

Adam KOWALCZYK

Politechnika Rzeszowska

Instytut Elektroniki

Ryszard HAGEL

Politechnika Śląska

Instytut Metrologii Elektrycznej i Elektronicznej

## PÓŁPRZEWODNIKOWE GENERATORY ANALOGOWYCH SYGNAŁÓW STOCHASTYCZNYCH

**Streszczenie.** W artykule zwrócono uwagę na coraz szersze zastosowanie generatorów analogowych sygnałów stochastycznych, podano wymagania stawiane statystycznym parametrom sygnału wyjściowego generatora oraz przedstawiono niektóre własności skonstruowanych modeli generatorów wytwarzających sygnały mające cechy szumu białego w pasmach  $0-30$  Hz i  $20$  Hz  $\pm$   $20$  kHz.

### 1. Wprowadzenie

W wielu dziedzinach nauki i techniki jednym z podstawowych problemów staje się określenie wpływu przypadkowych wymuszeń na przebieg różnych procesów fizycznych. Biorąc pod uwagę coraz większą złożoność rozpatrywanych zjawisk, teoretyczne określenie wpływu wymuszeń stochastycznych jest często niemożliwe, a jedyną drogą rozwiązania problemu staje się eksperymentalne badanie zjawiska. Niezbędnym narzędziem w tych pomiarach są generatory sygnałów stochastycznych o zadanych parametrach statystycznych.

W eksperymentach często zachodzi konieczność wielokrotnego powtarzania doświadczenia, w związku z czym dla jednoznaczności wyników niezbędne jest aby statystyczne charakterystyki sygnału wyjściowego nie zmieniały się w czasie, tzn. przypadkowy sygnał wyjściowy powinien być stacjonarny.

Większość modelowanych sygnałów przypadkowych ma rozkład prawdopodobieństwa Gaussa i taki też rozkład powinien posiadać sygnał wyjściowy generatora. Sygnał o gaussowskim rozkładzie jest w pewnym sensie uniwersalnym, gdyż przez nieliniowe przekształcenie można z takiego sygnału otrzymać inny, o żądanym rozkładzie prawdopodobieństwa.

Wartość średnia i średniokwadratowa sygnału powinny być nastawiane na żądane w doświadczeniach wartości. Bardzo ważnym parametrem jest charakterystyka częstotliwościowa sygnału przypadkowego, określona np. gęstością widmową mocy  $P(\omega)$  [5].

Najbardziej pożądana jest charakterystyka o jednostajnym rozkładzie gęstości widmowej mocy  $P(\omega) = k = \text{const}$  w całym zakresie częstotliwości. Sygnał o takich własnościach nazywa się szumem białym.

W pomiarach dynamicznych często wystarcza spełnienie warunku  $P(\omega) = k$  w ograniczonym przedziale częstotliwości, zależnym od pasma przenoszenia sygnałów przez badane układy.

Przepuszczając sygnał o własnościach szumu białego przez układ o transmitancji  $G(j\omega)$  można kształtować charakterystykę gęstości widmowej mocy  $P_2(\omega)$  sygnału wyjściowego zgodnie z zależnością:

$$P_2(\omega) = k |G(j\omega)|^2. \quad (1)$$

Z gęstością widmową mocy związana jest funkcja autokorelacji, charakteryzująca sygnał przypadkowy w dziedzinie czasowej

$$R(\tau) = \int_0^{\infty} P(\omega) \cos \omega \tau d\omega. \quad (2)$$

Generatory sygnałów stochastycznych, spełniające powyższe wymagania, są produkowane w małych ilościach i są trudno dostępne. Konieczne było więc opracowanie dwóch prototypów takich przyrządów, których niektóre własności opisano w dalszej części artykułu.

## 2. Generator szumu białego w paśmie 20 Hz ± 20 kHz

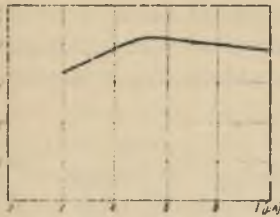
Generatory pracujące w tym paśmie częstotliwości są wykonywane w technice lampowej oraz tranzystorowej i budowane są wg schematu blokowego zawierającego pierwotne źródło szumów, przetwornik sygnału szumowego i układ wyjściowy [2], [3], [9].

Najważniejszą częścią składową decydującą o podstawowych charakterystykach generatora jest pierwotne źródło szumów. Powszechnie stosowanym (szczególnie w układach lampowych) pierwotnym źródłem szumów jest tyratron, który umożliwia uzyskanie stosunkowo dużych i stałych wartości gęstości widmowej mocy w szerokim zakresie częstotliwości.

Stosowane są także diody szumowe, rotopowielacze i elementy półprzewodnikowe - ostatnio coraz częściej używane w konstruowanych generatorach szumów.

W rozwiązaniu modelowym generatora jako pierwotne źródło szumów zastosowano diody Zenera typu BZP 611 C24 pracujące na granicy przebiecia złącza [7]. Przy odpowiednim doborze prądu płynącego przez diodę można otrzymać stosunkowo duże napięcia skuteczne szumów - rys. 1.

W praktycznym układzie z pojedynczą diodą nie można uzyskać napięcia szumów o stałej wartości gęstości widmowej mocy w zakresie 20 Hz ± 20 kHz, a ponadto inne charakterystyki statystyczne napięcia szumów ulegają zmia-

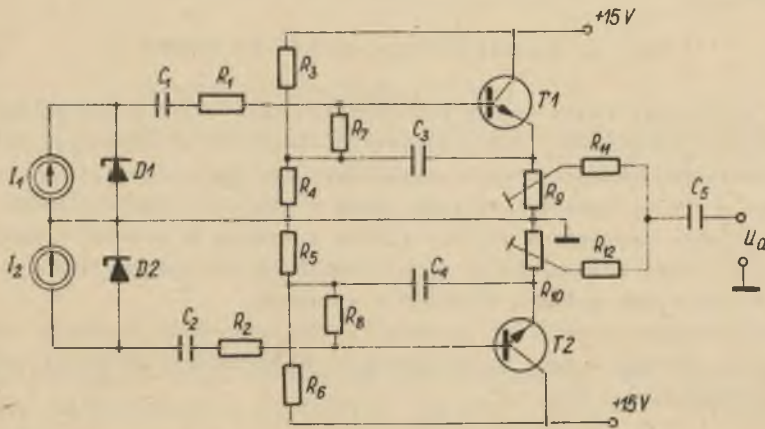


Rys. 1. Przykładowa charakterystyka zmian napięcia szumów w funkcji prądu dla diody B2P 611 C24

nom w czasie wraz ze zmianami punktu pracy diody. Niedogodności te wyeliminowano – wykonując źródło i przetwornik sygnału szumowego w układzie różnicowym podanym na rys. 2.

Rozwiązanie takie umożliwia:

- różnicowe wzmocnienie sygnału,
- zastosowanie ujemnego sprzężenia zwrotnego dla stabilizacji punktu pracy,
- uzyskanie dużych impedancji wejściowych na obu wejściach przetwornika.



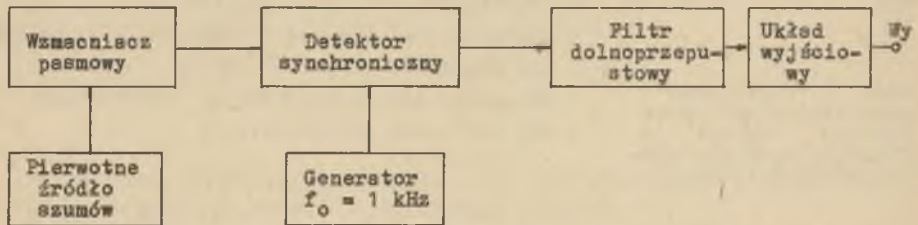
Rys. 2. Pierwotne źródło i przetwornik sygnału szumowego

Napięcie  $U_a(t)$  na wyjściu przetwornika jest stacjonarnym szumem o stałej gęstości widmowej mocy w paśmie 20 Hz ÷ 20 kHz. W układzie wyjściowym generatora do wzmocnienia sygnału  $U_a$  użyto wzmacniacza operacyjnego typu MAA501. Sygnał wyjściowy generatora ma rozkład normalny o parametrach  $N(0; 0,6)$  V.

### 3. Generator szumu białego w paśmie 0 ÷ 30 Hz

Metodą przedstawioną w punkcie 2 można generować szumy o stałej wartości gęstości widmowej mocy w zakresie częstotliwości akustycznych i wyższych. Dla częstotliwości podakustycznych charakterystyka gęstości widmowej mocy gwałtownie spada. W celu uzyskania równomiernej charakterystyki częstotliwościowej w tym paśmie stosuje się bardziej skomplikowane przetwarzanie sygnału szumowego.

W wykonanym generatorze do przeniesienia równomiernego widma szumów w zakres częstotliwości podakustycznych użyto przetwornika liniowego o zmiennym współczynniku wzmocnienia [6]. Schemat blokowy generatora przedstawia rys. 3.

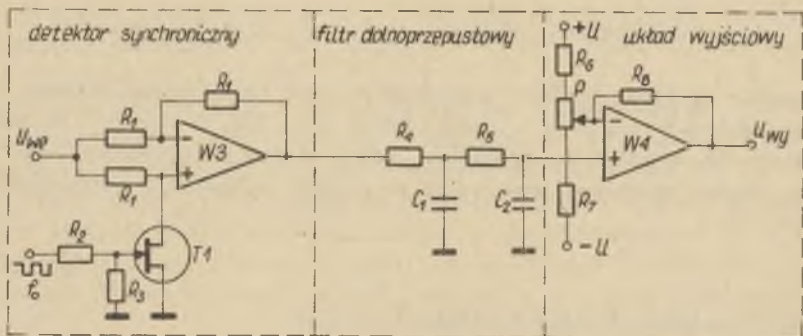


Rys. 3. Schemat blokowy generatora szumów

Jako pierwotne źródło szumów wykorzystano dwie diody krzemowe typu BAY 55 w układzie różnicowym. Charakterystyki szumowe diod wykazują małą zależność w funkcji temperatury i częstotliwości [8].

Sygnał o stałej gęstości widmowej mocy w zakresie częstotliwości akustycznych jest podawany na wejście filtra pasmowego o częstotliwości środkowej  $f_0 = 1$  kHz, wykonanego na dwóch wzmacniaczach operacyjnych w układach o wielokrotnym ujemnym sprzężeniu zwrotnym.

Gęstość widmowa sygnału na wyjściu filtra jest stała w paśmie od 950 do 1050 Hz. Następnie szum wąskopasmowy zostaje poddany detekcji synchronicznej w układzie z rys. 4.



Rys. 4. Detektor synchroniczny i układy wyjściowe

Częstotliwość pracy detektora synchronicznego (wzmacniacz W3) równa jest środkowej częstotliwości zastosowanego filtra pasmowego.

Proces detekcji synchronicznej w takim układzie zapewnia przeniesienie równomiernego widma w zakres częstotliwości podakustycznych, gdyż wyższe częstotliwości, będące produktem przetwarzania, zostają stłumione w fil-

trze dolnoprzepustowym. Dolnopaśmowy szum zostaje następnie wzmocniony w układzie wyjściowym (wzmacniacz W4).

Potencjometr P służy do korekcji wartości średniej szumu. Sygnał wyjściowy generatora zarejestrowano rejestratorem TSS 101 (RFT), określono empiryczną gęstość prawdopodobieństwa amplitudy sygnału i za pomocą testu  $\chi^2$  zweryfikowano hipotezę, że rozkład eksperymentalny jest rozkładem normalnym. Przy przyjętym poziomie istotności równym 0,05 stwierdzono, że hipoteza o normalności rozkładu jest prawdziwa. Gęstość widmowa mocy szumu normalnego może być oszacowana w oparciu o wyrażenie [1]:

$$P(f) = \frac{\pi^2}{8\Delta f} (|\overline{X(f, \Delta f)}|)^2, \quad (3)$$

gdzie:

$\Delta f$  - jest szerokością pasma filtra

$|\overline{X(f, \Delta f)}|$  - jest wartością średnią modułu szumu wąskopasmowego.

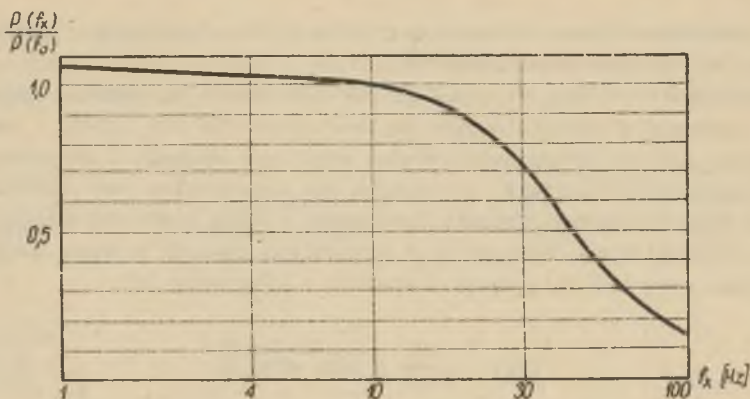
Stosując do analizy filtr przestrajany o stałej względnej szerokości pasma

$$\frac{\Delta f_x}{f_x} = k_1$$

oraz wyznaczając wartość stosunkową gęstości widmowej mocy np. względem gęstości dla środkowej częstotliwości analizowanego pasma otrzymuje się zależność:

$$\frac{P(f_x)}{P(f_0)} = \frac{f_0}{f_x} \left( \frac{|\overline{X(f_x, \Delta f_x)}|}{|\overline{X(f_0, \Delta f_0)}|} \right)^2. \quad (4)$$

Do wyznaczenia wartości średniej modułu szumów wąskopasmowych użyto nanowoltomierza selektywnego typu 237 (Unipan). Charakterystykę gęstości widmowej mocy sygnału wyjściowego generatora, obliczoną z wyrażenia (4), przedstawia rys. 5.



Rys. 5. Gęstość widmowa mocy szumu wyjściowego

#### 4. Wnicski końcowe

Omówione generatory, dzięki zastosowaniu elementów półprzewodnikowych, odznaczają się:

- stosunkowo prostą konstrukcją elektryczną,
- dużą niezawodnością pracy,
- małymi gabarytami,
- małym poborem mocy.

Charakterystyki statystyczne wyjściowych szumów odpowiadają ogólnym wymaganiom przedstawionym w punkcie 1.

Wymienione zalety czynią generatory uniwersalnymi i przydatnymi do wielu zastosowań w pomiarach stochastycznych.

#### LITERATURA

- [1] Bendat J.S., Piersol A.G.: Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych, PWN, Warszawa 1976.
- [2] Bobniew M.P.: Gienierirowanje szuczajnych signałów, Energijsja. Moskwa 1971.
- [3] Brüel and Kjaer: Generator szumów 1402 - instrukcja użytkownika.
- [4] Gorczyca P., Hajduk K.: Generator białego szumu PAK, 3/74.
- [5] Hagel R.: Miernictwo dynamiczne, WNT, Warszawa 1975.
- [6] Hartley C.J.: Digital command inverts signal. Electronics, 5/75.
- [7] Janocha J.: Generator szumu białego. (praca dyplomowa), Politechnika Śląska, Gliwice 1976.
- [8] Spiralski L.: Półprzewodnikowe generatory szumów na pasmo 30 Hz±2 MHz. PAK, 2/75.

- [9] Żowiński W.N.: *Genierowanie szumow dla isslowanija awtomatycznych sistem.* Energija. Moskwa 1968.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ  
АНАЛОГОВЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Р е з ю м е

В статье обращено внимание на всё более расширяющееся применение генераторов аналоговых стохастических сигналов, даны требования относительно статистических параметров генерированного сигнала и обсуждени некоторые свойства построенных моделей устройств генерирующих сигналы имеющие свойства белого шума в диапазонах частоты:  $0 \pm 30$  гц и  $20$  гц  $\div$   $20$  тыс. гц.

SEMICONDUCTOR GENERATORS OF ANALOGUE STOCHASTIC NOISE

S u m m a r y

The authors have stressed the growing application of the generators of analogue stochastic noise. The paper also presents requirements for the statistical parameters of the output signal of the generator as well as some features of the designed generator models producing signals attributable to white noise within the  $0 \pm 30$  Hz and  $20 \div 20$  kHz bands.