

# Filtry cyfrowe

**Filtry analogowe, choć szeroko jeszcze stosowane, mają już groźnego konkurenta.**

**W** elektrotechnice filtry to czworniki stosowane przy ograniczaniu i formowaniu pasma częstotliwości przenoszonych sygnałów.

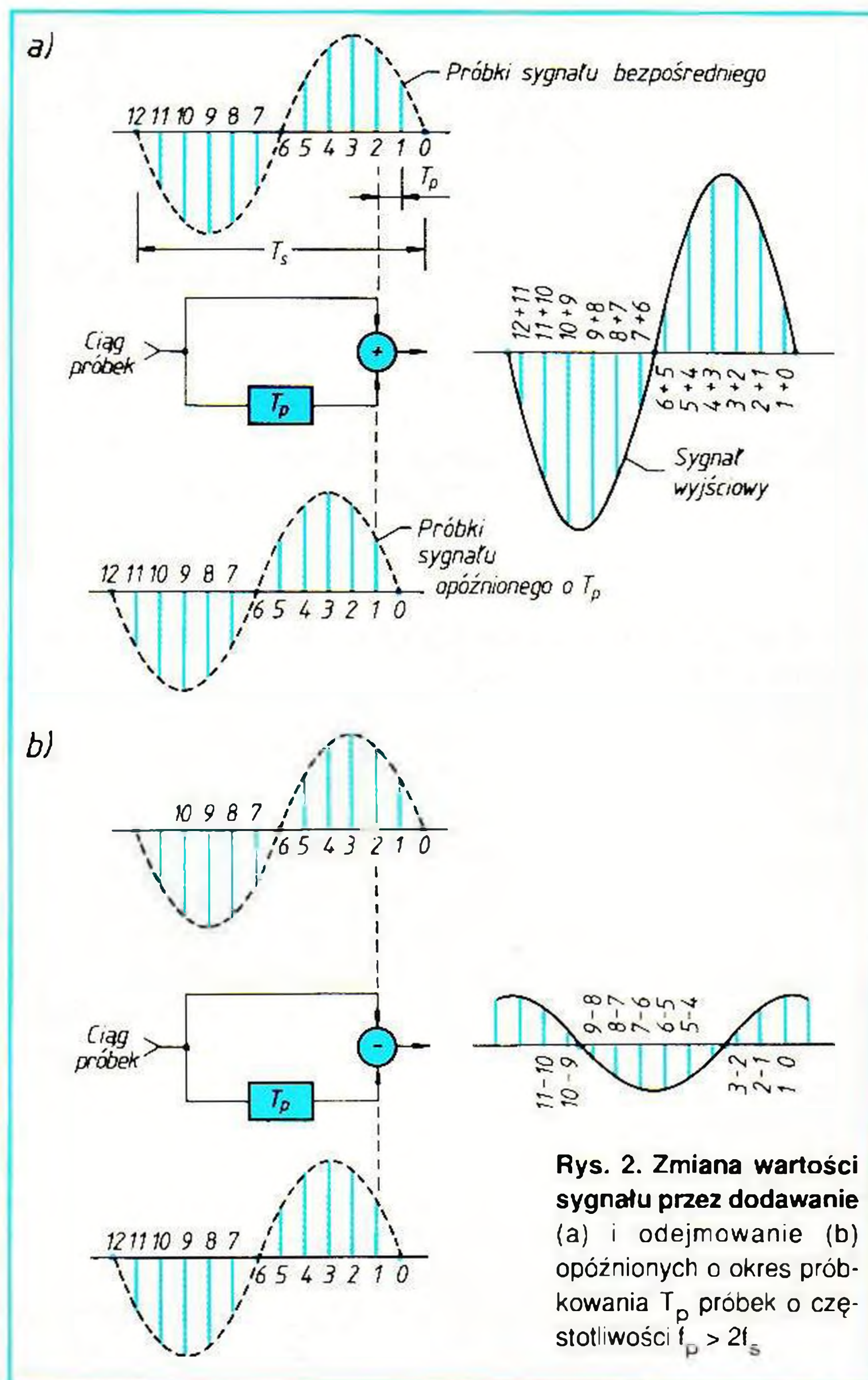
W zależności od tego pasma rozróżnia się filtry dolnoprzepustowe, górnoprzepustowe, pasmowe, prezencyjne i dezencyjne. W technice analogowej są to układy złożone z rezystorów, indukcyjności i kondensatorów.

Filtry analogowe mają jednak pewne wady, do których można zaliczyć:

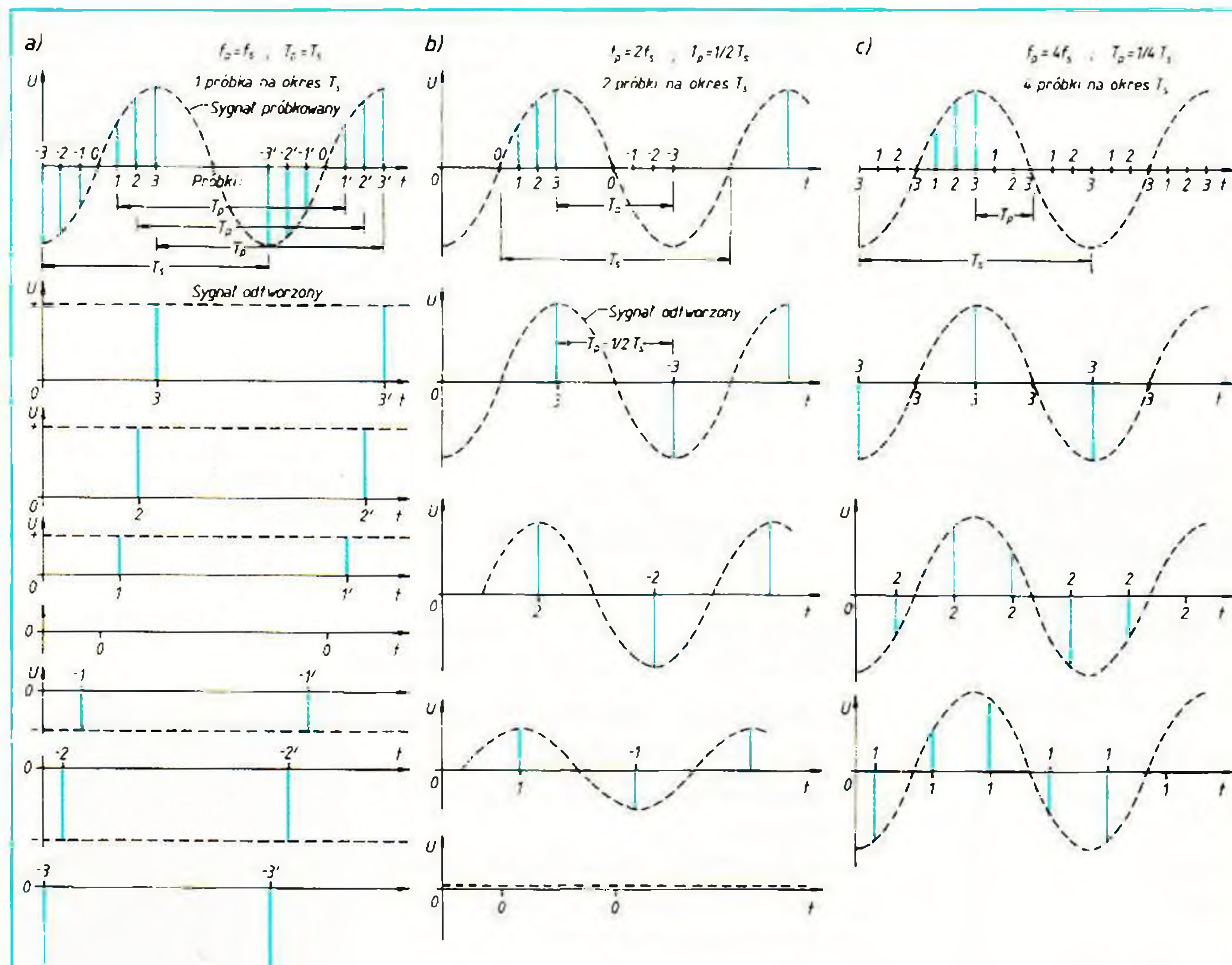
- małą stromość wprowadzanego tłumienia,
- zniekształcenia fazowe, które towarzyszą wprowadzaniem zmian charakterystyki częstotliwościowej w wyniku tego, że zmianie częstotliwości nie towarzyszy liniowa zmiana fazy,
- prawidłowe działanie zależne od dopasowania źródła i obciążenia odpowiednio do wejścia i wyjścia filtry,
- małą stabilność w działaniu,
- złożoność i kosztowność budowy.

Wad tych nie wykazują filtry cyfrowe, stosowane zarówno w technice cyfrowej, jak i analogowej.

Na sygnał cyfrowy składają się próbki pobrane z sygnału analogowego. Sygnał sinusoidalny o częstotliwości  $f_s$  (okresie  $T_s = 1/f_s$ ), próbkowany z częstotliwością  $f_p$  (okresie  $T_p = 1/f_p$ ), równą częstotliwości tego sygnału ( $f_p = f_s$ ), da w okresie sygnału próbkowanego ciąg pojedynczych próbek dodatnich, zerowych lub ujemnych. Wartość i polaryzacja tych próbek zależy od miejsca pobrania ich z przebiegu sinusoidalnego (rys. 1a). Sygnał odtworzony z tych próbek będzie miał wartość stałą dodatnią, zero lub ujemną. Wiadąc więc, że próbkowanie



**Rys. 2. Zmiana wartości sygnału przez dodawanie (a) i odejmowanie (b) opóźnionych o okres próbkowania  $T_p$  próbek o częstotliwości  $f_p > 2f_s$**



**Rys. 1. Próbkowanie sygnału analogowego**

a – z częstotliwością równą częstotliwości sygnału próbkowanego, b – z częstotliwością dwa razy większą, c – z częstotliwością cztery razy większą

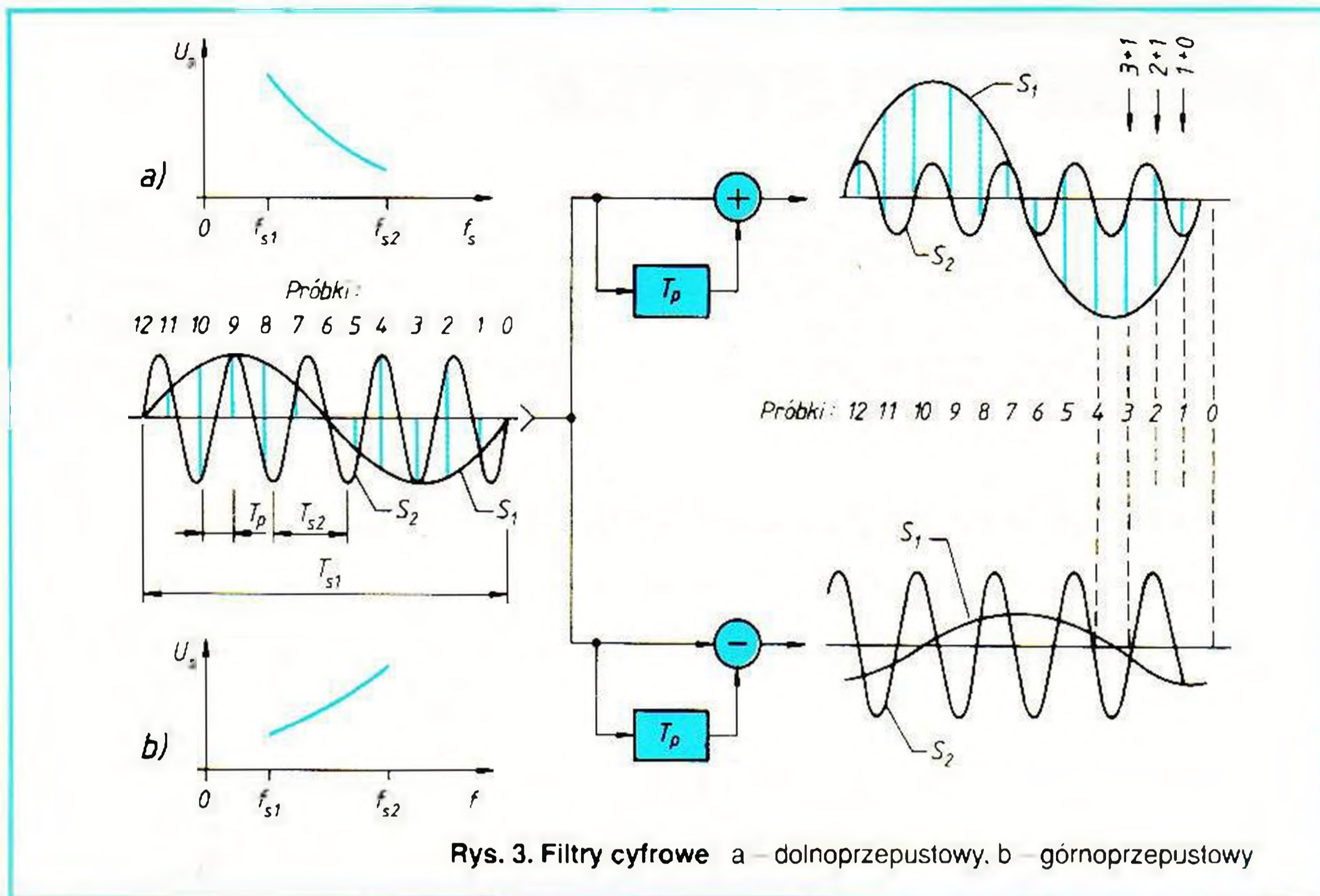
z częstotliwością równą częstotliwości sygnału próbkowanego nie odtwarza sygnału próbkowanego.

Jeżeli częstotliwość próbkowania  $f_p$  jest dwukrotnie większa od częstotliwości sygnału  $f_s$ , tj.  $f_p = 2f_s$  ( $T_p = 1/2 T_s$ ), to jeden okres sygnału jest reprezentowany przez dwie próbki – dodatnią i ujemną (rys. 1b). Uzyskane próbki w zależności od miejsca ich pobrania mają wartości od amplitudy sygnału próbkowanego do wartości zerowej, nie umożliwiają więc również prawidłowego odtworzenia sygnału analogowego.

Warunkiem wiernego odtworzenia sygnału analogowego jest, aby częstotliwość próbkowania była większa od podwójnej częstotliwości sygnału próbkowanego  $f_p > 2f_s$  (rys. 1c), tj. aby okres próbkowania był dwukrotnie mniejszy od okresu sygnału próbkowanego ( $T_p < 1/2 T_s$ ). Warunek ten określa się jako kryterium (zasadę) Nyquista.

Na próbkach pobranych z sygnału analogowego, zgodnie z kryterium Nyquista, można wykonywać pewne działania: można je zwiększać przez mnożenie, można je dodawać tworząc z dwóch próbek próbkę wy-



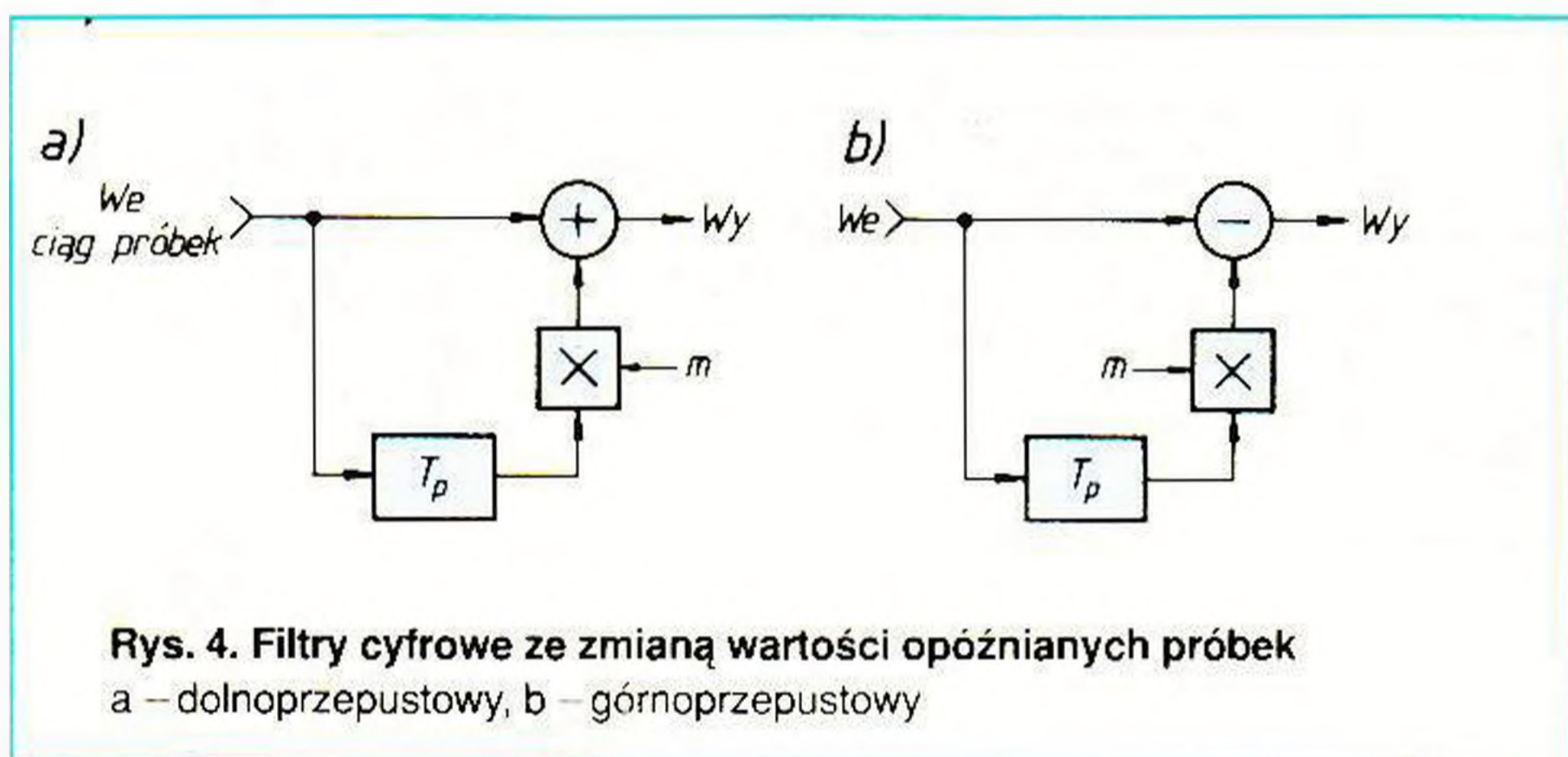


Rys. 3. Filtry cyfrowe a – dolnoprzepustowy, b – górnoprzepustowy

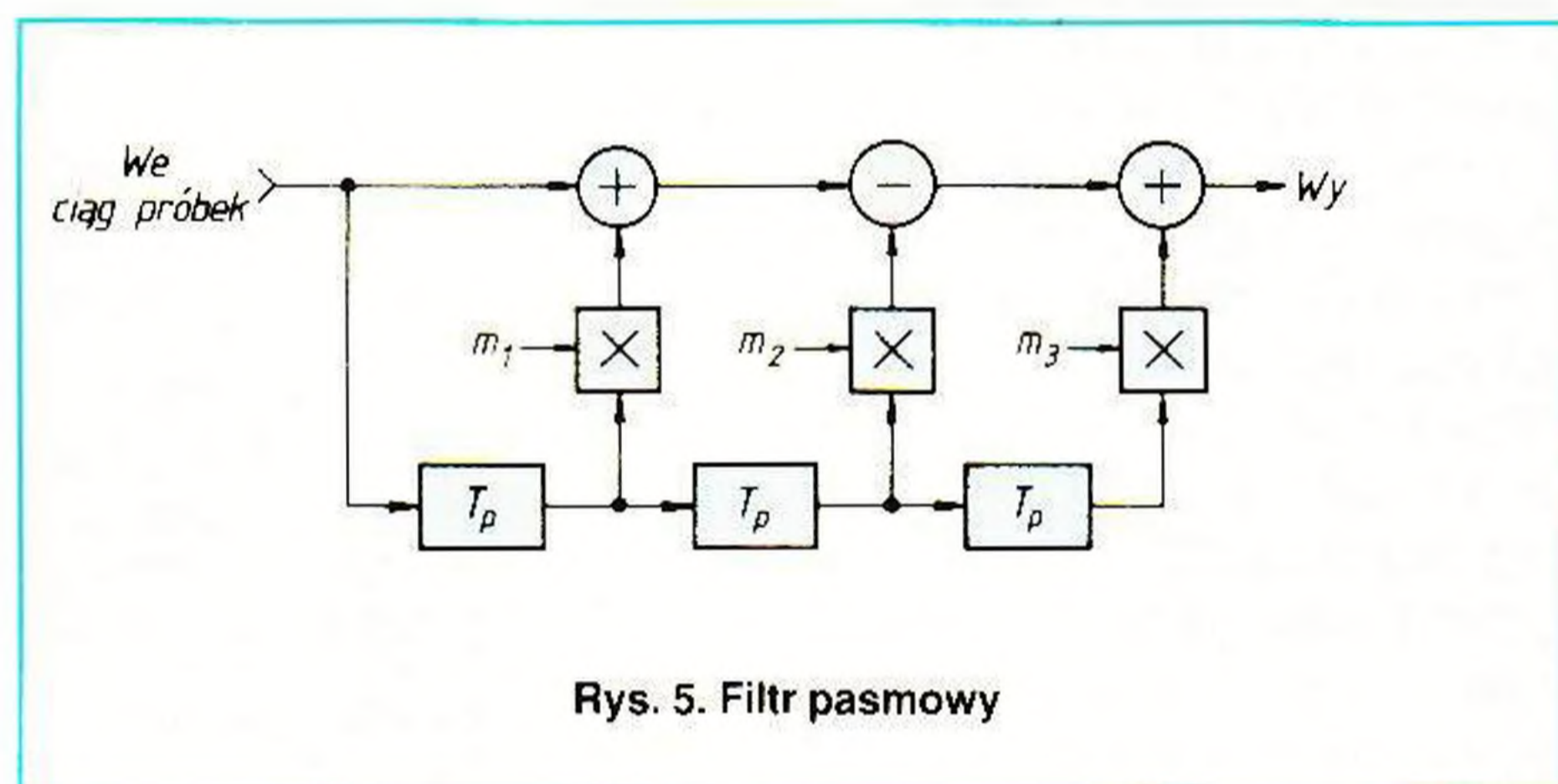
szoną próbkę (2-1). Na wyjściu układu odejmującego (-) otrzymuje się ciąg pomniejszych próbek i w końcu – sygnał analogowy o mniejszej amplitudzie.

Układ z sumatorem (rys. 3a) stanowi filtr dolnoprzepustowy, gdyż zwiększa wartość próbek  $S_1$  sygnałów małej częstotliwości, a zmniejsza wartość próbek  $S_2$  sygnałów wielkiej częstotliwości. Układ odejmujący (rys. 3b) stanowi filtr górnoprzepustowy, gdyż zwiększa wartości próbek  $S_2$  sygnałów wielkiej częstotliwości, a zmniejsza wartości próbek  $S_1$  sygnałów małej częstotliwości.

Dodawane i odejmowane opóźnione próbki mogą mieć nie zmienioną, oryginalną wartość próbkowanego sygnału analogowego (rys. 3), ale mogą zostać powiększone lub pomniejszone przez zastosowanie układu mnożącego  $X$  o określonym mnożniku  $m$  (rys. 4). Daje to dalsze zwiększenie lub zmniejszenie wartości filtrowanego sygnału, a więc możliwość uzyskania pożądanego kształtu charakterystyki częstotliwościowej filtru.



Rys. 4. Filtry cyfrowe ze zmianą wartości opóźnionych próbek a – dolnoprzepustowy, b – górnoprzepustowy



Rys. 5. Filtr pasmowy

padkową większą lub odejmować, aby uzyskać mniejszą. Działanie filtrów cyfrowych opiera się na tych możliwościach.

Najprostszy filtr cyfrowy tworzy się przez dodawanie lub odejmowanie próbek sygnału bezpośredniego i próbek tego samego sygnału, opóźnionych o czas równy okresowi próbkowania  $T_p$  (rys. 2). W wyniku dodania (rys. 2a) do próbki, np. 2, doprowadzonej właśnie do układu sumującego (sumatora +) i opóźnionej

w czasie o okres próbkowania  $T_p$  próbki 1, na wyjściu sumatora otrzymuje się zwiększoną próbkę (2+1). Podobnie postępuje się z następnymi parami próbek. Występujący na wyjściu sumatora ciąg powiększonych próbek da po dekodowaniu sygnał analogowy o zwiększonej amplitudzie.

Podobnie w wyniku odjęcia (rys. 2b) od próbki, np. 2, opóźnionej próbki 1, na wyjściu układu odejmującego (-) otrzymuje się zmniejsz-

Przez odpowiednie połączenie filtrów dolnoprzepustowych i górnoprzepustowych otrzymuje się filtry pasmowe, prezencyjne i dezencyjne, podobnie jak to się dzieje w filtrach analogowych (rys. 5). Stosując odpowiednie wartości mnożników i dalsze kolejne opóźnienia próbek można na różne sposoby kształtować charakterystyki częstotliwościowe filtrów.

**Bolesław Urbański**