

# ELEKTRONIKA W EKSPERYMENCIE FIZYCZNYM

D. B. Tefelski

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

21 maja 2020

Stany niestabilne, stabilność układów, kryteria stabilności,  
wytwarzanie drgań





# Plan prezentacji

- 1 Wstęp
- 2 Sygnały, uzupełnienie
  - Twierdzenie o próbkowaniu
- 3 Stany niestabilne
  - Stany ustalone i niestabilne
  - Stabilność układów
- 4 Generatory
  - Wytwarzanie sygnałów sinusoidalnych
  - Wytwarzanie sygnałów prostokątnych
  - Generatory dwójnikowe
  - Generatory samodławne



## Twierdzenie o próbkowaniu

Jeśli sygnał ciągły w czasie ma ograniczone widmo, czyli, nie zawiera składowych częstotliwości większych niż  $f_g$ , to taki sygnał może być odtworzony bez zniekształceń z próbek pobieranych z częstotliwością nie mniejszą niż  $2 \cdot f_g$

Przykład: skrypt w octave

## Stan ustalony

**Postać odpowiedzi układu jest identyczna z postacią wymuszenia.**

Po dołączeniu do obwodu zawierającego elementy liniowe, siły elektromotorycznej, płynie prąd, którego przebieg w czasie po pewnym okresie trwania zaburzenia będzie miał taki sam charakter, jak charakter siły elektromotorycznej. Stanem ustalonym jest także stan bez siły elektromotorycznej, dla którego prądy są równe 0.

## Stan nieustalony

Stanem nieustalonym w obwodzie elektrycznym nazywamy stan przejściowy między dwoma stanami ustalonymi. Czas trwania stanu nieustalonego określa stała czasowa obwodu. Stan nieustalony związany jest z przepływem energii zgromadzonej w postaci pola elektrycznego w kondensatorach i pola magnetycznego w cewkach.

# Stabilność układów

Stabilność jest rozumiana w sensie ograniczonej co do wartości odpowiedzi na wymuszenie o skończonej wartości, dla dowolnej chwili  $t$ .

## Stabilność układów

Układ nazywamy stabilnym, jeśli jego odpowiedź czasowa na skończoną wartość pobudzenia będzie ograniczona co do wartości w dowolnej chwili  $t$ .

Stabilność układu może być oceniana na podstawie odpowiedzi impulsowej.

- Jeśli odpowiedź  $\rightarrow 0$  albo pozostaje na stałym poziomie przy  $t \rightarrow \infty$  to układ jest stabilny.
- Jeśli odpowiedź impulsowa rośnie z czasem to układ jest niestabilny.

## Odpowiedź impulsowa

Odpowiedź impulsowa jest odwrotną transformatą Laplace'a transmitancji operatorowej.

$$h(t) = \mathcal{L}^{-1} [T(s)]$$

W przypadku biegunów jednokrotnych  $s_i$  dla  $i = 1, 2, \dots, n$  na podstawie metody residuów, odpowiedź impulsowa wynosi:

$$h(t) = \sum_{i=1}^n A_i e^{s_i t}$$

## Własności stabilności

- Jeśli wszystkie bieguny  $s_i$  znajdują się w lewej części półpłaszczyzny zmiennej zespolonej, to odpowiedź impulsowa  $\rightarrow 0$
- W przypadku istnienia biegunów wielokrotnych, mamy  $m$  - biegunów wielokrotnych:

$$h(t) = \sum_{i=1}^n A_i e^{s_i t} + \sum_{k=1}^m B_k t e^{s_k t}$$

Jeśli bieguny znajdują się w lewej części półpłaszczyzny, to odpowiedź  $\rightarrow 0$ , dla  $t \rightarrow \infty$  - **układ stabilny asymptotycznie**.  
 Gdy bieguny znajdą się na osi urojonej, to układ **może być stabilny ale nie asymptotycznie, jeśli bieguny są pojedyncze**.  
**Jeśli wielokrotne to niestabilny - ze względu na człon proporcjonalny do czasu**. Ponieważ  
 $B_k t e^{s_k t} = B_k t (\cos \omega t + j \sin \omega t)$  - rośnie z czasem.



## Własności stabilności

- Oś urojona stanowi granicę stabilności (na osi urojonej stabilne przy biegunach jednokrotnych, niestabilne przy wielokrotnych)
- Bieguny położone na osi rzeczywistej dają stan aperiodyczny – np. impuls, który dąży do 0 (stabilność asymptotyczna).
- Bieguny zespolone dają stan oscylacyjny. Odpowiedź niezanikająca z czasem, ale o ograniczonej amplitudzie to stabilność zwykła
- Odpowiedź narastająca z czasem to układ niestabilny.

## Generatory

Są to układy wytwarzające sygnały elektryczne o określonym kształcie. Przetwarzają energię ze źródła prądu stałego i zamieniają ją w energię prądu zmiennego.

W generatorach mocy (w których ważnym parametrem jest moc wyjściowa), stosuje się parametry  $P_{wy}$  oraz ze względu na straty przetwarzania energii wprowadza się pojęcie sprawności  $\eta = \frac{P_{wy}}{P_{we}}$

## Generatory - wytwarzane sygnały

- Generatory sygnałów sinusoidalnych (mała zawartość składowych harmonicznnych)
- Generatory relaksacyjne (duża zawartość składowych harmonicznnych)

## Typy generatorów

- Generator w oparciu o dwójnik z ujemną rezystancją dynamiczną
- Generator w oparciu o czwórnik ze sprzężeniem zwrotnym (wzmacniacz o wzmacnieniu napięciowym  $K_u$ , czwórnik sprzężenia zwrotnego o współczynniku transmitancji  $\beta_u$ )

$$K_u = K_u(j\omega) = K_u e^{j\varphi_u}$$

$$\beta_u = \beta_u(j\omega) = \beta_u e^{j\psi_u}$$

$$K_f = \frac{K_u}{1 - K_u \beta_u}$$

$$1 - K_u \beta_u = 0$$

$$\operatorname{Re}(K_u \beta_u) = 1$$

$$\operatorname{Im}(K_u \beta_u) = 0$$

## Warunki dostateczne wzbudzenia

- 1  $K_u \beta_u = 1$  - warunek amplitudy
- 2  $\varphi_u + \psi_u = 0 + 2k\pi$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) - warunek fazy

Pierwszy warunek określa, że układ będzie wytwarzał drgania, gdy wzmacniacz kompensuje działanie tłumiące czwórnika sprzężenia zwrotnego.

Drugi warunek określa, że układ będzie wytwarzał drgania, gdy suma przesunięć fazowych wytworzonych przez wzmacniacz i sprzężenie zwrotne wynosi wielokrotność  $2\pi$ .

Częstotliwość drgań zależy głównie od sprzężenia zwrotnego. Amplituda od wzmocnienia wzmacniacza.

# Generatory LC

Warunki dla czwórników typu  $\Pi$  w sprzężeniu zwrotnym o impedancjach  $Z_1$ ,  $Z_{12}$ ,  $Z_2$ :

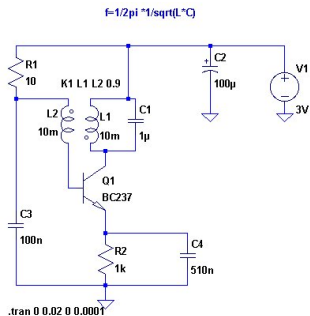
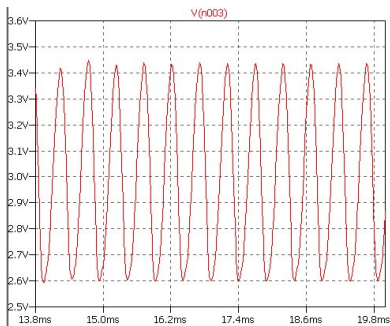
- 1  $1 - \beta K_u = 0$ ;  $K_u \frac{Z_1}{Z_1 + Z_{12}} = -K_u \frac{Z_1}{Z_2} = 1$  - warunek amplitudy
- 2  $Z_1 + Z_2 + Z_{12} = 0$  - warunek fazy

## Typy generatorów

- Generator Meissnera
- Generator Hartleya
- Generator Colpittsa
- Generator Clappa

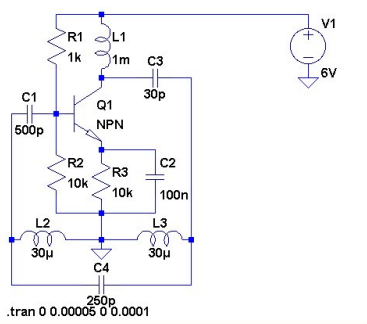
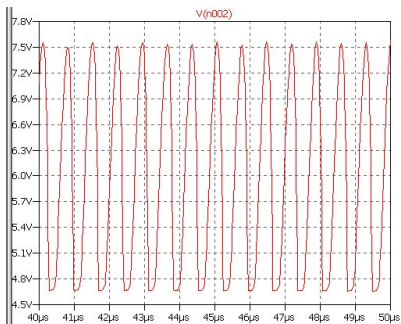
Wytwarzanie sygnałów sinusoidalnych

# Generator Meissnera



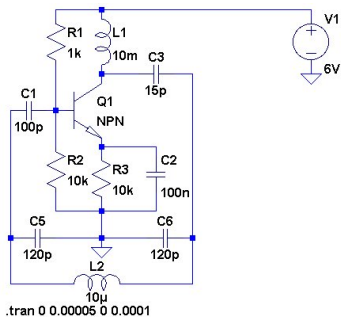
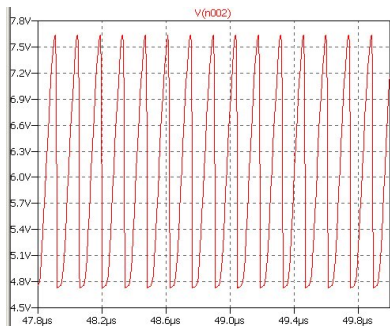
Wytwarzanie sygnałów sinusoidalnych

# Generator Hartleya



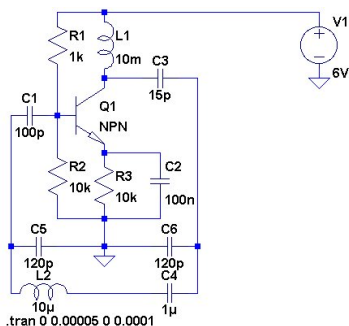
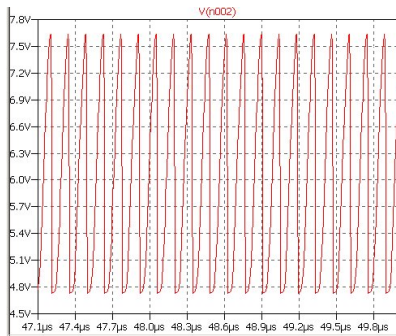


# Generator Colpittsa



Wytwarzanie sygnałów sinusoidalnych

# Generator Clappa



# Generatory piezoelektryczne

## Rezonator kwarcowy

- Częstotliwość rezonansu szeregowego (napięciowego):

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}}$$

- Częstotliwość rezonansu równoległego (prądowego):

$$f_r \approx f_s \left(1 + \frac{C_s}{2C_o}\right)$$

- Dobroć rezonatora kwarcowego:  $\frac{\omega_s L_s}{R_s} = \frac{1}{\omega_s R_s C_s}$

Częstotliwość rezonansu równoległego jest większa od szeregowego nie więcej niż o 0.5%.

Dobroć osiąga wartości  $10^4 - 10^7$ . Częstotliwości z przedziału 100Hz – 200 MHz.

Rezonatory kwarcowe pracują jako element reaktancyjno–indukcyjny w zakresie  $f_s < f < f_r$ . Wstawiony do generatora Colpittsa zamiast cewki daje generator Pierce'a. Rezonatory kwarcowe mają najlepszą stabilność częstotliwości:  $10^{-6} - 10^{-11}$ .

# Generatory RC

## Generatory RC

Stosuje się dla małych i średnich częstotliwości (10Hz – 100kHz).

Cechy:

- Szerszy zakres przestrajania niż generatory LC
- małe rozmiary dla małych częstotliwości - w przeciwieństwie do gen. LC
- Stałość częstotliwości  $10^{-3} - 10^{-5}$
- Mała zawartość harmoniczných (0.1% – 1%)

## Zasady podłączenia czwórnika do wzmacniacza

- 1 Czwórnik o przesunięciu fazowym  $\psi_u = \pm\pi$  np. czwórniki łańcuchowe muszą być połączone ze wzmacniaczem z przesunięciem fazowym  $-\pi$
- 2 Czwórnik o przesunięciu fazowym  $\psi_u = 0$  i minimalnym tłumieniu przy częstotliwości quasi-rezonansowej np. półmostek Wienera muszą być podłączone w obwodzie dodatniego sprzężenia zwrotnego (przesunięcie fazowe 0 lub  $2\pi$ )
- 3 Czwórnika o przesunięciu fazowym  $\psi_u = 0$  i maksymalnym tłumieniu przy częstotliwości quasi-rezonansowej np. czwórniki typu T muszą być podłączone w obwodzie ujemnego sprzężenia zwrotnego z przesunięciem fazowym  $\pi$

Wytwarzanie sygnałów prostokątnych

# Przerzutniki astabilne

## Generatory dwójnikowe

### Elementy o ujemnej rezystancji dynamicznej

- Charakterystyka prądowo-napięciowa typu N: dioda tunelowa, magnetron, dioda lawinowa itd. . .
- Charakterystyka prądowo-napięciowa typu S: przyrządy gazowane np. neonówka, łuk elektryczny. . .

Przy wykorzystaniu rezonatorów wnękowych pracują także w zakresie mikrofalowym.



# Generatory samodławne