

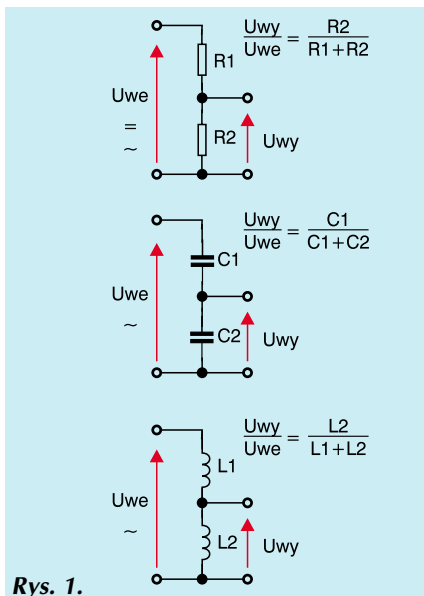
Korespondencyjny Kurs Krótkofalarski (2)

W styczniowym wydaniu ŚR zostały zamieszczone podstawowe wiadomości teoretyczne z elektryczności, elektromagnetyzmu, radiotechniki oraz elementy obwodów mogące przydać się podczas przygotowań do egzaminu. W tym miesiącu przechodzimy do podstawowych układów elektronicznych występujących w urządzeniach nadawczo-odbiorczych.

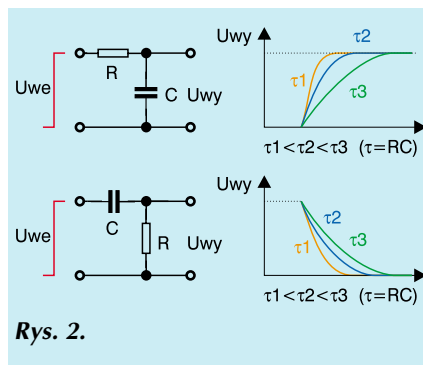
Dzielniki napięcia wykorzystywane są do podziału napięcia stałego bądź zmiennego w określonym stosunku. Na **rysunku 1** przedstawiono takie dzielniki wraz ze wzorami opisującymi zależności w układzie. Elementy RC (stosowane do wygładzania napięć stałych, tłumienia napięć zmiennych w zależności od częstotliwości czy przekształcania impulsów) można scharakteryzować poprzez tak zwaną stałą czasową τ . Jest to miara czasu, który jest niezbędny, aby napięcie na zaciskach kondensatora wzrosło (przy ładowaniu) do około 63% wartości napięcia wejściowego, bądź zmalało (przy rozładowaniu) o około 63%. Stałą czasową wyznaczamy ze wzoru: $\tau = RC$

W zależności od sposobu włączenia elementów RC wyróżniamy następujące dzielniki napięcia (zależne od częstotliwości):

- układ całkujący (filtr dolnoprzepustowy)
- układ różniczkujący (filtr górnoprzepustowy)

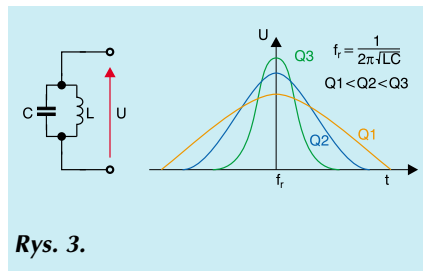


Rys. 1.



Rys. 2.

Na **rysunku 2** przedstawiono przebiegi napięcia wyjściowego przy podaniu na wejście sygnału prostokątnego. Kształt tych przebiegów zależy od stałych czasowych RC.



Rys. 3.

Filtry elektryczne są czwórnikami mającymi dwa wejścia i dwa wyjścia dołączone do innych obwodów elektrycznych. Zanim jednak przedstawimy konkretne filtry, wróćmy jeszcze do równoległego obwodu rezonansowego LC (**rys. 3**). Częstotliwość drgań własnych lub częstotliwość rezonansową takiego obwodu wyznaczamy ze znanej już wzoru:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Rezystancję rezonansową lub dynamiczną R_d obliczamy ze wzoru:

$$R_d = \frac{\omega^2 L^2}{R}$$

gdzie R - to rezystancja obwodu (dla obwodu rezonansowego szeregowego $R=R_d$)

Dobroć obwodu Q wskazuje ilekrotnie większe jest natężenie prądu w obwodzie LC od natężenia prądu w obwodzie zewnętrznym w chwili rezonansu równoległego, lub ilekrotnie większe jest napięcie na indukcyjności lub pojemności w obwodzie szeregowym od napięcia zasilającego (przy rezonansie).

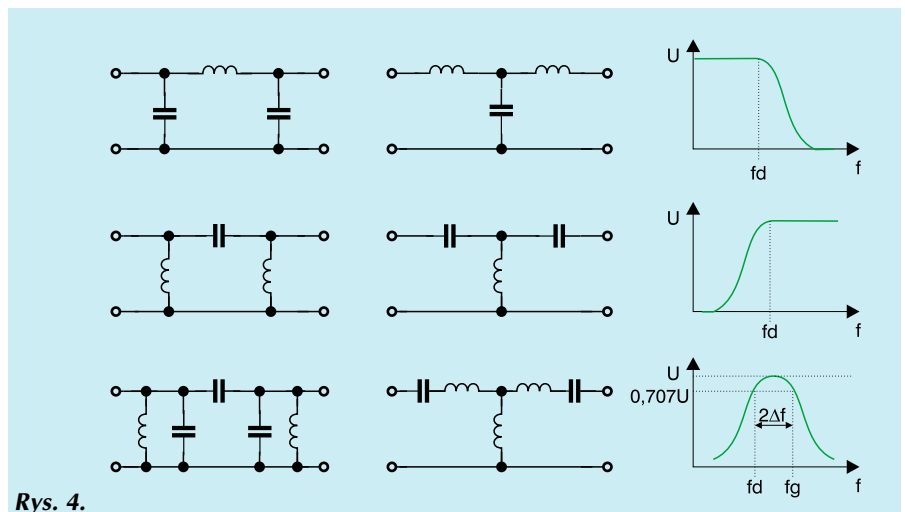
Dobroć obwodu obliczamy ze wzoru

$$Q = \frac{1}{R\sqrt{\frac{L}{C}}}$$

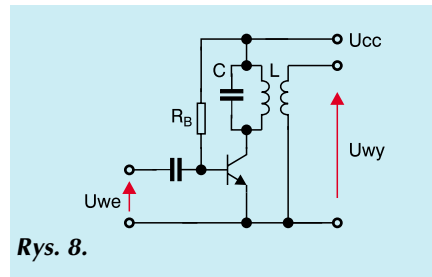
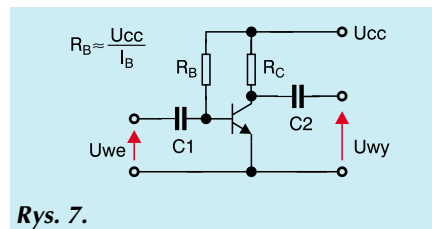
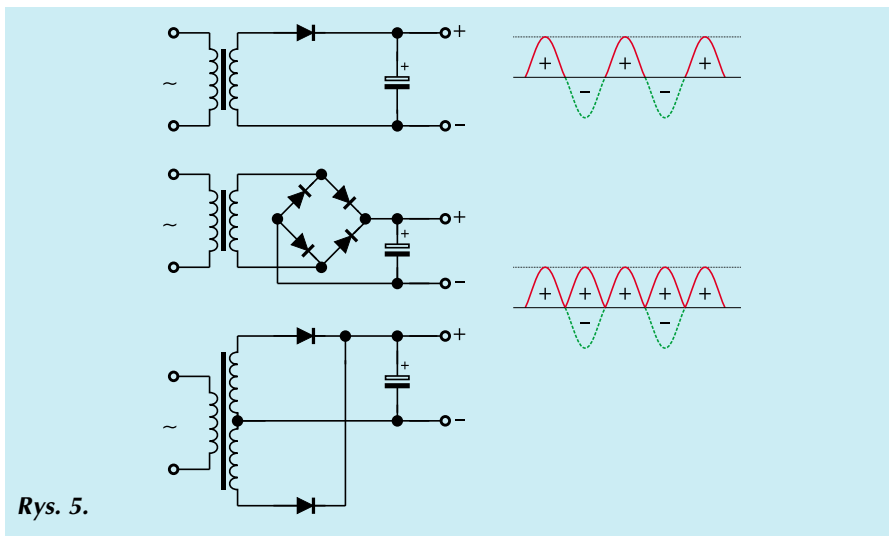
lub

$$Q = \frac{\omega \cdot L}{R}$$

Dobroć obwodu ma duży wpływ na charakterystykę rezonansową obwodu - im większa dobroć, tym ostrzejszy wierzchołek i lepsze właściwości filtrycyjne obwodu (selektywność obwodu).



Rys. 4.



Każdą krzywą rezonansową obwodu charakteryzuje szerokość pasma. Jest to różnica częstotliwości, dla których następuje obniżenie charakterystyki do 0,707 wartości maksymalnej (-3dB w stosunku do wartości maksymalnej). $2\Delta f = f_g - f_d = f/Q$

Ponieważ w pojedynczym obwodzie trudno jest uzyskać wymaganą selektywność, w praktyce w skład filtrów wchodzi złożony obwód LC (RC) a także rezonatory piezoceramiczne i kwarcowe.

Pod względem charakterystyki przenoszenia filtry możemy podzielić (rys. 4) na:

- filtry dolnoprzepustowe (przeszają częstotliwości od 0 do fg)
- filtry górnoprzepustowe (tłumią częstotliwości od fd)
- filtry środkowoprzepustowe (przeszają częstotliwości od fd do fg)

W celu uzyskania wymaganej szerokości pasma i selektywności np. toru pośredniej częstotliwości (odbiornika czy nadajnika SSB), stosuje się specjalne filtry pasmowe monolityczne czy hybrydowe (np. kwarcowe filtry typu PP9 - 9MHz).

Każdy filtr charakteryzuje się - oprócz częstotliwości środkowej - szerokością pasma, selektywnością, określoną impedancją wejściową i wyjściową oraz tłumieniem w paśmie przenoszenia.

Zasilacze są układami służącymi do dostarczania energii elektrycznej układowi elektronicznemu (transceiverowi). Najprostszymi zasilaczami są ogniwa galwaniczne (R6...) i akumulatory, które są wykorzystywane w urządzeniach przenośnych. Do zasilania urządzeń stacjonarnych stosuje się zasilacze sieciowe. W skład zasilacza sieciowego wchodzi następujące elementy:

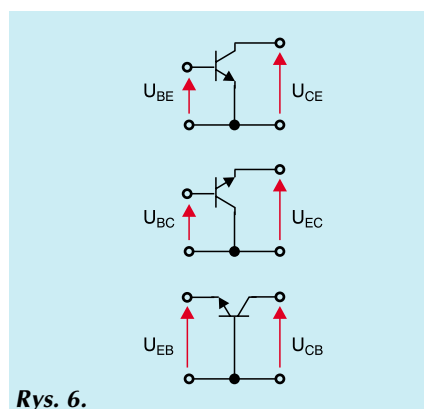
- 1 - transformator (przetwarza energię sieci 220V na energię o innym napięciu)
- 2 - prostownik (zamiana prądu zmiennego na prąd jednokierunkowy).

W skład prostownika wchodzi zazwyczaj diody prostownicze. Dzielimy je na jedno- i dwupołówkowe (mostkowe, czyli Graetza, składające się z 4 diod lub dwupołówkowe - dwudiodowe z dzielonym uzwojeniem transformatora) - rys. 5.

3 - filtr (wygładzenie tętnień lub inaczej zatrzymanie składowej zmiennej, a przepuszczenie składowej stałej). Najprostszym filtrem jest kondensator elektrolityczny o dużej pojemności od 1000 do 10 000 μF .

4 - stabilizator (obcięcie nadwyżki napięcia stałego, czyli ustalenie jej wartości niezależnie od obciążenia i wahań napięcia zasilającego). Najprostszym stabilizatorem jest dioda Zenera zasilana poprzez rezystor ograniczający prąd. Obecnie powszechnie wykorzystuje się stabilizatory półprzewodnikowe w postaci układów scalonych przystosowanych od razu do typowych wartości np. 5 czy 12V. W przypadku dużych prądów obciążenia oprócz układów scalonych wykorzystuje się jeszcze tranzystory mocy (układy wykonawcze).

Wzmacniacze są to układy (ostatnio tranzystorowe lub scalone; przed laty lampowe) służące do wzmacniania przebiegów elektrycznych. Oto podstawowe parametry każdego wzmacniacza:



- wzmacnienie: jest to stosunek sygnału wyjściowego do wejściowego wyrażonego najczęściej w dB. Możemy mówić o wzmacnieniu napięciowym, prądowym lub o wzmacnieniu mocy.
- charakterystyka częstotliwości: określa wzmacnienie układu w funkcji częstotliwości sygnału wejściowego;
- impedancja: wejściowa i wyjściowa;
- poziom zakłóceń: poziom zniekształceń nieliniowych, szumy własne układu;
- sprawność wzmacniacza jako stosunek mocy wyjściowej do mocy zasilania (mocy doprowadzonej).

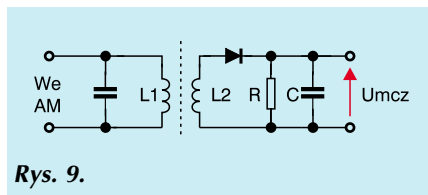
Tranzystor bipolarny może być stosowany w trzech podstawowych układach pracy (rys. 6):

- układ ze wspólnym emiterem WE (wzmacnienie napięciowe kilkaset razy, rezystancja wejściowa średnia, a wyjściowa duża)
- układ ze wspólnym kolektorem WK lub inaczej wtórnik emiterowy (wzmacnienie napięciowe poniżej 1, bardzo duża rezystancja wejściowa, a mała rezystancja wyjściowa)
- układ ze wspólną bazą WB (wzmacnienie napięciowe duże, rezystancja wejściowa mała, a wyjściowa bardzo duża)

Najczęściej stosowanym układem jest układ WE. Wszędzie tam, gdzie chodzi o dopasowanie impedancji obciążenia do impedancji źródła, stosuje się układy WK. Układ WB jest stosowany najczęściej w zakresie w.cz. (VHF, UHF).

Na rysunku 7 przedstawiono podstawowy układ wzmacniacza WE (z pojedynczym rezystorem polaryzacji bazy) do wzmacniania napięcia zmiennego.

W urządzeniach krótkofalarskich oprócz wzmacniaczy z obciążeniem rezystancyjnym (wykorzystywanych najczęściej w stopniach m.cz. i układach scalonych) stosuje się wzmacniacze rezonansowe - rys. 8. Pracują one



Rys. 9.

najczęściej w układach WE z obciążeniem w postaci równoległego obwodu rezonansowego i służą do wzmacniania napięcia w wąskim pasmie częstotliwości, leżącym wokół częstotliwości środkowej fr.

Sygnaly leżące poza użytecznym pasmem są tłumione. W nowoczesnych urządzeniach nadawczo-odbiorczych stosuje się tranzystory FET i MOSFET, które charakteryzują się lepszymi parametrami niż tranzystory bipolarne

(głównie ze względu na mniejsze tłumienie obwodów rezonansowych).

We wzmacniaczach mocy nadajników tranzystory pracują w warunkach dużych obciążeń. Znaczną rolę odgrywa tutaj sprawność wzmacniacza oraz statyczny punkt pracy stopnia. W zależności od jego położenia mówimy o klasie pracy wzmacniacza (A, B, C). O klasach wzmacniaczy pomówimy jeszcze przy omawianiu nadajników.

Demodulatory lub inaczej detektory są układami służącymi do wydzielenia z przebiegu zmodulowanego sygnału modulującego, czyli niosącego informację. Detekcja jest procesem odwrotnym do modulacji. Wyróżniamy dwa najważniejsze układy detektorów:

- detektory amplitudy (wydzielenie ze zmodulowanej amplitudowo fali noś-

nej informacji zawartej w obwiedni). Najprostszym detektorem amplitudy jest prostownik diodowy eliminujący jedną z połówek zmodulowanego przebiegu w.c.z. (rys. 9). Nieco bardziej skomplikowane są detektory sygnałów telegraficznych i jednostęgowych (CW i SSB), bowiem w ich skład musi wchodzić detektor iloczynowy oraz generator pomocniczy (BFO). W układzie takiego detektora następuje odtworzenie wytłumionej fali nośnej, a dopiero potem detekcja amplitudy. W zależności od częstotliwości generatora BFO istnieje możliwość odbioru dolnej lub górnej wstęgi bocznej (LSB lub USB), a także zmiana wysokości tonu sygnału telegraficznego. Do tego detektora jeszcze powrócimy przy omawianiu zasady działania odbiorników.

- detektory częstotliwości (wydzielenie sygnału małej częstotliwości z sygnału zmodulowanego częstotliwościowego). W zależności od konstrukcji detektory częstotliwości dzielimy na:

- dyskryminatory
- detektory stosunkowe
- detektory koincydencyjne wykonywane w postaci układów scalonych (ostatnio najczęściej stosowane w odbiornikach i radiotelefonach FM). Detektor częstotliwości można zestawić z dwóch detektorów AM, wykorzystując detekcję na zboczach krzywych rezonansowych (rys. 10).

Generatory są układami wytwarzającymi sygnały zmienne o określonej częstotliwości i amplitudzie. Podstawą działania generatora jest dodatnie sprzężenie zwrotne oraz dwa warunki: amplitudy i fazy.

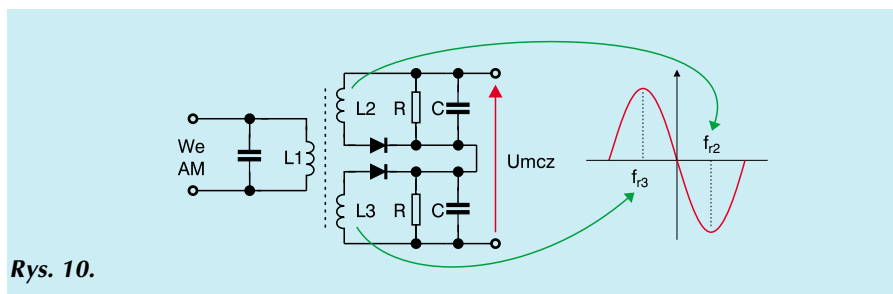
Warunek amplitudy określa, jaką wartość sygnału wyjściowego należy podać zwrotnie na wejście, aby wytworzyć drgania ciągłe.

Warunek fazy określa fazę sygnału w pętli sprzężenia zwrotnego $\Delta\phi = n \cdot 360$, gdzie $n=0,1,2,\dots$

W zależności od zastosowanych elementów, a tym samym i stabilności częstotliwości, generatory dzielimy na generatory RC, LC i kwarcowe.

Generatory RC budowane są zazwyczaj w zakresie m.cz. Składają się one z układu tranzystorowego lub układu scalonego, w którym wyjście sprzężone jest z wejściem poprzez odpowiednio połączone elementy RC decydujące o częstotliwości drgań.

Generatory LC posiadają większą stabilność częstotliwości w porównaniu do generatorów RC i są budowane w zasadzie w zakresie w.cz. (KF). Sprzężenie zwrotne w tych układach musi być tak dobrane, aby następowało całkowite "odtłumienie" obwodu LC decydującego o częstotliwości pracy.

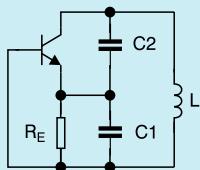


Rys. 10.

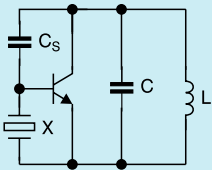
Przykładowe pytania egzaminacyjne (KKK 2)

- 1 Jakie wystąpi napięcie na wyjściu dzielnika złożonego z dwóch rezystorów po 100Ω przy napięciu wejściowym $10V$?
- 2 Jaką reaktancję wejściową przy częstotliwości $10MHz$ będzie miał dzielnik napięciowy składający się z dwóch kondensatorów połączonych szeregowo po $200pF$?
- 3 Połączono równolegle kondensator $10nF$ i rezystor $10k\Omega$. Jaka będzie impedancja obwodu przy częstotliwości $1kHz$?
- 4 Co to jest stała czasowa i jaki ma wpływ na sygnał wyjściowy przy podaniu sygnału prostokątnego na obwód RC?
- 5 Ile wynosi stała czasowa obwodu składającego się z kondensatora $100nF$ i rezystora $1k\Omega$?
- 6 Jaką szerokość pasma będzie miał obwód równoległy o dobroci 100 przy częstotliwości $7MHz$?
- 7 Obwód równoległy o dobroci 100 składa się z cewki o indukcyjności $10\mu H$ i kondensatora o pojemności $100pF$. Jaka jest impedancja obwodu przy rezonansie?
- 8 Jaką dobroć przy częstotliwości $10MHz$ będzie miała cewka o indukcyjności $2\mu H$ i rezystancji 1Ω ?
- 9 Narysować trzy typowe charakterystyki filtrów LC.
- 10 Jaki jest cel stosowania filtrów w sprzęcie radiokomunikacyjnym?
- 11 Narysować typowy zasilacz z prostownikiem w układzie Graetza.
- 12 Omówić trzy typowe układy pracy wzmacniacza z tranzystorem bipolarnym.
- 13 Narysować najprostszego wzmacniacz rezonansowy i omówić jego parametry.
- 14 Co to jest i jak działa powielacz częstotliwości?
- 15 Jak działa najprostszemu detektor AM?
- 16 Do czego służy i jak działa filtr prostowniczy?
- 17 Omówić detektory FM.
- 18 Jakie warunki muszą być spełnione, aby układ wytwarzał drgania sinusoidalne?
- 19 Podać podstawowe układy pracy generatorów.
- 20 Omówić zasadę działania pętli synchronizacji fazowej (PLL).

Odpowiedzi na zaznaczone pytania prosimy przelać na adres redakcji ŚR do końca lutego br.



Rys. 11.



Rys. 12.

W zależności od zastosowanego sprzężenia zwrotnego generatory LC dzielimy na układy (od nazwiska twórcy):

- Meissnera (ze sprzężeniem transformatorowym)
- Colpittsa (z dzieloną pojemnością - rys. 11)
- Hartleya (z dzieloną indukcyjnością)

To tylko podstawowe układy, bowiem w sprężeniu krótkofalarskim spotyka się jeszcze wiele innych rozwiązań, z reguły zbliżonych do układu Colpittsa.

Jedną z ważniejszych cech generatora jest stabilność częstotliwości oraz poziom zniekształceń (odchylenie od kształtu sinusoidalnego). Częstotliwość generatora zmieniana jest za pomocą przelączenia cewek (na poszczególnych zakresach) oraz płynnie - poprzez zmianę pojemności kondensatora zmiennego.

Generatory kwarcowe zamiast obwodu LC mają w pętli sprzężenia zwrotnego rezonator kwarcowy. Charakteryzują się największą stabilnością i z tego względu są stosowane m.in. w urządzeniach UKF oraz w układach SSB. W zależności od sposobu włączenia rezonatora rozróżniamy dwa podstawowe układy (również od nazwiska twórcy):

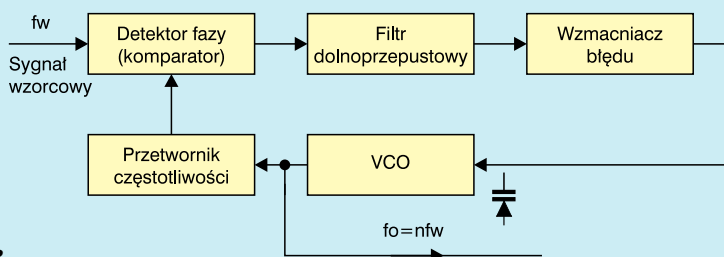
- Millera (generatory rezonansu równoległego - rys. 12)
- Pierce'a (generatory rezonansu szeregowego)

Istnieje jeszcze wiele odmian generatorów kwarcowych różniących się przede wszystkim zakresem częstotliwości. Ponieważ rezonatory kwarcowe

wykonuje się w zakresie podstawowym do nieco ponad 20MHz, z tego względu powyżej tej częstotliwości budowane są rezonatory tzw. overtone. Wyższe częstotliwości uzyskuje się na drodze powielania częstotliwości podstawowej (wykorzystuje się odpowiednie harmoniczne). Dla przykładu częstotliwość początkową pasma 2m można uzyskać, powielając częstotliwość rezonatora kwarcowego 12MHz ($12\text{MHz} \cdot 3 \cdot 2 \cdot 2 = 144\text{MHz}$). Generator praktyczny będzie zawierał powielacze częstotliwości - obwody LC zestrojone na: 36MHz (trzecia harmoniczna rezonatora kwarcowego), 72MHz i 144MHz.

Pętla synchronizacji fazowej (PLL) jest podstawą konstrukcji wszelkich syntezerów częstotliwości, czyli generatorów wytwarzających siatkę stabilnych częstotliwości. Układy takie stosuje się nie tylko w radiotelefonach FM-UKF, ale również w nowoczesnych transceiverach KF. Zasadniczym zespołem generatora z pętlą fazową jest oscylator VCO przestrajany napięciowo za pomocą sygnału uzyskanego z detektora fazy. Schemat blokowy takiego układu przedstawiono na rysunku 13.

Sygnal z generatora VCO podawany jest na układ przemiany częstotliwości nadajnika lub odbiornika oraz na przetwornik częstotliwości i dalej na jedno z wejść detektora fazy. Na drugie wejście detektora fazy podawany jest sygnał wzorcowy o bardzo dokładnej częstotliwości, np. 10 czy 25kHz, stanowiącej jednocześnie krok syntezy (odstęp międzykanałowy). W skład przetwornika może wchodzić dzielnik częstotliwości o programowanym stopniu podziału lub mieszacz częstotliwości. Niezależnie od konstrukcji takiego przetwornika jego zadaniem jest obniżenie częstotliwości VCO do wartości porównywalnej z częstotliwością sygnału wzorcowego. W układzie detektora fazy dokonywane jest porównanie faz obu doprowadzonych przebiegów i wytworzenie sygnału błęd proporcjonalnego do ich różnicy. Po odfiltrowaniu w układzie filtru dolnoprzepustowego napięcie to koryguje częstotliwość generatora VCO. Napięcie korygujące podawane jest na diodę pojemnościową włączoną w obwód LC generatora VCO.



Rys. 13.