

# Wybrane zagadnienia elektroniki współczesnej

## Ćwiczenie 4 : Przetwarzanie analogowo-cyfrowe.

### 1 Problemy do rozwiązania w domu

#### 1.1 Szum kwantyzacji

Zakładając iż zakres dynamiczny N bitowego przetwornika analogowo-cyfrowego wynosi  $(-V_{ref}, V_{ref})$  wyznacz maksymalny stosunek sygnału do szumu (kwantyzacji) dla sygnału sinusoidalnego o amplitudzie  $V_{ref}$ . Otrzymaną wielkość wyraż w decybelach.

Wskazówka: Załóż iż błąd kwantyzacji ma rozkład jednostajny w przedziale  $(-q/2, q/2)$  gdzie  $q$  jest szerokością pojedynczego schodka przetwornika.

### 2 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z procesem próbkowania analogowo-cyfrowego. Poruszone zostanie zagadnienie kwantyzacji czasu oraz wartości (pojęcia : częstotliwość próbkowania, liczba bitów przetwornika, zakresu dynamicznego).

Uwaga: W tekście występuje wiele symboli (np. T1,F1,N1 ..) które należy podmienić wartością z wiersza (odpowiadającego Państwa numerowi) z poniższej tabeli:

Numer	T1 [s]	F1 [Hz]	F2 [Hz]	N1	N2	F4 [Hz]	F5 [Sps]	A1	A2	A3	F6 [Hz]	F7 [Hz]	N3
00	1/40	3.875	43.875	3	6	159.17968750	1000	0.6	14.0	-0.5	405.27343750	170.89843750	11
01	1/10	0.250	10.250	3	6	99.60937500	2000	0.4	18.0	-0.5	353.51562500	779.29687500	8
02	1/10	0.625	10.625	4	5	119.14062500	2000	0.5	14.0	0.2	404.29687500	865.23437500	8
03	1/10	0.500	10.500	4	4	167.48046875	500	0.6	20.0	-0.7	155.76171875	213.37890625	8
04	1/25	0.250	25.250	3	4	71.77734375	500	0.7	8.0	-0.4	95.21484375	209.47265625	11
05	1/40	0.625	40.625	2	4	239.25781250	1000	0.4	16.0	0.8	243.16406250	170.89843750	10
06	1/40	2.750	42.750	2	6	86.91406250	1000	0.1	14.0	0.8	159.17968750	432.61718750	8
07	1/40	1.125	41.125	3	6	402.34375000	4000	0.4	14.0	-0.3	1558.59375000	628.90625000	8
08	1/20	0.125	20.125	3	6	361.32812500	2000	0.5	2.0	-0.7	865.23437500	326.17187500	9
09	1/40	1.250	41.250	3	6	913.08593750	5000	0.4	14.0	-0.2	834.96093750	1684.57031250	12
10	1/40	2.625	42.625	4	4	50.39062500	400	0.3	12.0	-0.7	174.60937500	42.57812500	10
11	1/50	4.125	54.125	3	6	115.23437500	400	0.2	8.0	1.0	160.54687500	25.39062500	8
12	1/25	0.875	25.875	4	4	26.17187500	400	0.1	18.0	-0.4	44.92187500	122.26562500	12
13	1/50	2.625	52.625	3	6	286.71875000	800	0.3	12.0	0.7	289.84375000	244.53125000	8
14	1/25	0.875	25.875	4	4	292.96875000	800	0.1	14.0	-0.8	128.90625000	299.21875000	8
15	1/15	0.625	15.625	2	4	295.89843750	1000	0.1	12.0	-0.3	198.24218750	352.53906250	10

16	1/10	0.500	10.500	4	4	2124.02343750	5000	0.6	2.0	-0.9	952.14843750	297.85156250	9
17	1/20	1.625	21.625	3	4	385.74218750	1000	0.2	4.0	-0.3	424.80468750	100.58593750	12
18	1/10	0.625	10.625	2	4	42.77343750	200	0.4	16.0	-0.8	42.77343750	59.57031250	8
19	1/20	1.875	21.875	3	5	19.92187500	400	0.5	14.0	-1.0	66.01562500	140.23437500	11
20	1/15	0.625	15.625	3	5	71.09375000	800	0.2	6.0	0.5	324.21875000	225.78125000	8
21	1/25	1.750	26.750	3	5	188.28125000	800	0.5	8.0	0.3	58.59375000	133.59375000	11
22	1/10	0.625	10.625	2	4	28.51562500	400	0.5	4.0	0.2	115.23437500	64.45312500	12
23	1/40	1.375	41.375	4	4	141.40625000	800	0.1	2.0	-0.3	105.46875000	203.90625000	8
24	1/20	0.625	20.625	2	5	134.76562500	2000	0.6	20.0	-0.1	189.45312500	697.26562500	10
25	1/20	1.500	21.500	2	6	64.45312500	400	0.6	14.0	0.5	100.39062500	154.29687500	8
26	1/10	0.250	10.250	3	5	338.28125000	800	0.4	8.0	0.7	119.53125000	228.90625000	11
27	1/15	0.375	15.375	2	4	122.26562500	400	0.1	2.0	1.0	85.54687500	158.98437500	9
28	1/15	0.375	15.375	2	4	54.19921875	500	0.2	8.0	0.5	104.00390625	77.63671875	10
29	1/40	0.375	40.375	2	6	352.53906250	1000	0.3	14.0	-0.6	256.83593750	182.61718750	12
30	1/15	0.250	15.250	4	6	587.89062500	2000	0.4	16.0	-0.5	794.92187500	314.45312500	12
31	1/25	1.250	26.250	2	4	800.78125000	4000	0.6	14.0	-0.2	1574.21875000	253.90625000	10
32	1/40	3.875	43.875	2	4	239.84375000	800	0.6	2.0	0.7	52.34375000	213.28125000	11
33	1/20	0.500	20.500	3	4	1472.65625000	4000	0.1	14.0	-0.1	566.40625000	910.15625000	8
34	1/50	1.125	51.125	4	6	605.46875000	4000	0.5	2.0	0.7	714.84375000	1691.40625000	10
35	1/15	0.625	15.625	2	4	55.07812500	400	0.7	10.0	0.8	41.01562500	108.20312500	8
36	1/25	1.750	26.750	3	4	246.09375000	800	0.7	10.0	-0.1	186.71875000	110.15625000	9
37	1/40	0.375	40.375	3	4	34.96093750	200	0.6	20.0	-0.8	78.32031250	13.47656250	11
38	1/50	4.375	54.375	4	5	503.90625000	4000	0.7	4.0	0.2	660.15625000	1191.40625000	9
39	1/40	1.000	41.000	4	6	266.60156250	1000	0.2	6.0	-0.6	254.88281250	370.11718750	9
40	1/50	4.250	54.250	4	6	337.89062500	2000	0.7	20.0	-0.3	841.79687500	498.04687500	12

### 3 Przetwarzanie analogowo-cyfrowe

#### 3.1 Kwantyzacja w dziedzinie czasu (próbkowanie)

Zasymuluj proces kwantowania w dziedzinie czasu co T1 (jakiej częstotliwości próbkowania to odpowiada?) sygnału sinusoidalnego o częstotliwości F1. (wskazówka: można użyć komponentu Zero-Order Hold). Porównaj sygnał źródłowy (ciągły) ze spróbkowanym.

#### 3.2 Zjawisko aliasingu

Powtórz czynności z punktu 3.1 dla częstotliwości sygnału wejściowego wynoszącej F2. Czy korzystając z zebranych próbek jesteś w stanie jednoznacznie stwierdzić jaki sygnał został podany na wejście? Wskaż jakie częstotliwości sygnału wejściowego przy zadanej częstotliwości próbkowania będą reprezentowane przez ten sam zbiór próbek (hasła: twierdzenie Kotielnikowa-Shannona, częstotliwość Nyquista).

### **3.3 Kwantyzacja w dziedzinie wartości**

Korzystając z bloku `Quantizer` dokonaj kwantyzacji w dziedzinie amplitudy. Wartości amplitudy sygnału oraz poziomów kwantyzacji dobierz tak aby sygnał zajmował pełny zakres dynamiczny  $N1$  bitowego przetwornika.

### **3.4 Błąd kwantyzacji**

Wyznacz błąd popełniany przez  $N2$  bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy w funkcji napięcia wejściowego. (użyteczny może być komponent `Ramp`). Otrzymane wielkości zaprezentuj w wartościach absolutnych a także po unormowaniu do szerokości pojedynczego schodka LSB (ang. `Less Significant Bit`). Zaniedbaj kwantyzację w dziedzinie czasu – pominię komponent `Zero-Order Hold` symulując w ten sposób nieskończenie krótki okres sampłowania w stosunku do nachylenia sygnału wejściowego.

### **3.5 Widmo sygnału o dyskretnych wartościach (szum kwantyzacji)**

Korzystając z komponentu `Spectrum Scope` wyznacz widmo sygnału sinusoidalnego o częstotliwości  $F4$  spróbowanego z częstotliwością  $F5$ , dodaj symulacje kwantyzacji w dziedzinie wartości  $N3$  bitowym przetwornikiem. (długość transformaty Fouriera 1024 punkty, funkcja okna „`box car`”). Wyznacz odstęp sygnału do szumu. Otrzymane wartości porównaj z zagadnieniami teoretycznymi do opracowania w domu – punkt 1). Opisz charakter widma szumu kwantyzacji.

### **3.6 Metryki dynamiczne idealnego przetwornika analogowo-cyfrowego**

Korzystając z widma uzyskanego w punkcie 3.5 (należy zapisać widmo w pliku tekstowym do dalszej analizy, można wykorzystać komponenty: `Buffer`, `Magnitude FFT`, `To Workspace`, `To File`) wyznacz komplet metryk dynamicznych przetwornika analogowo-cyfrowego:

- THD (Total Harmonic Distorsion)
- SNHR (Signal to Non-Harmonic Ratio)
- SFDR (Spurious Free Dynamic Range)
- SINAD (Signal to Noise And Distorsion)
- ENOB (Effective Number Of Bits)

Pomocny może okazać się poradnik na temat opracowania pomiarów dynamicznych przetworników ADC umieszczony w materiałach dodatkowych na stronie internetowej. Jakie powinny być wartości metryk dla idealnego przetwornika  $N3$  bitowego?

### 3.7 Metryki dynamiczne nieidealnego przetwornika analogowo-cyfrowego

Aby uzyskać przetwornik nieidealny, należy wprowadzić nieliniowości to jego funkcji przenoszenia. W tym celu przed blokiem `Quantizer` należy wstawić funkcję zniekształcającą charakterystykę przetwornika w postaci:

$$y(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$$

w taki sposób aby:

$$y(0) = 0 \quad y(A \cdot 0.5) = 0.5 \quad y(A) = A$$

gdzie  $A$  jest maksymalną amplitudą sygnału wejściowego (zakres dynamiczny przetwornika od 0 do  $A$ ). Parametr  $a$  funkcji jest związany ze stopniem zniekształcenia charakterystyki przetwornika. Rozważ dwa przypadki dla współczynnika  $a$  równego 0.1 oraz 0.3. Jak zmieniły się metryki dynamiczne przetwornika? Jakie harmoniczne dominują w widmie?

Rozważ drugi rodzaj nieliniowości gdzie:

$$y(0) = 0 \quad y(A \cdot 0.6) = 0.6 \quad y(A \cdot 1.2) = A \cdot 1.2$$

przy założeniu że zakres dynamiczny przetwornika jest taki sam jak w poprzednim przypadku (od 0 do  $A$ ). Wykonaj obliczenia dla współczynnika  $a$  równego 0.1 oraz 0.3. Jak zmieniły się teraz metryki dynamiczne przetwornika? Jakie harmoniczne dominują w widmie?

Zbierz w tabeli i porównaj metryki wyznaczone dla czterech przypadków nieliniowości (3.7) oraz idealnego przetwornika (3.6).

## 4 Sprawozdanie

Pełne sprawozdanie (plik pdf + modele simulinka / pliki matlaba) należy wysłać jako plik **Nazwisko\_Imie\_L4.zip** (nie rar)

UWAGA! Struktura plików i katalogów w archiwum **Nazwisko\_Imie\_L4.zip** jest bardzo ważna:

**Nazwisko\_Imie\_L4.zip**

**Nazwisko\_Imie\_L4.pdf**

- plik ze sprawozdaniem

**Nazwisko\_Imie\_L4\_models**

- katalog z plikami simulinka/matlaba

\*Nazwy wszystkich plików powinny być bez polskich znaków, spacji, znaków specjalnych itp.