

## Ćwiczenie 7

### Badanie właściwości tłumienia zakłóceń woltomierza z przetwornikiem A/C z dwukrotnym całkowaniem

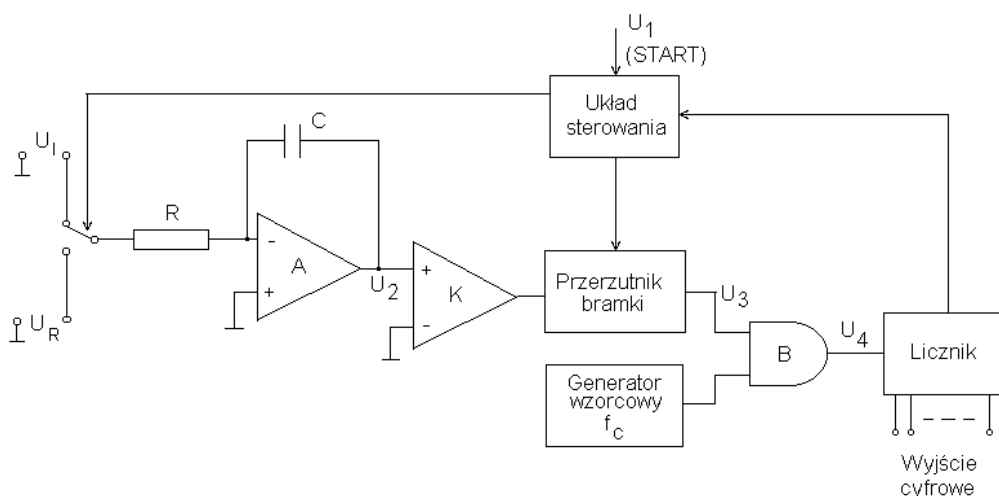
#### PODSTAWY TEORETYCZNE

#### PRZETWORNIK ANALOGOWO CYFROWEGO Z DWUKROTNYM CAŁKOWANIEM

#### 1. SCHEMAT BLOKOWY I ZASADA DZIAŁANIA PRZETWORNIKA ANALOGOWO-CYFROWEGO Z PODWÓJNYM CAŁKOWANIEM [1, 2]

Działanie przetwornika a/c z podwójnym całkowaniem opiera się na porównaniu ładunku zgromadzonego w tej samej pojemności podczas dwóch okresów całkowania. W pierwszym okresie jest całkowane napięcie wejściowe-mierzone  $U_I$ , a w drugim napięcie referencyjne (odniesienia)  $U_R$ . W pierwszym okresie kondensator jest ładowany, a w drugim rozładowywany. Moment całkowitego rozładowania jest końcem całego cyklu przetwarzania.

Poniżej przedstawiono ogólny schemat blokowy budowy przetwornika a/c z dwukrotnym całkowaniem.



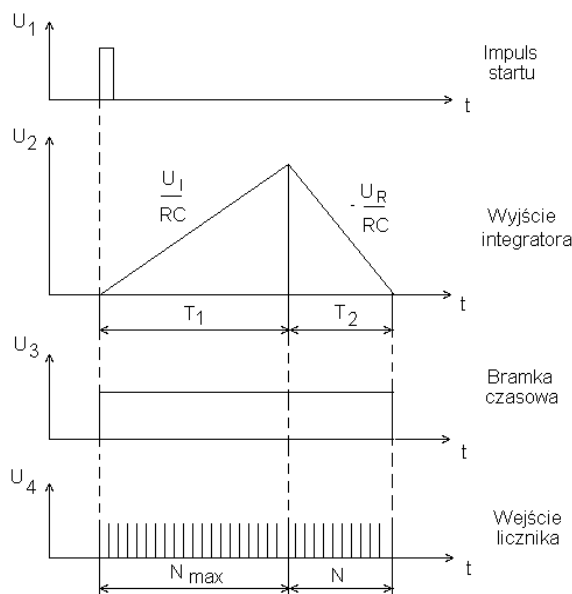
Rys.1.1. Schemat blokowy przetwornika z podwójnym całkowaniem (rys. wykonany na podstawie [2])

W pierwszej fazie do wejścia integratora zostaje dołączone napięcie  $U_I$ . Jednocześnie układ sterowania ustawia wyjście Q przerzutnika w stan logiczny „1”, co powoduje otwarcie bramki B i licznik rozpoczyna zliczanie impulsów o częstotliwości  $f_c$  z generatora wzorcowego. Na wyjściu integratora pojawia się napięcie  $u_2(t)$  w wyniku całkowania napięcia sygnału wejściowego które to napięcie w chwili  $t = T_1$  osiągnie wartość:

$$u_2(T_1) = \frac{1}{RC} \int_{t=0}^{T_1} U_I dt = \frac{1}{RC} U_{lav} T_1 \quad (1.1)$$

gdzie:  $U_{lav}$  jest wartością średnią napięcia  $U_I$

Na rys.1.2 przedstawiono wykresy czasowe ilustrujące zasadę działania przetwornika A/C z dwukrotnym całkowaniem dla napięcia wejściowego o stałej wartości  $U_I = \text{const}$ .



Rys 1.2. Wykresy czasowe ilustrujące zasadę działania przetwornika A/C [2]

Czas  $T_1$  jest wyznaczany przez pojemność  $N_{\max}$  licznika. Jego przepełnienie (osiągnięcie wartości  $N_{\max}$ ) powoduje zakończenie pierwszego całkowania i odłączenie wejścia układu całkującego od mierzonego  $U$  i przełączenie tego wejścia na napięcie wzorcowe  $U_R$ , które ma przeciwny znak. W tym momencie rozpoczyna się faza drugiego całkowania. Dołączone zostaje napięcie  $U_R$  o przeciwnej polaryzacji, które powoduje przeładowanie kondensatora i w rezultacie liniowe opadanie napięcia  $u_2(t)$  na wyjściu integratora.

$$u_2(t) = u_2(T_1) - \frac{1}{RC} \int_{T_1}^t U_R dt \quad (1.2)$$

Po podstawieniu (1.1) do (1.2) otrzymujemy zależność:

$$u_2(t) = \frac{1}{RC} U_{lav} T_1 - \frac{1}{RC} U_{R2} (t - T_1) \quad (1.3)$$

Po czasie  $t = (T_1 + T_2)$  liniowo opadające napięcie  $u_2(t)$  na wyjściu integratora osiągnie wartość zero:

$$u_2(T_1 + T_2) = \frac{1}{RC} (U_{lav} T_1 - U_R T_2) = 0 \quad (1.4)$$

Po dokonaniu przekształcenia zależności (1.4) otrzymujemy:

$$(U_{lav} T_1 - U_R T_2) = 0 \quad (1.5)$$

A więc:

$$T_2 = T_1 \frac{U_{lav}}{U_R} \quad (1.6)$$

Zależność (1.6) wykazuje, że czas drugiego całkowania jest proporcjonalny do napięcia mierzonego, a więc stanowi miarę mierzonego napięcia  $U_{lav}$ .

Jak już wspomniano po czasie  $t = T_2$  napięcie  $u_2(t)$  na wyjściu integratora osiąga wartość zerową. Moment osiągnięcia wartości zerowej napięcia  $u_2(t)$  sygnalizuje komparator, który poprzez przerzutnik zamyka bramkę i zatrzymany zostaje proces zliczania impulsów. Jednocześnie na skutek

osiągnięcia przez licznik maksymalnej liczby impulsów  $N_{\max}$  licznik w sposób naturalny zostaje wyzerowany kolejnym impulsem z generatora wzorcowego, a więc w rezultacie w momencie rozpoczęcia drugiej fazy całkowania zliczanie odbywa się począwszy od zerowej wartości licznika.

Czas  $T_1$  fazy I całkowania wyznacza pojemność licznika i częstotliwość  $f_C$ , a czas  $T_2$  określony jest ilością  $N$  impulsów o częstotliwości  $f_C$  zliczonych przez licznik.

$$T_1 = \frac{N_{\max}}{f_C} \quad T_2 = \frac{N}{f_C} \quad (1.7) \quad (1.8)$$

Podstawiając, otrzymujemy

$$\frac{N}{f_C} = \frac{N_{\max}}{f_C} \frac{U_{Iav}}{U_R} \quad (1.9)$$

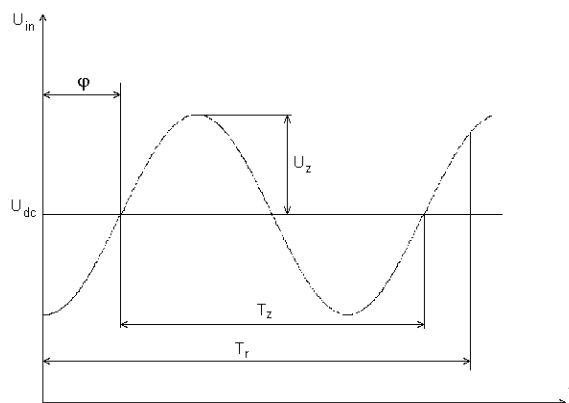
czyli wartość średnia mierzonego napięcia

$$U_{Iav} = U_R \frac{N}{N_{\max}} \quad (1.10)$$

W metodzie podwójnego całkowania wartość mierzonego napięcia zależy tylko od dokładności napięcia odniesienia  $U_R$  oraz od licznika, a nie zależy od wartości elementów  $R$ ,  $C$  integratora oraz niestałości częstotliwości generatora.

## 2. TŁUMIENIE ZAKŁÓCEŃ [1, 2]

Jedną z ważniejszych właściwości przetwornika A/C dwukrotnym całkowaniem jest jego zdolność do częściowej lub całkowitej eliminacji wpływu zakłóceń na wynik przetworzenia sygnału mierzonego przez przetwornik. Ogólnie zakłócenia te mogą mieć różny charakter i różny kształt, ale zwykle analizuje się konsekwencje przetwarzania sygnału stałoprądowego  $U_{DC}$  z nałożoną składową zakłóceń sinusoidalnych  $u(t) = U_m \sin \omega t$  (rys.2.1)



Rys. 2.1 Sygnał z nałożonymi zakłóceniami okresowymi

$U_{dc}$  – stałoprądowy sygnał mierzony       $T_z$  – okres zakłóceń  
 $U_z$  – amplituda zakłóceń       $T_i$  – czas całkowania

Jeśli czas całkowania jest równy wielokrotności okresu zakłóceń to zakłócenia o okresie  $T_z$  są całkowicie tłumione w czasie pomiaru. Dla każdego innego przypadku otrzymany wynik przetwarzania będzie obarczony błędem.

Wartość napięcia wyjściowego z integratora z uwzględnieniem zakłóceń określa zależność:

$$\begin{aligned}
 u(T_i) &= -\frac{1}{RC} \int_0^{T_i} u_{in} dt = -\frac{1}{RC} \int_0^{T_i} (U_{dc} + U_Z \sin(\omega t - \varphi)) dt = \\
 &= -\frac{U_{dc} T_i}{RC} - \frac{U_Z}{RC \omega} (\cos(\omega T_i - \varphi) - \cos \varphi)
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Na podstawie powyższego równania widać, że procesowi całkowania (uśredniania) zostaje poddawany nie tylko właściwy sygnał mierzony, ale również nakładające się zakłócenia, które wpływają na ostateczny wynik pomiaru.

Stosunek składnika użytecznego do zakłóceń wynosi:

$$\frac{U_{dc} T_i \omega}{U_Z (\cos(\omega T_i) - \cos \varphi)} = \frac{U_{dc}}{U_Z} \frac{\pi \frac{T_i}{T_Z}}{\sin(\pi \frac{T_i}{T_Z}) \sin(\pi \frac{T_i}{T_Z} - \varphi)} \tag{2.2}$$

Wartość czasu całkowania  $T_i$  oraz wartości napięć  $U_{dc}$  i  $U_Z$  są stałe. Częstotliwość sygnału zakłócającego jest także stała. Jedynym zmiennym parametrem będzie kąt  $\varphi$ .<sup>[1]</sup>

Ze wzoru (2.3) można wyznaczyć kąt  $\varphi$ , dla którego to kąta tłumienie  $L$  zakłóceń będzie najgorsze dla danej częstotliwości zakłóceń i stałej wartości napięć  $U_{dc}$  i  $U_Z$ . Wyznaczenie takiego kąta dla różnych częstotliwości pozwoli na wyznaczenie wykresu tłumienia zakłóceń okresowych.

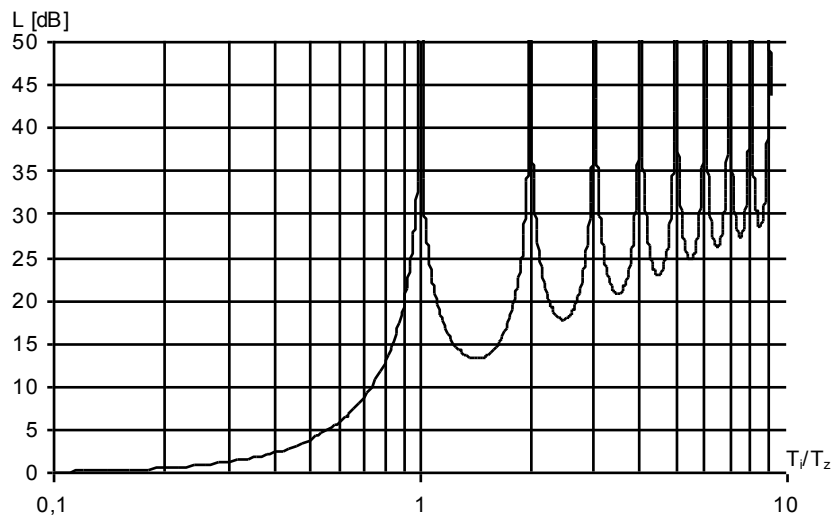
$$\varphi = \pi \frac{T_i}{T_Z} - \frac{\pi}{2} \tag{2.3}$$

Tłumienie, dla najbardziej niekorzystnej wartości kąta  $\varphi$  określa się zależnością

$$L = 20 \log \left| \frac{x}{\sin(x)} \right| \tag{2.4}$$

$$\text{gdzie } x = \pi \frac{T_i}{T_Z} \tag{2.5}$$

Na rys.2.2. przedstawiono wykres tłumienia  $L$  w zależności od stosunku czasu całkowania do okresu zakłóceń.



Rys. 2.2 Wykres wartości tłumienia  $L$  w zależności od stosunku  $\frac{T_i}{T_z}$

Dla częstotliwości zakłóceń z zakresu (25÷100)Hz wyznaczono najbardziej niekorzystną wartość kąta  $\varphi$  i dla tak obliczonego kąta, przy danej częstotliwości obliczono wartość tłumienia.

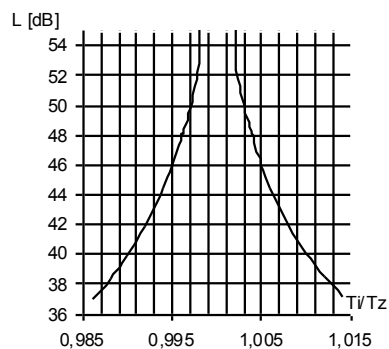
W tabeli podano przykładowe wyniki obliczonych w oparciu o wzór 2.4 i 2.5, najbardziej niekorzystnych wartości kąta  $\varphi$  dla zadanych częstotliwości zakłóceń sinusoidalnych oraz odpowiadającą im wartość tłumienia L.

Częstotliwość zakłóceń $f_z$ [Hz]	Kąt $\varphi$ [ $^\circ$ ]	Wartość tłumienia L [dB]
25	0	3,93
30	18	6,94
40	54	12,62
49	86,4	33,81
50	90	$\infty$
51	93,6	34,16
60	126	16,14
70	162	13,30
80	198	14,46
90	234	19,66
100	270	$\infty$

Tab. 1 Wartość tłumienia dla danej częstotliwości zakłóceń i kąta  $\varphi$

Na podstawie podanych wartości widać, że najlepsze tłumienie uzyskujemy dla całkowitych wartości stosunku czasu całkowania  $T_r$  do czasu  $T_z$  (okres sygnału zakłócającego jest całkowitą wielokrotnością czasu całkowania). Jednocześnie widać, że wartość tłumienia rośnie ze wzrostem tego stosunku.

Na rys. 3 przedstawiono powiększony obszar wykresu współczynnika tłumienia w otoczeniu wartości stosunku  $\frac{T_r}{T_z} = 1$ , czyli częstotliwości zakłóceń 50Hz. Łatwo można zauważyć, że mała rozbieżność wartości czasów  $T_r$  i  $T_z$  powoduje duży spadek tłumienia. Przykładowo dla częstotliwości zakłócającej 50,15Hz stosunek  $\frac{T_r}{T_z}$  wynosi 0,997. Odpowiadająca temu wartość tłumienia 50dB (dla  $\frac{T_r}{T_z} = 1$  L= 328,18dB).



#### LITERATURA

1. Baranowski, Kalinowski, Nosal: „Układy elektroniczne cz. III Układy i systemy cyfrowe”,
2. Zbigniew Kulka, Andrzej Libura, Michał Nadachowski: „Przetworniki analogowo – cyfrowe i cyfrowo – analogowe”, WKŁ Warszawa 1987

## Ćwiczenie 7

### Badanie właściwości tłumienia zakłóceń woltomierza z przetwornikiem A/C z dwukrotnym całkowaniem

#### 1. Cel ćwiczenia:

Poznanie właściwości tłumienia zakłóceń przetwornika analogowo-cyfrowego z dwukrotnym całkowaniem zastosowanego w układzie woltomierza cyfrowego

#### 2. Przebieg ćwiczenia

##### 2.1. Pomiar czasu pierwszej fazy całkowania (tzw. I całkowanie) dla wybranych typów woltomierzy cyfrowych (multimetrów typu: .....)

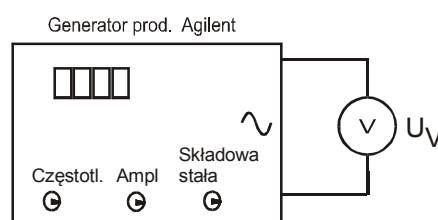
#### Zadania pomiarowe:

Należy eksperymentalnie wyznaczyć najmniejszą wartość częstotliwości sinusoidalnego sygnału zakłóceń, przy której występuje efekt całkowitego tłumienia zakłóceń. **Odwrotność tej wartości częstotliwości, przy której zachodzi całkowite tłumienie zakłóceń jest poszukiwanym czasem I całkowania. W praktyce najczęściej stosuje się jeden z dwóch wartości czasów I całkowania 100 ms lub 200 ms, a więc badania należy przeprowadzić dla sygnałów sinusoidalnych o częstotliwościach 10 Hz lub 5 Hz.**

Uwaga: ze względu na niedoskonałości konstrukcyjne niektórych przetworników A/C z dwukrotnym całkowaniem (zamontowanych w układach multimetrów), wartość czasu I całkowania może nieznacznie różnić się od zalecanych teoretycznie wartości – należy zatem przeprowadzić badania w otoczeniu podanych wyżej wartości częstotliwości sygnału zakłócającego. W badaniach zastosować sygnał napięciowy  $u(t) = U_{DC} + U_m \sin \omega t$  o identycznych wartościach amplitudy sygnału sinusoidalnego i składowej stałej:  $U_m = U_{DC}$  i o precyzyjnie regulowanej wartości częstotliwości (pożądana rozdzielczość regulacji częstotliwości: 0,01Hz).

#### Technika pomiaru:

Na rys. 1. pokazano schemat pomiarowy do badania wartości czasu pierwszej fazy całkowania



Rys.1. Pomiar czasu I całkowania

- Pomiar wykonać doprowadzając sygnał  $u(t) = U_{DC} + U_m \sin \omega t$  o precyzyjnie nastawianej częstotliwości składowej sinusoidalnej do wejścia woltomierza cyfrowego na zakresie stałoprądowym (DC).
- zakres badanego woltomierza ustawić na wartość 20 V
- Ustawić wartość napięć składowej stałej i składowej sinusoidalnej  $U_m = U_{DC} = 1$  V. **Uwaga: w przypadku stosowania generatora prod. Agilent, aby uzyskać  $U_m = 1$  V i  $U_{DC} = 1$  V nastawiamy za pomocą klawisza „Ampl” wartość  $V_{pp} = 1$  V oraz za pomocą klawisza „offset” nastawiamy wartość 500 mV (odczyt tych wartości na wyświetlaczu tego generatora)**

- Pomiar wyniku przetwarzania dokonać dla dwóch wartości częstotliwości  $f$  sygnału sinusoidalnego, których odwrotność  $T = 1/f$  stanowi całkowitą wielokrotność okresu 20 ms. zgodnie z niżej podanymi wartościami:  
 $T = 100\text{ms}$  ( $f = 10\text{ Hz.}$ ),  $T = 200\text{ ms}$  ( $f = 5\text{ Hz}$ )  
 Odwrotność tej wartości częstotliwości, przy której zachodzi całkowite tłumienie zakłóceń jest poszukiwanym czasem  $I$  całkowania.

## 2.2. Badanie charakterystyki tłumienia woltomierza z przetwornikiem podwójnie całkującym

### a) Układ pomiarowy

Zastosować układ pomiarowy jak na rys.1. Pomiar wykonać doprowadzając sygnał sinusoidalny  $u = U_{DC} + U_m \sin \omega t$  o precyzyjnie nastawianej częstotliwości do wejścia woltomierza cyfrowego na zakresie stałoprądowym.. Zastosować identyczne wartości amplitudy sygnału sinusoidalnego i składowej stałej:  $U_m = U_{DC}$  – na przykład  $U_m = U_{DC} = 1\text{ V}$ , a pomiary wykonać na **stałoprądowym (DC) zakresie multimetru: 20 V.**

**Uwaga: w przypadku stosowania generatora prod. Agilent, aby uzyskać  $U_m = 1\text{ V}$  i  $U_{DC} = 1\text{ V}$  nastawiamy za pomocą klawisza „Ampl” wartość  $V_{pp} = 1\text{ V}$  oraz za pomocą klawisza „offset” nastawiamy wartość 500 mV (odczyt tych wartości na wyświetlaczu tego generatora)**

### b) Zadania pomiarowe i technika pomiarów

Należy wyznaczyć eksperymentalnie charakterystykę tłumienia zakłóceń  $L = f(f)$ , gdzie  $f$  – częstotliwość sinusoidalnych sygnałów zakłócających.

### c) Sposób wykonywania pomiaru

Kolejne wyniki pomiarów dla sygnału zakłócających o zadanych wartościach częstotliwości  $f$  rejestrowane są w odstępach czasowych narzuconych przez własny takt przetworzenia układu woltomierza. Dla częstotliwości sygnałów nie spełniających warunków całkowitego tłumienia kolejne eksponowane na wyświetlaczu wyniki będą się różniły od wartości  $U_{DC}$ . Dla wyznaczenia charakterystyki tłumienia należy:

- Dla sygnału zakłócającego o zadanej częstotliwości obliczyć wartość maksymalnej różnicy  $\Delta U_{\max}$  pomiędzy pewną, szczególną odczytaną wartością  $U_{odcz}$ , która jest najbardziej odległa od wartości napięcia  $U_{DC}$  :

$$|\Delta U_{\max}| = |U_{odcz} - U_{DC}| \quad (1)$$

Pomiary wykonać dla kolejnych wartości częstotliwości  $f = 3\text{ Hz}, 4\text{ Hz}, 5\text{ Hz}, 6\text{ Hz}, 7\text{ Hz}, \dots, 54\text{ Hz}$  i uzyskane wartości wpisać do tabeli 1

*Przykładowe wyniki pomiarów:*

*Dla parametrów sygnału generatora o wartościach  $U_m = U_{DC} = 1\text{ V}$ ,  $f = 8\text{ Hz}$  uzyskano kolejne wskazania woltomierza z dwukrotnym całkowaniem na zakresie 20 V: 0,92 V, 0,87, 1,17 V, 1,05 V, 1,13 V, 0,95 V, **0,82 V**, 0,85 V. **Wszystkie uzyskane wyniki różnią się od wartości napięcia użytecznego  $U_{DC}$ , przy czym wartość odczytana  $U_{odcz} = 0,82\text{ V}$  najbardziej odbiega od wartości  $U_{DC} = 1\text{ V}$ . A zatem:***

$$|\Delta U_{\max}| = |U_{odcz} - U_{DC}| = 0,18\text{ V}$$

- Wartość współczynnika tłumienia  $L$  dB dla tego punktu pomiarowego należy wyznaczyć z zależności:

$$L = 20 \log \frac{U_{DC}}{|\Delta U|_{\max}} = 20 \log \frac{1}{0,18} \text{ dB} \quad (2)$$

gdzie:  $|\Delta U|_{\max}$  - największa wartość różnicy wyznaczonej z zależności (1) z co najmniej dwudziestu pomiarów dla tej samej wartości częstotliwości sygnału sinusoidalnego

Tabela 1

f	$ \Delta U _{\max}$	L
Hz	V	dB
3		
4		
5		
6		
.....	.....	...
.....	.....	...
54		