

Generatory

Generatory są układami i urządzeniami elektronicznymi, które kosztem energii zasilania wytwarzają okresowe przebiegi elektryczne lub impulsy elektryczne

Podział generatorów

Generatory można podzielić na dwie zasadnicze grupy w zależności od kształtu generowanego przebiegu:

- a) generatory drgań sinusoidalnych
- b) generatory drgań niesinusoidalnych
 - np. o przebiegu prostokątnym, trójkątnym itp.

Ze względu na zasadę działania generatory dzielimy :

- a) generatory z dodatnim sprzężeniem zwrotnym
- b) generatory z rezystancją ujemną

• **Generatory sinusoidalne LC**

są zbudowane ze wzmacniacza odwracającego fazę objętego pętlą sprzężenia zwrotnego zawierającego obwód rezonansowy LC, którego zadaniem jest przesunięcie fazy o dalsze 180° (czyli w sumie o 360° - sprzężenie jest wtedy dodatnie) tylko dla wybranej częstotliwości, określonej parametrami tego obwodu.

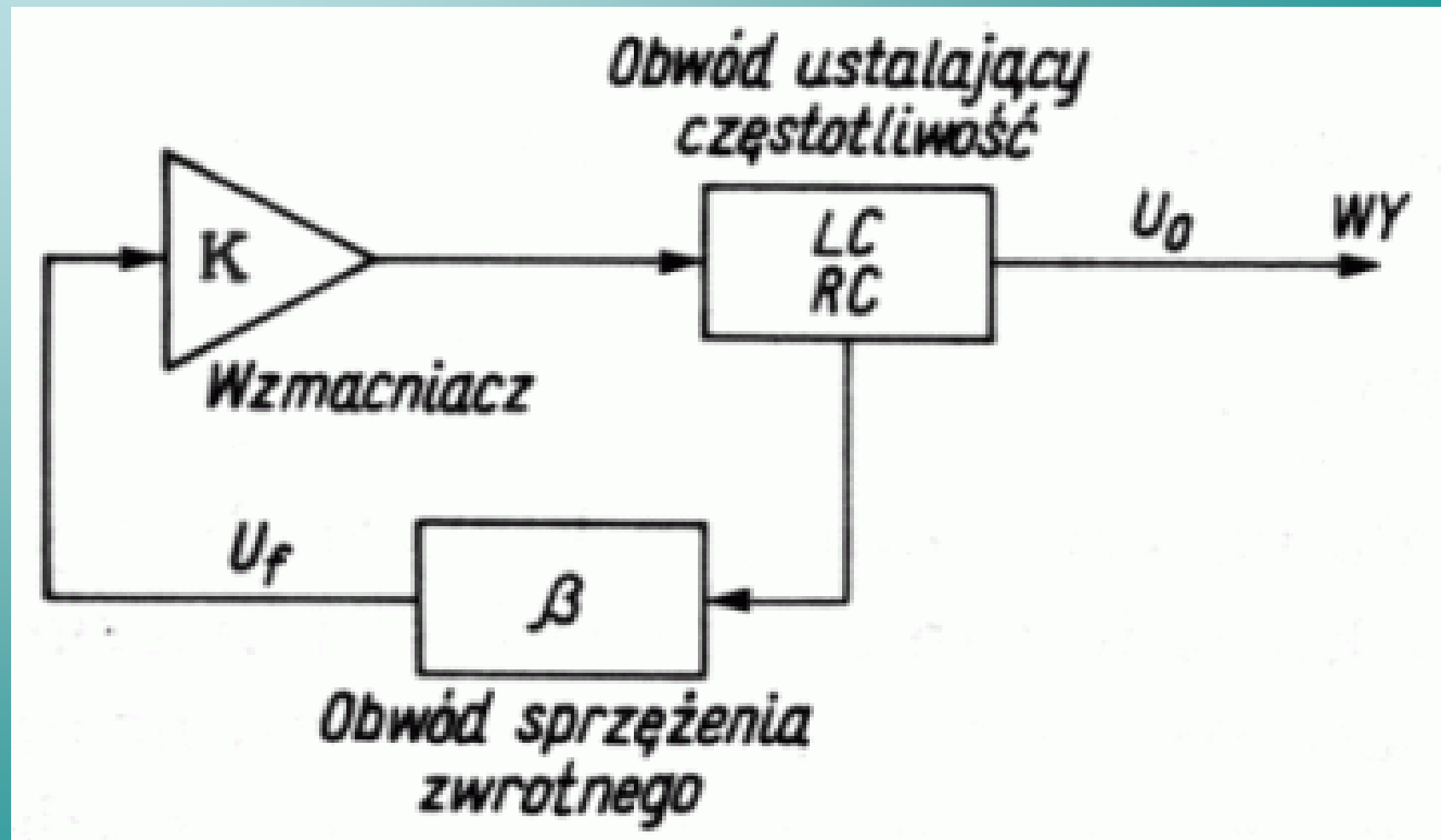
Spełnienie warunku fazy i amplitudy można osiągnąć przez odpowiedni podział reaktancji obwodu LC lub za pomocą sprzężenia transformatorowego. Rozróżnia się następujące podstawowe układy generatorów LC:

- z dzieloną indukcyjnością (układ Hartleya)
- z dzieloną pojemnością (układ Colpittsa)
- ze sprzężeniem transformatorowym (układ Meissnera)

Parametry generatorów

- **Częstotliwość f_0 generowanego przebiegu** (wraz ze zmianami temperatury, punktu pracy i innych parametrów generowana częstotliwość ulega nieznacznym zmianom wokół wartości nominalnej f_0)
- **Stołość częstotliwości generowanego przebiegu** jest to stosunek średniej wartości odchyłki częstotliwości do wartości nominalnej. Wyrażany jest liczbą niemianowaną.
Generatory sprzężeniowe mają tym lepszą stołość im większe jest nachylenie charakterystyki
- **Współczynnik zawartości harmoniczych** (tak jak w wzmacniaczach)
- **Zakres i charakter przestrajanania generatora** (np. prądem, napięciem lub punktem pracy elementów aktywnych)

Generacja drgań - warunek amplitudowy i fazowy



- Schemat blokowy generatora ze sprzężeniem zwrotnym

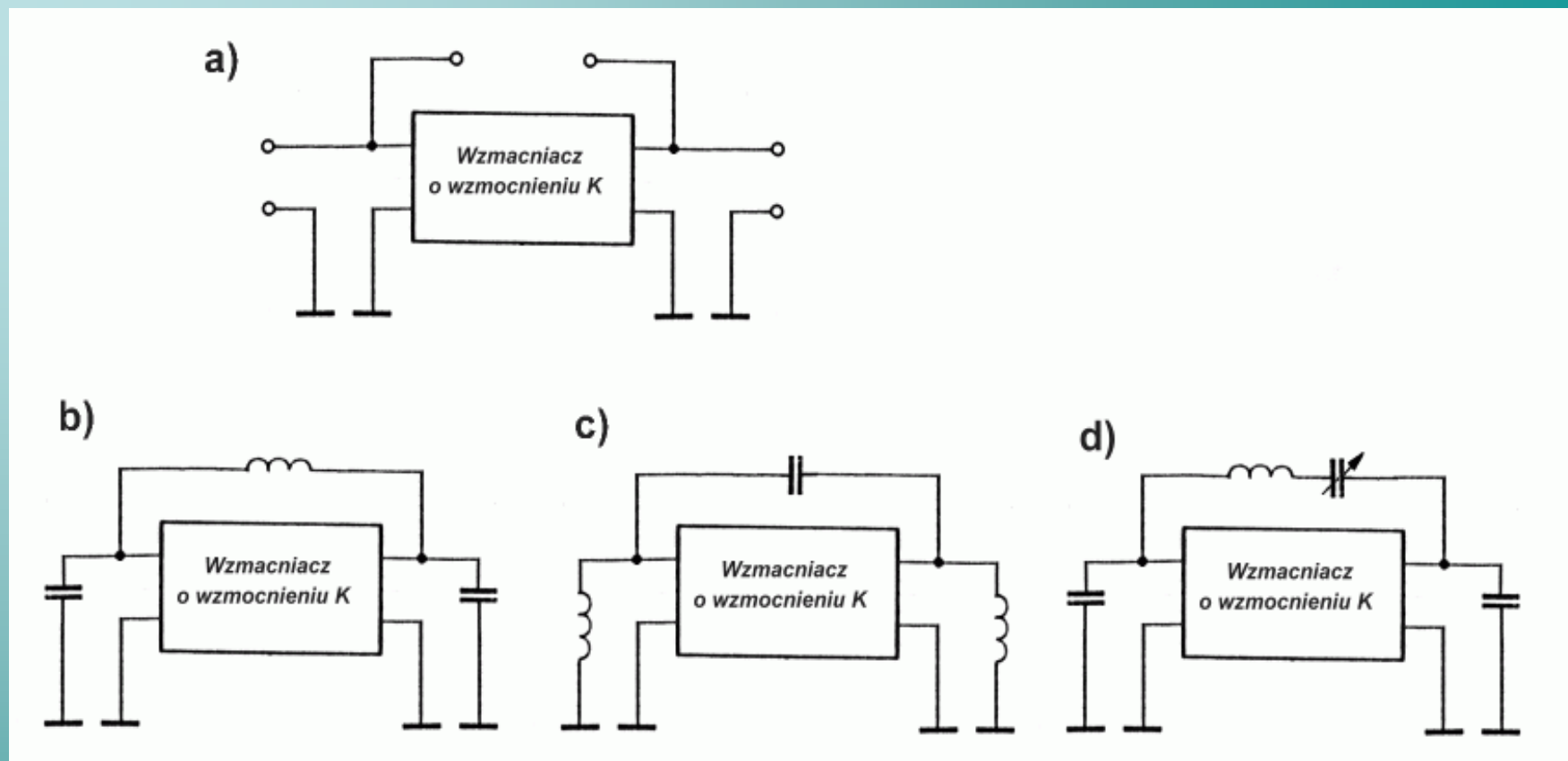
Na rysunku przedstawiony jest ogólny schemat blokowy generatora z pętlą dodatniego sprzężenia zwrotnego.

- Układ generatora zawiera:
 - - wzmacniacz o wzmacnieniu K ,
 - - obwód pobudzany do drgań (ustalający częstotliwość),
 - - pętlę dodatniego sprzężenia zwrotnego β .
- Często zdarza się że element "ustalający częstotliwość", np. C , L jest zawarty w sprzężeniu zwrotnym, a wtedy samo "sprzężenie" jest po prostu połączeniem między wyjściem i wejściem.
-
- Wzmocnienie wzmacniacza z pętlą dodatniego sprzężenia zwrotnego wynosi:

$$K_{uf} = \frac{K}{1 - \beta K}$$

- Dla podtrzymania drgań w generatorze wymagane jest spełnienie niezależnie dwóch warunków: fazy i amplitudy.
- a) warunek fazy - musi zachodzić zgodność fazy sygnałów na wejściu i wyjściu wzmacniacza tzn.:
Faza w_e + Faza $w_y = 0 + n \times 360^\circ$, ($n = 0, 1, \dots$)
- b) warunek amplitudy - ma postać: $K_u = 1$ (wtedy wzmacniacz staje się układem niestabilnym: $1 - K_u = 0$)
wzmocnienie układu wzmacniacza musi być większe (lub co najmniej równe) niż tłumienie pętli sprzężenia zwrotnego
- W takim przypadku wzmacniacz całkowicie kompensuje tłumiące działanie obwodu sprzężenia zwrotnego.
- Generator sam dostarcza na wejście sygnał podtrzymujący drgania. W praktyce aby drgania nie zanikały - iloczyn K_u musi być trochę większy od 1.

- Dla zapewnienia warunku fazy w generatorach stosuje się dwa podstawowe rozwiązania:
- 1) Wzmacniacz przesuwfa fazę o 0° (360°), a pętla sprzężenia zwrotnego i układ pobudzany nie wnoszą dla danej częstotliwości przesunięcia fazowego.
- 2) Wzmacniacz przesuwfa fazę tylko o 180° , a dalsze przesunięcie fazy o 180° następuje w układzie pobudzonym do drgań.
- Rysunek przedstawia ogólny schemat blokowy układu wzmacniacza na bazie którego można łatwo zrobić generator. Jeśli na wejściu i wyjściu dołączone zostaną kondensatory, a w sprzężeniu cewkę indukcyjną to uzyskamy generator Colpittsa (b), jeśli odwrotnie to generator Hartley'a (c). Jeśli do generatora Colpittsa w sprzężeniu zwrotnym dołożymy dodatkowo kondensator uzyskamy generator Clappa (d).



Generator LC ze sprzężeniem zwrotnym

a) schemat ogólny

b) układ Colpittsa

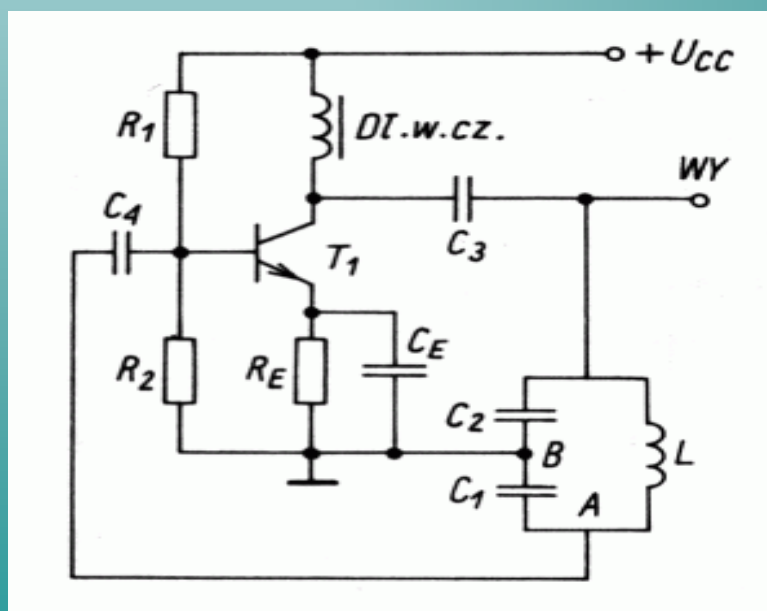
c) układ Hartley'a

d) układ Clappa

Zasada działania generatorów z dzieloną pojemnością Colpittsa

- a) Colpittsa

Generator Colpittsa zbudowany jest z jednostopniowego wzmacniacza pracującego w konfiguracji WE (wspólnego emitera) z pętlą sprzężenia zwrotnego zawierającą obwód rezonansowy L, C_1, C_2 , w którym pojemność jest podzielona na dwie części C_1 i C_2 (stąd nazwa - generator z dzieloną pojemnością). Punkt B rozdzielający Kondensatory połączony jest do masy.



Rys. 3 Generator Colpittsa - układ z zasilaniem równoległym (konfiguracja WE)

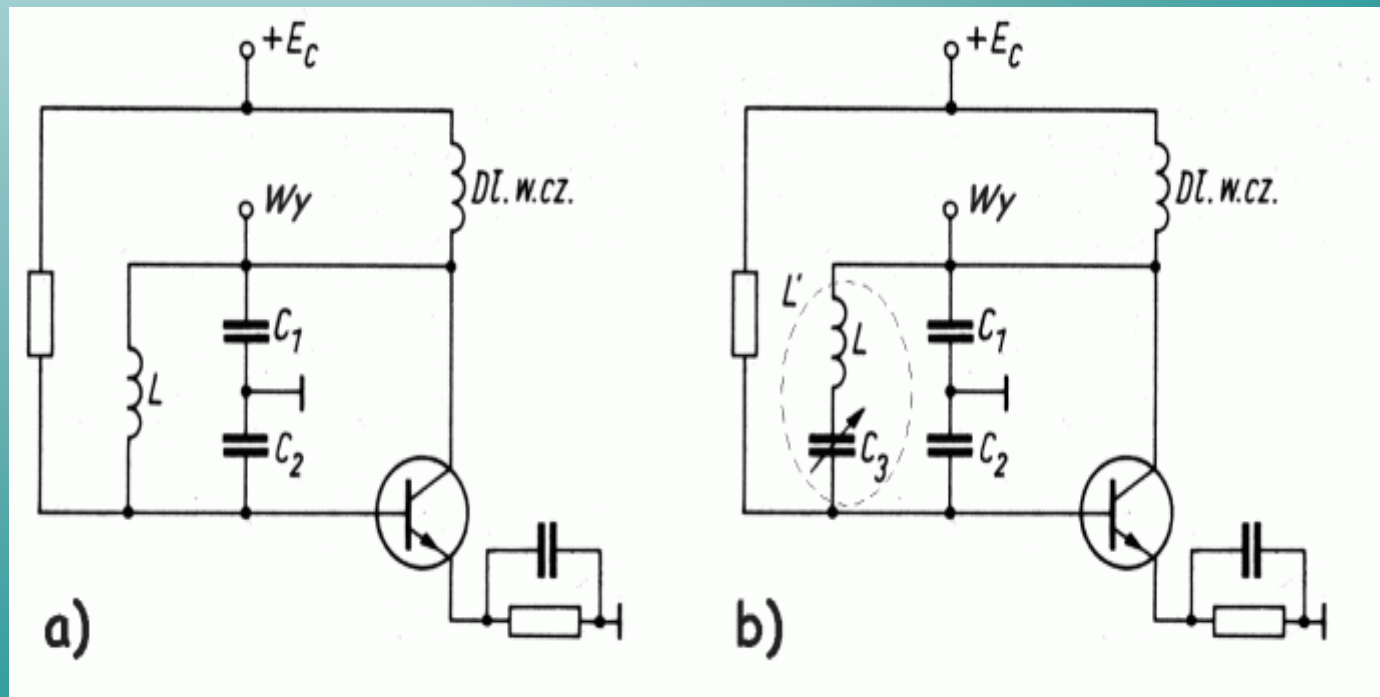
- W powyższym układzie, dla częstotliwości rezonansowej:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_z}} \quad \text{gdzie} \quad C_z = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

- sygnał sprzężenia zwrotnego z kondensatora C1, (węzeł A) jest przesunięty w fazie o 180° względem sygnału wyjściowego wzmacniacza i doprowadzany do bazy. Po wzmocnieniu służy on do podtrzymywania drgań w układzie. Przesunięcie w samym wzmacniaczu wynosi również 180°, więc spełniony jest warunek fazy. Warunek amplitudy zależy od stosunku pojemności obwodu rezonansowego C1/C2. Dodatkowe funkcje pełnią:
- Kondensator C3 o dużej pojemności blokuje przepływ składowej stałej prądu kolektora przez obwód rezonansowy (stąd przedstawiony wariant układu Colpittsa jest z zasilaniem równoległym - w konfiguracji WE),
- Rezystory R1, R2 i RE są elementami obwodu polaryzacji stałoprądowej tranzystora, ustalającymi jego spoczynkowy punkt pracy;
- Dławik wysokiej częstotliwości przepuszcza składową stałą prądu, lecz blokuje przedostawanie się sygnału zmiennego z wyjścia generatora do obwodu zasilania (zwieranie sygnału przez obwód zasilania).

b) Clappa

Generator Clappa jest modyfikacją generatora Colpittsa, polegającą na zastosowaniu dodatkowo kondensatora strojącego C_3 połączonego szeregowo z cewką L obwodu. Takie rozwiązanie pozwala użyć dużych wartości pojemności kondensatorów C_1 i C_2 co znacznie poprawia stałość częstotliwości generatora.



Rys. 4 Układy uproszczone a) generator Colpittsa b) generator Clappa

Przy połączeniu szeregowym kondensatora C3 i cewki L wypadkowa indukcyjność wynosi:

$$L' \approx L \left(1 - \frac{1}{\omega^2 L C_3} \right)$$

Pulsacje rezonansowe w przybliżeniu wynoszą:

$$\omega_s \approx \frac{1}{\sqrt{L_m C_m}}$$

$$\omega_r = \omega_s \cdot \sqrt{1 + \frac{C_m}{C_o}}$$

a ich względna różnica przy założeniu $C_m \ll C_o$:

$$\frac{\omega_r - \omega_s}{\omega_s} \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{C_m}{C_o}$$

- **Generator Hartley'a**

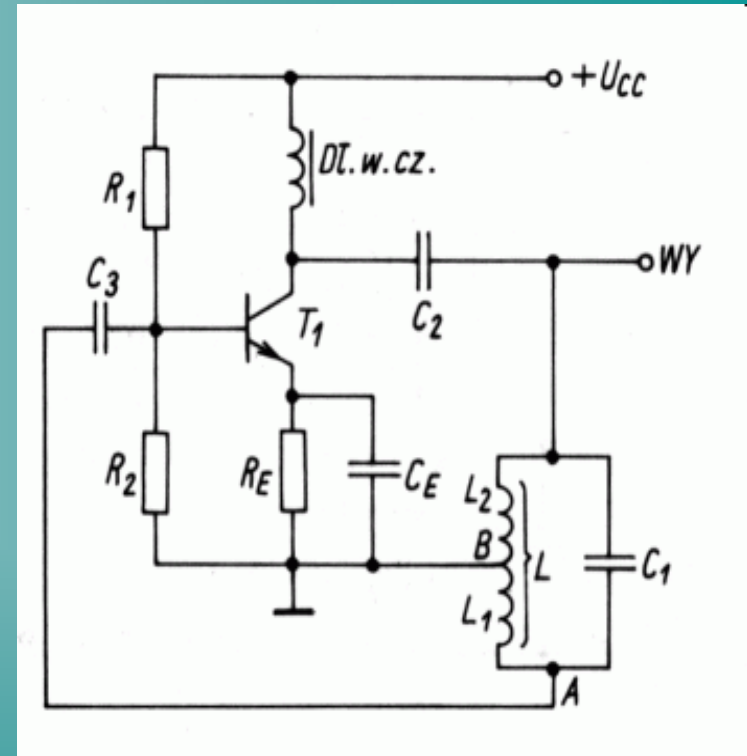
zbudowany jest z jednostopniowego wzmacniacza pracującego w konfiguracji WE (wspólnego emitera) z pętlą sprzężenia zwrotnego zawierającą obwód rezonansowy L, C1, w którym indukcyjność jest podzielona na dwie części L1 i L2
(stąd nazwa - generator z dzieloną indukcyjnością).

W powyższym układzie, dla częstotliwości rezonansowej: obwód w węźle A przesunęła fazę napięcia wyjściowego wzmacniacza o 180°.

Przesunięcie w samym wzmacniaczu wynosi również 180°, więc spełniony jest warunek fazy.

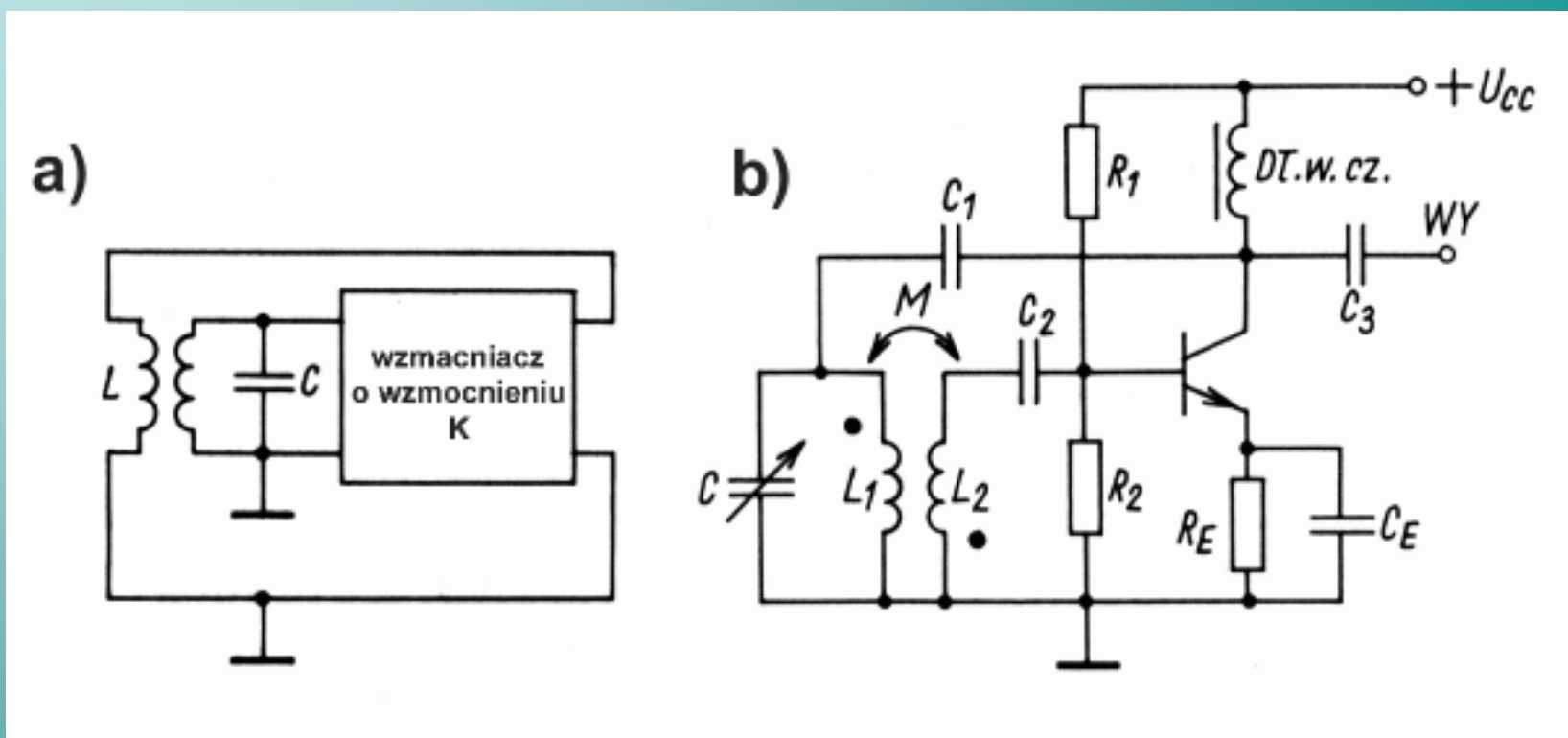
Warunek amplitudy zależy od stosunku indukcyjności obwodu rezonansowego L1/L2.

**Generator Hartley'a -
układ z zasilaniem
równoległym**



$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}}$$

Generator Meissnera

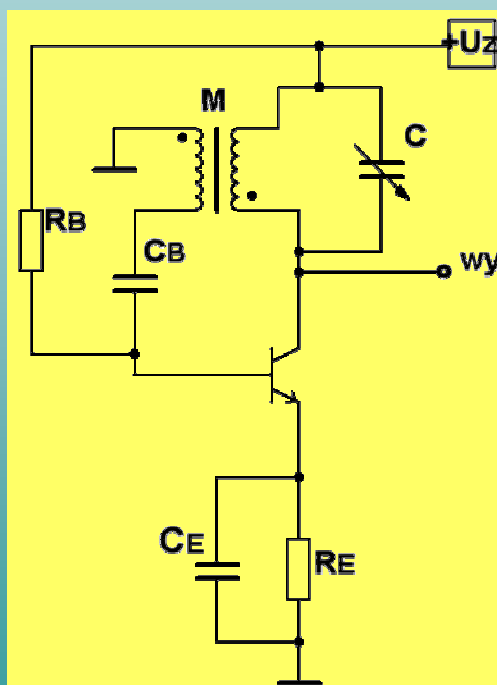


Charakterystyczną cechą tego typu generatora są dwie cewki stanowiące transformator, z których jedna wraz z przyłączonym kondensatorem stanowi obwód drgań.

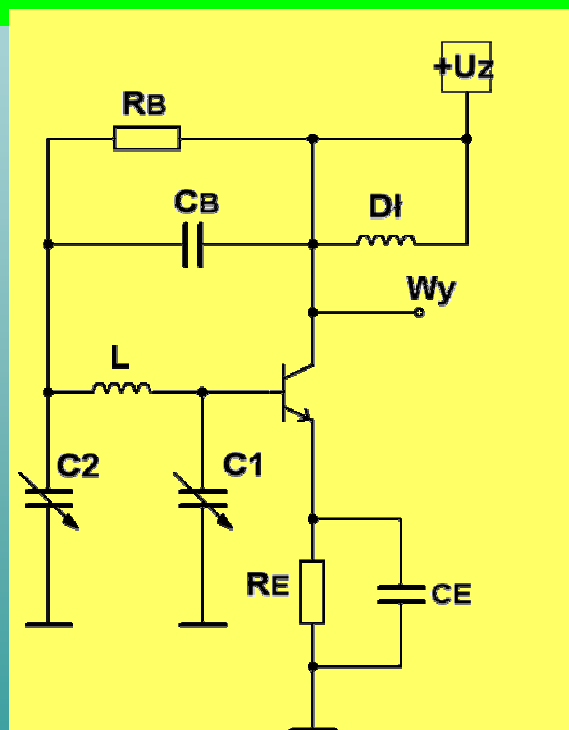
(Kropki na uzwojeniach oznaczają, że transformator przesunął sygnał o 180°)

Podsumowanie:

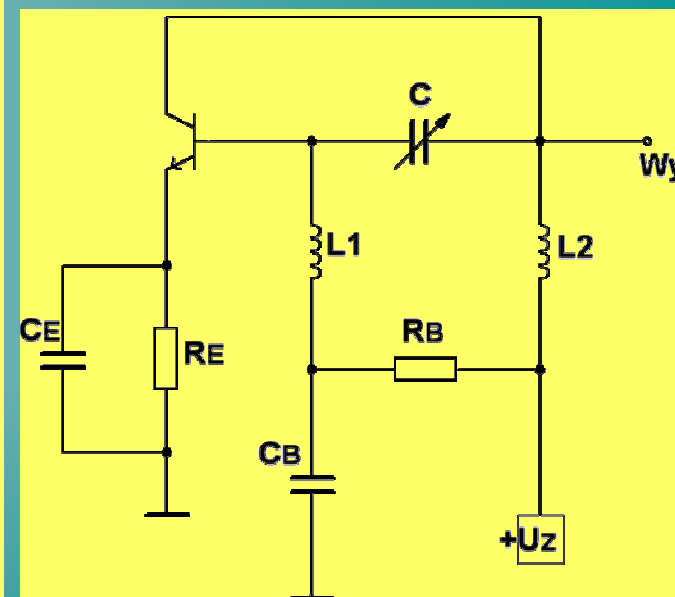
Zmianę częstotliwości drgań generatorów osiąga się najlepiej przez zmianę pojemności kondensatorów wchodzących w skład obwodów rezonansowych



Układ Meisnera



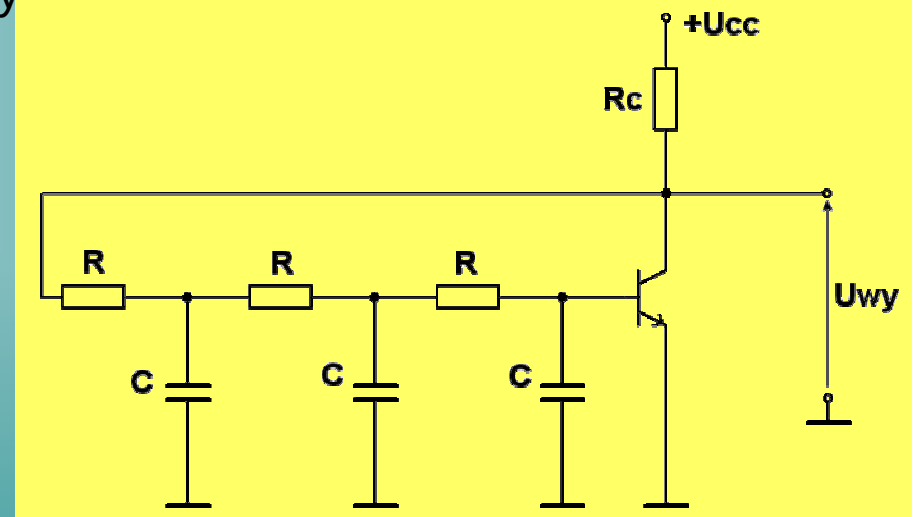
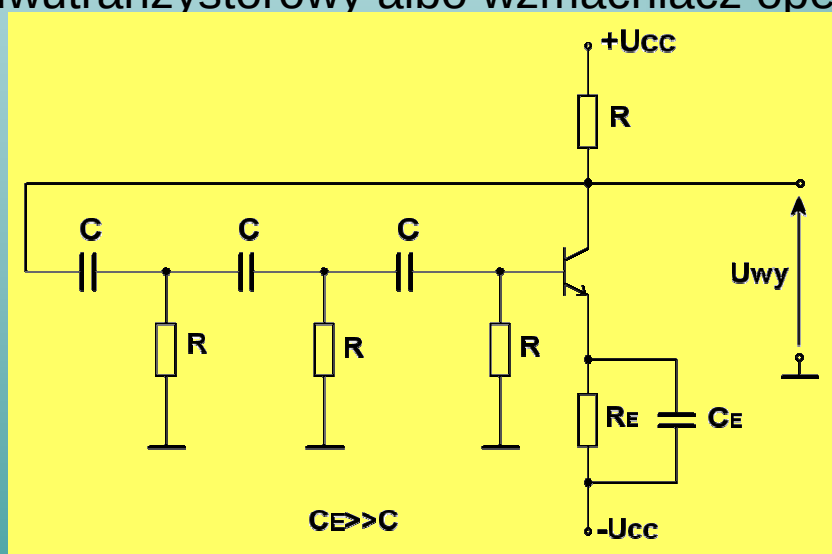
Układ Copittsa



Układ Hartley'a

generatory RC

Generatory te można zbudować z użyciem dowolnego elementu aktywnego. Funkcję toru wzmacniającego zwykle pełni wzmacniacz jedno- lub dwutranzystorowy albo wzmacniacz operacyjny.

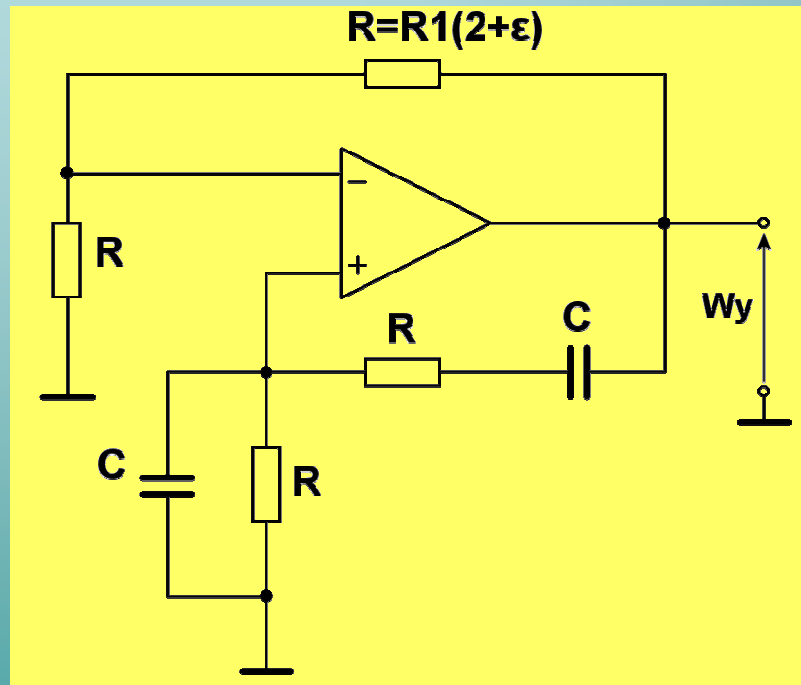


Na rysunkach przedstawiono schematy najprostszych układów generatora RC zwanych **generatorem z przesuwnikiem fazowym RC** albo **generatorem drabinkowym RC**

W obu układach rezystor R_C jest tak dobrany aby był zachowany warunek amplitudy generacji drgań:

$$|k_u| \cdot |\beta_f| \geq 1$$

Dużo lepsze parametry cechują jednak generatory zbudowane z mostków RC, zwane również **czwórnikami kratowymi RC**. Jest to związane z ich dużym nachyleniem charakterystyki fazowej w otoczeniu punktu równowagi. Przykładem takiego układu jest **mostek Wiena**.



Mostek zachowuje równowagę dla:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad \text{gdy} \quad \frac{R_2}{R_1} = 2$$

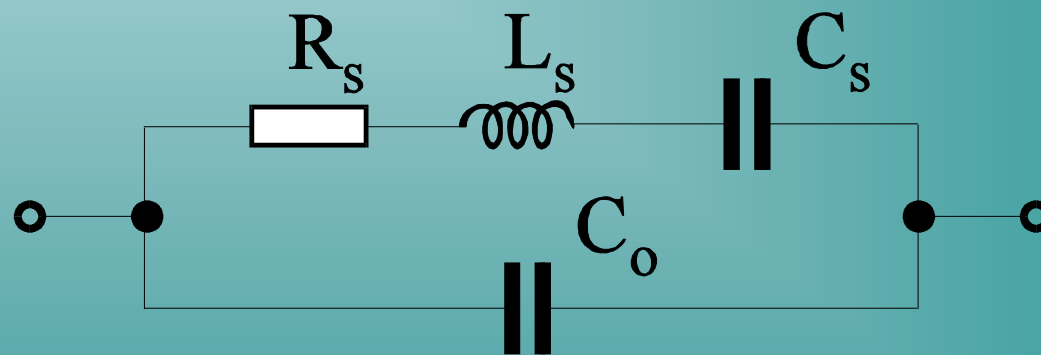
Układ powinien pracować przy małym odstrojeniu $R_2 = R_1(2 + \varepsilon)$

Liczba ε czyli miara nie zrównoważenia mostka $0 < \varepsilon < 1$ powinna być jak najmniejsza, ponieważ zapewnia to bardzo duże nachylenie charakterystyki fazowej. Generator z tak dobranym mostkiem ma charakterystykę fazową o stromości odpowiadającej obwodowi rezonansowemu o dobroci $Q=0,23k$ gdzie k to wzmacnienie napięciowe wzmacniacza.

- **Generatory kwarcowe.**

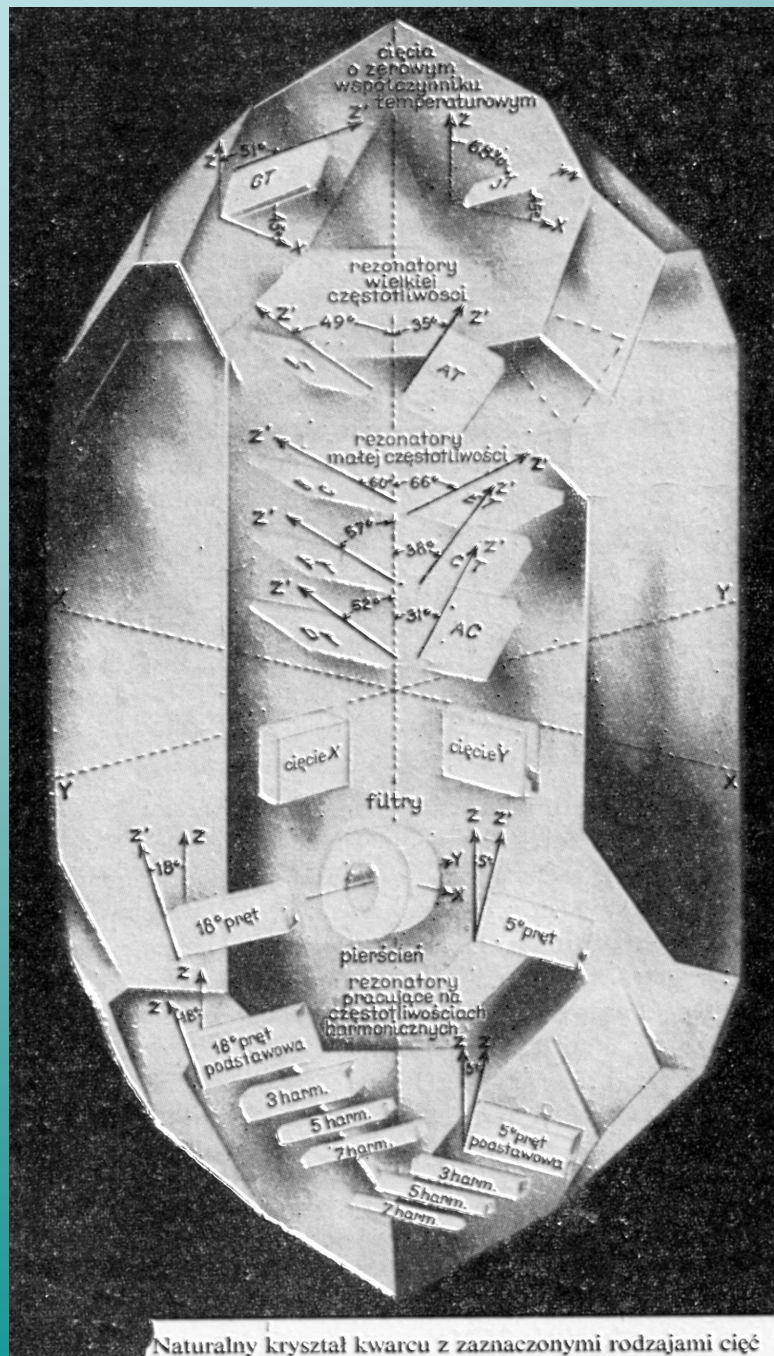
Jeżeli jest wymagana bardzo dobra stabilność pracy generatora, to stosuje się element stabilizujący częstotliwość drgań - rezonator piezoelektryczny (kwarcowy) lub ceramiczny. Działanie rezonatora piezoelektrycznego (najczęściej kwarcowego) polega na sprzężeniu mechanicznych drgań płytki kryształu z jego właściwościami elektrycznymi, tj. napięciem na przyłączonych do płytki elektrodach. Drgania mechaniczne wywołują napięcie na elektrodach i odwrotnie - napięcie powoduje drgania. To sprzężenie jest najsilniejsze dla częstotliwości rezonansu mechanicznego, ściśle określonej dla poszczególnych kryształów. Dobroć rezonatorów kwarcowych jest ok. 1000 razy większa niż konwencjonalnych układów LC. Stabilność drgań jest bardzo duża i w znikomym stopniu zależy od temperatury.

Rezonator kwarcowy



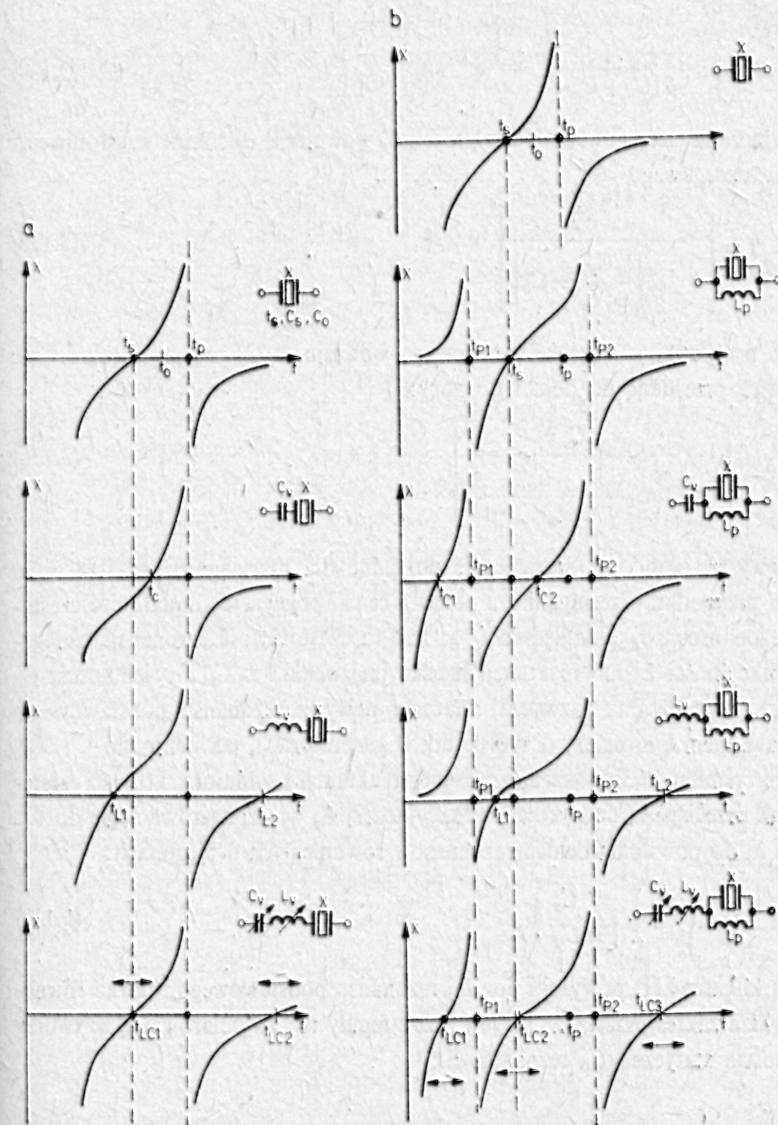
$$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{L_s \cdot C_s}}$$

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_s \cdot C_o}}$$



Naturalny kryształ kwarcu z zaznaczonymi rodzajami cięć

Przeciąganie częstotliwości rezonansowych kwarcu stosowane jest zarówno w układach generacyjnych, jak i w filtrach. Stopień przeciągnięcia zależy od połączenia reaktancji przeciągających i parametrów zastępczych rezonatora r_s , C_s i C_0 ,



Przebieg reaktancji przy przeciąganiu częstotliwości rezonansowych rezonatora kwarcowego za pomocą szeregowej pojemności C_s , indukcyjności L_p i obwodu C_0, L_p

- Na rysunku przedstawiono symbol i schemat zastępczy rezonatora kwarcowego. Wielkości C_k , L_k zależą od parametrów mechanicznych płytki kwarcowej rezonatora, rezystancja R_k charakteryzuje tłumienie obwodu
 - są to straty tarcia,
 - a pojemność C_0 reprezentuje pojemność elektrod i przewodów doprowadzających.
- Parametry powyższe zależą nie tylko od geometrii płytki, ale także od rodzaju jej drgań. Są one zależne od wartości pulsacji szeregowej ω_s i równoległej ω_r , które to z kolei można odczytać z wykresu charakterystyki rezonansowej rezonatora kwarcowego (Rys. 6.).

Rys. 6 Charakterystyka rezonatora kwarcowego

R - oporność rzeczywista

X - oporność bierna

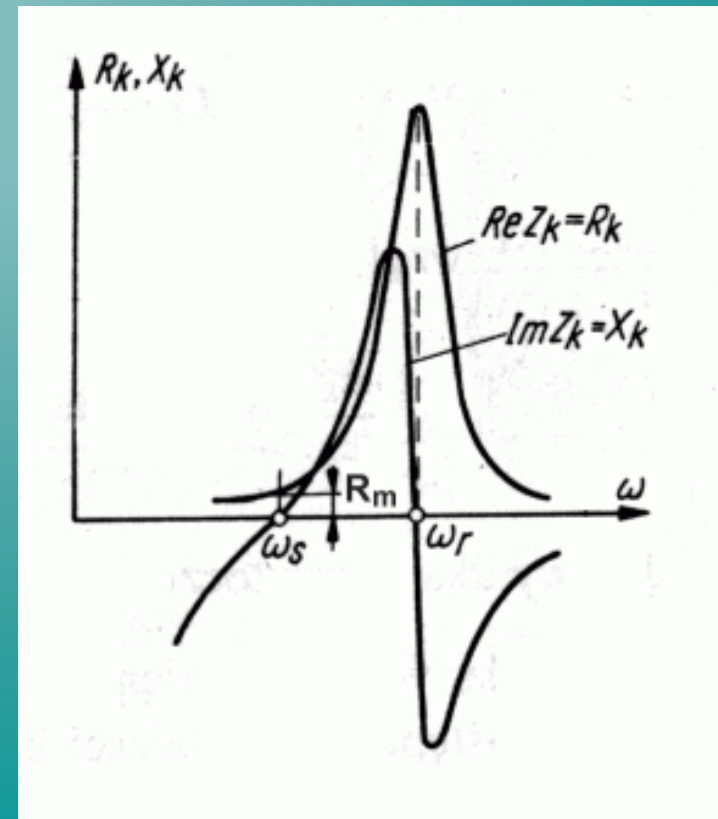
ω_s - pulsacja rezonansu szeregowego

ω_r - pulsacja rezonansu równoległego

Do rezonansu szeregowego ω_s obwód ma **impedancję pojemnościową**

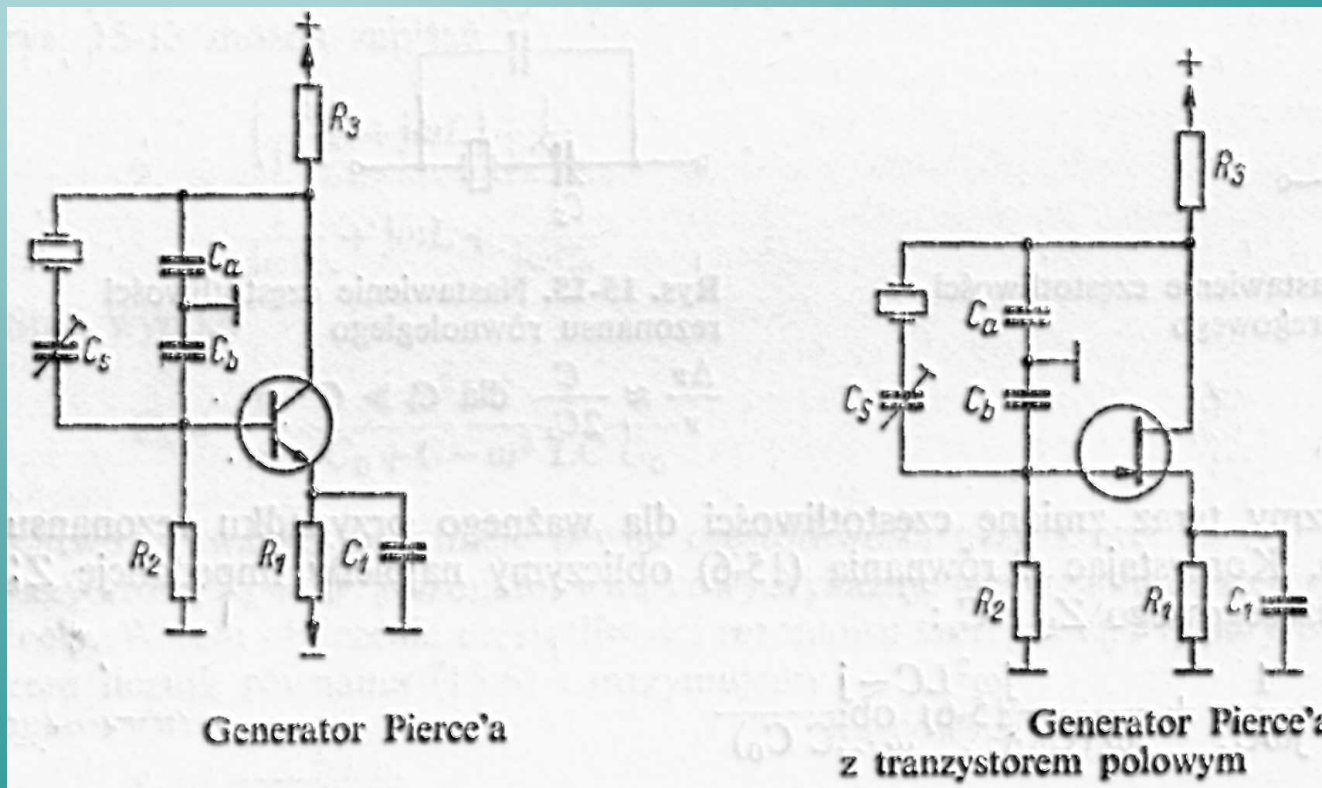
Od rezonansu szeregowego ω_s do równoległego ω_r obwód ma **impedancję indukcyjną** (najczęściej stosowany w układach generacyjnych)

Powyżej rezonansu równoległego ω_r obwód ma **impedancję pojemnościową**



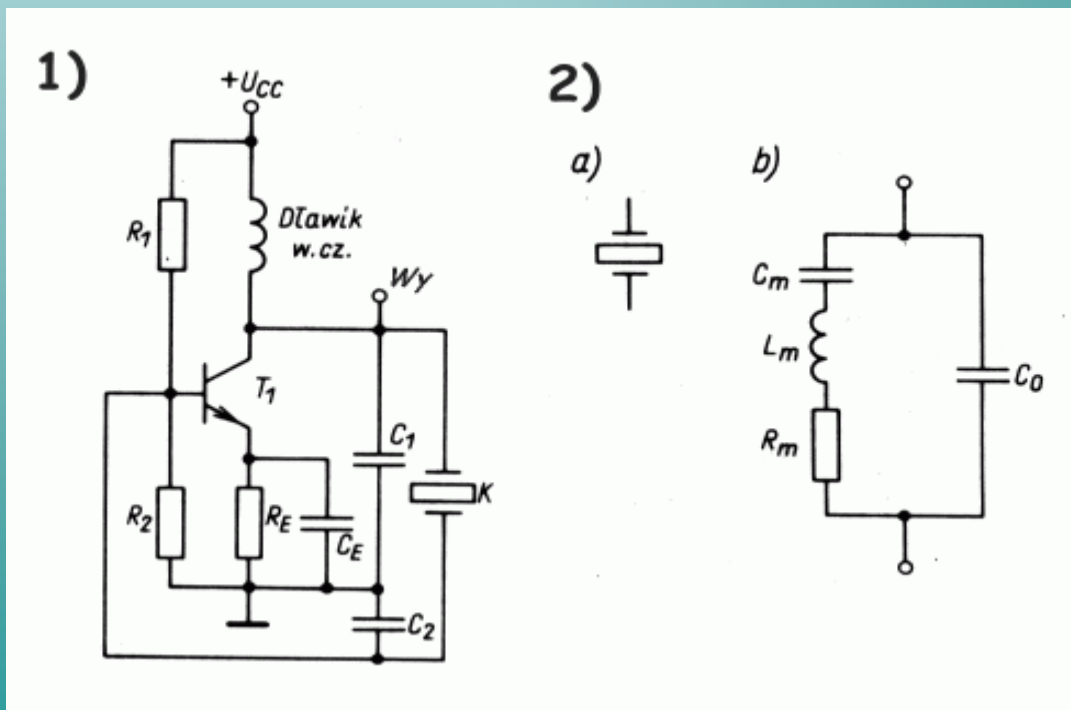
generatory kwarcowe sinusoidalne

Ma on zdecydowanie najlepsze parametry właściwości dzięki kwarcowej stabilizacji częstotliwości drgań. Duża stromość charakterystyki fazowej toru sprzężenia zwrotnego zapewniają rezonatory kwarcowe.



Generator kwarcowy jest to **wzmacniacz operacyjny objęty selektywnym dodatnim sprzężeniem zwrotnym**, zapewniającym spełnienie warunku fazy oraz **szerokopasmowego ujemnego sprzężenia zwrotnego**, zapewniającego spełnienie warunku amplitudowego powstawania drgań sinusoidalnych.

- c) Colpittsa-Pierce'a
- Generator kwarcowy Pierce'a jest odmianą generatora Colpittsa.
- Rezonator kwarcowy wykorzystywany jest jako element indukcyjny.

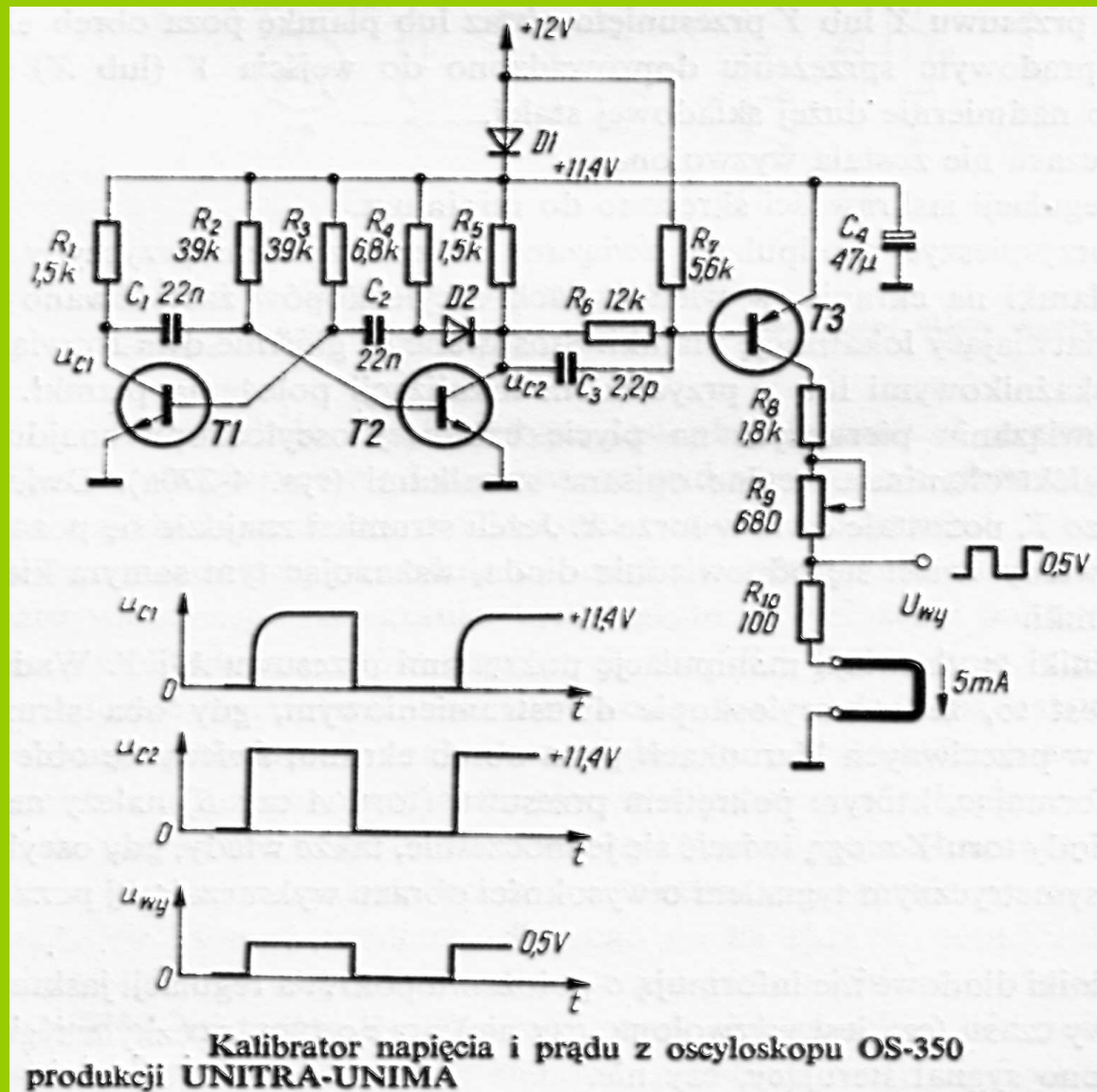


Rys. 5 1) Generator Pierce'a

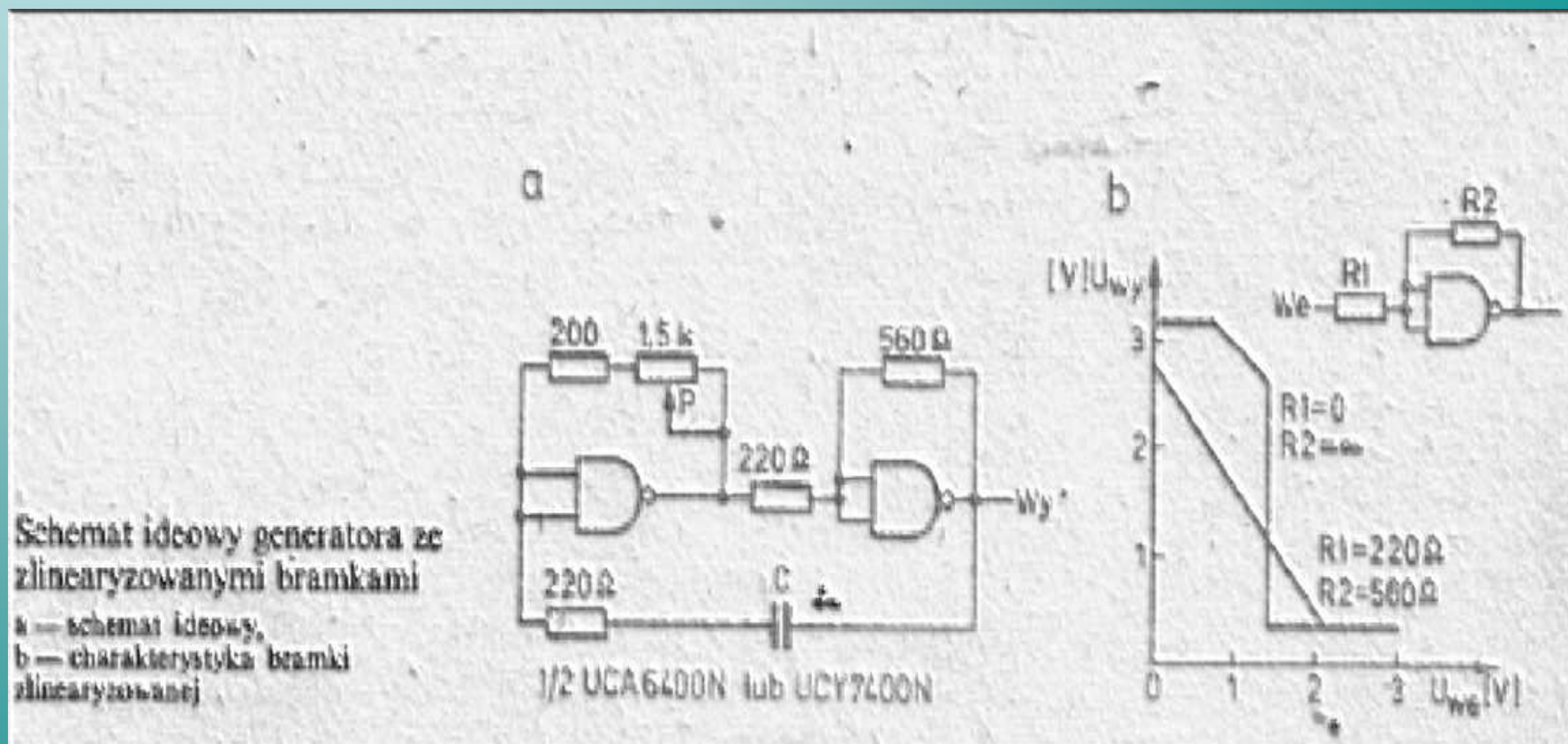
2) Symbol graficzny (a) i schemat zastępczy (b) rezonatora kwarcowego

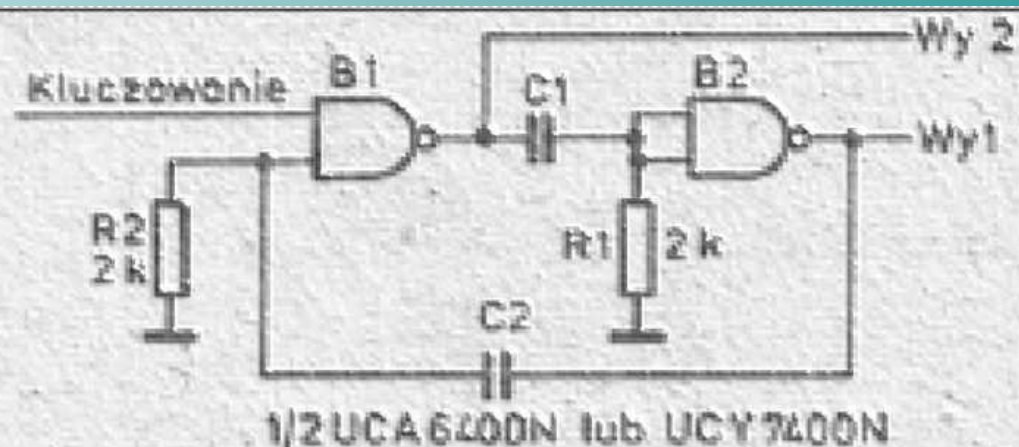
Generatory przebiegów niesinusoidalnych

Najprostszym
układem generatora
napięć
niesinusoidalnych
jest multiwibrator
astabilny -
przykładem może
być kalibrator do
oscylloskopu

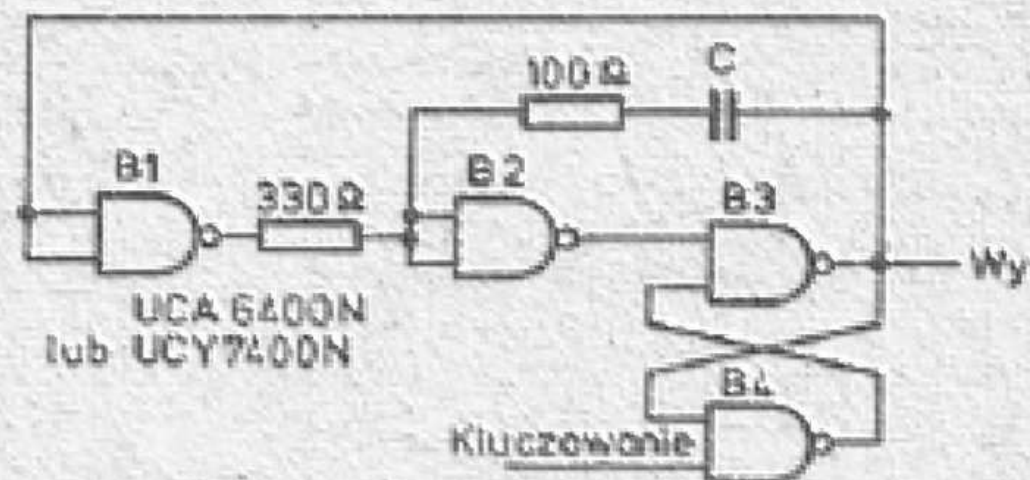


Często stosowanymi układami generatorów przebiegów niesinusoidalnych są generatory TTL



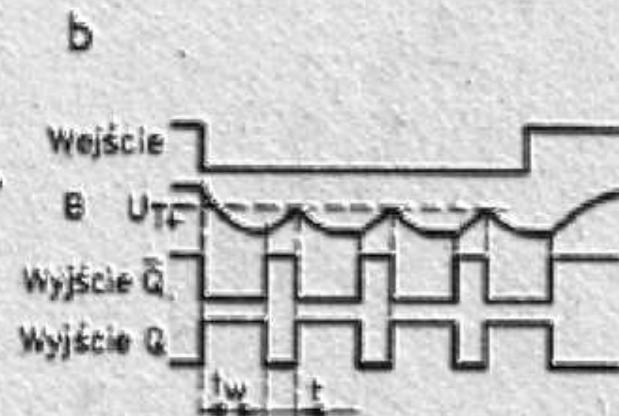


**Schemat ideowy symetrycznego
przerzutnika astabilnego**

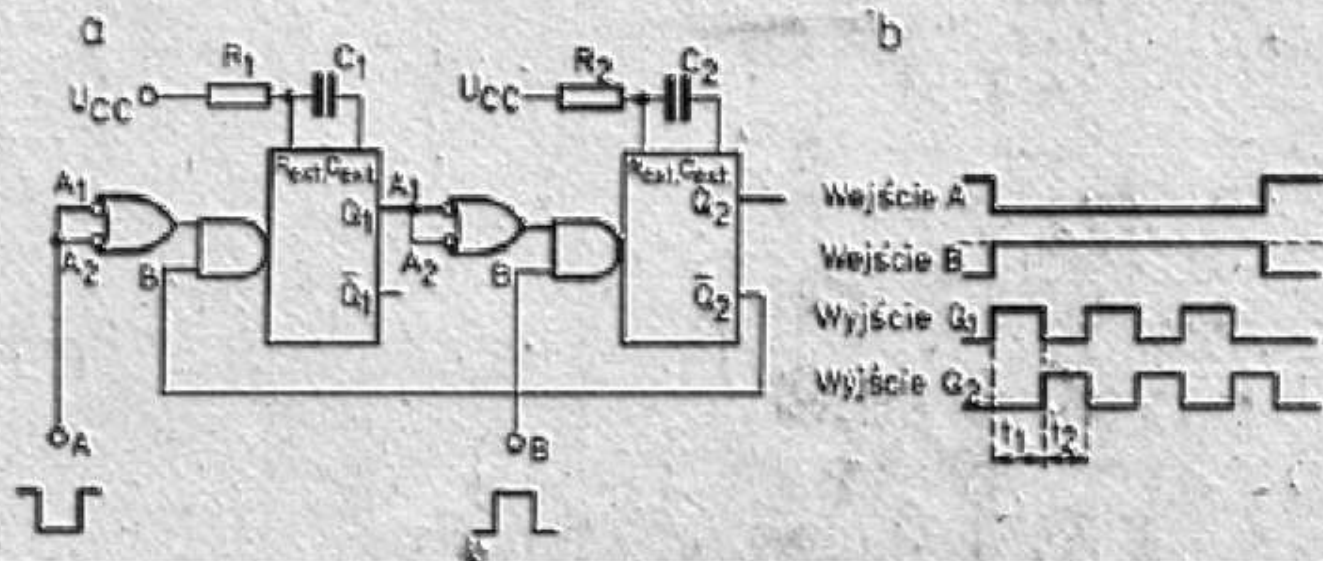


**Schemat ideowy generatora z możliwością
synchronicznego kluczkowania**

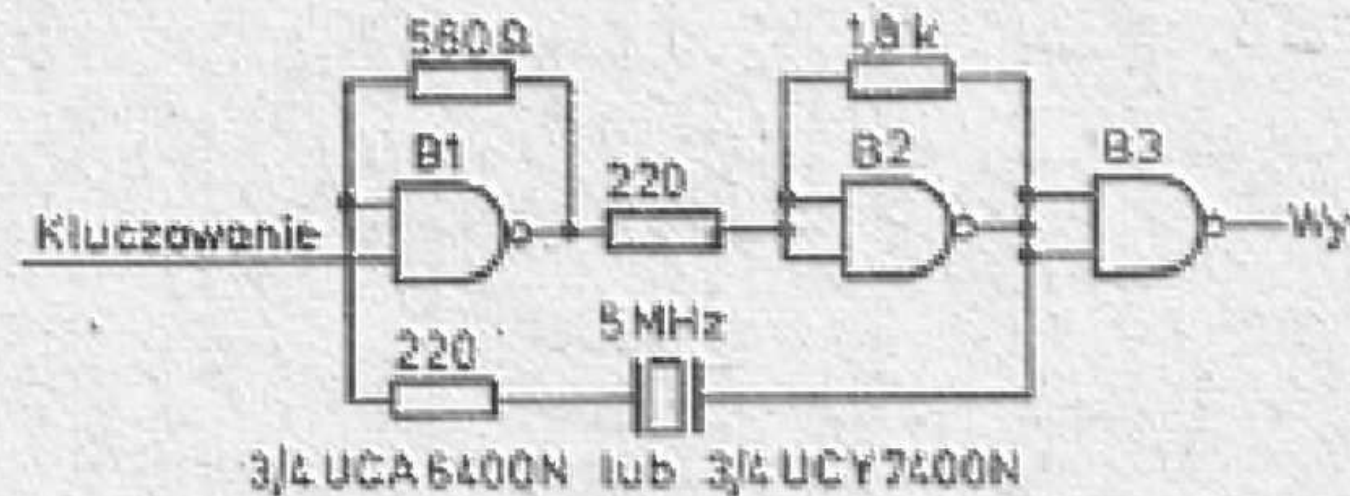
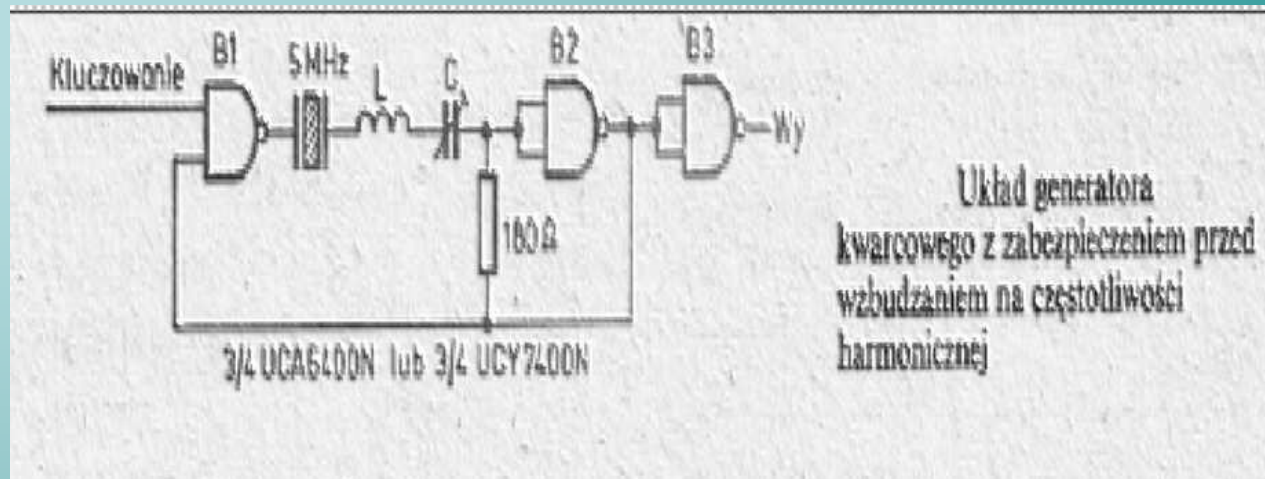
a — schemat logiczny,
b — przebiegi czasowe



a — schemat logiczny,
b — problemy czasowe



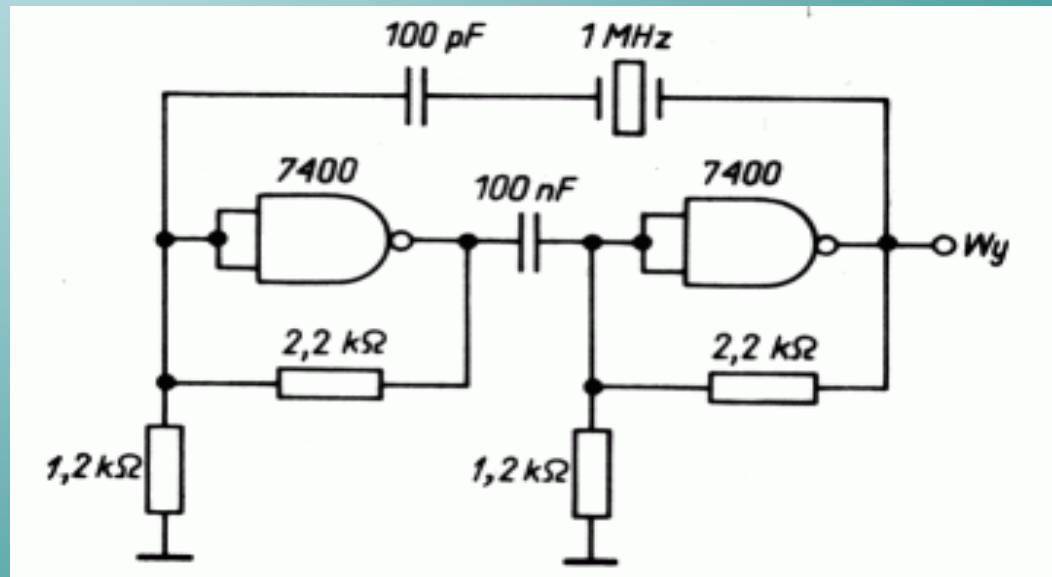
Generatory kwarcowe przebiegów niesinusoidalnych



Układ generatora stabilizowanego rezonatorem kwarcowym

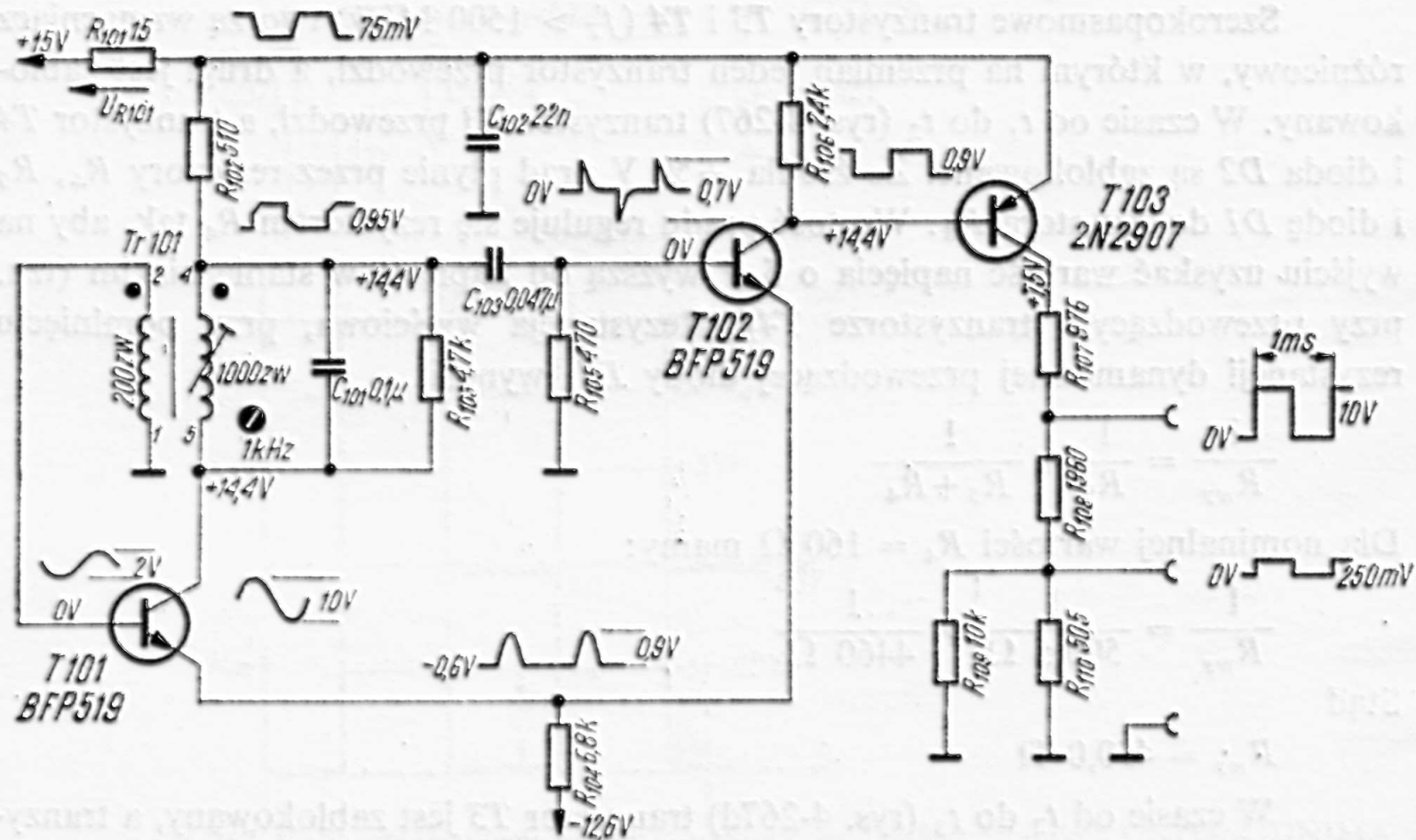
układ z rezonatorem kwarcowym na zlinearyzowanych bramkach TTL

- Rezonatory kwarcowe są używane także do stabilizacji częstotliwości w generatorach przebiegów prostokątnych zbudowanych z układów cyfrowych.



Generator przebiegów prostokątnych stabilizowany kwarcem

- Rysunek przedstawia generator kwarcowy na bramkach NAND. Częstotliwość drgań jest określana poprzez wartości R i C - spada proporcjonalnie do iloczynu RC.
- Napięcie wyjściowe jest prostokątne i ma poziom odpowiadający układom TTL.



Kalibrator napięcia i czasu z oscyloskopu OS-710 produkcji
UNITRA-UNIMA

Przykłady zastosowania generatorów

GENERATORY FUNKCYJNE

Generatory funkcyjne są generatorami, które mogą wytwarzać kilka przebiegów jednocześnie

Podstawowym przebiegiem jest przebieg prostokątny i liniowo narastający (trójkątny)

Przebieg sinusoidalny w tych generatorach uzyskuje się przez aproksymację przebiegu trójkątnego co pociąga za sobą dużą zawartość harmoniczných rzędu 1 %

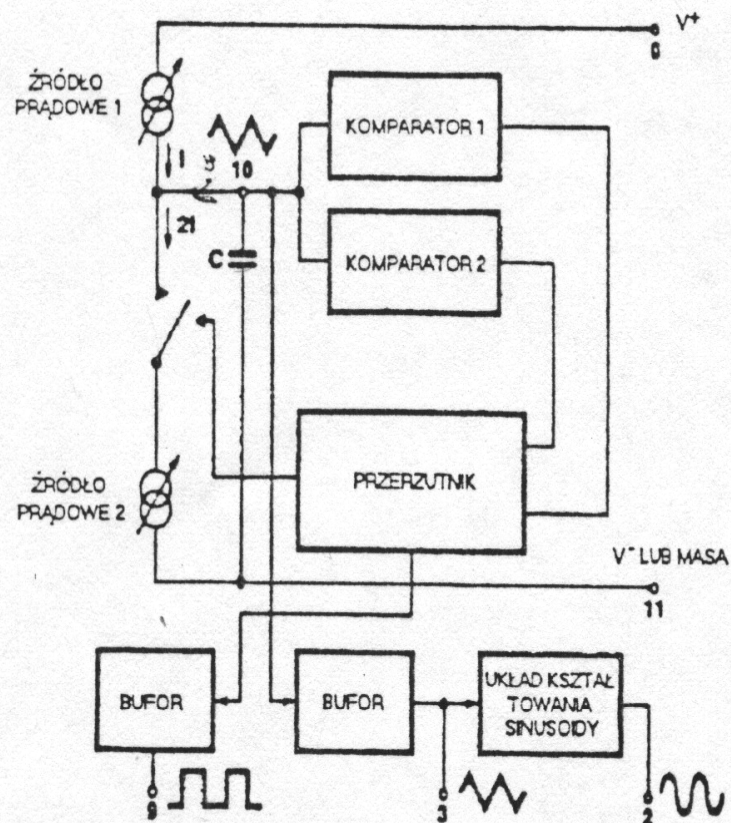
Typowymi przedstawicielami tych generatorów są urządzenia zbudowane w oparciu

o układy :

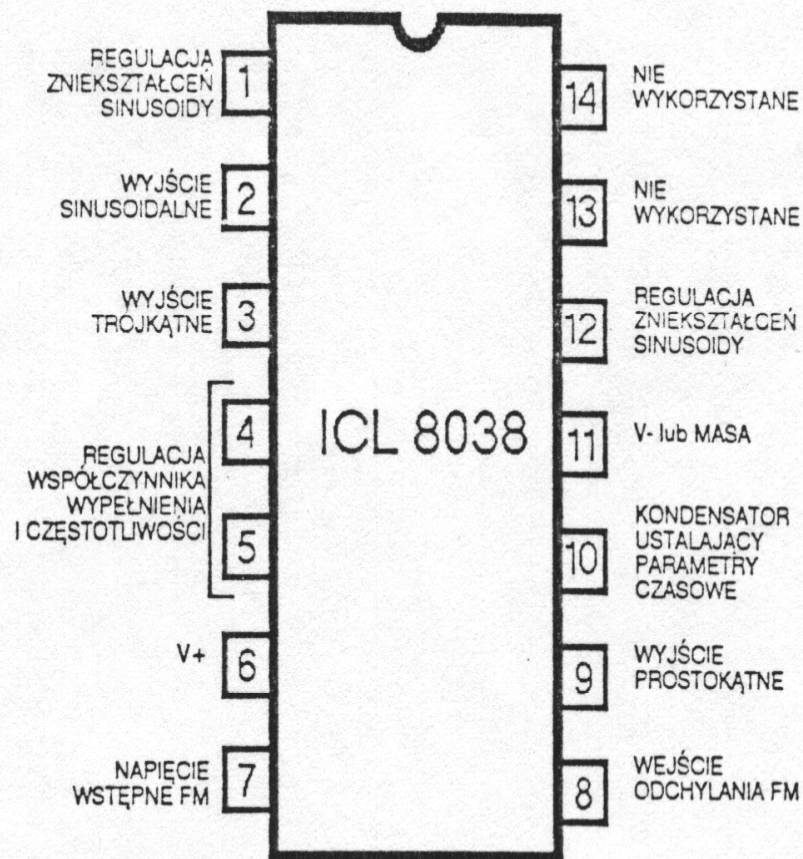
a/ ICL 8038

b/ XR 2206

Schemat blokowy i wyprowadzenia układu ICL 8038

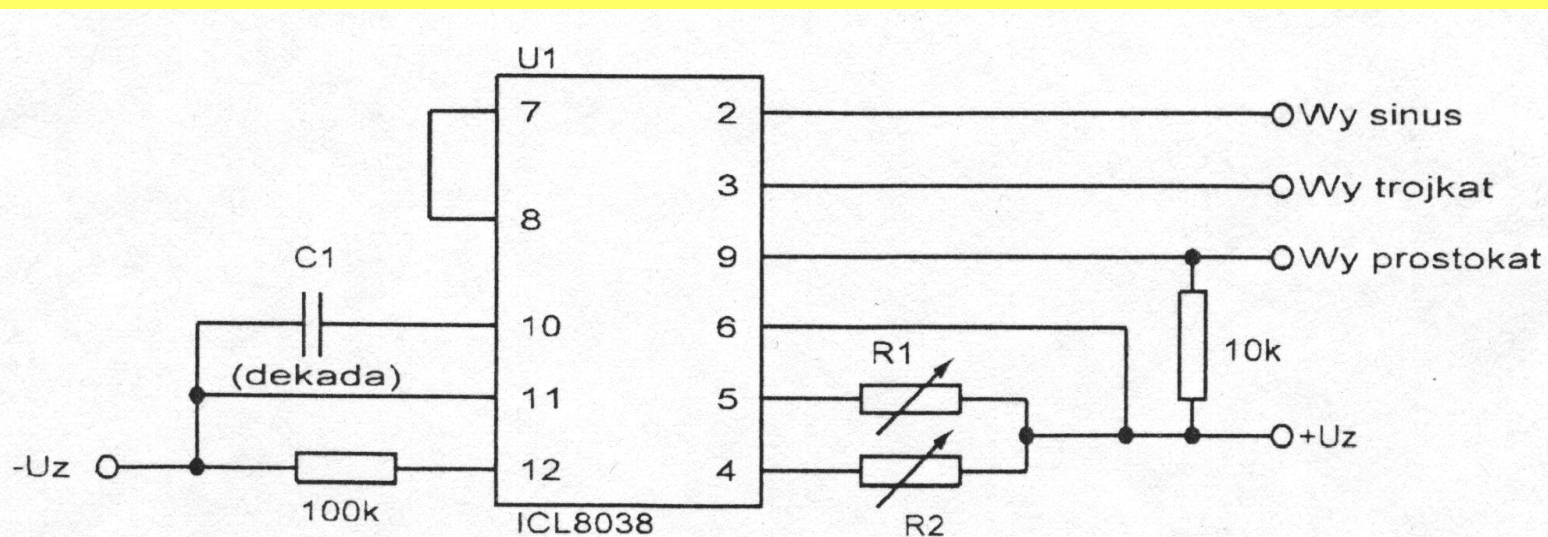
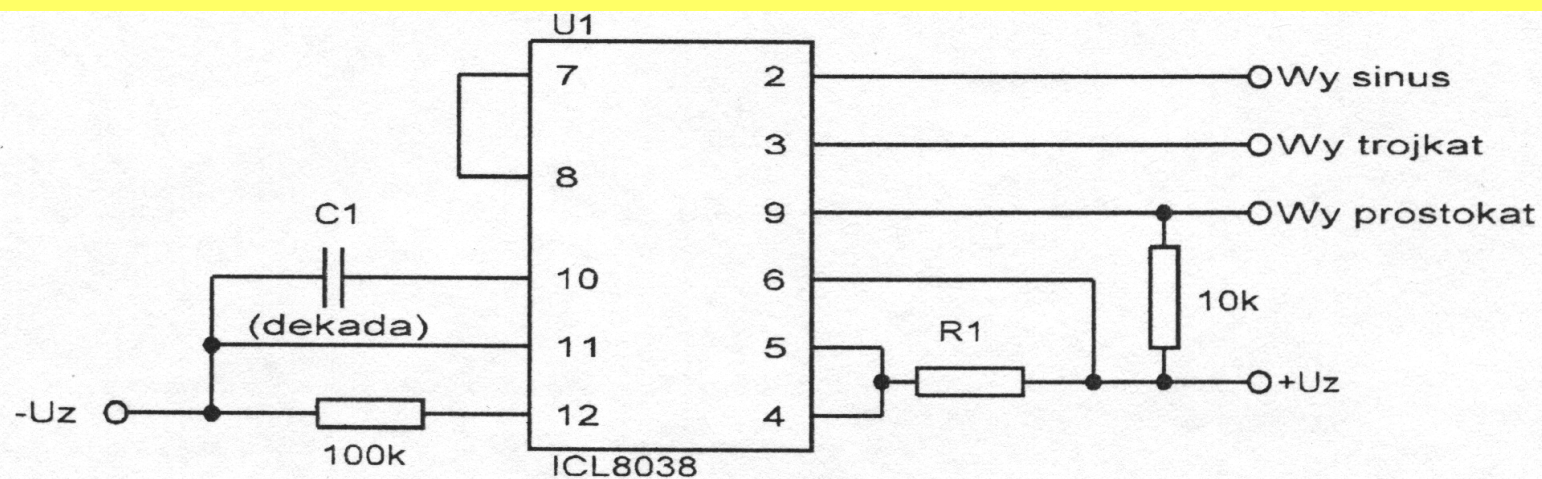


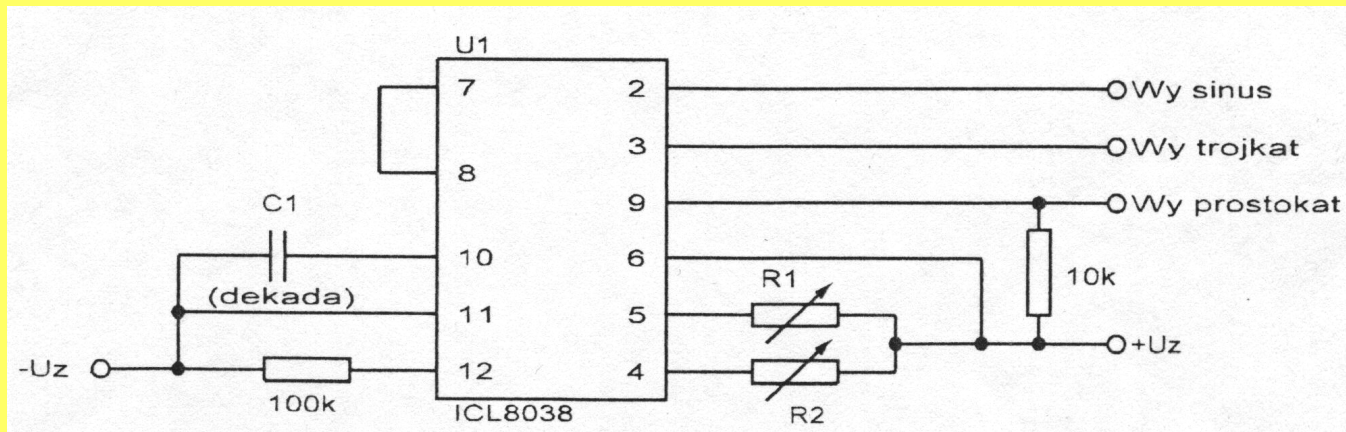
Rys.1. Schemat blokowy.



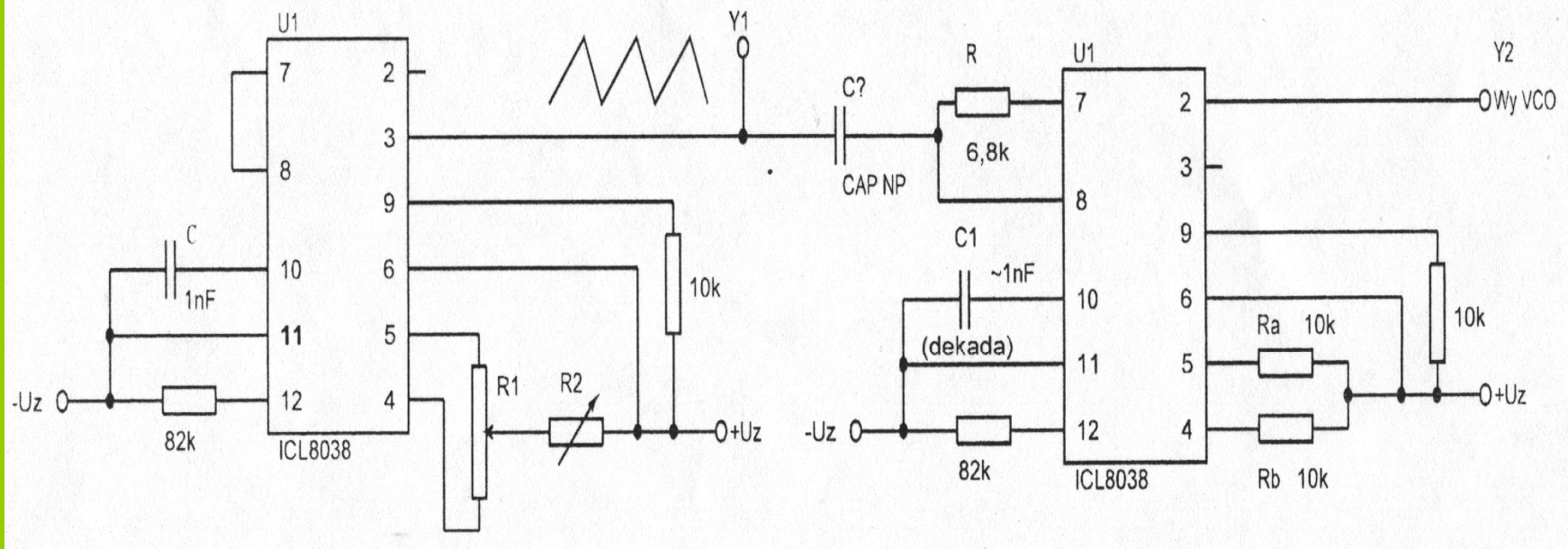
Rys.2. Schemat wyprowadzeń (kształt obudowy JD).

Przykłady rozwiązania generatorów w oparciu o układ ICL 8038

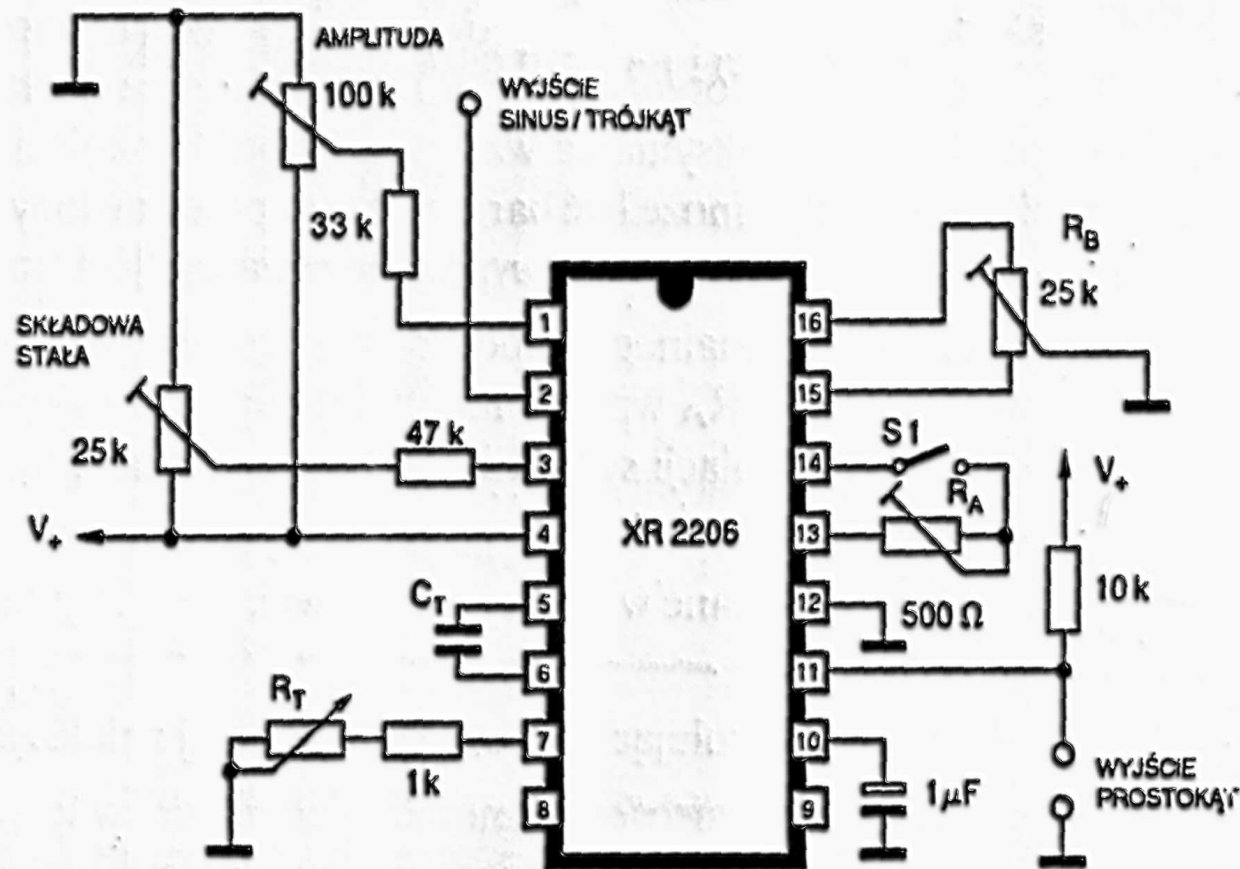




Generator z modulacją FM (VCO) z wykorzystaniem układu ICL 8038



Przykład zastosowania generatora w oparciu o układ XR 2206



Standardowy układ połączeń XR2206 do wytwarzania przebiegów sinusoidalnych, trójkątnych i prostokątnych