

# PRZETWORNIKI CYFROWO-ANALOGOWE

## 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z budową i zasadą działania różnych typów przetworników cyfrowo-analogowych ( C/A ).

## 2. Wprowadzenie

Sygnałem wejściowym przetwornika C/A jest sygnał binarny - ciąg zer i jedynek. W przetwarzaniu 8 bitowym najbardziej znaczący bit przetwarzanego słowa (MSB) ma oznaczenie B7, a bit najmniej znaczący (LSB) ma oznaczenie B0. Na wyjściu przetwornika otrzymywany jest sygnał analogowy o ściśle określonym poziomie napięcia. 8-bitowy przetwornik C/A koduje  $2^8 = 256$  poziomów napięcia na wyjściu.

## 3. Omówienie ćwiczeń laboratoryjnych

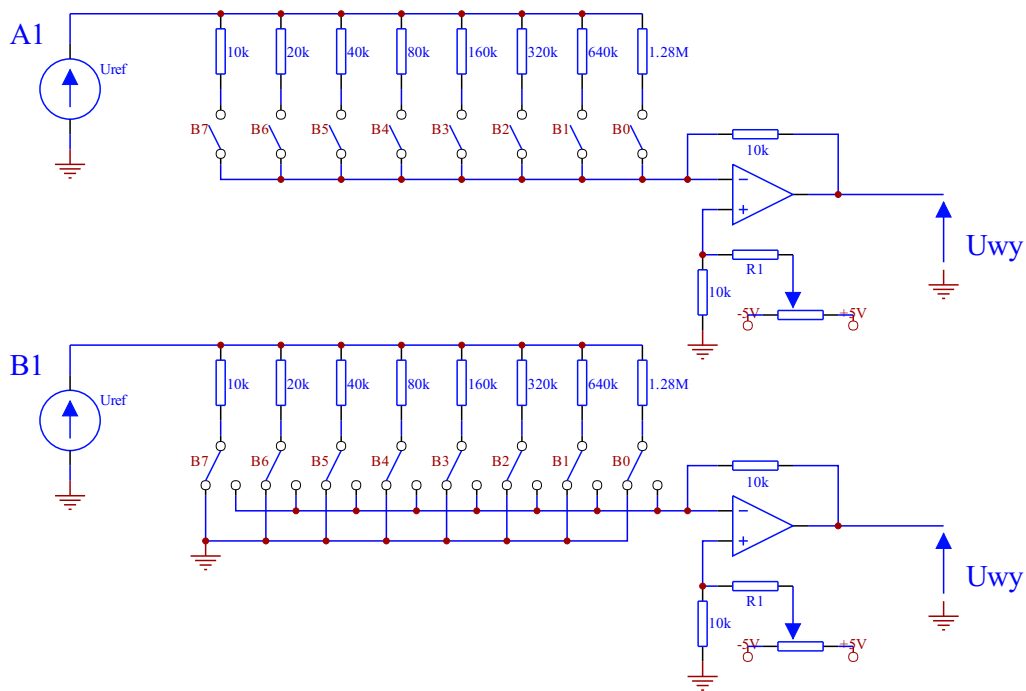
W trakcie ćwiczeń zaprezentowane zostaną przetworniki z przetwarzaniem bezpośrednim wykorzystujące w swej pracy elementy kluczujące (seria ćwiczeń A oraz ćwiczenia: B1 i B2), oraz przetwornik z przetwarzaniem pośrednim (ćwiczenie B3). Położeniem kluczy przetwornika sterują odpowiednie bity przetwarzanego słowa. W przypadku kluczy zwiernych (seria ćwiczeń A) klucz jest: zwarty - gdy bit przetwarzanej liczby jest równy **1**, oraz rozwarty - gdy bit liczby jest równy **0**. W przypadku kluczy przełącznych (seria ćwiczeń B) niski stan logiczny (**0**) na bicie steruje zwarciem klucza do potencjału masy.

### Ćwiczenie A1 i B1

Na Rys. 1 przedstawiono najprostszy typ 8-bitowego przetwornika C/A z rezystorami o wartościach wagowych. Prądy z poszczególnych gałęzi są sumowane, a napięcie na wyjściu w przedstawionym przykładzie można opisać zależnością:

$$\begin{aligned} U_{wy} &= -U_{ref} \left( B7 + \frac{1}{2}B6 + \frac{1}{4}B5 + \frac{1}{8}B4 + \frac{1}{16}B3 + \frac{1}{32}B2 + \frac{1}{64}B1 + \frac{1}{128}B0 \right) = \\ &= -U_{ref} \left( 2^0 B7 + 2^{-1} B6 + 2^{-2} B5 + 2^{-3} B4 + 2^{-4} B3 + 2^{-5} B2 + 2^{-6} B1 + 2^{-7} B0 \right) \end{aligned}$$

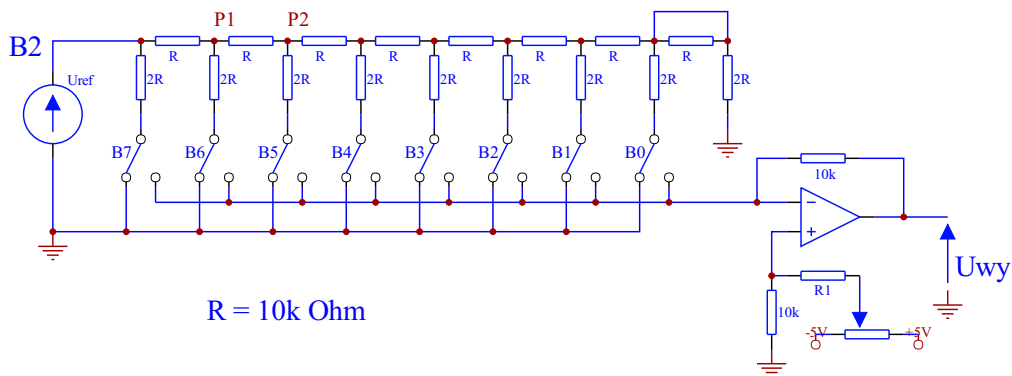
Wadą przetwornika A1 są znaczne wahania napięcia na kluczu pomiędzy stanem zwarcia i rozwarcia oraz zmienne obciążenie źródła napięcia odniesienia. Lepszą dokładność przetwarzania uzyskuje się w układzie B1 z kluczami przełącznymi.



Rys. 1: Przetwornik C/A z rezystorami o wartościach wagowych. A1 - z kluczami zwiernymi, B1 - z kluczami przelącznymi  
 $R1 = 100k\Omega$

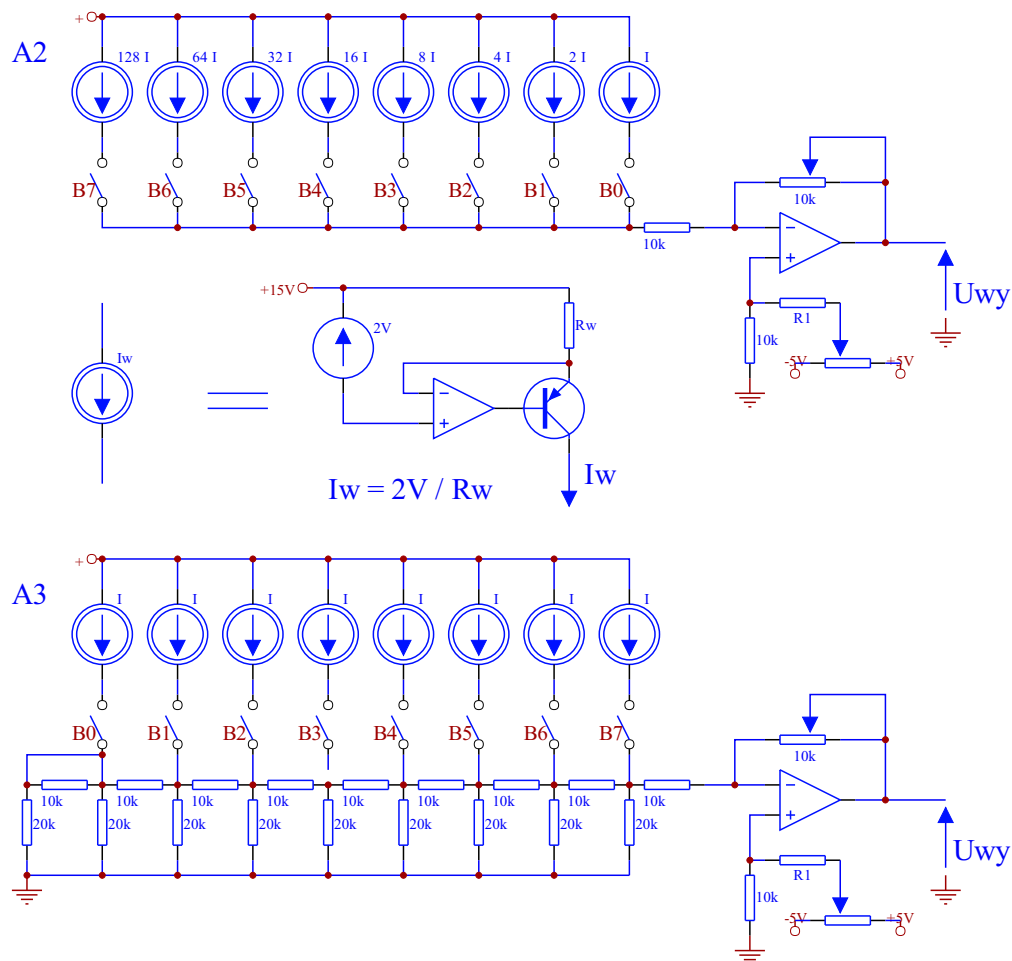
### Ćwiczenie B2

Układ przetwornika z rezystorami o wartościach wagowych staje się rozwiązaniem niepraktycznym w przetwarzaniu większej liczby bitów. Pojawia się bowiem problem z doбором rezystorów (szeroki zakres wartości, małe tolerancje). By temu zapobiec stosuje się inne rozwiązanie.



Rys. 2: Przetwornik C/A z drabinką rezystancyjną R-2R

Przetwornik z Rys. 2 do uzyskania odpowiednich prądów wagowych wykorzystuje drabinkę rezystancyjną R-2R. Rezystancja obciążenia źródła napięcia odniesienia jest tu stała bez względu na przetwarzaną wartość binarną, i równa  $2R||2R = R$ . Potencjał w punkcie P1 układu równy jest  $\frac{1}{2}U_{ref}$ , w punkcie P2  $\frac{1}{4}U_{ref}$  itd.



Rys. 3: Przetwornik C/A ze źródłami prądowymi

### Ćwiczenie A2 i A3

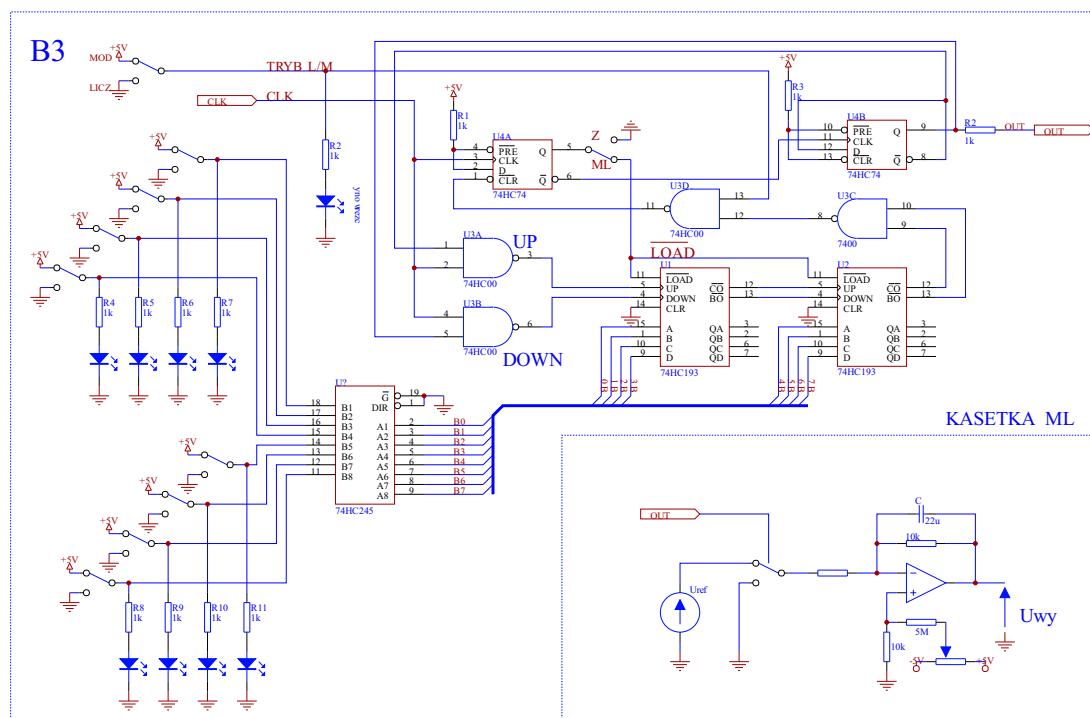
Przetworniki z przykładów A1, B1 i B2 wykorzystują napięciowe źródło odniesienia. Równie często w przetwarzaniu C/A stosuje się źródła prądów wzorcowych. Przykłady takich przetworników pokazuje Rys. 3.

### Ćwiczenie B3

Przykład prostego przetwornika z konwersją pośrednią przedstawiono na Rys. 4. Przetwornik ten generuje przebieg prostokątny o wypełnieniu zależnym od wartości przetwarzanej liczby. Jest więc cyfrowym modulatorem współczynnika wypełnienia przebiegu impulsowego. Przebieg ten jest następnie uśredniany, dzięki czemu na wyjściu przetwornika uzyskujemy stałe napięcie wyjściowe - efekt konwersji.

Prześledźmy dokładniej działanie układu z Rys. 4. Sercem układu jest 8-bitowy licznik rewersyjny z wejściami wpisu równoległego (74193). Do licznika wpisywana jest asynchronicznie przetwarzana liczba, po czym rozpoczyna się proces zliczania. Zliczanie trwa do momentu przepelnienia licznika, czyli do osiągnięcia stanu: minimalnego (zero) przy zliczaniu w dół, lub maksymalnego (255) przy zliczaniu w górę. Stan przepelnienia sygnalizowany jest poprzez ustawienie stanu niskiego na pinie 12 lub 13 układu 74193. Ten sam sygnał wykorzystywany jest równocześnie do ponownego załadowania licznika, oraz zmiany kierunku zliczania na przeciwny.

Sygnał na wyjściu przerzutnika wykorzystywany jest do kluczowania napięcia odniesienia. Po uśrednieniu tego sygnału na filtrze, otrzymujemy ostatecznie sygnał o stałym poziomie napięcia. Poziomie zależnym od binarnej wartości przetwarzanego słowa.



Rys. 4: Przetwornik C/A z przetwarzaniem pośrednim

Uwaga: Działanie przetwornika należy sprawdzać dla słów binarnych o wartościach różnych od 0 i 255.

#### 4. Parametry przetworników C/A

Najważniejszymi parametrami przetworników C/A są:

**Dokładność** – określana jako maksymalna różnica między rzeczywistą i znamionową wartością wielkości wyjściowej, w całym zakresie konwersji. Dokładność określa się w odniesieniu do zakresu przetwarzania w % lub w ułamkach LSB.

**Rozdzielczość** – znamionowy przyrost sygnału wyjściowego odpowiadający jednostkowemu przyrostowi liczby wejściowej i odpowiada 1 LSB. Warto zwrócić uwagę, że w przetwornikach A/C dokładność nie może być lepsza od rozdzielczości, a w przetwornikach C/A jest to możliwe.

**Nieliniowość całkowita** – maksymalne odchylenie rzeczywistej charakterystyki przetwarzania od prostej która ją najlepiej aproksymuje w całym zakresie przetwarzania.

**Nieliniowość różniczkowa** – maksymalna odchyłka różnicy dwóch kolejnych wartości wyjściowych od znamionowej wartości tej różnicy, równej 1 LSB. Kolejne wartości powinny różnić się o 1 LSB, jeżeli różnią się o inną wielkość to odchyłka od 1 LSB jest błędem nieliniowości różniczkowej. Jeżeli błąd nieliniowości różniczkowej jest większy niż 0.5 LSB, to charakterystyka przetwarzania może być niemonotoniczna i przyrostowi liczby wejściowej może w pewnych punktach charakterystyki odpowiadać zmniejszenie wielkości wyjściowej. Niemonotoniczność z reguły dyskwalifikuje przetwornik.

#### 5. Uwagi dotyczące badań przetworników C/A

Celem ćwiczenia laboratoryjnego jest wyznaczenie charakterystyk przetwarzania oraz wyznaczenie podstawowych parametrów przetworników. W trakcie ćwiczenia laboratoryjnego przetworniki można badać statycznie i dynamicznie. Badań statycznych dokonuje się dzięki zadajnikom wejściowych stanów logicznych (kasetki A1 i Z2). Badań dynamicznych natomiast - poprzez doprowadzenie słów

binarnych z wyjść 8-bitowego licznika (kasetka M) i obserwację wyjść przetwornika na oscyloskopie. Badania dynamiczne nie są wykonywane dla przetwornika z ćwiczenia B3, czyli dla przetwornika z przetwarzeniem pośrednim.

Wszystkie przetworniki po zmontowaniu i uruchomieniu należy wyskalować tak, aby uzyskać  $LSB = 20mV$ . Skalowania dokonujemy za pomocą metody inżynierskiej, czyli: Po pierwsze dokonujemy doboru właściwego wzmocnienia dla połowy zakresu. Następnie przystępujemy do korekcji przesunięcia zera przetwornika dla liczby wejściowej równej 1, lub ewentualnie 2. Prosta przechodząca przez tak określone punkty zazwyczaj dobrze wpisuje się w typowe, rzeczywiste charakterystyki przetworników, i bliska jest optymalnej.