

# 1 Wstęp

W DPCM - Differential Pulse Coded Modulation, przy niewielkiej szybkości zmian amplitudy sygnału źródłowego, rozważamy kodowanie jedynie przyrostów pomiędzy próbkami. Pozwala to uniknąć kodowania nadmiernej informacji w postaci składowej stałej. Prowadzi to do redukcji bitowej reprezentacji. Podstawowym przykładem realizacji DPCM jest Modulacja Delta (DM). W klasycznej DM problem stanowi jednak dobranie optymalnej wartości  $\Delta$ .

## 1.1 ADM - Adaptive Delta Modulation

Problem ten został rozwiązany w ADM poprzez adaptacyjną zmianę parametru  $\Delta$ . Istnieje wiele reguł aktualizacji delty, jednak najpopularniejszą z nich jest poniższa formuła:

$$\Delta(n) = \Delta(n-1) \cdot K^{e_{wy}(n) \cdot e_{wy}(n-1)}, \Delta(0) \geq 0, K > 1 \quad (1)$$

W przypadku zbyt szybko narastającego lub zbyt szybko malejącego zbocza  $\Delta$  zostaje zwiększona, a przy sygnale wolnozmiennym - zmniejszona. Pozwala to na ciągłe dopasowywanie się do sygnału. Przy zbyt dużych wartościach parametru K może dojść do powstania szumu śrutowego. Odpowiedni dobór  $\Delta(0)$  oraz K jest tematem tego laboratorium.

## 1.2 ADPCM - Adaptive Differential Pulse Coded Modulation

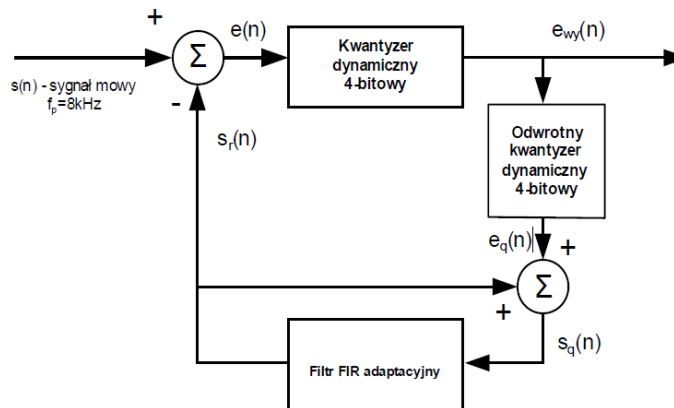
W celu zwiększenia efektywności działania układu ADM zaproponowano wykorzystanie filtra adaptacyjnego zbudowanego na strukturze stabilnej w sensie BIBO - filtra FIR. W praktyce kodery ADPCM to predykcyjne filtry cyfrowe składające z części statycznej - filtra IIR oraz adaptacyjnej - filtra FIR. W uproszczonej analizie opisywany jest jedynie część adaptacyjna. ADPCM cechuje się następującą złożonością obliczeniową:

$$R = f_s(3p + 1) = f_s \cdot K, \quad (2)$$

gdzie:

- R - ilość mnożeń wykonywanych w ciągu sekundy,
- K - ilość mnożeń elementarnych,
- $f_s$  - częstotliwość próbkowania,
- p - długość filtra.

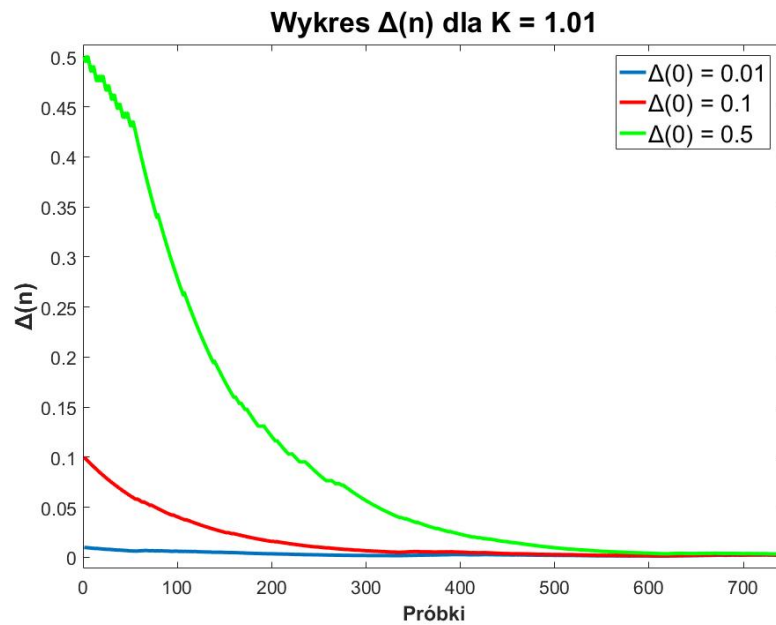
Rysunek 1: Schemat kodera ADPCM z 4 - bitowym kwantyzерem dynamicznym



## 2 Wyznaczanie optymalnych wartości parametrów $\Delta$ oraz K

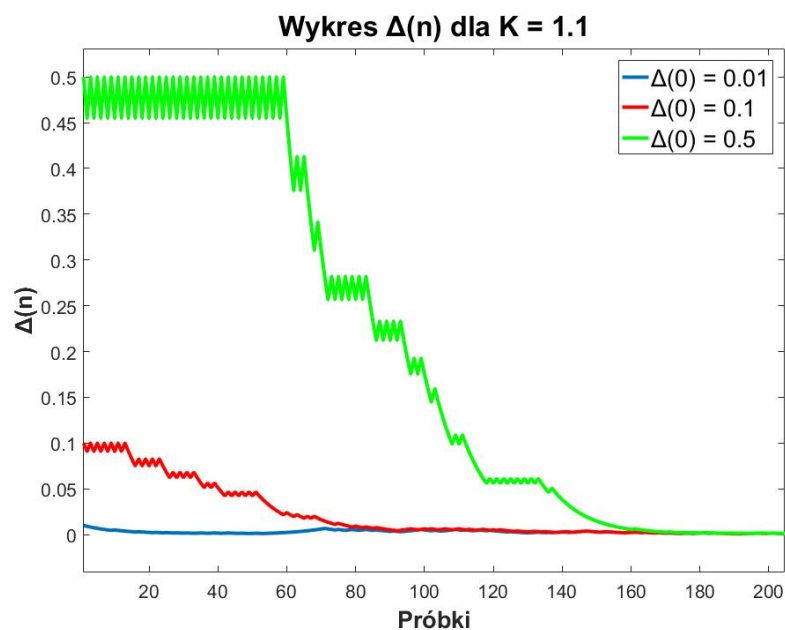
### 2.1 Wyznaczenie optymalnej wartości $\Delta(0)$

Rysunek 2: Wykres  $\Delta(n)$  dla  $K = 1.01$



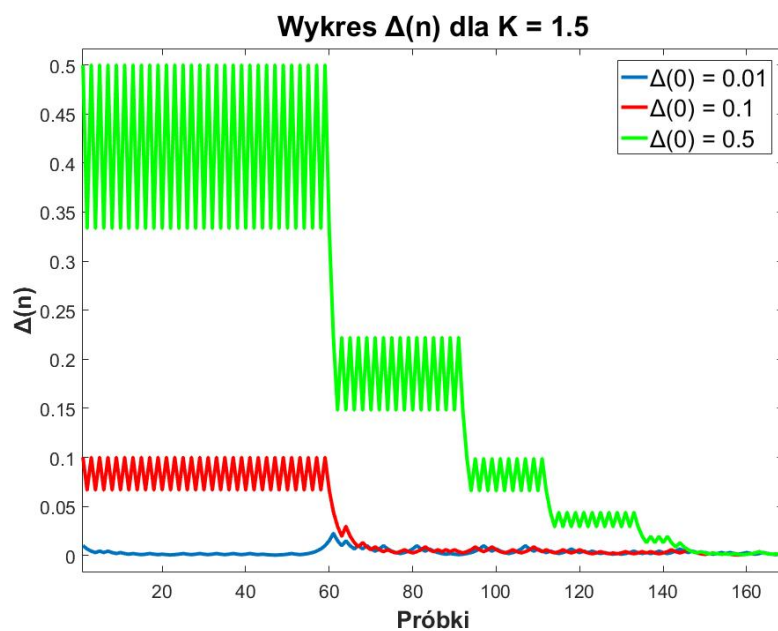
Okres przejściowy  $T_p = 600$  próbek

Rysunek 3: Wykres  $\Delta(n)$  dla  $K = 1.1$



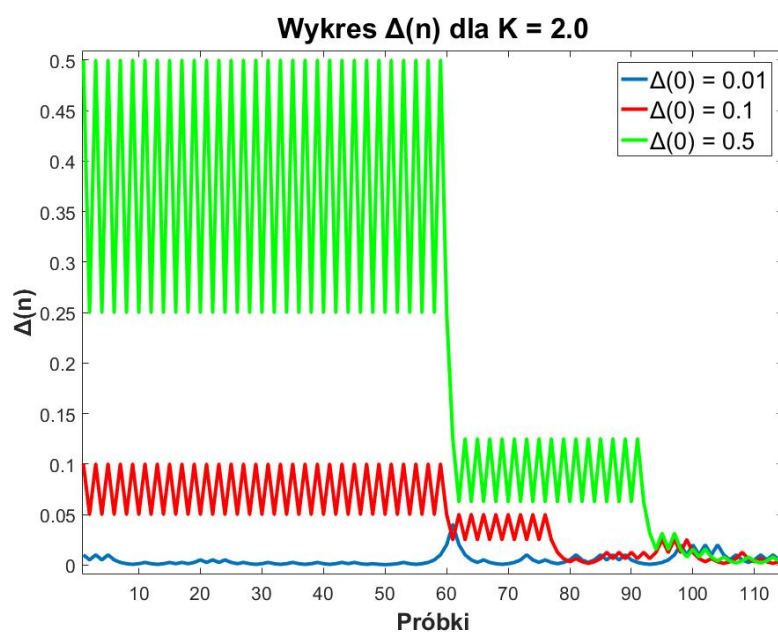
Okres przejściowy  $T_p = 160$  próbek

Rysunek 4: Wykres  $\Delta(n)$  dla  $K = 1.5$



Okres przejściowy  $T_p = 145$  próbek

Rysunek 5: Wykres  $\Delta(n)$  dla  $K = 2.0$

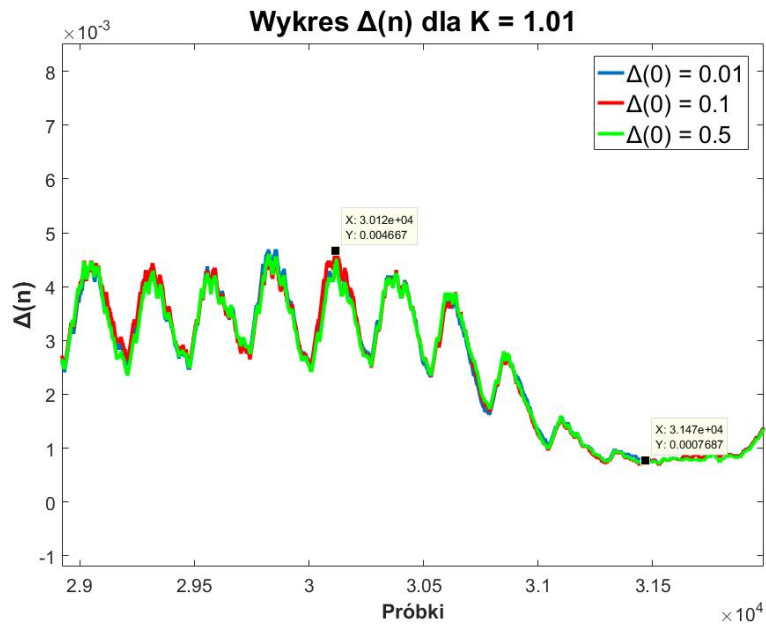


Okres przejściowy  $T_p = 100$  próbek

Z powyższych wykresów wprost wynika, że wraz ze wzrostem wartości  $K$  maleje okres przejściowy. Jednak dla dowolnej wartości parametru  $K$ , jeśli przyjąć  $\Delta(0) = 0.01$  to okres przejściowy  $T_p = 0$ . Do dalszych obliczeń (po wyznaczeniu obszaru pracy) przyjęta zostanie  $\Delta(0) = 0.01$ .

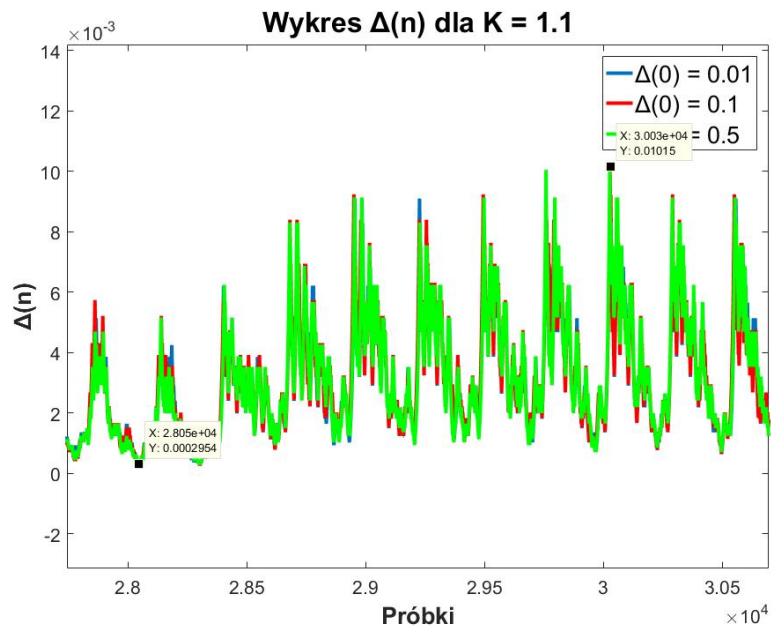
## 2.2 Wyznaczanie obszaru pracy

Rysunek 6: Wykres  $\Delta(n)$  dla  $K = 1.01$



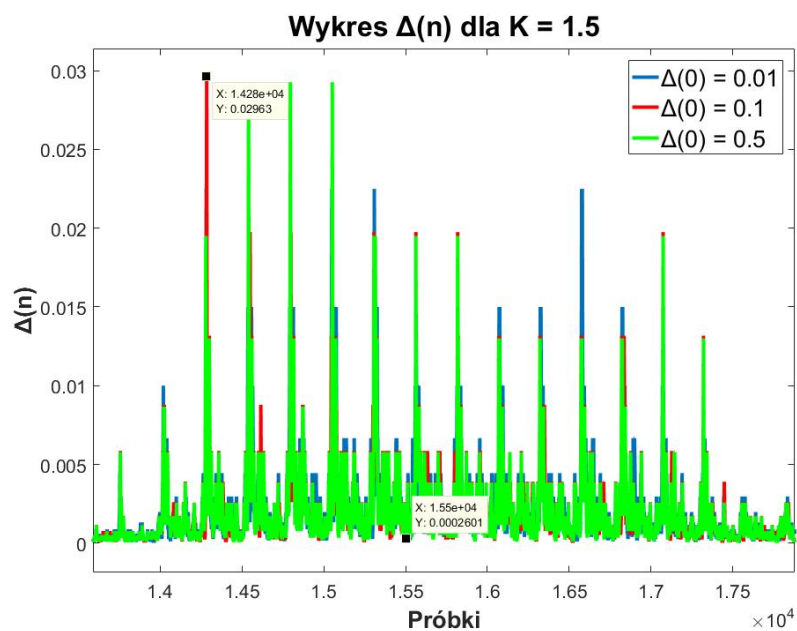
$$\text{Obszar pracy } \Delta(n) = 4.70 \cdot 10^{-3} - 0.76 \cdot 10^{-3} = 3.94 \cdot 10^{-3}$$

Rysunek 7: Wykres  $\Delta(n)$  dla  $K = 1.1$



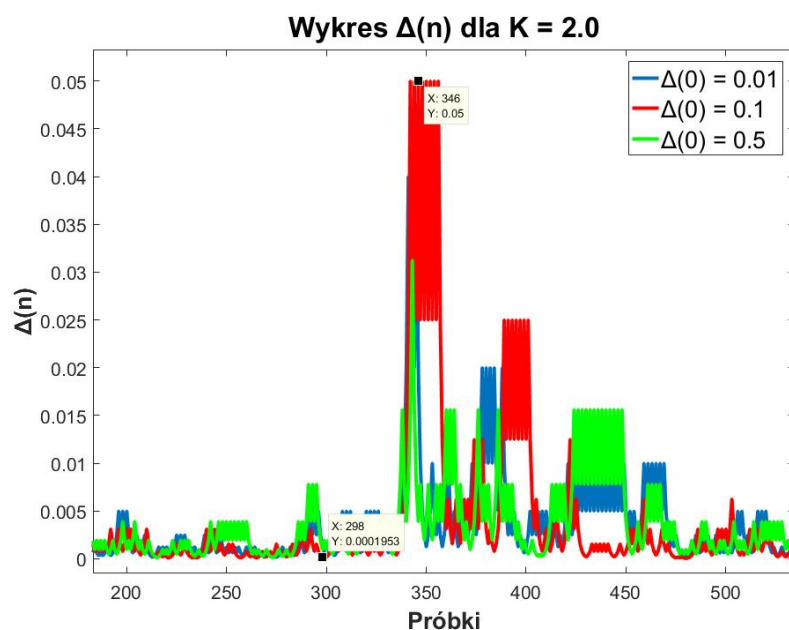
$$\text{Obszar pracy } \Delta(n) = 10.15 \cdot 10^{-3} - 0.29 \cdot 10^{-3} = 9.86 \cdot 10^{-3}$$

Rysunek 8: Wykres  $\Delta(n)$  dla  $K = 1.5$



$$\text{Obszar pracy } \Delta(n) = 29.63 \cdot 10^{-3} - 0.20 \cdot 10^{-3} = 29.43 \cdot 10^{-3}$$

Rysunek 9: Wykres  $\Delta(n)$  dla  $K = 2.0$

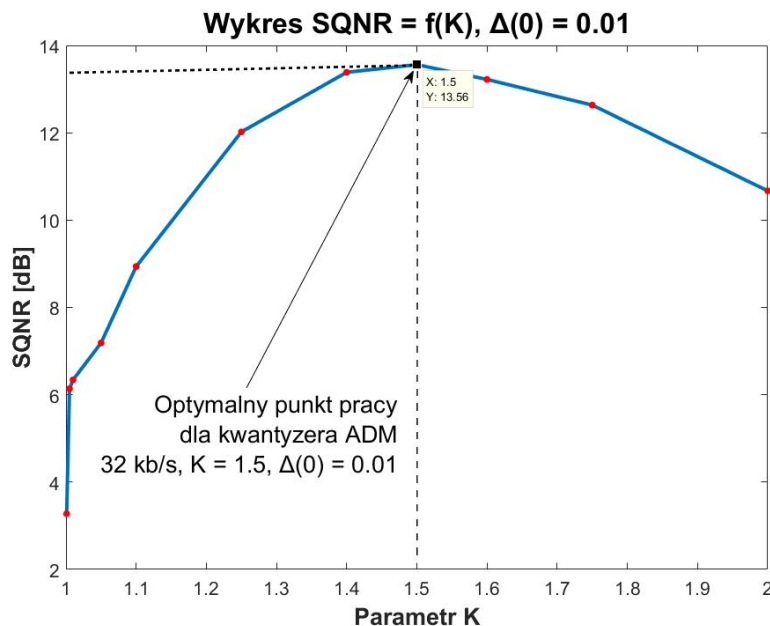


$$\text{Obszar pracy } \Delta(n) = 50.00 \cdot 10^{-3} - 0.19 \cdot 10^{-3} = 49.81 \cdot 10^{-3}$$

Z wykresów na rys. 6 - 9 możemy wyznaczyć obszar pracy. Jak widać dla  $K \leq 1.5$  obszar pracy rozszerza się w górę i w dół. Dla  $K = 2.0$  obszar pracy rośnie jedynie w górę. Dla  $K \geq 1.5$  pojawia się też szum śrutowy i staje się on bardzo silny już dla  $K = 2$  (obserwowany na rys. 9 nieustannie). Przyjmujemy więc obszar poszukiwań  $K$  w zakresie  $(1; 2]$ .

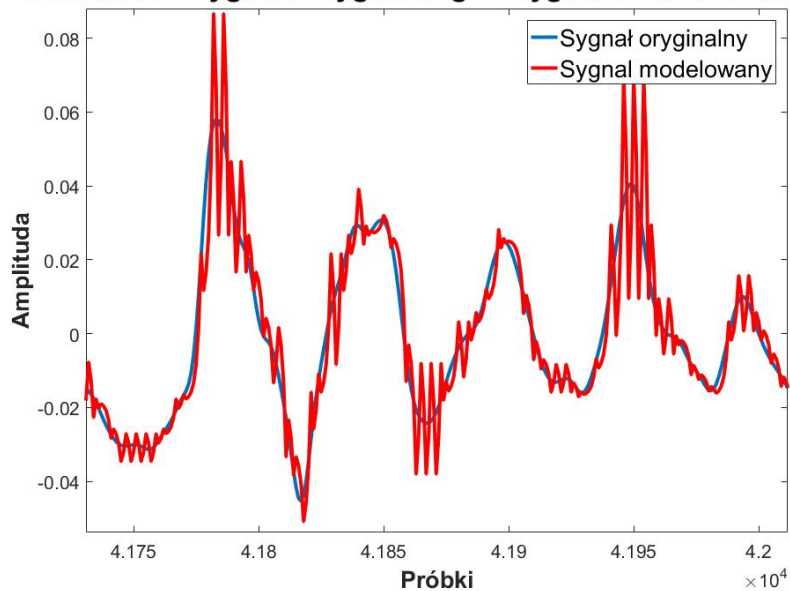
## 2.3 Wyznaczanie optymalnej wartości K

Rysunek 10: Wykres  $SQNR = f(K)$ ,  $\Delta(0) = 0.01$



Rysunek 11: Porównanie sygnału oryginalnego z sygnałem modulowanym

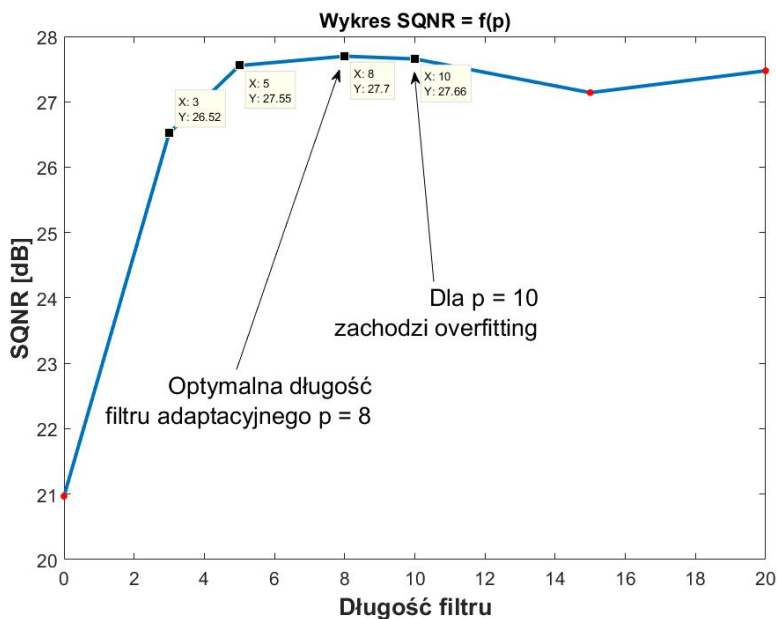
**Porównanie sygnału oryginalnego z sygnałem modelowanym**



Dla wartości  $K = 1.5$  otrzymujemy najlepszy SQNR. Funkcja  $SQNR = f(K)$  osiąga wtedy maksimum i przyjmuje wartość  $f(1.5) = 13.56$  dB. Na rys. 11 widzimy, że w otoczeniu lokalnych maksimum funkcji oryginalnej występuje lekki szum śrutowy, jednak jak wskazuje SQNR jest on optymalny względem jakości sygnału.

## 2.4 Wyznaczanie optymalnej długości filtra adaptacyjnego

Rysunek 12: Wykres  $SQNR = f(p)$



## 2.5 Tabele podsumowujące odczytane z wykresów własności

Tablica 1: Podsumowanie okresu przejściowego, obszaru pracy oraz uwagi dla zmiennego  $K$

$K$	$T_p$	$\Delta(n) \cdot 10^{-3}$	Uwagi
1.01	600	3.94	dla $\Delta(0) = 0.01$ brak stanu przejściowego
1.1	160	9.86	dla $\Delta(0) = 0.01$ brak stanu przejściowego
1.5	145	29.43	dla $\Delta(0) = 0.01$ brak stanu przejściowego, efekt szumu śrutowego
2	100	49.81	dla $\Delta(0) = 0.01$ brak stanu przejściowego, nieustanny szum śrutowy

Tablica 2: Wartość SQNR, zmiana SQNR, ilość elementarnych mnożeń ( $K$ ) oraz ilość mnożeń w ciągu 1 sekundy ( $R$ ) w zależności od długości filtra ( $p$ )

$P$	$SQNR$ [dB]	$\Delta SQNR$ [dB]	$K$	$R$
0	21	0	1	8000
3	26.52	5.52	10	80000
5	27.58	1.06	16	128000
8	27.75	0.17	25	200000

## 3 Wnioski

### 3.1 ADM

- Pętla sprzężenia zwrotnego uzależniona jest od wartości parametru  $K$ . W miarę wzrostu  $K$  maleje czas okresu przejściowego.
- Zwiększając  $K$  do wartości 1.5, obserwujemy zwiększenie obszaru pracy zarówno w dół, jak i w górę. Dla wartości  $K = 2$  obserwujemy jedynie wzrost obszaru pracy w górę.
- Przyjmując dowolne z badanych  $K$ , obserwujemy że dla  $\Delta(0) = 0.01$  nie ma stanu przejściowego, co jest pożądanym efektem.
- Wyznaczona optymalna wartość  $K = 1.5$  (dla  $\Delta(0) = 0.01$ ). Dla tych parametrów osiągamy najwyższą wartość  $SQNR = 13.56$  dB.
- Dla  $K = 1.5$  zaobserwowano szum śrutowy w okolicach lokalnych maksimów funkcji oryginalnej, jednak jak pokazano jest to optymalna wartość parametru  $K$  w sensie  $SQNR$ .

### 3.2 ADPCM

- Optymalna długość filtra  $p = 8$  w sensie  $SQNR$ .
- Warto również wziąć pod uwagę (jednak nie jest to element wykonanego ćwiczenia)  $p = 3$ , a także  $p = 5$ . Pomiędzy  $p = 3$ , a  $p = 8$  obserwujemy  $\Delta SQNR = 1.23$  dB, a pomiędzy  $p = 5$  i  $p = 8$  obserwujemy jedynie  $\Delta SQNR = 0.17$  dB. Są to wartości na tyle małe, że przy mniejszych zasobach sprzętowych można byłoby bez zauważalnej utraty jakości skrócić filtr do tych wartości.
- Warte rozważenia jest także przyjęcie funkcji kosztu zależnej nie tylko od  $SQNR$ , ale także od ilości mnożeń wykonywanych w ciągu sekundy:  $V(SQNR, R) = SQNR \pm \gamma \cdot R$ .
- Do realizacji kodera ADPCM potrzebna jest szybkość transmisji 32 kb/s, ponieważ każda próbka reprezentowana jest przez 4 bity. Pobieramy 8 000 próbek na sekundę (częstotliwość próbkowania 8 kHz), więc:  $4 \text{ bity} \cdot 8000 \frac{1}{s} = 32\,000 \frac{b}{s} = 32 \frac{kb}{s}$ .



## **4 Literatura**

[1] Materiały udostępnione do wykładu dr. inż. Roberta Hossy.