

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN—POLONIA

VOL. XXXIX, 6

SECTIO AAA

1984

Instytut Fizyki UMCS
Zakład Fizyki Jądrowej
Kierownik: prof. dr hab. Tomasz Goworek

Longin GŁADYSZEWSKI, Roman KAZAŃSKI

Analogowy analizator widma małej częstotliwości

Low Frequency Analyser of Noises Spectra

Низкочастотный анализатор спектра шумов

WSTĘP

W Pracowni Elektroniki Instytutu Fizyki UMCS został opracowany i skonstruowany spektrometr do badania widm fluktuacji elektrycznych /szumów/ występujących w elementach i układach elektronicznych a specjalnie—fluktuacji prądów termoemisji jonowej w źródłach jonów spektrometrów mas [1].

W przypadku ciągłych widm procesów stochastycznych, do opisu szumów stosuje się tak zwaną funkcję spektralnej gęstości mocy:

$$S_f = \lim_{\Delta f \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta f} \left[\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T |\Delta i|^2 dt \right] \quad /1/$$

W praktyce stosuje się uśrednianie za pomocą obwodów całkujących RC o dostatecznie dużej stałej czasowej T . Wtedy:

$$S_f = \frac{1}{\Delta f \cdot T} \int_0^T |\Delta i|^2 dt$$

Analizy przebiegu funkcji S w dziedzinie częstości dokonuje się przy pomocy przestrajanych wzmacniaczy selektywnych o wąskim paśmie przenoszenia Δf .

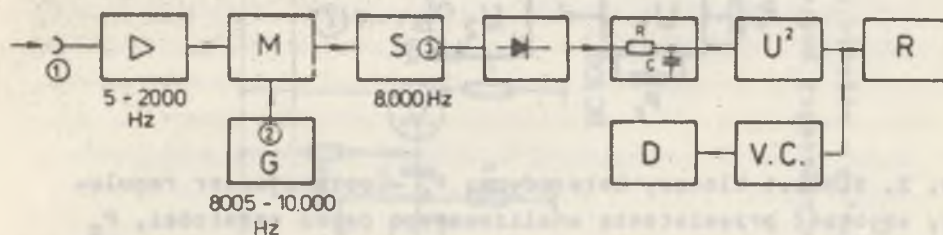
Dokładność pomiaru spektralnej gęstości mocy, przy danej częstości f_1 wyraża się wzorem $\gamma = 1/\sqrt{\Delta f \cdot T}$; tutaj Δf oznacza szerokość pasma wzmacnianych częstości wokół częstości f_1 zaś T - stałą czasową obwodu RC zastosowanego do uśredniania [2].

Wiele elementów elektronicznych wykazuje znaczny poziom szumu przy małych częstościach, na przykład lampy elektronowe /efekt migotania katody/, tranzystory i niektóre typy oporników /szum typu $1/f$ /. Właśnie dla takich szumów opracowano opisywany analizator widma.

ZASADA DZIAŁANIA ANALIZATORA

Układ pracuje na zasadzie selektywnego wzmacniania sygnału szumowego, uprzednio przeniesionego w dziedzinę częstości leżących w sąsiedztwie częstości rezonansowej wąskopasmowego filtru, pełniącego rolę wzmacniacza częstości "pośredniej" w odbiorze superheterodynowym. W naszym przypadku zakres analizowanych częstości wynosi od 5 Hz do 2 kHz zaś częstość rezonansowa stosowanych filtrów wynosi 8 kHz. W tej sytuacji zakres pracy generatora-heterodyny wynosi od 8.005 Hz do 10.000 Hz.

Ze wzoru /1/ wynika konieczność podnoszenia do kwadratu chwilowych wartości fluktuacji Δi , w niniejszej pracy zrealizowano tę operację za pomocą obwodu hybrydowego typu AM1, jednak z



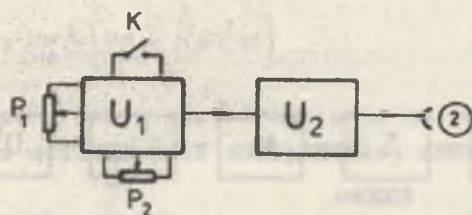
Ryc. 1. Schemat blokowy spektrometru szumów małej częstotliwości; M - mieszacz, G - heterodyna, S - wzmacniacz selektywny częstotliwości pośredniej, U^2 - układ podnoszący do kwadratu, R - samopis, VC - woltmierz cyfrowy, D - drukarka

powodu ograniczonego pasma pracy tego obwodu umieszczono go po obwodzie prostującym szumy. W ten sposób cały układ rejestruje spektralną gęstość mocy S_f wyrażoną poprzez kwadrat modułu wartości średniej fluktuacji:

$$S_f = \frac{\pi^2}{8\Delta f} \langle |A| \rangle^2.$$

Poniżej omawiamy konstrukcję istotnych dla pracy analizatora bloków.

Generator - heterodyna jest przesłajana automatycznie lub ręcznie: w przypadku pierwszym specjalny generator napięcia zmieniającego się liniowo w czasie podłączony jest do przetwornika "napięcie - częstotliwość". Na wyjściu przetwornika otrzymuje się drganie prostokątne o stałej amplitudzie i regulowanej częstotliwości. Osobliwością tej heterodyny jest właśnie prostokątny kształt drgań, wobec powszechnie stosowanych drgań sinusoidalnych. Fakt ten nie utrudnia pracy układu ponieważ częstotliwości harmoniczne heterodyny leżą daleko poza obszarem analizowanym.



Ryc. 2. Schemat blokowy heterodyny; P_1 - potencjometr regulujący szybkość przemieszczania analizowanego pasma częstotliwości, P_2 - potencjometr do ustalania częstotliwości początkowej, K - włącznik startu przestrajania heterodyny, U_1 układ generujący napięcie liniowo narastające w czasie, U_2 - przetwornik "napięcie - częstotliwość"

Autorzy pracy ograniczają się do tego krótkiego i lakonicznego opisu budowy heterodyny, ponieważ konstrukcja ta ma walory kwalifikujące ją do uzyskania patentu lub świadectwa wzoru użytkowego. Konstrukctorem i pomysłodawcą układu heterodyny jest R. Kazański, współautor pracy.

M i e s z a c z to właściwie modulator, w którym sygnał analizowany moduluje amplitudę drgań pochodzących z heterodyny. W wyniku takiej modulacji, w mieszaczu powstaje składowa o częstotliwości równej różnicy częstotliwości heterodyny i częstotliwości aktualnie analizowanej i w omawianym układzie ma ona wartość stałą 8 kHz.

W z m a c n i a c z c z ę s t o ść i p o ś r e d - n i e j 8 kHz jest ostatnim oryginalnym fragmentem układu. W przypadku wybranej skokowo selektywności układu 4 Hz, włączony zostaje do wzmacniacza filtr kwarcowy, natomiast dla selektywności 10 Hz, 40 Hz i 100 Hz włączany jest wzmacniacz z rezonansowym obwodem LC, którego dobroć podnosi się poprzez zastosowanie dodatniego sprzężenia zwrotnego.

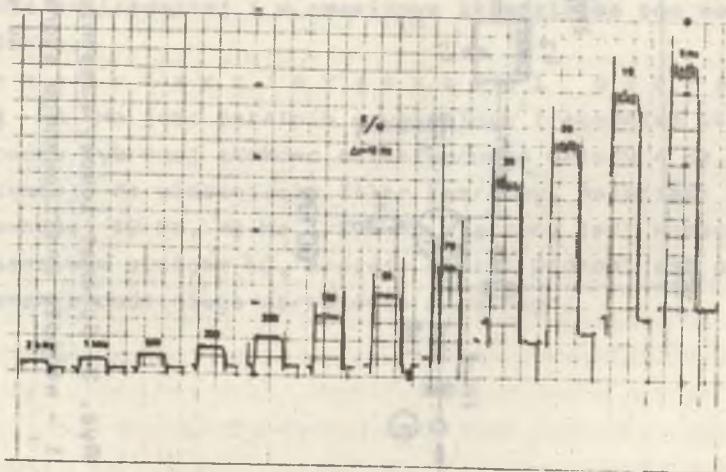
UZYSKANE WYNIKI

Zastosowany system analizy zapewnia stałą selektywność Δf /na poziomie 3 dB/. Stosowane stałe czasowe obwodu RC wynosiły od 0,1 s do 20 s; przy analizie małych częstotliwości stosowano duże stałe czasowe w celu zmniejszenia popełnionego błędu [2].

Istotna w pracy spektrometru małych częstotliwości jest szybkość przestrajania, która przy dużej dokładności pomiarów nie może być większa niż $\Delta f/4RC$. Minimalny czas analizy, zwany czasem przemiatania lub perlustracji, dla widma leżącego w zakresie F Hz wyniesie zatem: $T_0 = 4 RC F / \Delta f$.

W przypadku opisywanego spektrometru, np. dla $\Delta f = 10$ Hz i $RC = 1$ sek całkowity czas zapisu widma będzie wynosił około 14 minut zaś wymagana szybkość zmian częstotliwości powinna być nie większa niż 2,5 Hz/sek. Spektrometr ten spełnia powyższe wymagania, ponieważ można w nim regulować tę szybkość w zakresie 0,3 Hz/sek do 10 Hz/sek. Dla krańców wysokoczęstotściowych ($f_1 \gg 500$ Hz) można zwiększyć szybkość przestrajania przez poszerzenie odbieranego pasma Δf np. do 100 Hz; nie rezygnując z wysokiej dokładności pomiarów.

Dla ilustracji pracy analizatora przytaczamy widmo częstotliwościowe szumów prądu termoemisji jonowej potasu z powierzchni wol-



Ryc. 4. Wykres uzyskany podczas analizy spektralnej szumów termoemisji jonowej potasu

framu. W tym trudnym eksperymencie stosowano czułe wzmacniacze elektrometryczne produkujące szumy własne. Poziom tych szumów zarejestrowano automatycznie dzięki okresowemu wyłączeniu analizowanej wiązki jonów /dolny poziom wykresu/. Z uzyskanych na samopisie wykresów lub zapisów dokonanych przez woltomierz cyfrowy i drukarkę łatwo można obliczyć poziom szumu pochodzącego z fluktuującego prądu termoeemisji jonowej ponieważ spektralne gęstości mocy szumów nieskorelowanych są addytywne.

PIŚMIENICTWO

1. G ł a d y s z e w s k i L.: Annales Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Lublin, Sectio AAA, vol. 34/35, 55 /1979/80/; vol. 38, 21 /1983/.
2. B e n d e t J. S., P i e r s e l A. G.: Metody analizy i pomiarów sygnałów losowych, PWN, Warszawa /1976/.

SUMMARY

The electronic analyser of noises spectra investigation is described. This analyser is specially suitable for studies in the audio frequency range from 5 Hz to 2 kHz with adjustable resolving power from 4 Hz to 100 Hz. The speed of automatic frequency scanning is 0,3 Hz/sec to 10 Hz/sec.

Р Е З Ю М Е

Описан низкочастотный анализатор спектра шумов в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц. Разделительная способность спектрометра 4 Гц, 10 Гц, 40 Гц и 100 Гц. Скорость автоматического сканирования частоты 0,3 Гц до 10 Гц/сек.

