ELEKTRONIKA W EKSPERYMENCIE FIZYCZNYM

D. B. Tefelski

Zakład VI Badań Wysokociśnieniowych
Wydział Fizyki Politechnika Warszawska, Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, PL

21 lutego 2011

Eksperyment fizyczny, Czwórniki, charakterystyki częstotliwościowe, funkcje przenoszenia, pobudzanie impulsowe

Plan prezentacji I

1. Wstęp
   - Literatura
2. Eksperyment
   - Tor pomiarowy
   - Proces pomiarowy
   - Stanowisko pomiarowe - badanie efektu Francka Hertza
   - Stanowisko pomiarowe - wysokociśnieniowa komora optyczna
3. Opis układów elektronicznych
   - Odpowiedź na impuls
   - Odpowiedź na skok jednostkowy
   - Splot
   - Splot - właściwości
   - Sygnały
   - Widmowa funkcja przenoszenia - transmitancja widmowa
   - Funkcja korelacji własnej i wzajemnej

Plan prezentacji II

- Przekształcenia całkowe
- Operatorowa funkcja przenoszenia - transmitancja operatorowa
- Opis czwórnikowy
- Opis za pomocą równań różniczkowo-całkowych

Do przestudiowania I

- Wiesław Tłaczała, Leonard Tykarski
  Elektronika w Eksperymencie Fizycznym
  Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 1998
- Sławomir Tumański
  Technika pomiarowa
  Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007
- Wiesław Tłaczała
  Środowisko LabVIEW w eksperymencie wspomaganym komputerowo
  Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002

Def. Eksperyment fizyczny

Procedura wykonywana w celu odkrycia pewnych prawideł albo w celu sprawdzenia pewnych faktów lub praw generalnych.

Eksperyment

Koncepcja eksperymentu

Określenie wymagań

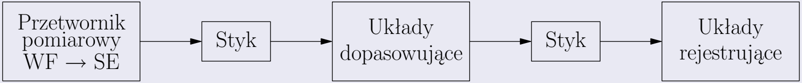
Wybór metody pomiarowej

Budowa stanowiska pomiarowego

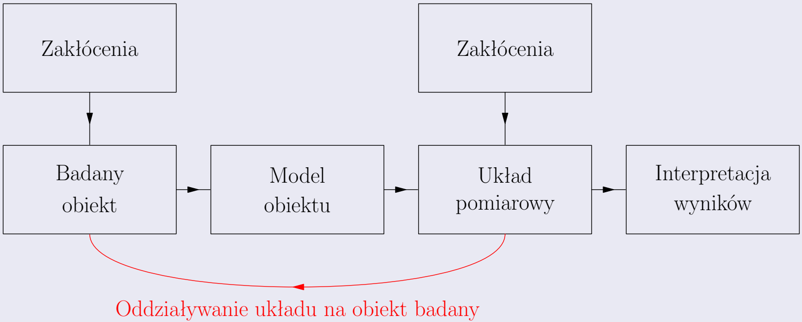
Wykonanie eksperymentu

Analiza otrzymanych danych

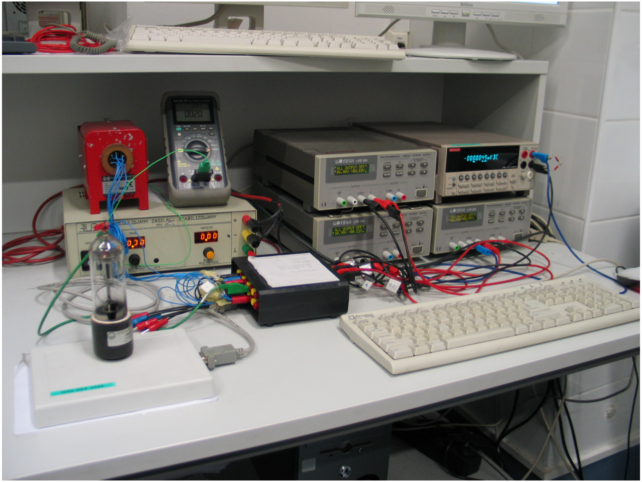
Tor pomiarowy



Struktura typowego procesu pomiarowego

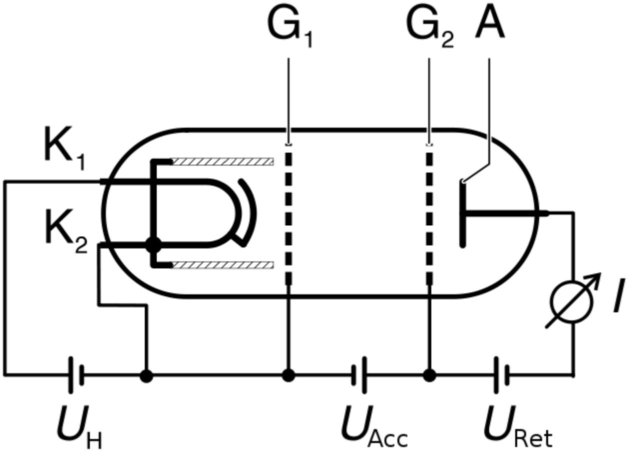


Aparatura pomiarowa



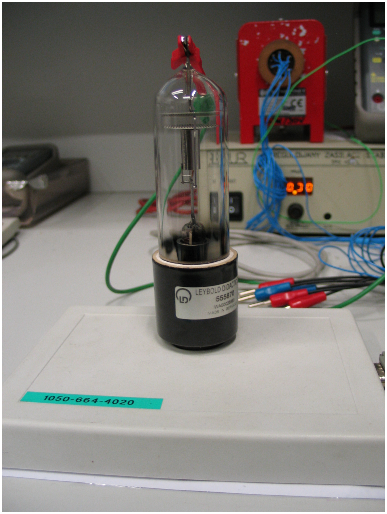
Rys.: Eksperyment Franck'a - Hertz'a

Schemat podłączenia lampy neonowej



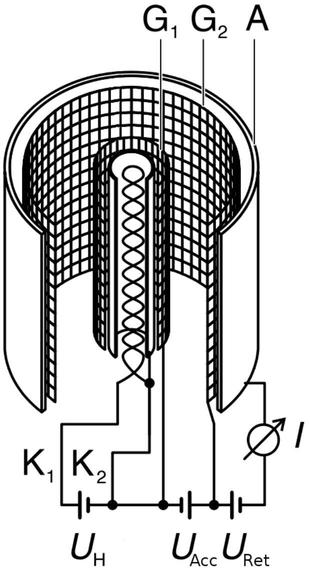
Rys.: Podłaczenie lampy neonowej

Lampa neonowa



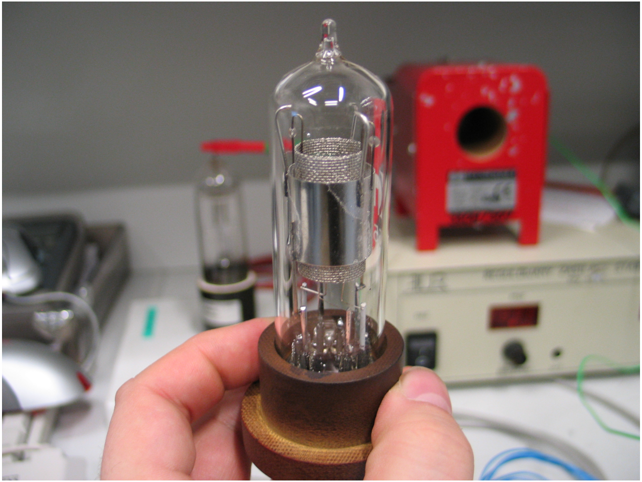
Rys.: Lampa neonowa

Stanowisko pomiarowe - badanie efektu Francka Hertza



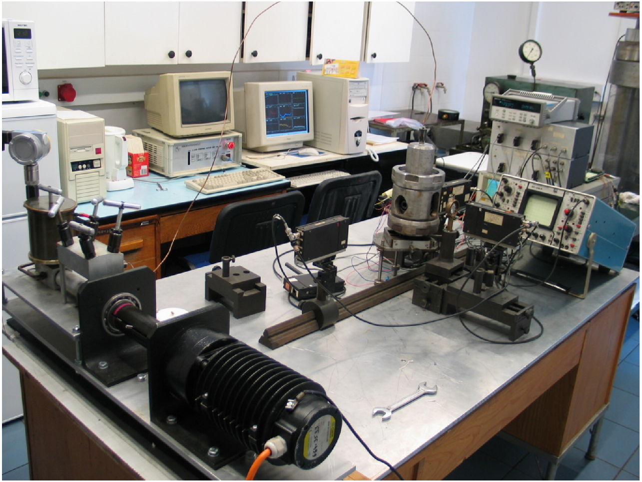
Rys.: Podłączenie lampy rtęciowej

Lampa rtęciowa



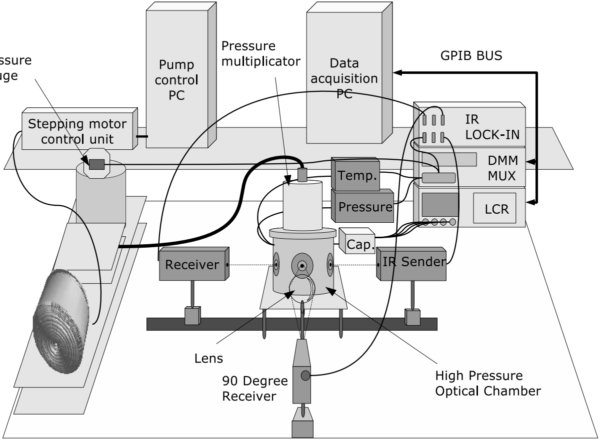
Rys.: Lampa rtęciowa

Aparatura pomiarowa



Rys.: Badanie przemian fazowych indukowanych ciśnieniem

Stanowisko pomiarowe - wysokociśnieniowa komora optyczna



Rys.: Urządzenia pomiarowe

Opis układów elektronicznych

Sposoby opisu układów elektrycznych

Jednoznaczną charakterystykę układu w dziedzinie czasu określa:

- Odpowiedź impulsowa
- Odpowiedź na skok jednostkowy $h(t)$

Impuls - o jednostkowym polu i nieskończenie krótkim czasie trwania (delta Diraca)

$$\delta(x) = \begin{cases} +\infty & x = 0 \\ 0 & x \neq 0 \end{cases}$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(x)\, dx = 1$$

Skok jednostkowy - funkcja Heaviside'a

$$H(t) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ 1 & x \geqslant 0 \end{cases}$$

$$H(x) = \int_{-\infty}^{x} \delta(t)\, dt = \begin{cases} 0 & \text{dla } x < 0 \\ \frac{1}{2} & \text{dla } x = 0 \\ 1 & \text{dla } x > 0 \end{cases}$$

Operacja splotu

$k(t)$ - odpowiedź na impuls,
$h(t)$ - odpowiedź na skok jednostkowy
$g(t)$ - odpowiedź układu na dowolny sygnał $x(t)$
otrzymamy przez splot tego sygnału z odpowiedzią na impuls albo skok wg wzorów:

$$g(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau)k(t-\tau)\,d\tau = x(t) * k(t)$$

$$g(t) = \frac{d}{dt}\left[h(t) * x(t)\right]$$

Właściwości splotu

1. $x_1(t) * x_2(t) = x_2(t) * x_1(t)$ – przemienność
2. $x_1(t) * [x_2(t) * x_3(t)] = [x_1(t) * x_2(t)] * x_3(t)$ – łączność
3. $[x_1(t) + x_2(t)] * x_3(t) = x_1(t) * tx_3(t) + x_2(t) * x_3(t)$
   – rozdzielność splotu względem dodawania
4. $a\,[x_1(t) * x_2(t)] = [ax_1(t)] * x_2(t) = x_1(t) * [ax_2(t)]$, $a \in \mathbb{R}$
   – mnożenie splotu przez stałą
5. Dla $x_1(t)$ i $x_2(t) \in L^2(-\infty, \infty)$

$$\int_{-\infty}^{\infty} x_1(t) x_2^*(t-\tau)\, dt = x_1(\tau) * x_2^*(-\tau)$$

Def. Sygnał

Sygnał to zmienność dowolnej wielkości fizycznej, którą można opisać (modelować) funkcją jednej $f(x)$ lub wielu zmiennych $f(x_1, x_2, ..., x_n)$

Def. Sygnał

Sygnał to zmienność dowolnej wielkości fizycznej, którą można opisać (modelować) funkcją jednej $f(x)$ lub wielu zmiennych $f(x_1, x_2, ..., x_n)$

Def. Teoria sygnałów

Matematyczne podstawy opisu, analizy i przekształcania sygnałów jako specyficznych funkcji matematycznych.

Do przestudiowania I

- Jerzy Szabatin
  Podstawy teorii sygnałów
  Wydawnictwa Komunikacji i Łączności,Warszawa 1982, 2007
- Tomasz P. Zieliński
  Cyfrowe przetwarzanie sygnałów od teorii do zastosowań
  Wydawnictwa Komunikacji i Łączności,Warszawa 2005
- Jacek M. Wojciechowski
  Sygnały i systemy
  Wydawnictwa Komunikacji i Łączności,Warszawa 2008

Podział sygnałów, modele

Sygnały:

1. Deterministyczne (jest znany wzór, czyli znany w każdej chwili czasu)
2. Stochastyczne (losowe, przypadkowe w każdej chwili czasu)

- Ciągłe (można wskazać wartość w dowolnym punkcie)
- Dyskretne (skwantowane, czasowo lub wartościowo)

Podział sygnałów ...

Sygnały deterministyczne można dalej rozpatrywać jako:

- okresowe,
- prawie okresowe (np. suma dwóch sygnałów sinusoidalnych, których stosunek częstotliwości jest niewymierny)
- sygnały zmodulowane,
- impulsowe o ograniczonej energii,
- o nieskończonym czasie trwania i o ograniczonej energii

Podział sygnałów . . .

Sygnały stochastyczne dzieli się na:

- stacjonarne (mające w każdej chwili takie same wartości podstawowych parametrów statystycznych takich jak średnia, wariancja) w zbiorze ich wielu realizacji
- niestacjonarne

Sygnały stochastyczne stacjonarne mogą być:

- ergodyczne (pojedyncza realizacja sygnału ma podstawowe parametry statystyczne: średnia,wariancja takie jak po zbiorze wielu realizacji)
- nieergodyczne.

Widmowa funkcja przenoszenia

Zakładamy, że układy, którymi się zajmujemy są to układy liniowe, stacjonarne o stałych skupionych (SLS).
Stacjonarne – tzn. niezmienne w czasie.
O stałych skupionych – tzn. długość fali jest większa od badanych elementów.
Liniowe – czyli odpowiedź układu pobudzonego od sumy sygnału A i B, jest sumą odpowiedzi od każdego z tych sygnałów z osobna. (Zasada superpozycji)

Analiza układu - poprzez odpowiedzi na sygnały harmoniczne

Analizę układu, do którego przychodzą sygnały o pewnym widmie częstotliwości można przeprowadzić poprzez zbadanie odpowiedzi dla poszczególnych harmonicznych, a następnie zsumować je.

Def. Transmitancja widmowa

$$K(j\omega) = \frac{G(j\omega)}{X(j\omega)}$$

- $K(j\omega)$ – Transmitancja widmowa
- $G(j\omega)$ – Transformata Fouriera sygnału wyjściowego
- $X(j\omega)$ – Transformata Fouriera sygnału wejściowego

Znając $K(j\omega)$ można wyznaczyć:

$$G(j\omega) = K(j\omega)X(k\omega)$$

Przykład dopasowania oscyloskopowej sondy 10:1 - wxmaxima

Funkcja korelacji własnej i wzajemnej

Funkcja korelacji wzajemnej

Zakładamy, że sygnały mają ograniczoną energię.
Funkcja korelacji wzajemnej pomiędzy deterministycznymi sygnałami $x(t)$ i $y(t)$:

$$R_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)y^*(t-\tau)\,dt$$

Dla każdego τ otrzymuje się liczbę, mówiącą na ile opóźniony drugi sygnał jest podobny (skorelowany) do sygnału pierwszego.
*– oznacza sprzężenie zespolone

Funckja korelacji własnej i wzajemnej

Funkcja korelacji własnej

Funkcja korelacji własnej:

$$R_{xx}(\tau) = R_x(\tau) = \int\limits_{-\infty}^{+\infty} x(t)x^*(t-\tau)\,dt$$

Służy do badania okresowości sygnału, np. pojawianie się odbić w sygnale - maksima funkcji korelacji.

*– oznacza sprzężenie zespolone

Przekształcenia całkowe

$x(t)$ – dowolny sygnał
Niech $x(t) \longrightarrow X(s)$ i $X(s) \longrightarrow x(t)$ takie, że:

$$X(s) = \int\limits_{\Omega} x(t)\varphi(t,s)\,dt, \quad t \in \Omega$$

$$x(t) = \int\limits_{\Gamma} X(s)\psi(s,t)\,dt, \quad s \in \Gamma$$

$\varphi(t,s)$ i $\psi(s,t)$ – jądra przekształceń

Przekształcenia całkowe ...

Aby przekształcenia były odwracalne, musi być spełniony warunek:

$$\int_{\Gamma} \psi(s,t)\varphi(\tau,s)\,ds = \delta(t-\tau)$$

$\delta(t)$ – delta (impuls) Diraca, ponieważ:

$$x(t) = \int_{\Gamma} \left[\int_{\Omega} x(\tau)\varphi(\tau,s)\,d\tau \right] \psi(s,t)\,ds =$$

$$\int_{\Omega} \left[\int_{\Gamma} \psi(s,t)\varphi(\tau,s)\,ds \right] x(\tau)\,d\tau$$

całki po konturze zamkniętym Γ, obejmującym środek układu współrzędnych. Jądra są samosprzężone, jeśli $\psi(s,t) = \varphi^*(t,s)$

Przekształcenie Laplace'a

$$\psi(s,t) = e^{st}, \quad \varphi(t,s) = e^{-st},$$

$$X(s) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-st}\, dt$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(s) e^{st}\, ds$$

Przekształcenie Fourier'a

czyli przekształcenie Lapace'a dla $s = j\omega$:

$$\psi(\omega, t) = e^{j\omega t}, \quad \varphi(t, \omega) = e^{-j\omega t}$$

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j\omega t}\, dt$$

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(\omega) e^{j\omega t}\, d\omega$$

Przekształcenie Fourier'a:

dla $s = j2\pi f$:

$$\psi(f,t) = e^{j2\pi ft}, \quad \varphi(t,f) = e^{-j2\pi ft},$$

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi ft}\, dt$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) e^{j2\pi ft}\, df$$

Transmitancja operatorowa

Transmitancja operatorowa

Zastosowanie:

- Analiza układów w stanach przejściowych (nieustalonych)
- Układy zawierające elementy reaktancyjne L i C (magazynujące energię)

W stanach nieustalonych następuje przemieszczanie się energii zgromadzonej w polu magnetycznym i elektrycznym elementow reaktancyjnych.

Transmitancja operatorowa

Transmitancja operatorowa ...

$$K(s) = \frac{G(s)}{X(s)}$$

- K(s) – transmitancja operatorowa
- G(s) – transformata operatorowa sygnału wyjściowego
- X(s) – transformata operatorowa sygnału wejściowego

Można wyróżnić 4 rodzaje transformat operatorowych:

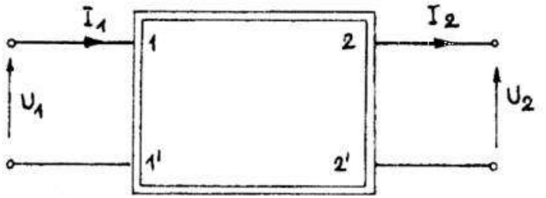
- napięciową (napięcie na wyjściu czwórnika i na wejściu)
- prądową (prąd na wyjściu i wejściu)
- napięciowo–prądową (napięcie na wyjściu, wymuszenie prądowe)
- prądowo–napięciową (prąd na wyjściu, wymuszenie napięciowe)

Impedancje operatorowe elementów pasywnych

Element	Impedancja operatorowa
Rezystor R (rezystancja)	$Z_R = R$
Cewka L (impedancja własna)	$Z_L = sL$
Transformator M (indukcyjność wzajemna)	$Z_M = \pm sM$
Kondensator C (pojemość)	$Z_C = \frac{1}{sC}$

Przykład: zadanie wyznacz transmitancję operatorową obwodu...

Czwórnik



Rys. 1 Oznaczenia przyjęte dla czwórnika

W przypadku gdy w macierzy czwórnika $A_{11} = A_{22}$ oraz $det\,[A] = 1$ to czwórnik jest symetryczny

Opis za pomocą równań różniczkowo-całkowych

Obwody SLS: o stałych skupionych, liniowe, stacjonarne, można opisać równaniami różniczkowo-całkowymi z praw Kirchoffa i prawa Ohma.
Symulacje komputerowe typu Spice.
Przykład. Program Gnucap i program LTspice (SwitcherCad III)