

ELEKTRONIKA W EKSPERYMENCIE FIZYCZNYM

D. B. Tefelski

Zakład VII Fizyki Jądrowej

Wydział Fizyki Politechnika Warszawska, Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, PL

21 maja 2020

Zakłócenia i szumy elektryczne, metody eliminacji zakłóceń



Plan prezentacji

- 1 Wstęp
- 2 Szumy elektryczne
 - Szumy
 - Źródła szumów
 - Podstawowe parametry sygnałów stochastycznych
 - Kompatybilność elektromagnetyczna
- 3 Zakłócenia
 - Źródła zakłóceń
 - Mechanizmy przenikania zakłóceń
 - Minimalizacja zakłóceń

Szumy i zakłócenia elektryczne

- **Szumy elektryczne** to wszelkie niepożądane składowe sygnału, które utrudniają wyodrębnienie z niego informacji. Szumów nie można całkowicie usunąć z układu elektronicznego.
- **Zakłócenia** to niepożądane składowe sygnału, które można w zdecydowany sposób wyeliminować, korzystając z odpowiednich środków technicznych.

Źródła szumów

Szumy termiczne

Szumy termiczne (Johnsona) - inaczej cieplne, rezystancyjne. Związane z fluktuacjami ładunku na elemencie oporności R.

$$\overline{\varepsilon_{\Delta f}^2} = 4kTR\Delta f$$

k – stała Boltzmanna ($k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$), T – temperatura bezwzględna, Δf - szerokość pasma częstotliwości, R – oporność
Gęstość widmowa nie zależy od częstotliwości, jest to tzw. szum „biały” od analogii do widma światła widzialnego.

Źródła szumów

Szumy $1/f$

Szum $1/f$ jest to szum „różowy” – w widmie więcej jest składowych o niższej częstotliwości (w świetle widzialnym daje to barwę różową) Wartość średniokwadratowa prądu tych szumów w paśmie częstotliwości Δf :

$$\overline{i_n^2} = A I_0 \left(\frac{\Delta f}{f} \right)$$

Gęstość widmowa mocy maleje 3 decybele na oktawę (10 decybeli na dekadę)

Szumy strukturalne - następstwo zjawisk powierzchniowych w materiale. Powstawanie **energetycznych stanów powierzchniowych**. Fluktuacja ładunków powierzchniowych.

Źródła szumów

Szumy śrutowe

Szumy śrutowe (Schottky'ego) – związane z nieciągłością ładunku. Dotyczą fluktuacji procesów generacji, rekombinacji i dyfuzji nośników. Wartość średniokwadratowa prądu tych szumów w paśmie częstotliwości Δf :

$$\overline{i_n^2} = 2qI\Delta f$$

q – ładunek elektronu, I – składowa stała prądu płynącego przez daną powierzchnię.

Źródła szumów

Szumy $1/f^2$

Szum $1/f^2$ jest to szum „czerwony” – gęstość widmowa maleje z kwadratem częstotliwości (stąd barwa). Czasami zwane szumami brązowymi (od występowania w ruchach Browna).

Gęstość widmowa mocy maleje 6 decybeli na oktawę (20 decybeli na dekadę).

Źródła szumów

Szumy niebieskie

Szum, w którym gęstość widmowa mocy rośnie 6 decybeli na oktawę (20 decybeli na dekadę).

Źródła szumów

Szumy wybuchowe

Szumy wybuchowe (burst noise)

Powodem są błędy procesów technologicznych. Skok o tą samą wartość, która znacząco przewyższa inne poziomy szumów. Szum typu $1/f^n$, przy czym n zwykle równe 2.

Podstawowe parametry sygnałów stochastycznych

Sygnał $X(t)$ w przedziale czasu $t \in \left[-\frac{T}{2}, +\frac{T}{2}\right]$

- Wartość średnia (składowa stała) sygnału:

$$\bar{X} = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) dt \right]$$

- Wartość średniokwadratowa sygnału:

$$\overline{X^2} = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x^2(t) dt \right]$$

Podstawowe parametry sygnałów stochastycznych

Sygnał $X(t)$ w przedziale czasu $t \in \left[-\frac{T}{2}, +\frac{T}{2}\right]$

- Wartość skuteczna sygnału:

$$X_{sk} = \sqrt{\overline{X^2}}$$

- Średni kwadrat składowej zmiennej sygnału:

$$\overline{X^2} = \lim_{T \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} [X(t) - \bar{X}]^2 dt \right\}$$

- $\overline{X^2} = \overline{X^2} - (\bar{X})^2$

Podstawowe parametry sygnałów stochastycznych

Sygnał $X(t)$ w przedziale czasu $t \in \left[-\frac{T}{2}, +\frac{T}{2}\right]$

- Autokowariancja przebiegu $X(t)$:

$$C(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} [X(t) - \bar{X}] [X(t + \tau) - \bar{X}] dt \right\}$$

- Autokorelacja przebiegu $X(t)$:

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} X(t)X(t + \tau) dt \right]$$

Podstawowe parametry sygnałów stochastycznych

Sygnał $X(t)$ w przedziale czasu $t \in \left[-\frac{T}{2}, +\frac{T}{2}\right]$

- Widmowa gęstość mocy przebiegu w czasie T :

$$S(f, T) = \frac{1}{T} \left| \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} X(t) e^{-i2\pi ft} dt \right|^2$$

- Widmowa gęstość mocy:

$$S(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} S(f, T)$$

Podstawowe parametry sygnałów stochastycznych

Sygnał $X(t)$ w przedziale czasu $t \in \left[-\frac{T}{2}, +\frac{T}{2}\right]$

- Widmowa gęstość mocy pozbawiona ujemnych częstotliwości:

$$G(f) = \begin{cases} 2S(f) & \text{dla } f > 0 \\ S(f) & \text{dla } f = 0 \\ 0 & \text{dla } f < 0 \end{cases}$$

Podstawowe parametry sygnałów stochastycznych

Def. gęstości mocy dla wszystkich możliwych realizacji procesu

- Gęstość widmowa mocy jest transformatą Fouriera funkcji autokowariancji procesu:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} C(\tau) e^{-i2\pi f\tau} d\tau$$

- Przekształcenie odwrotne:

$$C(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(f) e^{i2\pi f\tau} df$$

- Przekształcenia te słuszne są dla procesów stacjonarnych o wartości średniej równej 0.

Podstawowe parametry sygnałów stochastycznych

Widmowa gęstość mocy

- Widmowa gęstość mocy przedstawiana jest w jednostkach $\left[\frac{V^2}{Hz}\right]$, ponieważ brakuje we wzorach stałej oporności.
Pomnożywszy przez $1/R$ otrzymalibyśmy $\left[\frac{W}{Hz}\right]$
- Inny sposób przedstawiania widmowej gęstości mocy (a właściwie napięć) jest w jednostkach $\left[\frac{V}{\sqrt{Hz}}\right]$. Czyli jest to pierwiastek obliczonych przez nas wartości.

EMC i EMI

EMI – Electromagnetic Interference – oddziaływanie sygnałów zakłócających

EMC – Electromagnetic Compatibility – zdolność urządzenia do prawidłowego działania w określonym środowisku elektromagnetycznym i nie wprowadzania do niego nadmiernych zakłóceń.

Współczynnik szumów

Współczynnik szumów F

$$F = \frac{\text{moc szumów wyjściowych układu rzeczywistego}}{\text{moc szumów wyjściowych układu idealnego}}$$

Def.

$$F = \frac{S_{we}/N_{we}}{S_{wy}/N_{wy}}$$

gdzie S_{we} – moc sygnału na wejściu, S_{wy} – moc sygnału na wyjściu, N_{we} – moc szumu na wejściu, N_{wy} – moc szumów na wyjściu czwórnika

$F > 1$ – dla układów rzeczywistych, opisuje działanie dodatkowych źródeł szumów w czwórniku. $F_{dB} = 10 \log F$

inaczej: Noise Figure $NF = F_{dB}$

Temperatura szumów

Temperatura szumów

Jest to taki przyrost temperatury rezystancji źródła szumów R_S , który powoduje wydzielenie się na wyjściu czwórnika idealnego takiej samej mocy szumów jaka się wydziela w czwórniku rzeczywistym.

$$P_{no} = 4kR_S(T + T_n)\Delta f_e K_{max}^2$$

$$F = \frac{T + T_n}{T}$$

$$T_n = T(F - 1)$$

Liczba szumowa

$$N = F - 1$$

Źródła zakłóceń

Źródła zakłóceń

Zakłóceniami są wszystkie obiekty, które wytwarzają pola E , M lub $E-M$.

Źródła zakłóceń elektrycznych

Przykładowe źródła zakłóceń:

- Linie wysokiego napięcia
- Linie zasilające instalacje elektryczne
- Ładunki statyczne

Źródła zakłóceń magnetycznych

- Pola rozproszone transformatorów
- Ruchy obwodów w polach magnetycznych
- Pola magnetyczne pochodzące od prądów płynących w przewodach zasilających układy elektroniczne

Źródła zakłóceń elektromagnetycznych

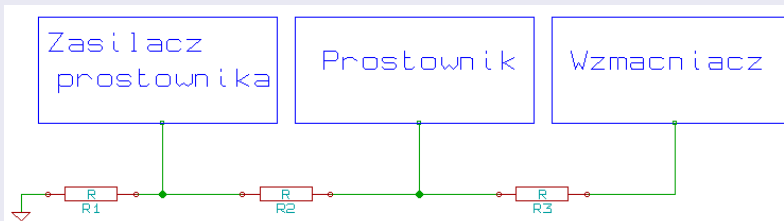
- Wyładowania atmosferyczne
- Układy zapłonowe silników spalinowych
- Silniki elektryczne, urządzenia o dużej indukcyjności
- „Iskrzenie” styków
- Fale E–M emitowane z nadajników: radiowych, telewizyjnych, sieci komórkowych, radary. . .

Mechanizmy przenikania zakłóceń

- Sprężenie konduktancyjne
- Sprężenie chemoelektryczne i termoelektryczne
- Sprężenie elektryczne (pojemnościowe)
- Sprężenie magnetyczne
- Sprężenie elektro–mechaniczne lub magnetomechaniczne (mikrofonowanie)
- Sprężenie elektromagnetyczne

Sprężenie konduktancyjne

Występuje gdy prądy zakłóceń i prąd sygnału użytecznego płyną przez wspólny element rezystancyjny.

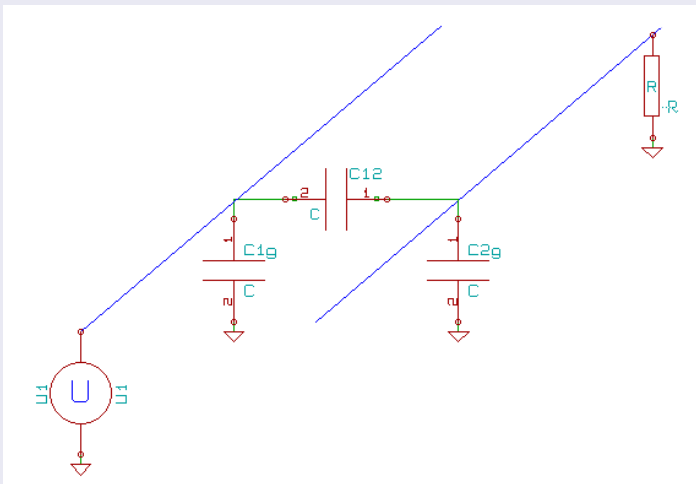


Sprężenie chemoelektryczne i termoelektryczne

Dotyczy styków wykonanych z różnego rodzaju metalów - wytwarzanie się ogniw termoelektrycznych lub chemicznych.

Sprężenie elektryczne (pojemnościowe)

Związane ze zjawiskiem pojemności rozproszonej. Np. sprzężenie pojemnościowe pomiędzy dwoma przewodami.



Sprężenie magnetyczne

Gdy strumień pola magnetycznego wytworzony w jednym obwodzie przenika drugi obwód. Zmiana strumienia powoduje indukowanie się siły elektromotorycznej.

Sprężenie elektromechaniczne lub magnetomechaniczne (mikrofonowanie)

Drgania mechaniczne obwodu, powodujące pojawianie się sił elektromotorycznych związanych z indukcją elektromagnetyczną albo ze zmianami pojemności rozproszonych między elementami układu.

Sprężenie elektromagnetyczne

Wpływ pól E–M dalekiego zasięgu. Indukowanie się fal elektromagnetycznych np. w przewodach, które działają jak „antena”.

Sposoby minimalizacji zakłóceń

Podstawowe parametry mające wpływ na intensywność zakłóceń:

- Impedancje przewodów łączących elementy układu
- Pojemności i indukcyjności rozproszone elementów

Sposoby minimalizacji zakłóceń ...

- Ekranowanie układu (np. metalowa obudowa)
- Odpowiednie ułożenie układu względem źródła zakłóceń - np. cewki ustawione wzajemnie prostopadłe aby zminimalizować wpływ indukowanego pola magnetycznego
- Filtracja - np. stosowanie kondensatorów elektrolitycznych lub tantalowych o dużej pojemności w obwodach zasilających. Stosowanie dławików przeciwzakłóceńowych.

Sposoby minimalizacji zakłóceń

- Zmniejszenie wartości parametrów rozproszonych przez właściwe zaprojektowanie układu i właściwe rozmieszczenie elementów składowych.
- Stosowanie filtracji i kompensacji w szczególnie wrażliwych punktach układu
- W trakcie pomiarów określonych wielkości – stosowanie uśrednień pomiarów, stosowanie specjalnych technik detekcji sygnału, np. metoda fazoczuła, zawężanie pasma częstotliwości pomiarowej.

Sposoby łączenia masy i uziemienia

W przypadku idealnym, potencjał w każdym punkcie masy układu jest jednakowy. W układzie rzeczywistym punkty na masie mogą różnić się potencjałem, np. w przypadku gdy niektóre składowe układu mogą pobierać znaczące ilości prądu. Generalne zasady:

- Wszystkie przewody masowe powinny zbiegać się w jednym „centralnym” punkcie.
- W przypadku istnienia składowych układu bardziej wrażliwych np. część analogowa układu pomiaru napięć (przetwornik A–D), stosuje się prowadzenie osobnych połączeń masowych w stosunku do np. połączeń masowych części cyfrowej układu, która może powodować znaczne zakłócenia w całym spektrum częstotliwości – przez szybkozmienne sygnały prostokątne.