

## 4. MATERIAŁ NAUCZANIA

### 4.1 Generatory LC

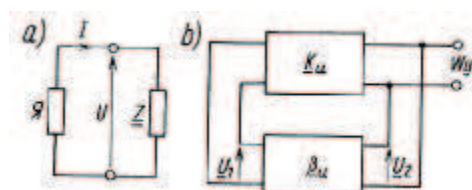
#### 4.1.1 Materiał nauczania

##### Wprowadzenie

Generatory są układami wytwarzającymi przebiegi elektryczne o określonym kształcie. Ze względu na kształt przebiegu możemy je podzielić na :

- generatory przebiegów sinusoidalnych
- generatory przebiegów niesinusoidalnych (np. prostokątnych, piłokształtnych).

Układy generatorów elektronicznych mogą wykorzystywać do podtrzymania drgań dodatnie sprzężenie zwrotne lub element o ujemnej rezystancji.



Rys. 1. Ilustracja działania generatorów elektronicznych: a) z ujemną rezystancją; b) ze sprzężeniem zwrotnym [1, s. 252]

Aby możliwa była generacja drgań, w układach sprzężeniowych muszą być równocześnie spełnione 2 warunki: warunek amplitudy  $K_u \cdot \beta_u = 1$  oraz warunek fazy  $\varphi_u + \psi_u = 0 + n \cdot 360^\circ$ , a w układach z ujemną rezystancją musi ona skompensować straty mocy w układzie.

W generatorach przebiegów sinusoidalnych częstotliwość drgań jest określona parametrami układu biernego pobudzanego do drgań, którym może być:

- obwód rezonansowy LC
- element wykonujący drgania mechaniczne np. element piezoelektryczny
- filtr pasmowy RC

Podstawowe parametry generatorów sinusoidalnych to:

- częstotliwość generowanego przebiegu
- zakres i charakter przestrajania generatora
- długo i krótkoterminowa stałość częstotliwości generowanego przebiegu
- współczynnik zawartości harmonicznych
- współczynnik zniekształceń całkowitych.

Generatory przebiegów prostokątnych realizowane są w układach przerzutników zbudowanych na tranzystorach, scalonych układach liniowych lub bramkach cyfrowych. Mogą generować pojedynczy impuls, przebieg okresowy lub tylko zmieniać stan wyjścia na przeciwny. Podstawowe parametry generatorów sygnałów prostokątnych dotyczą parametrów impulsu, częstotliwości wytwarzanego przebiegu oraz współczynnika wypełnienia.

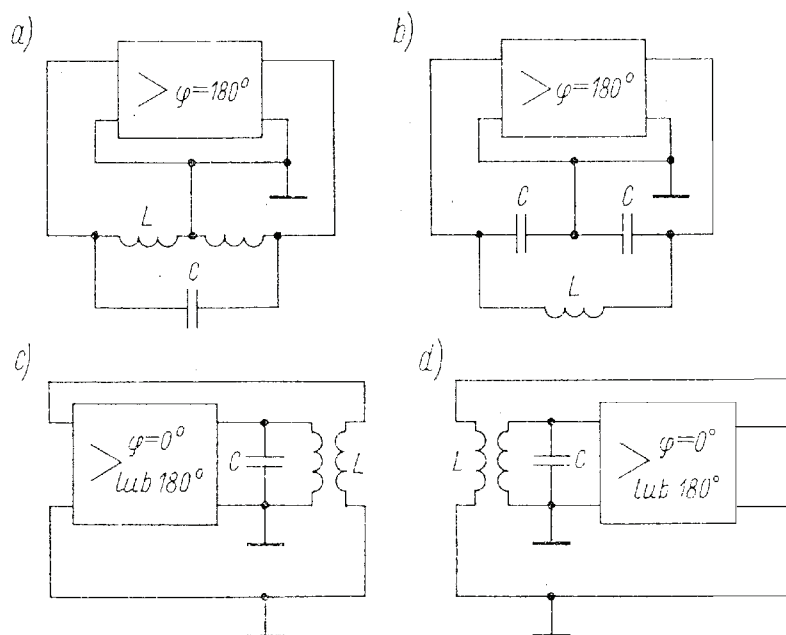
Generatory przebiegów piłokształtnych i trójkątnych wykorzystują ładowanie i rozładowanie kondensatora lub całkowanie stałego napięcia.

Obecnie można również wykorzystywać generatory uniwersalne - funkcyjne, które wytwarzają w jednym, rozbudowanym układzie przebiegi o różnych kształtach. Często umożliwiają również regulację częstotliwości i amplitudy, oraz pozwalają na zmianę parametrów generowanego przebiegu sygnałem zewnętrznym (wobulację).

Wymagania w stosunku do generatorów zależą od ich zastosowania; np. dla generatorów mocy najważniejsze są - sprawność  $\eta$  układu oraz moc wyjściowa  $P_{wy}$ , dla generatorów wytwarzających drgania o jednej częstotliwości – stałość częstotliwości  $\delta_f$ , a dla układów wytwarzających przebiegi w określonym zakresie częstotliwości – zakres przestrajania  $\alpha_f$  określony przez minimalną i maksymalną częstotliwość sygnału wyjściowego.

## Generatory LC

Do budowy generatorów sprzężeniowych LC, jako układy sprzężenia zwrotnego, stosuje się najczęściej czworniki typu  $\Pi$  złożone z elementów reaktancyjnych  $L$  i  $C$ . Biorąc pod uwagę konfigurację układu sprzężenia zwrotnego klasyfikuje się je ze względu na rodzaj zastosowanych elementów na układy: z dzieloną pojemnością, z dzieloną indukcyjnością, z transformatorem lub według nazwisk wynalazców, odpowiednio Colpittsa, Hartleya, Meissnera, itd. – Rys.2.



**Rys.2.** Schematy blokowe podstawowych układów generatorów LC: a) Hartleya, b) Colpittsa, c) Meissnera strojony w obwodzie wyjściowym, d) Meissnera strojony w obwodzie wejściowym [3,s.172]

W generatorach sprzężeniowych celowo wprowadzone jest dodatnie sprzężenie zwrotne dla uzyskania drgań elektrycznych przy wyróżnionej częstotliwości (co było zjawiskiem niekorzystnym we wzmacniaczach).

Wszystkie te generatory muszą spełniać warunki generacji drgań, tzn.

warunek amplitudy:

$$K_u \cdot \beta_u = 1$$

i warunek fazy:

$$\varphi_u + \psi_u = 0 + n \cdot 360^\circ;$$

gdzie:  $K_u$  – wzmacnienie wzmacniacza,

$\beta_u$  – wzmacnienie czwornika sprzężenia zwrotnego,

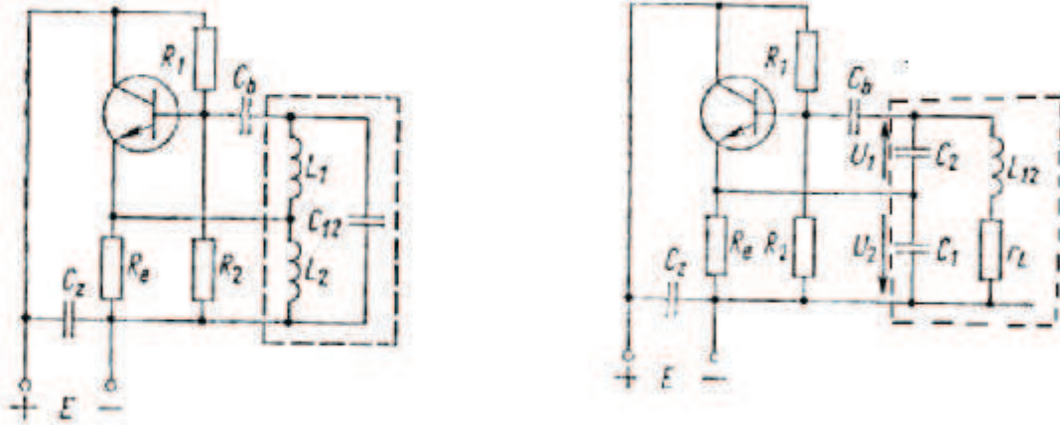
$\varphi_u, \psi_u$  – przesunięcia fazowe, odpowiednio wzmacniacza i czwornika sprzężenia zwrotnego.

Oznacza to, że element czynny układu ( tranzystor, układ scalony) musi zapewnić odpowiednie wzmacnienie, aby utrzymywać stałą amplitudę drgań, a łącznie z czwornikiem sprzężenia zwrotnego muszą utrzymywać wymagane przesunięcie fazowe

sygnału wyjściowego w stosunku do wejściowego. Prawidłowe działanie generatora wymaga automatycznej stabilizacji warunków jego pracy, co jest możliwe dzięki ujemnemu sprzężeniu zwrotnemu pełniącemu podobną rolę jak we wzmacniaczach. Przykładowe rozwiązania układowe z wydzielonym czwórnikiem sprzężenia zwrotnego przedstawia Rys.3.

a)

b)



Rys.3. Schematy układów generatorów LC: a) Hartleya; b) Colpittsa [ 4,s.33]

Wartości pojemności i indukcyjności obwodów sprzężenia określają częstotliwość drgań generatorów:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{L_Z C_Z}} [\text{Hz}]$$

dla generatora Hartleya:  $L_Z = L_1 + L_2$ ;  $C_Z = C_{12}$ ,

dla generatora Colpittsa:  $C_Z = C_1 \cdot C_2 / (C_1 + C_2)$ ;  $L_Z = L_{12}$ .

Prawidłowe działanie generatora wymaga utrzymywania stałego punktu pracy tranzystora, co jest możliwe dzięki elementom polaryzacyjnym i ujemnemu sprzężeniu zwrotnemu, dodatkowo stosuje się dławiki lub rezystory odseparowujące obwód zasilania od obwodu sygnału generowanego.

W układach rzeczywistych częstotliwość drgań różni się od obliczonej na podstawie powyższego wzoru głównie z następujących powodów:

- wpływu temperatury na parametry L i C oraz na wzmocnienie tranzystora,
- istnienia reaktancji pasożytniczych elementów wzmacniających i elementów obwodu rezonansowego,
- starzenia się elementów,
- zmiany wartości napięć zasilających,
- zmiany energii pobieranej z generatora (zmiany obciążenia),
- wpływów mechanicznych, atmosferycznych, szumów i zakłóceń zewnętrznych.

Wrażliwość generatorów na czynniki destabilizujące zależy od dobroci obwodu rezonansowego.

Schematy ideowe i podstawowe parametry wybranych generatorów zrealizowanych na tranzystorach bipolarnych i unipolarnych przedstawia Rys.4.

Typ generatora	Wersja z tranzystorem bipolarnym w układzie WYE	Wersja z tranzystorem unipolarnym w układzie WIS	Częstotliwość drgań
Meissnera			$f = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{LC}}$
Colpittsa			$f = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}}$
Hartleja			$f = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{L_2 C}}$ $L_2 = L_1 + L_2 + 2M$
Gourietta - Clappa			$f = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}$
Pierce'a			$f = f_{r\text{ów}}$ $f = f_{r\text{ów}}$

Rys.4. Podstawowe generatory LC drgań sinusoidalnych [ 1 ,s.255]

### 4.1.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczenia.

1. Jakie są warunki wzbudzenia drgań w sprzężeniowych generatorach LC?
2. Jaka rolę w układzie generatorów LC spełniają: a) element wzmacniający, b) obwód rezonansowy, c) dodatnie sprzężenie zwrotne, d) źródło zasilania ?
3. Jakie są podstawowe parametry generatorów LC?
4. Jakie czynniki wpływają na wartość częstotliwości generowanego przebiegu?
5. Czym różni się generator Hartleya od generatora Colpitsa i od generatora Meissnera?
6. W jaki sposób stabilizowana jest amplituda drgań w układach generatorów LC?
7. Jakie są podstawowe parametry generatorów LC dużej mocy i czym różnią się ich schematy od schematów generatorów małej mocy?
8. Gdzie są stosowane generatory małej mocy, a jakie zastosowania mają generatory dużej mocy?

### 4.1.3. Ćwiczenia

Badanie generatorów LC obejmuje najczęściej pomiary :

- punktu pracy tranzystora pracującego jako element wzmacniający,
- napięcia wyjściowego w funkcji współczynnika sprzężenia zwrotnego i obciążenia,
- wyznaczenie zakresu przestrajania,
- stałości częstotliwości,
- stałości amplitudy,
- zniekształceń nieliniowych.

#### Ćwiczenie 1

Pomiar punktu pracy tranzystora w generatorze LC.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uwaga: Przed włączeniem zasilania poproś nauczyciela o sprawdzenie układu pomiarowego!

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z zasadą działania oraz rodzajami i parametrami generatorów LC;
- 2) zaproponować układ pomiarowy i po sprawdzeniu przez nauczyciela połączyć go;
- 3) wyznaczyć punkt pracy tranzystora w badanym układzie pomiarowym mierząc napięcia na zaciskach tranzystora  $U_B$ ,  $U_C$  i  $U_E$  oraz prądy  $I_B$  i  $I_C$ . Pomiaru napięć dokonuje się mierząc napięcie pomiędzy danym zaciskiem tranzystora a masą.

Pomiaru prądów dokonuje się mierząc prądy w obwodach bazy ( $I_B$ ) i kolektora ( $I_C$ ).

Pomiar napięć w punkcie pracy:

- a) włączyć woltomierze napięcia stałego pomiędzy bazę tranzystora a masę ( $U_B$ ), kolektor a masę ( $U_C$ ) i emiter a masę ( $U_E$ ) układu;
- b) dokonać pomiarów i umieścić wyniki w tabeli pomiarowej, napięcie  $U_{CE}$  obliczyć korzystając ze wzoru  $U_{CE}=U_C-U_E$ ;

Pomiar prądów w punkcie pracy:

- c) włączyć mikroamperomierz w obwód bazy oraz miliamperomierz pomiędzy kolektor tranzystora a rezystor kolektorowy;
- d) dokonać pomiarów i umieścić wyniki w tabeli pomiarowej;

**Tabela** Wyniki pomiarów punktu pracy tranzystora

	$U_B$ [V]	$U_C$ [V]	$U_E$ [V]	$U_{CE}$ [V]	$I_B$ [ $\mu$ A]	$I_C$ [mA]
RP1						
RP2						
RP3						

- 4) powtórzyć pomiary dla dwóch innych nastaw potencjometru P1 w obwodzie bazy (regulacja prądu bazy),
- 5) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 6) sformułować na podstawie wyników pomiarów wnioski dotyczące punktu pracy tranzystora.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- makiety (trenażery) z układami generatorów LC do pomiaru ich parametrów i wyznaczania charakterystyk,
- sprzęt pomiarowy: elektroniczne mierniki uniwersalne, zasilacze laboratoryjne stabilizowane, oscyloskop z sondami pomiarowymi,
- katalogi elementów i układów elektronicznych,
- literatura z rozdziału 6.

## Ćwiczenie 2

Pomiar zakresu przestrajania generatorów LC.

Sposób wykonania ćwiczenia

Pomiar polega na sprawdzeniu wpływu zmian pojemności C w obwodzie rezonansowym LC generatorów Colpittsa, Hartley'a, Clappa na częstotliwość generowanego przebiegu.

Uwaga: Przed włączeniem zasilania poproś nauczyciela o sprawdzenie układu pomiarowego!

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z zasadą działania oraz rodzajami i parametrami generatorów LC;
- 2) zaproponować i po sprawdzeniu przez nauczyciela zmontować układ pomiarowy;
- 3) przeprowadzić regulację pojemności obwodu sprzężenia C od wartości minimalnej do maksymalnej obserwując przebiegi na oscyloskopie;
- 4) zmierzyć częstotłociomierzem lub określić na podstawie przebiegów z oscyloskopu wartość częstotliwości sygnału wyjściowego dla wartości minimalnej  $C_0$ , wynik zapisać w tabeli pomiarowej;
- 5) zmieniać pojemność kondensatora C od wartości minimalnej do maksymalnej wykonując co najmniej 10 pomiarów częstotliwości, wyniki zapisać w tabeli pomiarowej;

**Tabela** Pomiar zakresu przestrajania generatora LC

C [ $\mu$ F]	f [Hz]

- 6) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 7) sformułować wnioski na podstawie wyników pomiarów.

- Wyposażenie stanowiska pracy:
- makiety (trenażery) z układami generatorów LC do pomiaru ich parametrów i wyznaczania charakterystyk,
  - sprzęt pomiarowy: elektroniczne mierniki uniwersalne, częstotliciomierz, zasilacze laboratoryjne stabilizowane, oscyloskop z sondami pomiarowymi,
  - katalogi elementów i układów elektronicznych,
  - literatura z rozdziału 6.

### Ćwiczenie 3

Badanie stałości amplitudy sygnału wyjściowego w funkcji częstotliwości  $f$  w generatorze LC.

Sposób wykonania ćwiczenia

Pomiar polega na sprawdzeniu wpływu zmian częstotliwości wybranych generatorów na amplitudę napięcia wyjściowego

Uwaga: Przed włączeniem zasilania poproś nauczyciela o sprawdzenie układu pomiarowego!

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z zasadą działania oraz rodzajami i parametrami generatorów LC ;
- 2) zaproponować i po akceptacji nauczyciela, zmontować układ pomiarowy włączając do zacisków wyjściowych układu częstotliciomierz i woltomierz napięcia przemiennego;
- 3) zmierzyć wartość amplitudy sygnału wyjściowego zmieniając wartość częstotliwości generatora w pełnym zakresie przestrajania (od wartości minimalnej do maksymalnej), wyniki zanotować w tabeli pomiarowej,
- 4) wykonać co najmniej 10 pomiarów notując wyniki w tabeli pomiarowej,

**Tabela** Badanie stałości amplitudy sygnału generatora w funkcji częstotliwości w generatorze LC

$f$ [kHz]	$U_{wy}$ [V]

- 5) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 6) sformułować wnioski na podstawie uzyskanych wyników pomiarów.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- makiety (trenażery) z układami generatorów LC do pomiaru ich parametrów i wyznaczania charakterystyk,
- sprzęt pomiarowy: elektroniczne mierniki uniwersalne, częstotliciomierz, zasilacze laboratoryjne stabilizowane, oscyloskop z sondami pomiarowymi,
- katalogi elementów i układów elektronicznych,
- literatura z rozdziału 6.

### Ćwiczenie 4

Badanie wpływu napięcia zasilającego na stałość amplitudy sygnału wyjściowego w generatorze LC.

Sposób wykonania ćwiczenia

Pomiar polega na sprawdzeniu wpływu zmian napięcia zasilającego  $U_Z$  od wartości 0 do wartości maksymalnej np. 15V na wartość napięcia wyjściowego  $U_{WY}$  dla wybranych generatorów

Uwaga: Przed włączeniem zasilania poproś nauczyciela o sprawdzenie układu pomiarowego!

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z zasadą działania oraz rodzajami i parametrami generatorów LC ,
- 2) zaproponować, i po akceptacji nauczyciela, zmontować układ pomiarowy włączając do zacisków wyjściowych układu częstotliciomierz i woltomierz napięcia przemiennego, a do zacisków zasilacza woltomierz napięcia stałego,
- 3) dokonać regulacji napięcia zasilającego  $U_Z$  od 0 do 15 V zachowując stałe wartości częstotliwości oraz obciążenia, przy każdej zmianie notując wartość amplitudy sygnału wyjściowego w tabeli pomiarowej,

**Tabela** Badanie zależności amplitudy sygnału wyjściowego z generatora LC od napięcia zasilania

$U_Z$ [V]	$U_{WY}$ [V]

- 4) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 5) sformułować wnioski na podstawie uzyskanych wyników pomiarów.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- makiety (trenażery) z układami generatorów LC do pomiaru ich parametrów i wyznaczania charakterystyk,
- sprzęt pomiarowy: elektroniczne mierniki uniwersalne, częstotliciomierz, zasilacze laboratoryjne stabilizowane, oscyloskop z sondami pomiarowymi,
- katalogi elementów i układów elektronicznych,
- literatura z rozdziału 6.

## Ćwiczenie 5

Zaprojektowanie, wykonanie i uruchomienie generatora przebiegów sinusoidalnych w układzie Colpittsa.

Sposób wykonania ćwiczenia:

Ćwiczenie polega na doborze elementów do generatora m.cz. o określonej strukturze z wykorzystaniem tranzystora małej mocy (np. BC 107, BC 108, BC 109, BC 147, BC 237, BC 238, BC 239), zmontowaniu układu na płytce uniwersalnej, uruchomieniu oraz pomiarze parametrów uzyskanego przebiegu.

Uwaga: Przed włączeniem zasilania poproś nauczyciela o sprawdzenie układu pomiarowego!

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z zasadą działania oraz rodzajami i parametrami generatorów LC ;
- 2) określić pożądaną częstotliwość generatora:
- 3) dobrać tranzystor małej mocy do układu generatora, odczytać jego parametry (moc, wzmacnienie, napięcie przebicia C-E, częstotliwość graniczna) z katalogu elementów elektronicznych;



- 4) dobrać elementy obwodu czwórnika sprzężenia zwrotnego ( $L_{12}$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ ) oraz pozostałe elementy wzmacniacza: rezystory ustalające punkt pracy tranzystora i rezystor sprzężenia zwrotnego, ustalić wartość napięcia zasilającego ;
- 5) przeprowadzić symulację działania zaprojektowanego układu i określić parametry przebiegu (częstotliwość, amplituda sygnału), w razie potrzeby skorygować wartości elementów;
- 6) zmontować zaprojektowany układ na płytce uniwersalnej i po konsultacji z nauczycielem podłączyć zasilanie oraz uruchomić układ;
- 7) dołączyć oscyloskop do wyjścia generatora oraz zaobserwować uzyskany przebieg;
- 8) odczytać okres i amplitudę oraz obliczyć częstotliwość uzyskanego przebiegu sinusoidalnego;
- 9) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 10) sformułować wnioski na podstawie uzyskanych wyników pomiarów.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- elementy elektroniczne: tranzystory małej mocy, rezystory, kondensatory, cewki;
- materiały elektroniczne: płytka uniwersalna, przewody, cyna, lutownica;
- sprzęt pomiarowy: elektroniczne mierniki uniwersalne, częstotliczomierz, zasilacze laboratoryjne stabilizowane, oscyloskop z sondami pomiarowymi
- katalogi elementów i układów elektronicznych
- literatura z rozdziału 6.

#### 4.1.4. Sprawdzian postępów

<b>Czy potrafisz:</b>	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) omówić zasadę działania generatorów sprzężeniowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) podać warunki generacji drgań w generatorach LC?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) zidentyfikować generator na podstawie schematu ideowego ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) scharakteryzować rolę poszczególnych elementów w układzie generatora LC?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) określić wpływ poszczególnych elementów generatora LC na jego częstotliwość?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) zmierzyć parametry generatorów LC?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) przeanalizować działanie generatorów LC na podstawie wyników pomiarów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) dobrać elementy do wskazanej struktury układu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.2 Generatory RC

### 4.2.1 Materiał nauczania

Generatory RC stosuje się często w zakresie małych i średnich częstotliwości (10Hz-100kHz), ponieważ w tym zakresie trudno zrealizować generatory LC o wymaganych parametrach. Dodatkową zaletą generatorów RC jest szerszy zakres przestrajania niż w generatorach LC.

Generator RC zbudowany jest ze wzmacniacza lub innego elementu aktywnego połączonego z czwornikiem selektywnym sprzężenia zwrotnego – rys.1b. Jako czwornik sprzężenia może zostać użyty łańcuchowy układ RC i CR, układ typu T lub TT oraz mostki np. Wiena. Pierwsze mają właściwości przesuwników fazowych, a pozostałe układów selektywnych. Przykładowe układy, które mogą być zastosowane jako układy sprzężenia zwrotnego, ich charakterystyki i parametry przedstawia Rys. 5.

Nazwa układu	Schemat układu	Charakterystyki częstotliwościowe	Wzór na częstotliwość quasi-rezonansu $f_0$	Moduł transmitancji $ \alpha $
Układ łańcuchowy RC			$\frac{\sqrt{6}}{RC}$	$\frac{1}{29}$
Układ łańcuchowy CR			$\frac{1}{\sqrt{6}RC}$	$\frac{1}{29}$
Układ podwójne T			$\frac{1}{RC}$	0
Układ półmostka Wiena			$\frac{1}{RC}$	$\frac{1}{3}$

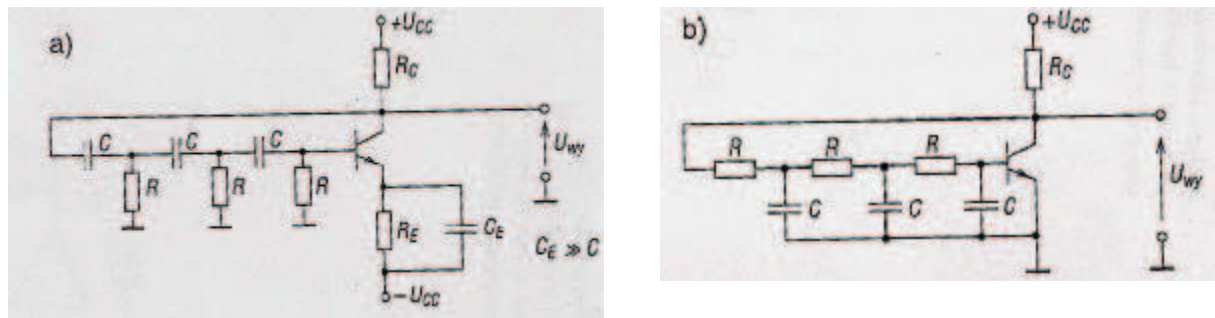
Rys.5. Schematy układów sprzęgających stosowane w generatorach RC [5 ,s. 90 ]

Zasady połączeń elementu wzmacniającego z czwornikiem muszą uwzględniać warunki generacji drgań tzn.:

- czworniki łańcuchowe RC i CR (dające przesunięcie  $+\pi$  lub  $-\pi$ ) muszą współpracować ze wzmacniaczami o przesunięciu  $-\pi$
- czworniki selektywne o przesunięciu fazowym 0 muszą współpracować ze wzmacniaczami o przesunięciu 0 lub  $2\pi$  włączanymi, w zależności od tłumienia dla

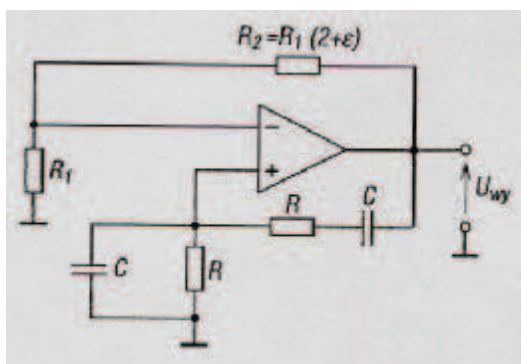
częstotliwości quasi-rezonansowej (minimalne lub maksymalne), odpowiednio w obwodzie dodatniego lub ujemnego sprzężenia zwrotnego.

Generatory z przesuwnikami fazy charakteryzują się małą dobrocią układów sprzężeniowych i niewielkim nachyleniem charakterystyki częstotliwościowej co powoduje małą stałość częstotliwości, dużą zawartość harmonicznych oraz utrudnia strojenie. Generatory z układami selektywnymi mają dobrą stałość częstotliwości i małe zniekształcenia nieliniowe, ale często wymagają dodatkowych elementów w celu stabilizacji amplitudy sygnału wyjściowego. Przykładowe generatory z przesuwnikami fazy: górnoprzepustowym – CR i dolnoprzepustowym – RC przedstawia Rys.6.

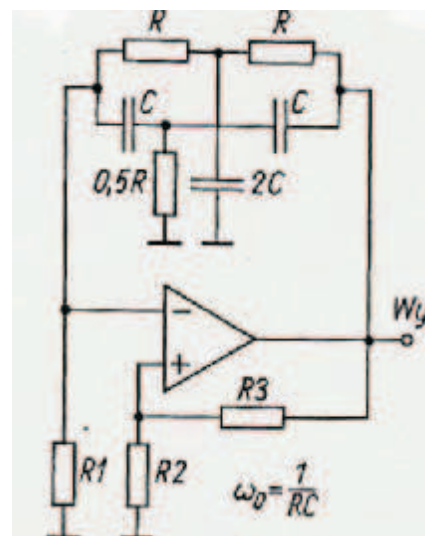


**Rys.6.** Schematy generatorów RC przesuwnikami fazowymi: a) CR; b) RC [ 4,s.177]

Trudniejsze do realizacji i strojenia są generatory z mostkiem Wiena – rys.7 oraz z czwórnikami typu T – rys.8.



**Rys.7.** Schemat generatora z mostkiem Wiena[3,s.178]



**Rys.8.** Schemat generatora z czwórnikiem TT [1,s.265]

Generatory z mostkiem Wiena stosuje się najczęściej w zakresie częstotliwości akustycznych ze względu na dobrą stałość częstotliwości i małe zniekształcenia nieliniowe. Aby zapewnić bardzo duże nachylenie charakterystyki fazowej mostek powinien być w małym stopniu nie zrównoważony tzn. wzmacnienie realizowane przez ujemne sprzężenie zwrotne powinno być niewiele większe od 2 ( $0 < \epsilon < 1$ ). Częstotliwość generatora może być regulowana w sposób płynny przez zmianę pojemności C lub skokowo – przez zmianę

rezystancji  $R$ . Do stabilizacji amplitudy stosuje się elementy nieliniowe np. żarówki, termistory lub tranzystory unipolarne włączane zamiast rezystorów  $R_1$  lub  $R_2$ .

Generatory z czwórnikami typu TT przy przestrajaniu wymagają jednoczesnej zmiany parametrów trzech elementów ( $R$  lub  $C$ ). Czwórnik TT włącza się w obwód ujemnego sprzężenia zwrotnego, a w celu stabilizacji amplitudy drgań stosuje się element nieliniowy – żarówkę zamiast rezystora  $0,5R$  (Rys. 8).

#### 4.2.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie są warunki wzbudzenia drgań w sprzężeniowych generatorach RC?
2. Jaka rolę w układzie generatorów RC spełniają: a) element wzmacniający, b) przesuwnik fazowy, c) układ selektywny, d) źródło zasilania e) dodatnie sprzężenie zwrotne?
3. Jakie są podstawowe parametry generatorów RC?
4. Jakie czynniki wpływają na wartość częstotliwości generowanego przebiegu?
5. Jakie czynniki wpływają na stałość częstotliwości generowanego przebiegu?
6. Czym różni się generator z przesuwnikiem RC od generatora z przesuwnikiem CR ?
7. W jaki sposób stabilizowana jest amplituda drgań w układach generatorów LC ?
8. Jakie są właściwości generatorów LC i RC?

#### 4.2.3. Ćwiczenia

Badanie generatorów RC obejmuje najczęściej pomiary:

- stałości częstotliwości,
- stałości amplitudy,
- wyznaczenie zakresu przestrajania,
- wpływu zmian napięcia zasilającego na stałość amplitudy generowanego przebiegu,
- badanie czwórnika selektywnego,
- zniekształceń nieliniowych.

##### Ćwiczenie 1

Badanie zakresu przestrajania generatora RC.

Sposób wykonania ćwiczenia

Pomiar polega na sprawdzeniu wpływu zmian pojemności –  $C$  i rezystancji –  $R$  w obwodzie sprzężenia na częstotliwość generowanego przebiegu oraz określeniu minimalnej i maksymalnej częstotliwości sygnału z generatora.

Uwaga: Przed włączeniem zasilania poproś nauczyciela o sprawdzenie układu pomiarowego!

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z zasadą działania oraz rodzajami i parametrami generatorów RC,
- 2) zaproponować i po akceptacji nauczyciela, zmontować układ pomiarowy, włączając do zacisków wyjściowych generatora częstościomierz,
- 3) przeprowadzić regulację pojemności i rezystancji obwodu sprzężenia, od wartości minimalnej do maksymalnej, obserwując przebiegi w układzie pomiarowym na oscyloskopie,
- 4) ustawić wartości  $R$  i  $C$  tak, aby uzyskać minimalną częstotliwość generowanego

- przebiegu (na podstawie obserwacji z punktu 3);
- 5) dokonać odczytu częstotliwości – wynik zapisać w tabeli pomiarowej;
  - 6) uzyskiwać przebieg o coraz większej częstotliwości, aż do wartości maksymalnej, zmieniając wartości nastaw R i C; dla każdej nastawy zapisywać wartości R i C oraz odczytaną częstotliwość w tabeli pomiarowej;

**Tabela** Pomiar zakresu przestrajania generatora RC

R [kΩ]	C [nF]	f [Hz]

- 6) wykonać co najmniej 15 pomiarów;
- 7) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia;
- 8) sformułować wnioski na podstawie uzyskanych wyników pomiarów.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- makiety (trenażery) z układami generatorów RC do pomiaru ich parametrów i wyznaczania charakterystyk,
- sprzęt pomiarowy: elektroniczne mierniki uniwersalne, częstotściomierz, zasilacze laboratoryjne stabilizowane, oscyloskop z sondami pomiarowymi,
- katalogi elementów i układów elektronicznych,
- literatura z rozdziału 6.

## Ćwiczenie 2

Badanie wpływu napięcia zasilającego na stałość amplitudy napięcia wyjściowego w generatorach RC.

Sposób wykonania ćwiczenia

Pomiar polega na sprawdzeniu wpływu zmian wartości napięcia zasilającego  $U_z$  na wartość amplitudy napięcia wyjściowego  $U_{wy}$  dla wybranego generatora.

Uwaga: Przed włączeniem zasilania poproś nauczyciela o sprawdzenie układu pomiarowego!

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z zasadą działania oraz rodzajami i parametrami generatorów RC ,
- 2) zaproponować i po akceptacji nauczyciela, zmontować układ pomiarowy włączając do zacisków wyjściowych układu częstotściomierz i woltmierz napięcia przemiennego, a do zacisków zasilacza woltmierz napięcia stałego,
- 3) dokonać regulacji napięcia zasilającego  $U_z$  od 0 do 15 V, zachowując stałe wartości częstotliwości oraz obciążenia, przy każdej zmianie notując wartość amplitudy sygnału wyjściowego w tabeli pomiarowej,

**Tabela** Pomiar zależności amplitudy sygnału wyjściowego z generatora RC od napięcia zasilania

$U_z$ [V]	$U_{wy}$ [V]

- 4) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia
- 5) sformułować wnioski na podstawie uzyskanych wyników pomiarów

Wyposażenie stanowiska pracy:

- makiety (trenażery) z układami RC do pomiaru ich parametrów i wyznaczania charakterystyk,
- sprzęt pomiarowy: elektroniczne mierniki uniwersalne, częstotliciomierz, zasilacze laboratoryjne stabilizowane, oscyloskop z sondami pomiarowymi,
- katalogi elementów i układów elektronicznych,
- literatura z rozdziału 6.

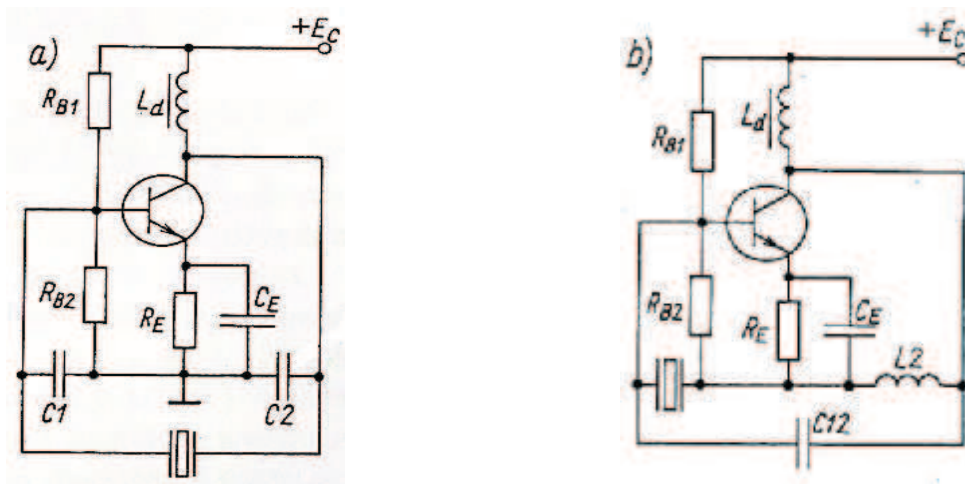
#### 4.2.4. Sprawdzian postępów

<b>Czy potrafisz:</b>	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) omówić zasady budowy generatorów RC ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) rozpoznać rodzaj członu sprzężenia zwrotnego i podać jego właściwości ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) podać warunki generacji drgań w generatorach RC ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) scharakteryzować rolę poszczególnych elementów w układzie generatora RC ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) omówić sposoby stabilizacji amplitudy w generatorach RC ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) określić wpływ poszczególnych elementów generatora RC na jego częstotliwość?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) zmierzyć parametry generatorów RC?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) przeanalizować działanie generatorów RC na podstawie wyników pomiarów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.3 Generatory piezoelektryczne

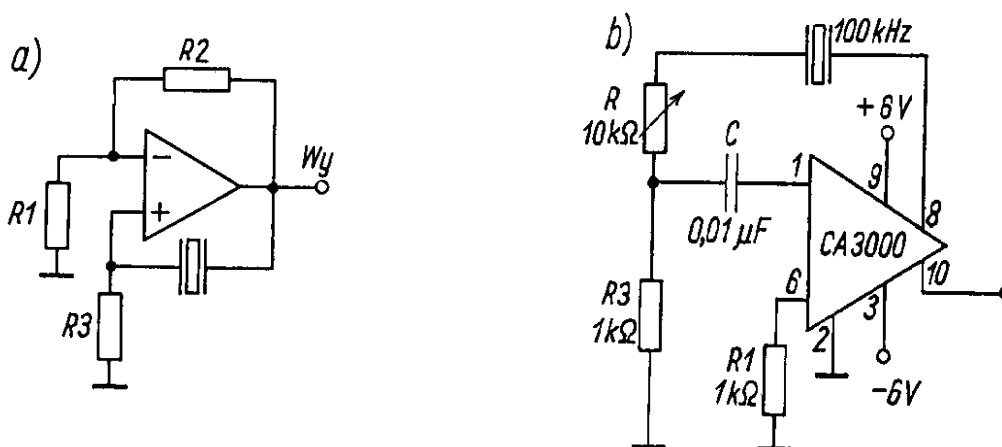
### 4.3.1 Materiał nauczania

Generatory kwarcowe charakteryzują się dużą stałością częstotliwości co wynika ze stromości charakterystyki fazowej elementu piezoelektrycznego. W zakresie  $f_s < f < f_r$ , pomiędzy częstotliwościami rezonansu szeregowego i równoległego, rezonator pracuje jako element reaktancyjno-indukcyjny, więc może być zastosowany zamiast indukcyjności  $L_{12}$  w generatorze Colpittsa – Rys.9a (tak zmodyfikowany generator Colpittsa nazywamy generatorem Pierce'a) lub zamiast cewki  $L_1$  w obwodzie wejściowym w generatorze Hartleya – Rys.9b.



Rys.9. Schematy generatorów kwarcowych: a) z dzieloną pojemnością, b) z dzieloną indukcyjnością [1,s.260]

W generatorach, którym stawiane są wysokie wymagania wykorzystuje się pracę rezonatora w pobliżu częstotliwości rezonansu szeregowego włączając go w obwód dodatniego sprzężenia zwrotnego wzmacniacza. Układy takie stosowane są np. zegarach kwarcowych, wzorcach częstotliwości, układach taktujących i impulsowych.



Rys.10. Generator kwarcowy ze wzmacniaczem operacyjnym: a) schemat funkcjonalny, b) schemat układu praktycznego [1,s.261]

### 4.3.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie znaczenie mają elementy użyte w schemacie zastępczym rezonatora kwarcowego i jaki jest ich wpływ na wartość częstotliwości rezonansowej kwarcu?
2. Dlaczego rezonatory kwarcowe są stosowane do stabilizacji częstotliwości w generatorach?
3. Jakie są podobieństwa i różnice pomiędzy układami generatorów LC a układami generatorów kwarcowych?
4. Jaka jest stabilność częstotliwości generatorów kwarcowych?
5. Gdzie są stosowane generatory z rezonatorami kwarcowymi?

### 4.3.3 Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Badanie zakresu przestrajania generatora kwarcowego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Pomiar polega na sprawdzeniu wpływu zmian rezystancji połączonej szeregowo z rezonatorem kwarcowym na częstotliwość generowanego przebiegu oraz określeniu minimalnej i maksymalnej częstotliwości sygnału z generatora.

Uwaga: Przed włączeniem zasilania poproś nauczyciela o sprawdzenie układu pomiarowego!

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z zasadą działania oraz rodzajami i parametrami generatorów kwarcowych;
- 2) zaproponować, i po akceptacji nauczyciela, zmontować układ pomiarowy włączając do zacisków wyjściowych generatora częstotliciomierz;
- 3) przeprowadzić regulację rezystancji R od wartości minimalnej do maksymalnej dołączonej szeregowo do rezonatora w układzie pomiarowym;
- 4) dokonać odczytu częstotliwości dla każdej nastawy potencjometru R– wyniki zapisać w tabeli pomiarowej;

**Tabela** Pomiar zakresu przestrajania generatora kwarcowego

R [kΩ]	f [Hz]

- 5) wykonać co najmniej 10 pomiarów;
- 6) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia;
- 7) sformułować wnioski na podstawie uzyskanych wyników pomiarów.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- makiety (trenażery) z układami generatorów kwarcowych do pomiaru ich parametrów i wyznaczania charakterystyk,
- sprzęt pomiarowy: elektroniczne mierniki uniwersalne, częstotliciomierz, zasilacze laboratoryjne stabilizowane, oscyloskop z sondami pomiarowymi,



- katalogi elementów i układów elektronicznych,
- literatura z rozdziału 6.

## Ćwiczenie 2

Badanie stabilności częstotliwości generatora kwarcowego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Pomiar polega na sprawdzeniu wpływu zmian napięcia zasilania rezonatorem kwarcowym na częstotliwość generowanego przebiegu

Uwaga: Przed włączeniem zasilania poproś nauczyciela o sprawdzenie układu pomiarowego!

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z zasadą działania oraz rodzajami i parametrami generatorów kwarcowych;
- 2) zaproponować, i po akceptacji nauczyciela, zmontować układ pomiarowy włączając do zacisków wyjściowych generatora częstościomierz i woltomierz napięcia przemiennego z sondą w.cz.;
- 3) obserwować i zapisywać wskazania częstościomierza i woltomierza dla każdej nastawy zasilacza, zmieniając wartość napięcia zasilającego;

**Tabela** Pomiar zakresu przestrajania generatora kwarcowego

$U_z[V]$	$U_{wy}[V]$	$f [Hz]$

- 4) wykonać co najmniej 10 pomiarów;
- 5) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia;
- 6) sformułować wnioski na podstawie uzyskanych wyników pomiarów.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- makiety (trenażery) z układami generatorów kwarcowych do pomiaru ich parametrów i wyznaczania charakterystyk,
- sprzęt pomiarowy: elektroniczne mierniki uniwersalne, częstościomierz, zasilacze laboratoryjne stabilizowane, oscyloskop z sondami pomiarowymi,
- katalogi elementów i układów elektronicznych,
- literatura z rozdziału 6.

#### 4.3.4. Sprawdzian postępów

<b>Czy potrafisz:</b>	Tak	Nie
1) omówić schemat zastępczy rezonatora kwarcowego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) scharakteryzować właściwości kwarcu dla częstotliwości rezonansu szeregowego i równoległego ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) podać sposób i zakres przestrajanania generatora kwarcowego ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) podać struktury układów generatorów kwarcowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) określić stałość częstotliwości generatorów piezoelektrycznych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) zinterpretować wyniki pomiarów ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.4. Generatory przebiegów niesinusoidalnych

### 4.4.1 Materiał nauczania

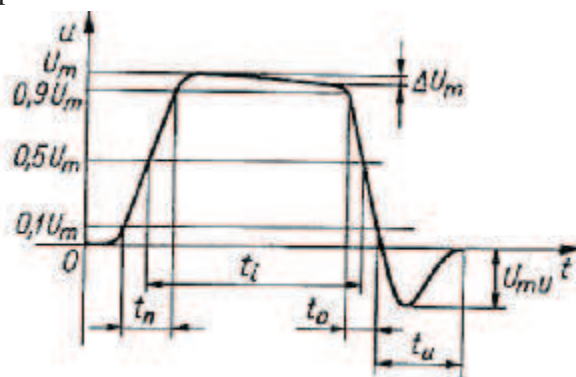
#### Generatory przebiegów prostokątnych

Przerzutniki są to układy elektroniczne, w których podczas normalnej pracy przynajmniej jeden element jest przełączany. W układach tych przebiegi napięcia i prądu mają charakter impulsowy, zwykle jednak przebiegi napięcia wyjściowego mają kształt zbliżony do prostokąta. Impulsy prostokątne charakteryzują się następującymi parametrami:

- amplitudą  $U_m$ ,
- czasem trwania  $t_i$ ,
- czasem narastania  $t_n$ ,
- czasem opadania  $t_o$ ,
- zwisem  $\Delta U_m$ ,
- czasem przerzutu  $t_u$ ,
- amplitudą przerzutu  $U_{mU}$ .

Przebiegi okresowe charakteryzuje dodatkowo:

- częstotliwość  $f$  lub okres powtarzania  $T$ ,
- współczynnik wypełnienia .



Rys. 11. Parametry impulsów prostokątnych [1,s.265]

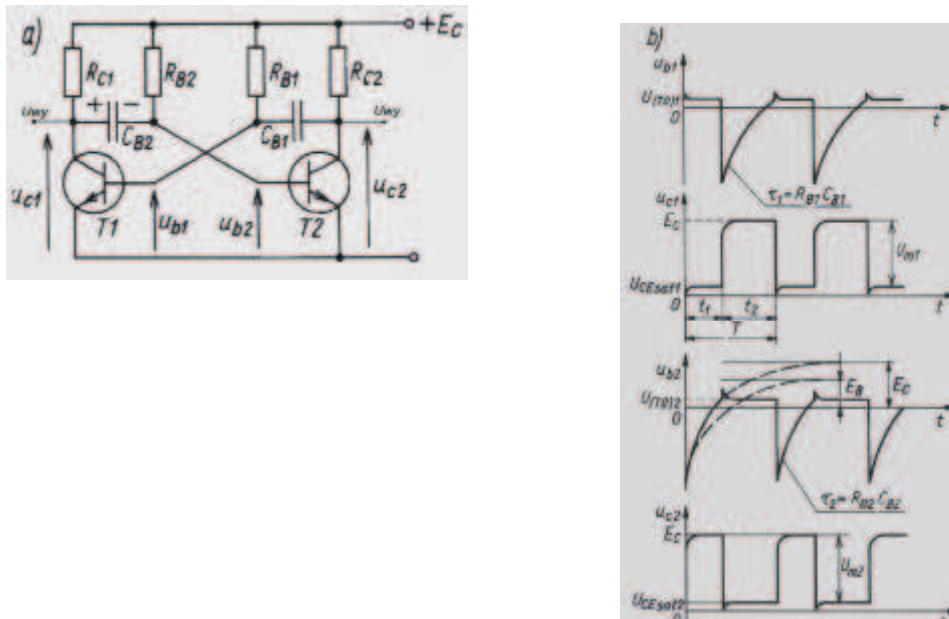
Układy wytwarzające takie impulsy dzieli się w zależności od ilości stanów stabilnych na przerzutniki monostabilne, bistabilne i astabilne.

#### Przerzutniki astabilne

Są to układy, nazywane inaczej multiwibratorami, które nie posiadają stanu stabilnego, a tylko dwa stany równowagi nietrwałej (quasi-stabilne). Czas przebywania układu w każdym z tych stanów jest stały i uzależniony od struktury układu oraz parametrów jego elementów. Układ przechodzi cyklicznie z jednego stanu do drugiego, dając na wyjściu przebieg zbliżony do prostokątnego, dlatego nazywany jest samowzbudnym generatorem przebiegu prostokątnego. Przerzutniki astabilne realizuje się stosując różne elementy dyskretne (tranzystory bipolarne, unipolarne, jednozłączowe, diody tunelowe) lub układy scalone liniowe i cyfrowe.

Przykład prostego multiwibratora astabilnego zbudowanego na tranzystorach przedstawia Rys. 12. Stanowi on połączenie dwóch wzmacniaczy tranzystorowych objętych silnym dodatnim, pojemnościowym sprzężeniem zwrotnym. W układzie tym tranzystory znajdują się

na przemian w stanie zatkania i nasycenia. Czasy trwania kolejnych faz zależą od wartości rezystorów i kondensatorów na bazach odpowiednich tranzystorów.



Rys.12. Tranzystorowy przerzutnik astabilny; a) schemat układu, b) przebiegi napięć w układzie [5,s.102]

Amplituda impulsów wyjściowych, na kolektorach tranzystorów, osiąga wartość

$$U_m \approx E_C - U_{CE\text{ sat}}$$

gdzie  $U_{CE\text{ sat}}$  oznacza napięcie nasycenia tranzystora.

Czas trwania poszczególnych impulsów na wyjściu tranzystorów wynosi:

$$t_1 = \ln 2 \cdot R_{B1} \cdot C_2 \approx 0,69 R_{B1} \cdot C_2,$$

$$t_2 = \ln 2 \cdot R_{B2} \cdot C_1 \approx 0,69 R_{B2} \cdot C_1,$$

a okres drgań multiwibratora

$$T = t_1 + t_2 = \ln 2 (R_{B1} \cdot C_2 + R_{B2} \cdot C_1) \approx 0,69 (R_{B1} \cdot C_2 + R_{B2} \cdot C_1).$$

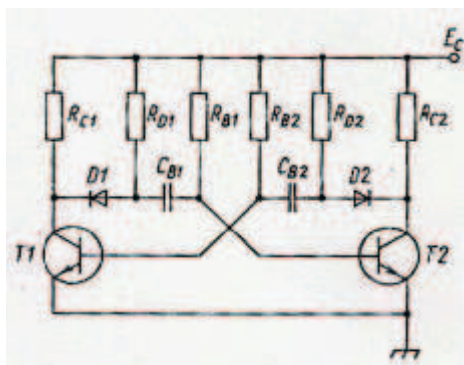
Częstotliwość wytwarzanych przebiegów  $f = 1/T$ , współczynniki wypełnienia impulsów wynoszą odpowiednio:  $v_1 = t_1 / T$ ,  $v_2 = t_2 / T$ .

Czasy narastania impulsów zależą od stałych czasowych  $R_{C1} \cdot C_1$  i  $R_{C2} \cdot C_2$ .

Dla przerzutnika symetrycznego  $R_{B1} = R_{B2} = R_B$  oraz  $C_1 = C_2 = C$ , więc

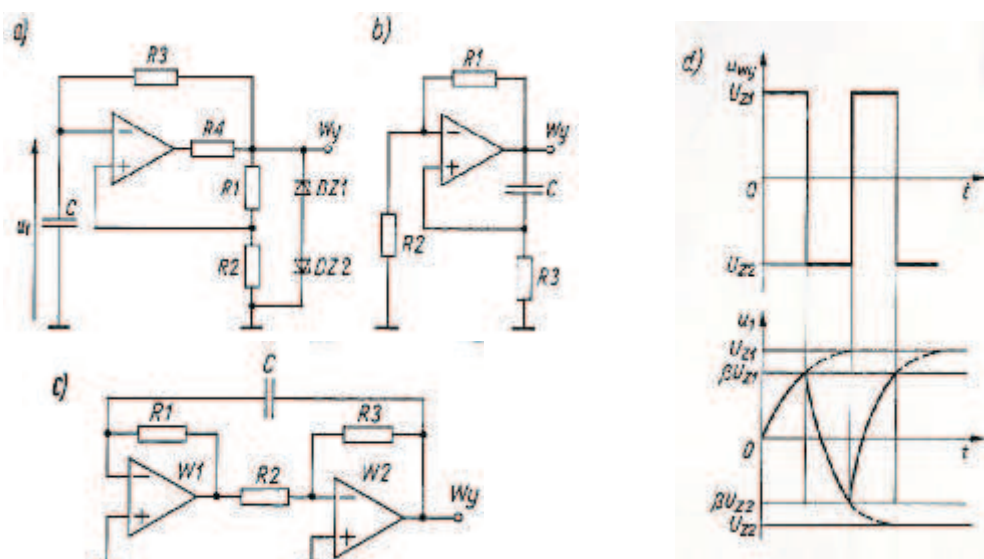
$$T \approx 1,4 R_B \cdot C.$$

Okres drgań przerzutnika oraz współczynniki wypełnienia impulsów na poszczególnych wyjściach można modyfikować zmieniając wartość parametrów  $R_B$  (płynnie) i  $C$  (skokowo). Innym sposobem zmiany częstotliwości multiwibratora jest zmiana wartości napięcia zasilającego bazy tranzystorów poprzez przyłączenie rezystorów  $R_{B1}$  i  $R_{B2}$  nie do napięcia  $E_C$ , ale do źródła  $E_B$ . Wadą układów symetrycznych jest stosunkowo długi czas narastania przebiegów na kolektorach. W celu poprawienia kształtu impulsów stosuje się dodatkowe elementy diodowo-rezystancyjne - Rys.13. W układzie tym zatkany tranzystor polaryzuje wstecznie diodę przyłączoną do jego kolektora umożliwiając ładowanie kondensatora przez odpowiedni rezystor  $R_D$ . Dzięki temu zmiana napięcia na kolektorze zachodzi szybko.



Rys. 13. Schemat przerzutnika astabilnego o skróconym czasie narastania impulsów [1,s.268]

Przerzutniki astabilne można zbudować wykorzystując scalone wzmacniacze operacyjne - Rys. 14.



Rys.14. Schematy przerzutników astabilnych: a),b),c) ze wzmacniaczami operacyjnymi, d) przebiegi czasowe w układzie 13a [1,s.269]

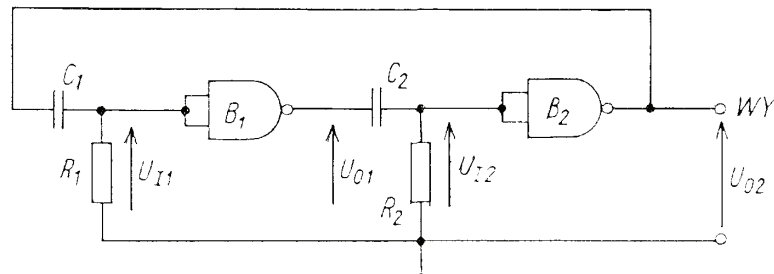
W układzie z Rys.14a wykorzystuje się ładowanie kondensatora C przez rezystor R3 w obwodzie ujemnego sprzężenia zwrotnego. Dodatnie sprzężenie zwrotne zrealizowane na rezystorach R1 i R2 wymusza przełączanie wzmacniacza z jednego stanu nasycenia w drugi. Napięcie wyjściowe układu jest ograniczone dwiema diodami Zenera do wartości dodatniej  $U_{Z1}$  i ujemnej  $U_{Z2}$ . Gdy napięcie wyjściowe układu zmienia się skokowo od  $U_{Z2}$  do  $U_{Z1}$ , następuje wykładnicze ładowanie kondensatora C przez rezystor R3, a dodatnie sprzężenie zwrotne powoduje, po osiągnięciu na wejściu odwracającym wzmacniacza napięcia równego  $\beta \cdot U_{Z1}$  (gdzie współczynnik przenoszenia układu  $\beta = R_2 / (R_1 + R_2)$ ), że napięcie wyjściowe zmienia się ponownie skokowo, tym razem z dodatniego  $U_{Z1}$  na ujemne  $U_{Z2}$ . Procesy te powtarzają się cyklicznie, dając w efekcie przebieg prostokątny o częstotliwości

$$f \approx \frac{1}{3CR_3 \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)} [\text{Hz}]$$

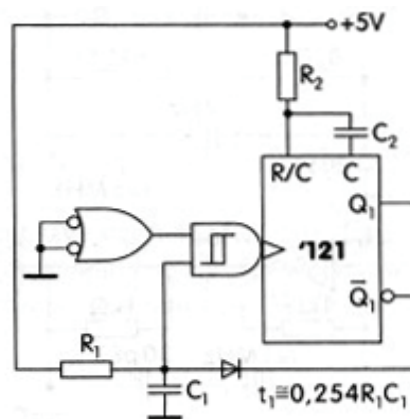
Podobnie działają układy z Rys. 14 b,c.

Obecnie do budowy przerzutników astabilnych wykorzystuje się również scalone układy cyfrowe – bramki i przerzutników – Rys. 15.

a)



b)



Rys. 15. Multiwibrator astabilny a) zbudowany z bramek NAND [4,s.103] b) zbudowany z jednego przerzutnika '121[2,s.161]

### Przerzutniki monostabilne

Układy te, nazywane również uniwibratorami lub multiwibratorami monostabilnymi, mają jeden stan równowagi trwałej, w którym pozostają tak długo, aż pojawi się impuls wyzwalający. Impuls ten powoduje przejście do stanu niestabilnego, którego czas trwania zależy od stałych czasowych układu. Przerzutniki monostabilne wytwarzają więc impulsy jednorazowe, a ich kształt, amplituda i czas trwania nie zależą od impulsów wyzwalających. Stosowane są do normalizowania kształtów impulsów oraz jako układy opóźniające.

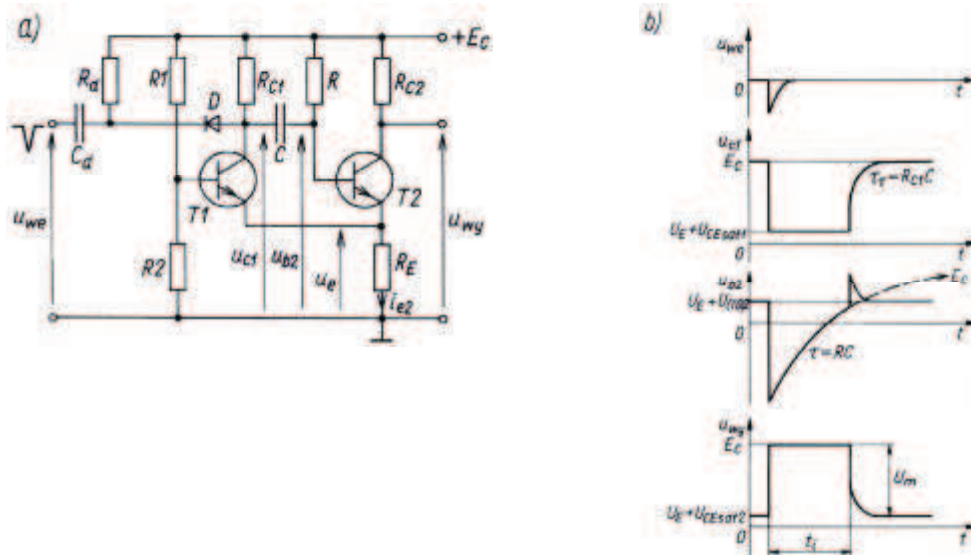
Najprostszy przerzutnik monostabilny jest modyfikacją multiwibratora astabilnego, w którym różnią się początkowe warunki pracy obu elementów wzmacniających – Rys.16. Oznacza to, że jeden z tranzystorów znajduje się normalnie w stanie zatkania, a drugi jest nasycony. Doprowadzenie dodatkowego impulsu do bazy zatkanego tranzystora spowoduje jego przejście w nasycenie oraz zatkanie drugiego tranzystora. Napięcie na bazie tranzystora drugiego zmienia się wykładniczo na skutek ładowania się kondensatora znajdującego się na jego bazie. Przekroczenie wartości napięcia progowego powoduje powrót układu do stanu stabilnego. Czas trwania impulsu zależy, podobnie jak w multiwibratorach, od wartości pojemności  $C$  i rezystancji  $R$  przyłączonych do bazy tranzystora, który w stanie stabilnym jest nasycony.



przenosi się na bazę pracującego w nasyceniu tranzystora T2. Powoduje to jego chwilowe przełączenie w stan zatkania, a po naładowaniu kondensatora C, tzn. po czasie

$$t = \ln 2 \cdot RC \approx 0,69 RC$$

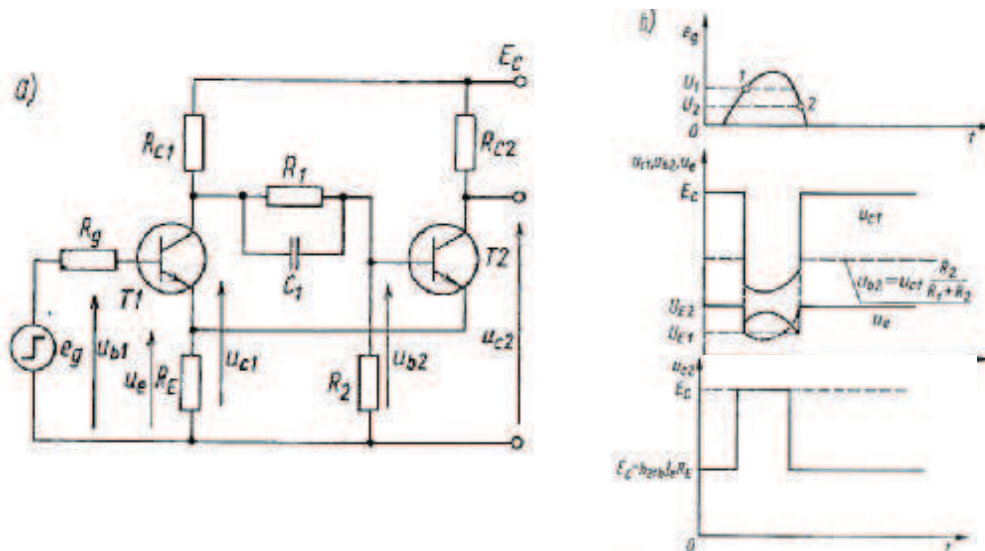
przejście znowu do stanu równowagi.



Rys.19. Przerzutnik monostabilny tranzystorowy w układzie Schmitta: a) schemat układu, b) przebiegi napięć w układzie [1,s.272]

### Przerzutniki bistabilne

Układy te, nazywane także multwibratorami bistabilnymi lub układami flip-flop, posiadają dwa stany równowagi trwałe. Przechodzenie z jednego stanu stabilnego do drugiego następuje w wyniku podania impulsu wyzwającego lub napięcia o określonej wartości (wyzwalanie zboczem lub poziomem).



Rys. 20. Przerzutnik bistabilny asymetryczny Schmitta: a) schemat układu, b) przebiegi napięć w układzie [4,s.144]

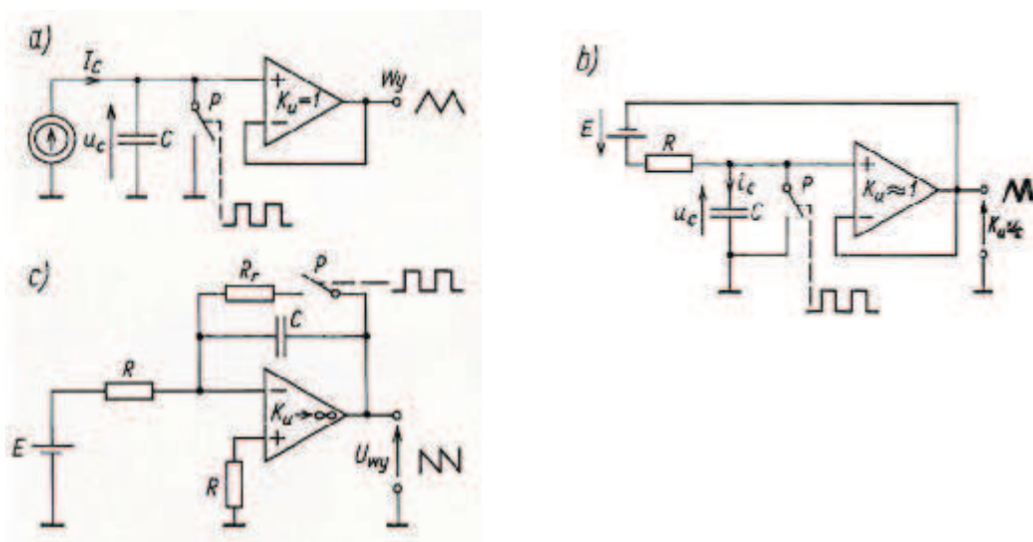


## Generatory przebiegów liniowych

Przebieg liniowy charakteryzuje się liniową zmianą napięcia lub prądu w czasie. W praktyce najczęściej wytwarza się przebiegi piłokształtne i trójkątne. Rzeczywisty przebieg piłokształtny charakteryzują następujące parametry:

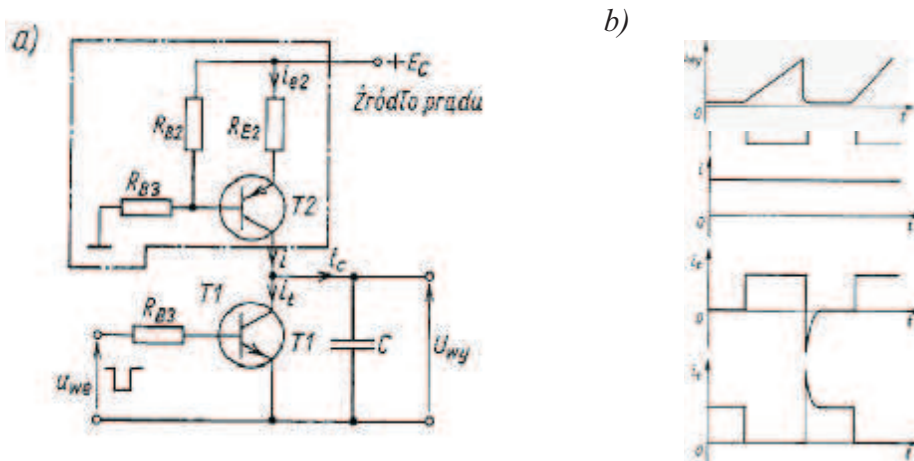
- czas trwania odcinka liniowego,
- czas powrotu,
- amplituda,
- błąd rozmieszczenia,
- błąd transmisji,
- błąd nieliniowości.

Najprostszy sposób uzyskiwania takich napięć polega na okresowym ładowaniu i rozładowywaniu kondensatora. Ponieważ procesy te zachodzą wykładniczo, dobre przybliżenie do przebiegu liniowego występuje tylko dla małych wartości napięć wyjściowych, przy jednoczesnej, dużej wartości napięcia zasilającego. Błąd nieliniowości jest tym mniejszy, im krótszy jest rzeczywisty czas ładowania (w stosunku do stałej czasowej ładowania) lub im mniejsza jest wartość napięcia na kondensatorze (w stosunku do napięcia źródła zasilania). W praktyce stosuje się linearyzację przebiegu napięcia, przede wszystkim w układach zapewniających stały prąd ładowania kondensatora lub wykorzystujących zjawisko Millera – Rys. 21.



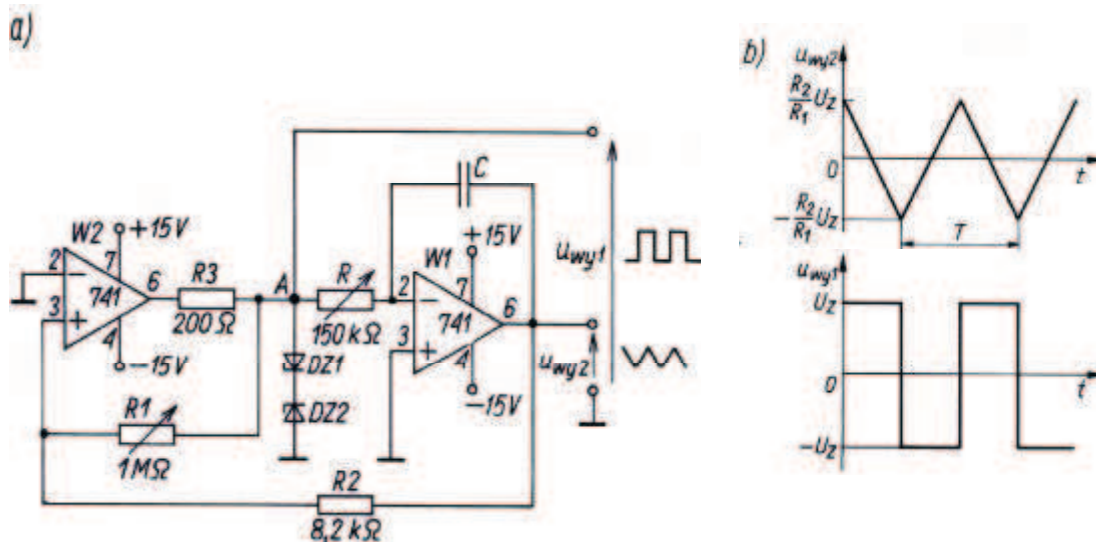
**Rys.21.** Schematy podstawowych układów linearyzacji przebiegów liniowych: a) ze źródłem prądu, a) bootstrap, c) z integratorem [1,s.276]

Przykładowy układ generatora napięcia piłokształtnego pobudzanego impulsami zewnętrznymi przedstawia Rys. 22.



Rys.22. Generator napięcia piłokształtnego ze źródłem prądu: a) schemat układu, b) przebiegi napięć i prądów w układzie [1,s.278]

Schemat przykładowego generatora samowzbudnego generującego przebieg trójkątny przedstawia Rys.23. Pierwszy ze wzmacniaczy pełni rolę komparatora porównującego napięcie wyjściowe z układu całkującego z napięciami odniesienia. Układ porównujący pracuje w dwóch stanach nasycenia, co daje na jego wyjściu napięcie dodatnie lub ujemne o wartości ograniczonej przez diody Zenera. Drugi wzmacniacz pracuje w układzie integratora, co przy stałym napięciu wejściowym, pozwala na wyjściu uzyskać przebieg liniowy, a dzięki przerzutom komparatora z jednego stanu nasycenia do drugiego – przebieg trójkątny. Dodatkowo, układ ten umożliwiła równoczesne uzyskanie przebiegu prostokątnego z wyjścia komparatora.



Rys. 23. Generator przebiegu trójkątnego i prostokątnego na wzmacniaczach operacyjnych; a) schemat układu, b) przebiegi napięć [1,s.279]

## 4.4.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie parametry opisują pojedynczy impuls, a jakie okresowy przebieg prostokątny?
2. Co oznaczają pojęcia: multiwibrator, uniwibrator, przerzutnik bistabilny?
3. Od czego zależy czas trwania impulsów na wyjściu przerzutnika tranzystorowego astabilnego i monostabilnego?
4. Jaka jest zasada działania multiwibratora tranzystorowego astabilnego?
5. W jakich układach poza multiwibratorem tranzystorowym można uzyskać generację przebiegów prostokątnych?
6. W jaki sposób można poprawić kształt impulsu w generatorach sygnałów prostokątnych?
7. Jakie są zastosowania układów generujących przebiegi prostokątne?
8. Jakie zjawiska można wykorzystać do wygenerowania przebiegów liniowych?
9. W jaki sposób zapewnia się linearyzację przebiegu napięcia?

## 4.4.3. Ćwiczenia

### Ćwiczenie 1

Pomiar parametrów multiwibratora astabilnego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Pomiar polega na uzyskaniu przebiegów z wyjść multiwibratora astabilnego oraz ich analizie

Uwaga: Przed włączeniem zasilania poproś nauczyciela o sprawdzenie układu pomiarowego!

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z zasadą działania oraz rodzajami i parametrami generatorów przebiegów prostokątnych;
- 2) zaproponować i po akceptacji nauczyciela, zmontować układ pomiarowy włączając do zacisków wyjściowych generatora oscyloskop;
- 3) uzyskać na ekranie oscyloskopu nieruchomy i maksymalnie powiększony obraz impulsu wyjściowego;
- 4) dokonać pomiaru parametrów impulsu wg Rys.11 str.25;
- 5) powtórzyć pomiary dla kilku innych wartości  $U_z$  i umieścić je w tabeli pomiarowej;

**Tabela** Parametry przebiegów prostokątnych

$U_z$ [V]	$U_M$ [V]	$\Delta U_M$ [V]	$t_i$ [ $\mu$ s]	$t_n$ [ $\mu$ s]	$t_o$ [ $\mu$ s]	$t_u$ [ $\mu$ s]	$f$ [Hz]

- 6) wykonać co najmniej 10 pomiarów;
- 7) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia;
- 8) sformułować wnioski na podstawie uzyskanych wyników pomiarów.

- Wyposażenie stanowiska pracy:
- makiety (trenażery) z układami generatorów przebiegów prostokątnych do pomiaru ich parametrów,
  - sprzęt pomiarowy: elektroniczne mierniki uniwersalne, częstotściomierz, zasilacze laboratoryjne, oscyloskop z sondami pomiarowymi,
  - katalogi elementów i układów elektronicznych,
  - literatura z rozdziału 6.

## Ćwiczenie 2

Pomiar zależności parametrów multiwibratora astabilnego od parametrów elementów sprzęgających RC.

### Sposób wykonania ćwiczenia

Pomiar polega na uzyskaniu przebiegów z wyjść multiwibratora astabilnego oraz ich analizie.

Uwaga: Przed włączeniem zasilania poproś nauczyciela o sprawdzenie układu pomiarowego!

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z zasadą działania oraz rodzajami i parametrami generatorów przebiegów prostokątnych;
- 2) zaproponować i po akceptacji nauczyciela, zmontować układ pomiarowy włączając do zacisków wyjściowych generatora oscyloskop;
- 3) przeprowadzić pomiary wszystkich wielkości, analogicznie jak w ćwiczeniu 1, ale dla różnych wartości pojemności sprzęgających C, wyniki zapisać w tabeli pomiarowej;

**Tabela** Pomiar zależności parametrów multiwibratora astabilnego od wartości pojemności sprzęgających C

$R_{B1}, R_{B2}$	$C_1, C_2$	$U_M$ [V]	$\Delta U_M$ [V]	$t_i$ [ $\mu$ s]	$t_n$ [ $\mu$ s]	$t_o$ [ $\mu$ s]	$t_u$ [ $\mu$ s]	f [Hz]

- 4) wykonać co najmniej 5 pomiarów;
- 5) przeprowadzić pomiary analogicznie jak w punkcie 3, zmieniając wartości rezystorów sprzęgających  $R_{B1}$  i  $R_{B2}$ , wyniki zapisać w tabeli pomiarowej;

**Tabela** Pomiar zależności parametrów multiwibratora astabilnego od wartości rezystorów sprzęgających  $R_{B1}, R_{B2}$

$R_{B1}, R_{B2}$	$C_1, C_2$	$U_M$ [V]	$\Delta U_M$ [V]	$t_i$ [ $\mu$ s]	$t_n$ [ $\mu$ s]	$t_o$ [ $\mu$ s]	$t_u$ [ $\mu$ s]	f [Hz]

- 6) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia;
- 7) sformułować wnioski na podstawie uzyskanych wyników pomiarów, w jaki sposób parametry sprzęgające wpływają na kształt i amplitudę przebiegów prostokątnych.

- Wyposażenie stanowiska pracy:
- makiety (trenażery) z układami generatorów przebiegów prostokątnych do pomiaru ich parametrów,
  - sprzęt pomiarowy: elektroniczne mierniki uniwersalne, częstotściomierz, zasilacze laboratoryjne, oscyloskop z sondami pomiarowymi,
  - katalogi elementów i układów elektronicznych,
  - literatura z rozdziału 6.

### Ćwiczenie 3

Praktyczna realizacja multiwibratora astabilnego z wykorzystaniem scalonego układu wzmacniacza operacyjnego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Ćwiczenie polega na wyborze struktury przerzutnika astabilnego, doborze elementów do generatora m.cz. z wykorzystaniem wzmacniacza operacyjnego małej mocy (np. ULA 7701N, ULY 7741N), zmontowaniu układu na płycie uniwersalnej, uruchomieniu oraz pomiarze parametrów uzyskanego przebiegu.

Uwaga: Przed włączeniem zasilania poproś nauczyciela o sprawdzenie układu!

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z zasadą działania oraz rodzajami i parametrami generatorów przebiegów prostokątnych;
- 2) wybrać strukturę projektowanego układu (np. z Rys.14a,b,c) i określić pożądaną częstotliwość generatora;
- 3) dobrać wzmacniacz małej mocy do układu generatora, odczytać jego parametry (maksymalną moc, wzmocnienie, częstotliwość graniczną, napięcie zasilania, CMRR i in.) z katalogu układów elektronicznych;
- 4) dobrać elementy obwodu dodatniego oraz ujemnego sprzężenia zwrotnego wykorzystując wzór ze str.27, ustalić wartość napięcia zasilającego ;
- 5) przeprowadzić symulację działania zaprojektowanego układu i określić parametry przebiegu (częstotliwość, amplituda sygnału), w razie potrzeby skorygować wartości elementów;
- 6) zmontować zaprojektowany układ na płycie uniwersalnej i po konsultacji z nauczycielem podłączyć zasilanie oraz uruchomić układ;
- 7) dołączyć oscyloskop do wyjścia generatora i zaobserwować uzyskany przebieg;
- 8) odczytać okres i amplitudę oraz obliczyć częstotliwość uzyskanego przebiegu prostokątnego, zaobserwować zniekształcenia;
- 9) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 10) sformułować wnioski na podstawie uzyskanych wyników pomiarów.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- elementy elektroniczne: wzmacniacze operacyjne, rezystory, kondensatory,
- materiały elektroniczne: płytka uniwersalna, podstawka pod układ scalony, przewody, cyna, lutownica;
- sprzęt pomiarowy: elektroniczne mierniki uniwersalne, częstotliwościomierz, zasilacze laboratoryjne stabilizowane, oscyloskop z sondami pomiarowymi
- katalogi elementów i układów elektronicznych
- literatura z rozdziału 6.

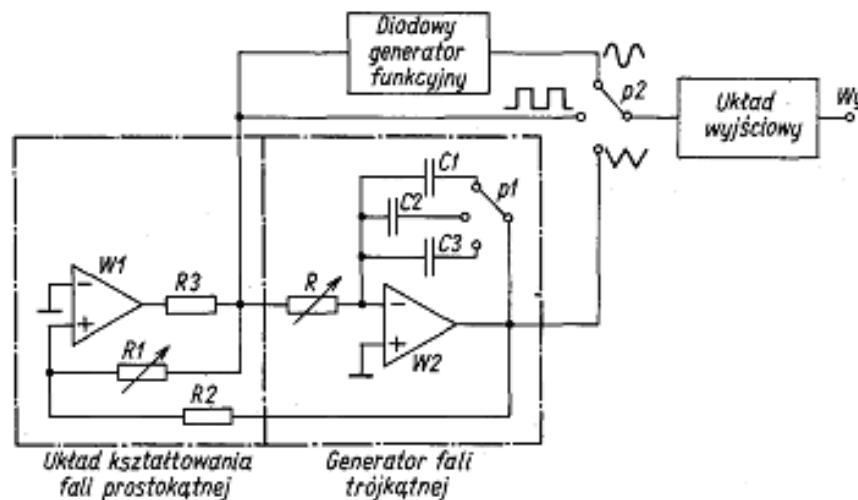
#### 4.4.4. Sprawdzian postępów

<b>Czy potrafisz:</b>	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) podać parametry pojedynczego impulsu i przebiegu prostokątnego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wymienić rodzaje przerzutników generujących impulsy prostokątne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) rozróżnić multiwibrator od uniwibratora na podstawie schematu ideowego ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) scharakteryzować rolę poszczególnych elementów w układzie przerzutników monostabilnych, bistabilnych i astabilnych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) określić wpływ poszczególnych elementów generatora na jego częstotliwość?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) zmierzyć parametry multiwibratorów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) podać sposoby wytwarzania przebiegów liniowych, piłokształtnych i trójkątnych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) dobrać elementy do zadanej struktury i parametrów układu generatora?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.5 Generatory uniwersalne

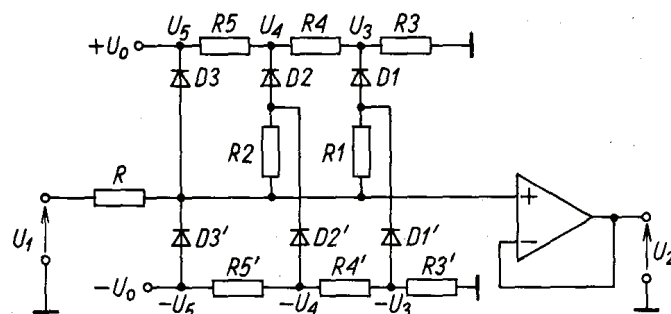
### 4.5.1 Materiał nauczania

Generatory uniwersalne nazywane również generatorami funkcyjnymi, wytwarzają kilka przebiegów napięć o różnych kształtach. Najczęściej są to przebiegi sinusoidalne, prostokątne i trójkątne, często o regulowanych parametrach częstotliwości i amplitudy. Niektóre układy umożliwiają również zmianę parametrów generowanego przebiegu sygnałem zewnętrznym (wobulację). Typowy generator funkcyjny składa się z trzech bloków funkcyjnych oraz układu wyjściowego – Rys.24.



Rys.24. Schemat generatora uniwersalnego [1,s.280]

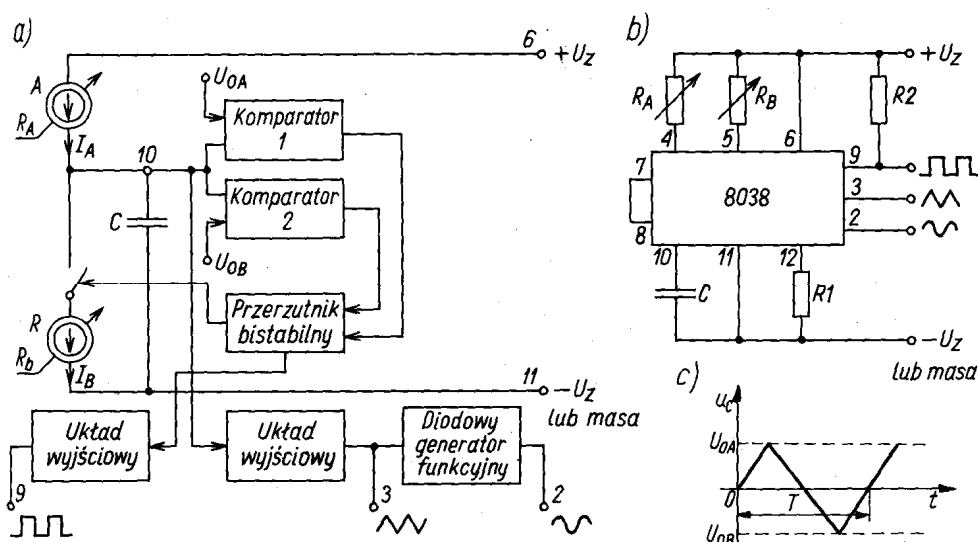
Generator fali trójkątnej najczęściej zbudowany jest w układzie z integratorem lub w układzie ładowania kondensatora stałym prądem źródła, a typowy układ kształtowania przebiegu prostokątnego realizowany jest na komparatorze, którego napięciem wejściowym jest napięcie trójkątne. Objęcie obu bloków dodatnim sprzężeniem zwrotnym umożliwia pracę samowzbudną układu. Przebieg sinusoidalny uzyskuje się poprzez aproksymację przebiegu trójkątnego w diodowym generatorze funkcyjnym – Rys.25.



Rys. 25. Schemat diodowego generatora funkcyjnego [1,s.281]

Diody D1-D3 kształtują dodatnią, a D1'-D3' ujemną połowę sinusoidy. Dokładność aproksymacji zależy od liczby ogniów diodowo-rezystancyjnych przypadających na każdą półfalę napięcia.

Generatory uniwersalne buduje się jako autonomiczne urządzenia lub produkuje jako układy scalone. Przykładem generatora scalonego jest uniwersalny generator 8038 - Rys.26. Wytwarza on przebiegi sinusoidalne, prostokątne, piłokształtne i trójkątne w zakresie od 0,001Hz do 1,5 MHz, a współczynnik wypełnienia impulsów prostokątnych można regulować od 1% do 99%. Zniekształcenia przebiegu sinusoidalnego są mniejsze niż 1%, a błąd nieliniowości przebiegów trójkątnych i piłokształtnych nie przekracza 0,1%.



Rys. 26. Monolityczny generator uniwersalny 8038 a) zasada działania, b) schemat połączeń z elementami zewnętrznymi, c) przebieg napięcia na kondensatorze [1,s.281]

Zmianę częstotliwości generowanych przebiegów dokonuje się poprzez dobór elementów zewnętrznych:  $R_A$ ,  $R_B$  i  $C$ . Układ może być zasilany napięciem dodatnim lub napięciami symetrycznymi, co pozwala uzyskać przebiegi symetryczne względem masy.

Osobną grupę generatorów uniwersalnych stanowią **generatory sterowane**, wytwarzające drgania o częstotliwości proporcjonalnej do wartości wejściowego prądu lub napięcia. Są one właściwie przetwornikami napięcia lub prądu na częstotliwość lub modulatorami częstotliwości. Mają one zastosowanie w telekomunikacji, technice pomiarowej oraz urządzeniach automatyki.

#### 4.5.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co to jest generator uniwersalny?
2. Z jakich bloków składa się generator funkcyjny?
3. Jakie układy generują przebiegi trójkątne, prostokątne i sinusoidalne?
4. Co to jest wobulacja?



### 4.5.3. Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Obserwacja przebiegów uzyskanych z generatora funkcyjnego oraz pomiary parametrów tych przebiegów.

Sposób wykonania ćwiczenia

Pomiar polega na uzyskaniu przebiegów z wyjść generatora funkcyjnego, obserwacji ich kształtu i pomiarze parametrów (minimalna i maksymalna częstotliwość, zakres zmian amplitudy, zakres regulacji współczynnika wypełnienia sygnału prostokątnego, błędy nieliniowości)

Uwaga: Przed włączeniem zasilania poproś nauczyciela o sprawdzenie układu pomiarowego!

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z zasadą działania oraz rodzajami i parametrami generatorów uniwersalnych;
- 2) zaproponować, i po akceptacji nauczyciela, zmontować układ pomiarowy, włączając do zacisków wyjściowych generatora oscyloskop;
- 3) zaobserwować kształt przebiegów dla wybranego rodzaju przebiegu, określić zakres przestrajania generatora oraz zakres zmian amplitudy sygnału, zanotować wyniki obserwacji powtórzyć dla pozostałych rodzajów generowanych sygnałów, zanotować wyniki i oscylogramy;
- 4) zmontować układ pomiarowy przyłączając do wyjścia generatora woltomierz napięcia przemiennego i częstotlicznik, zachowując stałe warunki obciążenia, w celu dokładnego pomiaru częstotliwości i amplitudy generowanych sygnałów;
- 5) dokonać pomiarów dla skrajnych i kilku pośrednich wartości częstotliwości, wyniki zanotować;
- 6) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia;
- 7) sformułować wnioski na podstawie uzyskanych wyników pomiarów.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- makiety (trenażery) z układami generatorów funkcyjnych lub generator funkcyjny do pomiaru ich parametrów,
- sprzęt pomiarowy: elektroniczne mierniki uniwersalne, częstotlicznik, zasilacze laboratoryjne, oscyloskop z sondami pomiarowymi,
- katalogi elementów i układów elektronicznych,
- literatura z rozdziału 6.

#### Ćwiczenie 2

Obserwacja przebiegów uzyskanych z generatora funkcyjnego przy uzależnieniu amplitudy i częstotliwości przebiegów wyjściowych od parametrów sygnału zewnętrznego (wobulacja) oraz pomiary parametrów tych przebiegów.

## Sposób wykonania ćwiczenia

Pomiary polegają na uzyskaniu przebiegów z wyjść generatora funkcyjnego sterowanego sygnałem zewnętrznym, obserwacji ich kształtu i pomiarze parametrów

Uwaga: Przed włączeniem zasilania poproś nauczyciela o sprawdzenie układu pomiarowego!

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z zasadą działania oraz rodzajami i parametrami generatorów uniwersalnych;
- 2) zaproponować i po akceptacji nauczyciela, zmontować układ pomiarowy włączając do zacisków wyjściowych generatora oscyloskop, a do wejść wobulacji laboratoryjny zasilacz regulowany;
- 3) obserwować kształt i parametry przebiegów wyjściowych, zmieniając wartość sygnału z zasilacza;
- 4) wykonać 10 pomiarów dla różnych wartości napięcia sterującego, wyniki zanotować w tabeli pomiarowej;
- 5) powtórzyć pomiary dla pozostałych rodzajów generowanego sygnału;
- 6) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia;
- 7) sformułować wnioski na podstawie uzyskanych wyników pomiarów.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- makiety (trenażery) z układami generatorów funkcyjnych lub generator funkcyjny do pomiaru ich parametrów
- sprzęt pomiarowy: elektroniczne mierniki uniwersalne, częstotściomierz, zasilacze laboratoryjne, oscyloskop z sondami pomiarowymi
- katalogi elementów i układów elektronicznych
- literatura z rozdziału 6.

### 4.5.4. Sprawdźan postępów

<b>Czy potrafisz:</b>	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) podać parametry sygnałów okresowych o różnych kształtach?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wyjaśnić zasady generowania sygnałów o różnych kształtach w generatorach uniwersalnych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) zaproponować układy pomiarowe do pomiaru parametrów sygnałów wyjściowych z generatorów funkcyjnych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wskazać przykładowe obszary zastosowań generatorów funkcyjnych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) wskazać sposoby zastosowania wobulacji?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 6. LITERATURA

1. Chwaleba A., Moeschke B., Płoszajski G.: Elektronika, WSiP, Warszawa 1999.
2. Głocki W.: Układy cyfrowe, WSiP, Warszawa 1998
3. Pióro B., Pióro M.: Podstawy elektroniki cz.2: WSiP, Warszawa 1997
4. Rusek A.: Podstawy elektroniki cz.2, WSiP, Warszawa 1986
5. Rusek A.: Pracownia elektroniczna , WSiP, Warszawa 1986