysunku 3.

Za pomocą oscyloskopu zbadano stan wyjścia w zależności od napięcia ustawionego na potencjometrze podłączonym do wejścia nieodwracającego. Oczekiwano, że jedynka logiczna pojawi się wówczas, gdy sygnał sinusoidalny będzie przyjmował w danej chwili wartość napięcia mniejszą od sygnału pochodzącego z potencjometru. Potwierdzono hipotezę dla trzech różnych wartości ustawionych na potencjometrze: 2 V (rysunek 4a), 60 mV (rysunek 4b) oraz 4,9 V (rysunek 4c).

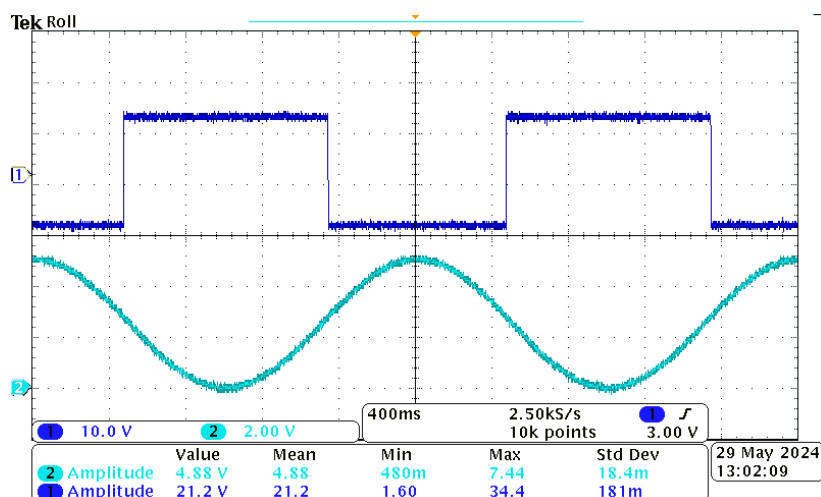


Rys. 4. Obrazy z oscyloskopu dla układu wykorzystującego komparator dla ustawionego na potencjometrze napięcia: (a) 2 V, (b) 60 mV, (c) 4,9 V. Błękitny kolor przedstawia sygnał wejściowy, natomiast kolor ciemnoniebieski sygnał wyjściowy.

Analogiczny układ skonstruowano podmieniając komparator na wzmacniacz operacyjny. Płytę UC-2 przedstawiono na rysunku 5, podczas gdy obraz z oscyloskopu zarejestrowany potencjometru ustawionego na wartości 2,8 V na rysunku 6.



Rys. 5. Płytką WO-2 realizująca schemat z rysunku 3 przy wykorzystaniu wzmacniacza operacyjnego.



Rys. 6. Obraz z oscyloskopu zarejestrowany po zamianie komparatora na wzmacniacz operacyjny. Błękitny kolor przedstawia sygnał wejściowy, natomiast kolor ciemnoniebieski sygnał wyjściowy.

Można zaobserwować, że sygnał wyjściowy jest znacznie większy przy zastosowaniu wzmacniacza operacyjnego – komparator podaje napięcie umownie odpowiadające jedynie logicznej (ok. 5 V), podczas gdy wzmacniacz przyjmuje maksymalną dozwoloną wartość, ograniczaną jedynie przez jego napięcie zasilania – ponad 21 V. Oprócz tego, spełniają jednak podobną funkcję, podając zerowe napięcie, gdy sygnał na wejściu odwracającym jest większy od nieodwracającego oraz gwałtownie rosnąc w przeciwnym wypadku.

W następnej części ćwiczenia skonstruowano sumator jako przetwornik cyfrowo-analogowy. Sygnał cyfrowy podano na wejście za pomocą układu scalonego 7493, realizującego funkcję licznika modulo 8, analogicznie do układu z ćwiczenia 5. Wejście resetujące połączono z jedynką logiczną za pomocą opornika o rezystancji 400 Ω , a na wejście zegarowe podano z generatora funkcyjnego sygnał prostokątny o amplitudzie 5 V.

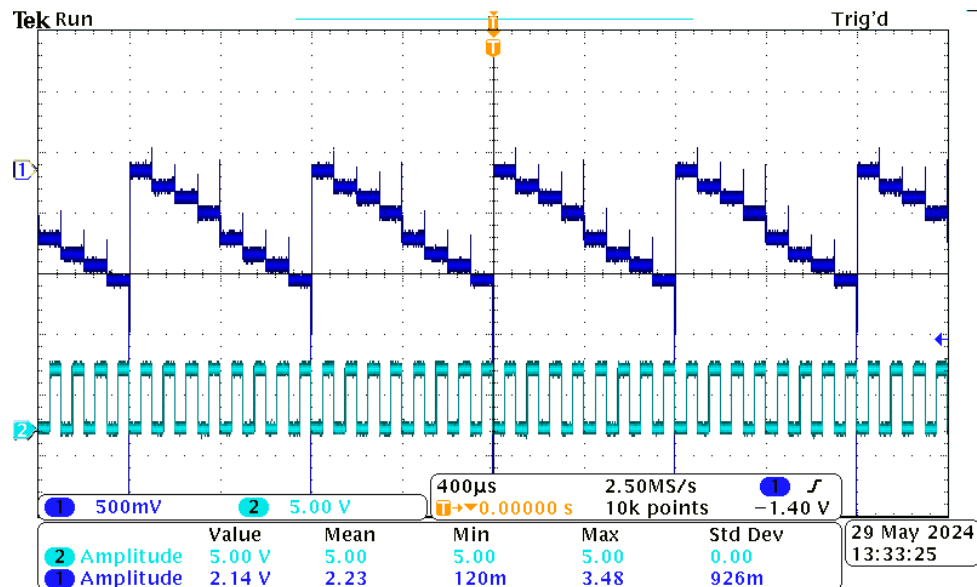
Sumator skonstruowano zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 2. Oporniki spięte z wejściami układu posiadały rezystancję 1 k Ω , podczas gdy opornik ze sprzężeniem zwrotnym miał 100 Ω .

Ponieważ napięcie wyjściowe z sumatora brane jest z ujemnym znakiem, otrzymano sygnał przypominający schodki malejące w miarę zwiększania liczby przechowywanej przez licznik. Zwiększono tym samym liczbę dozwolonych stanów napięciowych z jednego do ośmiu, sprawiając, że sygnał zaczyna przypominać sygnał analogowy o słabej rozdzielczości.

Teoretyczna wartość maksymalnego napięcia wyjściowego dla skonstruowanego układu przy logicznych jedynkach na wszystkich wejściach wynosi:

$$R_{WY} = -100 \, \Omega \left(\frac{5 \, V}{500 \, \Omega} + \frac{5 \, V}{1000 \, \Omega} + \frac{5 \, V}{2000 \, \Omega} \right) = -1.75 \, V$$

przy założeniu, że jedynce logicznej odpowiada napięcie 5 V – w praktyce może być to wartość trochę niższa. Na rysunku 7 przedstawiono obraz z oscyloskopu przedstawiający zestawienie sygnału wejściowego podawanego do licznika modulo 8 oraz przetworzonego przez sumator sygnału wyjściowego, a więc efekt konwersji cyfrowo-analogowej.



Rys. 7. Obraz z oscyloskopu przedstawiający wejściowy sygnał licznika (kolor błękitny) oraz wyjściowy sygnał przetworzony przez sumator (kolor ciemnoniebieski).

Otrzymana za pomocą funkcji wbudowanych oscyloskopu wartość amplitudy sygnału wyjściowego nie jest dokładna ze względu na bardzo duże szумы pomiarowe – w rzeczywistości można metodą „na oko” ocenić, że wynosi ona ok. 1 V, a więc wartość zgodną z teoretyczną przy założeniu, że faktyczne napięcie oznaczające jedynkę logiczną na wyjściu licznika miało wartość ok. 3 – 3.5 V, co jest wartością prawdopodobną.

Nie załączono zdjęcia płytek UC-2 oraz WO-2 realizujących opisany układ, ponieważ zapomniano ich sfotografować.

W ostatniej wykonanej części ćwiczenia zbudowano przetwornik analogowo-cyfrowy typu FLASH wykorzystując dwa różne rodzaje transkoderów: opartych o pamięć stałą oraz o pamięć SRAM.

Stałą częścią obu układów był moduł komparatorów podłączony do źródła prądu stałego. Pierwszym użytym transkoderem był RPP-S. Zmieniano wartość napięcia

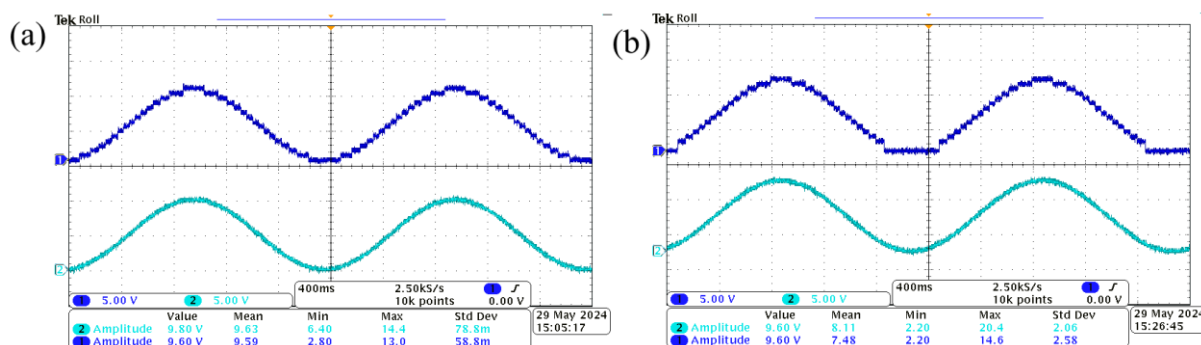
wejściowego zapalając kolejne diody na module komparatorów, programując transkoder w ten sposób, aby zanegowane wyjścia odpowiadały binarnej reprezentacji ilości świecących diod minus jeden (ponieważ pierwsza zaświecona dioda odpowiadała zeru). Napięcia graniczne odpowiadające zaświeceniu kolejnej diody na module komparatorów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Napięcia graniczne reprezentujące kolejną liczbę w module komparatorów.

liczba	napięcie stałe [V]	liczba	napięcie stałe [V]
1	0.34	9	5.76
2	1.02	10	6.43
3	1.70	11	7.12
4	2.37	12	7.79
5	3.05	13	8.48
6	3.73	14	9.15
7	4.40	15	9.83
8	5.08	16 (przester)	10.17

Po zaprogramowaniu transkodera dołączono do układu płytkę konwertera cyfrowo-analogowego, a jego wyjście połączono z oscyloskopem. Na wejście układu puszczono sygnał sinusoidalny o napięciu zmieniającym się w zakresie 0 – 10 V oraz częstotliwości 500 mHz. Na rysunku 8 przedstawiono obraz z oscyloskopu zestawiający napięcie wejściowe z napięciem wyjściowym, powstałym po konwersji A/C w skonstruowanym układzie oraz ponownej konwersji C/A.

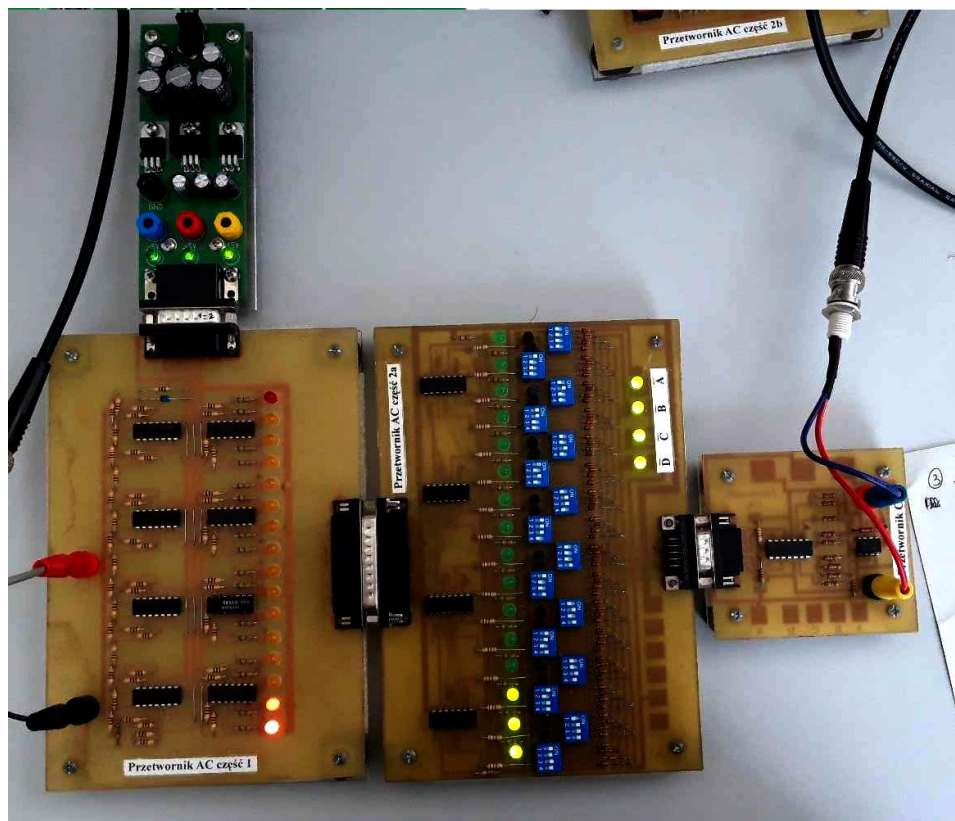
Analogiczne postępowanie przeprowadzono dla drugiego transkodera, RPP-SRAM. Przetworzony w podobny sposób sygnał również przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Zestawienie sygnałów wejściowych (kolor błękitny) oraz sygnałów wyjściowych (kolor ciemnoniebieski) dla układów skonstruowanych przy zastosowaniu (a) RPP-S oraz (b) RPP-SRAM.

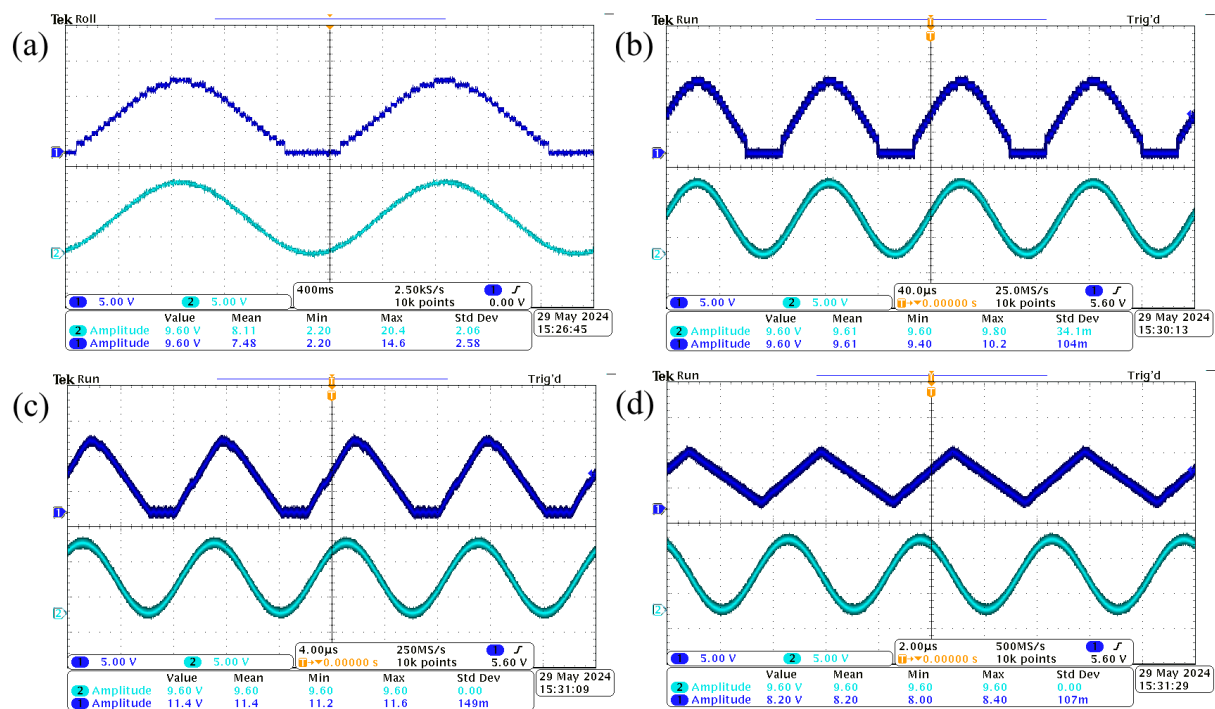
Można zaobserwować, że rozdzielczość tych przetworników jest dwukrotnie większa od rozdzielczości przetwornika skonstruowanego z sumatora oraz licznika modulo 8 – wynika to z tego, że zastosowany moduł komparatorów składał się z aż 16 stanów.

Na rysunku 9 przedstawiono skonstruowany przetwornik analogowo-cyfrowy typu FLASH z dołączoną pamięcią RPP-S, podczas gdy w internecie umieszczono film ilustrujący działanie tego przetwornika z pamięcią RPP-SRAM⁷.



Rys. 9. Skonstruowany przetwornik cyfrowo-analogowy typu FLASH składający się z zasilacza, modułu komparatorów, ręcznie programowanego transkodera RPP-S oraz przetwornika analogowo-cyfrowego.

Zbadano również zakres częstotliwości, w którym przetwornik z transkodermem opartym o pamięć SRAM działa prawidłowo, obserwując w zakresie kilkudziesięciu kHz stopniowe pogorszenie dwukrotnie przetworzonego sygnału oraz rejestrując zamianę sygnału sinusoidalnego w praktycznie trójkątny dla wartości 200 kHz. Odpowiednie obrazy z oscyloskopu ilustrujące przemianę sygnału wyjściowego wraz ze wzrastającą częstotliwością przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Zestawienie sygnału wejściowego (kolor błękitny) oraz wyjściowego (kolor ciemnoniebieski) dla przygotowanego układu i sinusoidy o zadanych częstotliwościach (a) 500 mHz, (b) 10 kHz, (c) 100 kHz oraz (d) 200 kHz.

3. Podsumowanie

W ramach wykonanego ćwiczenia zapoznano się z konstrukcją oraz działaniem prostych konwerterów zarówno analogowo-cyfrowych (jak wzmacniacz operacyjny czy komparator), jak i cyfrowo-analogowych (jak sumator napięć). Skonstruowano również przy użyciu dwóch różnych transkoderów bardziej skomplikowany przetwornik typu FLASH opierający się na odpowiednio połączonych komparatorach, dołączając później gotowy moduł zawierający konwerter C/A i uzyskując dużo lepszą rozdzielczość konwersji niż w przypadku sumatora.

Dużo łatwiejsza wydaje się konwersja sygnału analogowego na cyfrowy, posiadający określoną ilość stanów dozwolonych – późniejsza przemiana w drugą stronę wiąże się z próbą odwzorowania nieodwracalnie utraconej informacji o zachowaniu sygnału pomiędzy konkretnymi punktami, co nigdy nie jest w pełni możliwe.

4. Źródła

- [1] https://zefir24.if.uj.edu.pl/pracownia_el/jb_w1.pdf (data dostępu: 5.06.2024)
- [2] <https://forbot.pl/blog/leksykon/komparator-analogowy> (data dostępu: 5.06.2024)
- [3] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Komparator> (data dostępu: 5.06.2024)
- [4] https://zefir24.if.uj.edu.pl/pracownia_el/Przetwornik_analogowo-cyfrowy_2_30-2019_05_08.pdf (data dostępu: 5.06.2024)
- [5] https://zefir24.if.uj.edu.pl/pracownia_el/flash_adc.pdf (data dostępu: 5.06.2024)
- [6] https://zefir24.if.uj.edu.pl/pracownia_el/InfStos_cw6.pdf (data dostępu: 5.06.2024)
- [7] https://drive.google.com/file/d/1QdOunXkOiW-iKC_X1h7DD0MIaiT_L_1k

5. Skan notatek

① amplitude 5V 500 mHz?
offset 2,5V

1.1 - na potencjo 2V
1.2 - 60 mV
1.3 - 4,9V

1.4 - Wzmocniacz jako komparator
NR potencjo 2,8V

② 7493 - licznik modułu 8 (oporniki na reset = 400R) (dany)

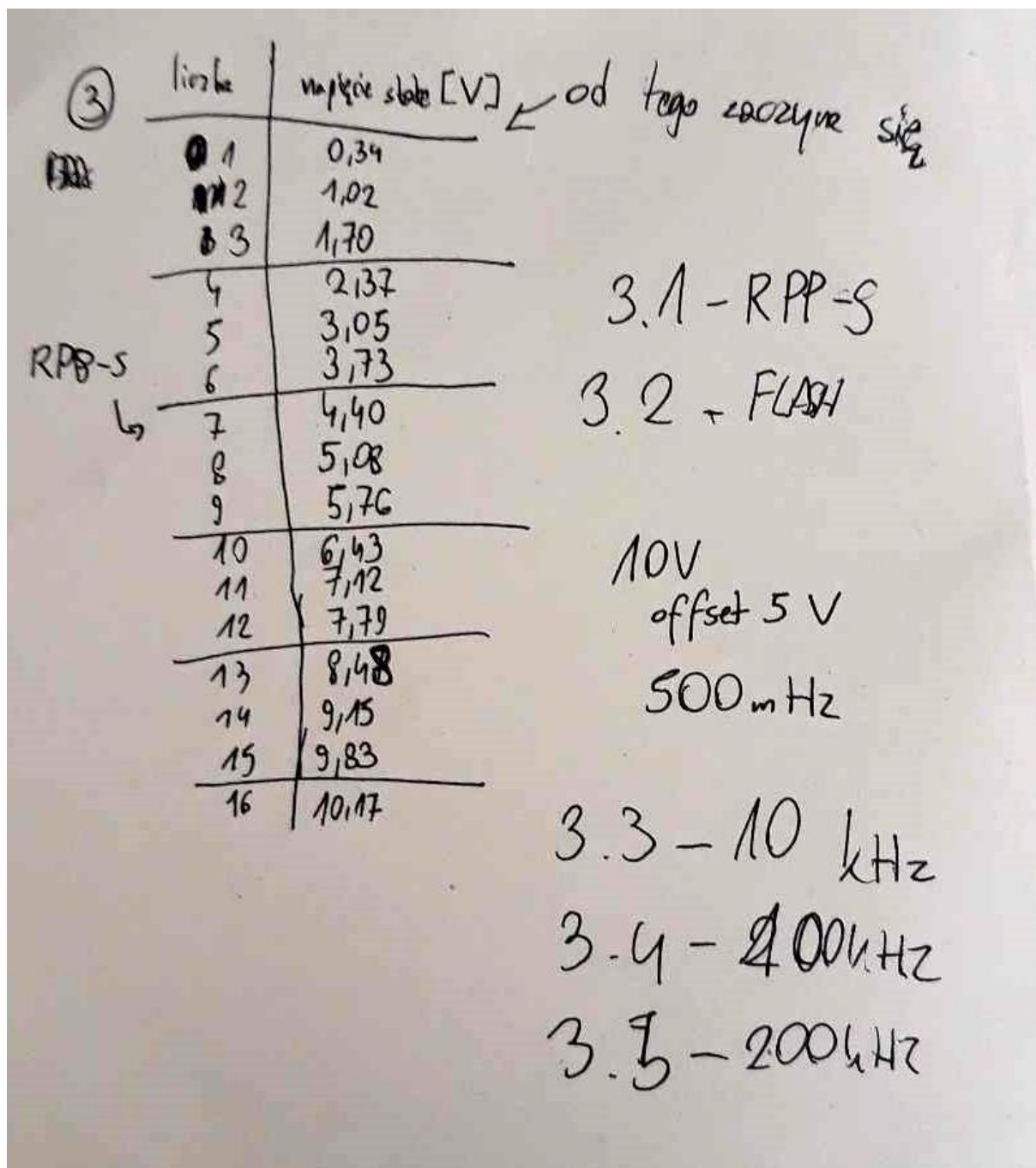
oporniki 1kΩ do tego

Można też R przy
ma 100Ω

WYJŚCIE 13 WYJŚCIE 10 WYJŚCIE 11
↓ ↓ ↓
wzrost urost wzrost

ZAPOMNIAŁEM
ZROBIĆ ZDJĘCIE XD
Ech...

Rys. S1. Zdjęcie pierwszej strony zeszytu laboratoryjnego.



Rys. S2. Zdjęcie drugiej strony zeszytu laboratoryjnego.