

POLITECHNIKA WARSZAWSKA
Instytut Radioelektroniki
Zakład Radiokomunikacji

LABORATORIUM TECHNIKI ODBIORU RADIOWEGO

Ćwiczenie 2

Badanie wzmacniaczy i mieszaczy

(materiały pomocnicze i instrukcja do ćwiczenia)

opracował dr Wojciech Kazubski
w. 1

Warszawa 2005

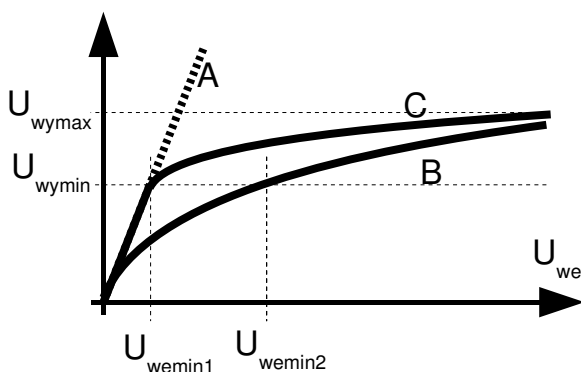
1. Wykaz aparatury

- generatory sygnałowe 2szt.,
- analizator widma,
- sumator mocy,
- oscyloskop,
- tester radiotelefonów,
- kaseta zawierająca moduły:
 - IFA01 – wzmacniacz z ARW,
 - RFA02 – wzmacniacz-ogranicznik (przebudowany)
 - QFL01 - blok filtrów kwarcowych,
 - AMD01 - demodulator AM/SSB,
 - FMD01 - demodulator częstotliwości.

2. Wzmacniacze pośredniej częstotliwości

W odbiornikach z przemianą częstotliwości sygnał z wyjścia mieszacza jest doprowadzony do filtra pośredniej częstotliwości, zapewniającego ostateczne wydzielenieżądanego pasma, i dalej do wzmacniacza pośredniej częstotliwości. Wzmacniacz ten musi zapewnić poziom sygnału dostateczny do prawidłowej pracy demodulatora i jego wzmocnienie zazwyczaj musi być dość duże, co wymaga zastosowania kilku stopni wzmacniających. Ze względu na stałość częstotliwości pośredniej wzmacniacz ten może być zrealizowany z elementów dyskretnych jako nieprzestrzajany wzmacniacz rezonansowy. W układach scalonych wzmacniacze pośredniej częstotliwości buduje się zwykle jako wzmacniacze szerokopasmowe, co jest możliwe gdyż częstotliwość pośrednia jest zwykle niezbyt wysoka i można osiągnąć dość duże wzmocnienie pojedynczego stopnia.

2.1. Automatyczna regulacja wzmocnienia we wzmacniaczach p. cz.



Rys. 1. Charakterystyka wzmacniacza z automatyczną regulacją wzmocnienia

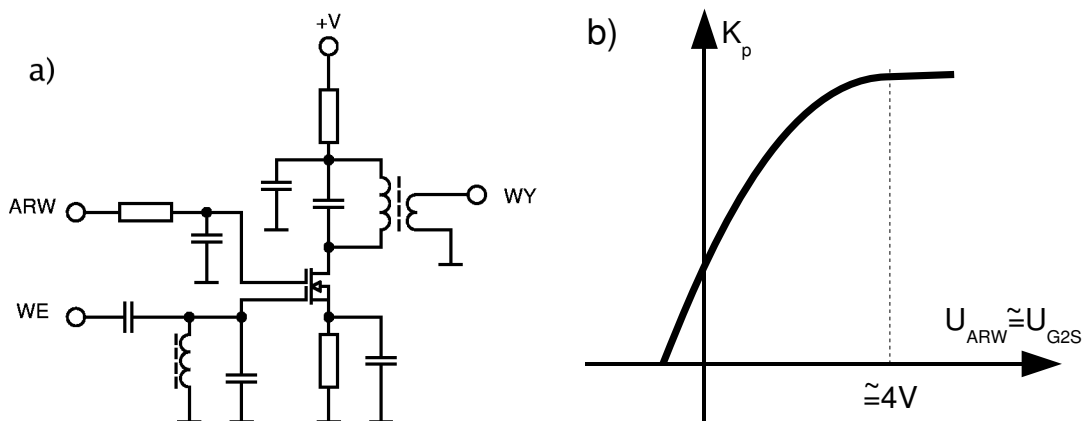
- A – ARW wyłączona
- B – ARW bez progu
- C – ARW z progiem zadziałania

W odbiornikach radiowych zazwyczaj wymaga się aby odbiornik mógł poprawnie odbierać zarówno słabe jak i silne sygnały. Aby to osiągnąć często konieczne jest zastosowanie w torze wysokiej lub pośredniej częstotliwości stopni wzmacniających o regulowanym wzmocnieniu. Zwykle wzmocnienie to jest regulowane na drodze elektrycznej, co pozwala na zastosowanie automatycznej regulacji wzmocnienia (ARW, AGC – automatic gain control). Do wytworzenia sygnału regulującego wzmocnienie wykorzystuje się sygnał pochodzący z detektora amplitudy w odbiorniku.

Sygnał ten powoduje zmniejszenie wzmocnienia wzmacniacza p. cz. przy odbiorze silnych sygnałów i w ten sposób stabilizuje poziom sygnału wyjściowego odbiornika przy wahaniach poziomu sygnału wejściowego, spowodowanych np. zmianami w propagacji fal radiowych. Korzystnie jest gdy sygnał ARW powoduje redukcję wzmocnienia dopiero po osiągnięciu nominalnego poziomu sygnału wyjściowego (ARW z progiem zadziałania), w przeciwnym razie układ ARW będzie redukował czułość odbiornika gdyż wzmocnienie maleje już dla stosunkowo słabych sygnałów. Jeśli zostanie wprowadzony próg zadziałania ARW, to wzmocnienie zaczyna maleć dopiero po osiągnięciu przez sygnał wyjściowy dostatecznie dużego poziomu, zapewniającego poprawną pracę dalszych stopni.

Regulacja wzmocnienia we wzmacniaczu w. cz. może odbywać się poprzez zmianę punktu pracy tranzystora. W przypadku tranzystorów bipolarnych wzmocnienie maleje przy zmniejszaniu prądu kolektora, a w przypadku niektórych typów także przy zwiększaniu prądu kolektora. Pierwsza metoda jest stosowana w odbiornikach radiofonicznych a druga w odbiornikach telewizyjnych. Istotnym problemem przy konstruowaniu wzmacniaczy tranzystorowych z regulowanym wzmocnieniem są zmiany impedancji wejściowej i wyjściowej tranzystora w funkcji punktu pracy. Powodują one zmiany szerokości przenoszonego pasma a nawet w skrajnym przypadku rozstrajanie obwodów rezonansowych we wzmacniaczu. Są one szczególnie dokuczliwe podczas regulacji wzmocnienia poprzez zwiększanie prądu kolektora, jednak w zakresie dużych prądów tranzystor pracuje bardziej liniowo, co jest wymagane w zastosowaniach telewizyjnych.

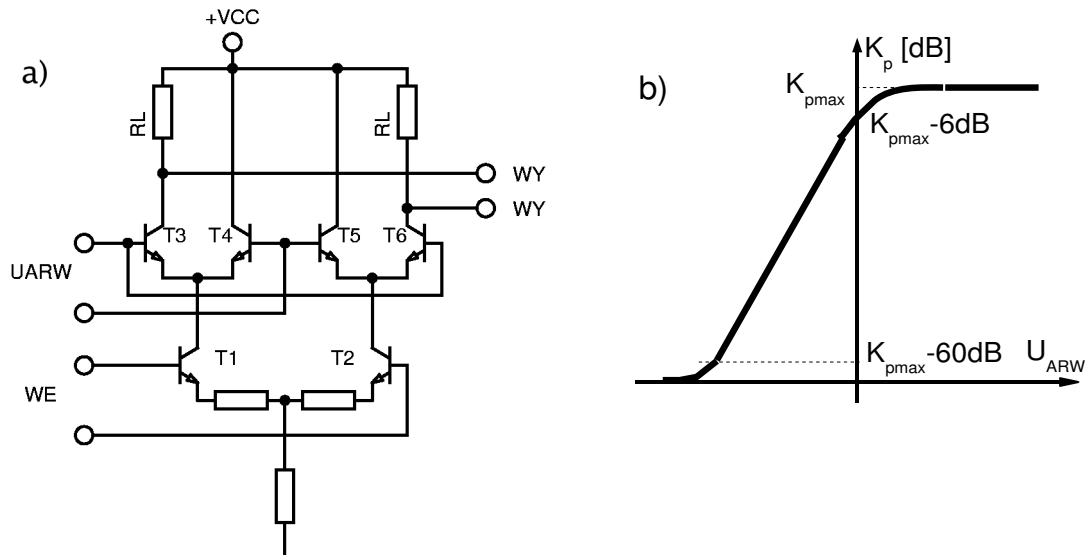
We wzmacniaczach z dwubramkowymi tranzystorami MOSFET regulacja wzmocnienia odbywa się poprzez obniżanie napięcia polaryzującego bramkę 2. Dwubramkowy tranzystor MOSFET można traktować jako kaskodowe połączenie dwóch elementarnych tranzystorów MOS. Obniżanie napięcia polaryzacji bramki 2 powoduje zmniejszenie spadku napięcia na dolnym tranzystorze kaskody i tranzystor ten zaczyna pracować w zakresie rezystancyjnym i nachylenie charakterystyki przejściowej maleje. Technika ta jest zastosowana we wzmacniaczu IFA01 badanym w ćwiczeniu.



Rys. 2. Wzmacniacz z dwubramkowym tranzystorem MOSFET (a) i jego charakterystyka regulacji (b)

We wzmacniaczach scalonych wzmocnienie tranzystorów bipolarnych można redukować poprzez zmniejszanie prądu kolektora, można też zastosować bardziej złożone układy wielotranzystorowe, takie jak pokazany przykładowo układ z rozdziałem prądu. Podstawowy wzmacniacz stanowi tu

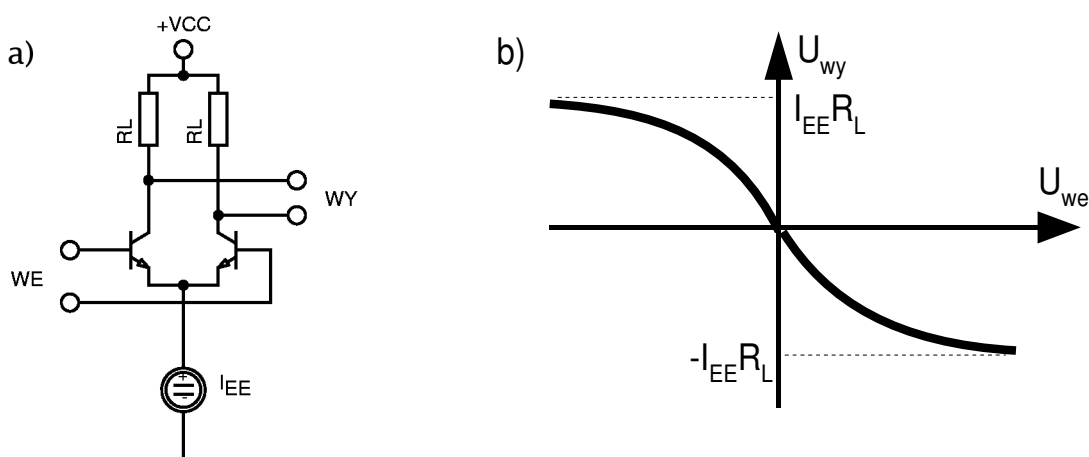
para różnicowa T1/T2, prądy kolektorów tych tranzystorów są następnie dzielone w parach różnicowych T3/T4 oraz T5/T6. Jeśli napięcie regulacyjne jest dodatnie to niemal cały prąd wyjściowy pary T1/T2 płynie przez tranzystory T3 i T6 do obciążenia i wzmacnienie jest maksymalne. Przy obniżaniu napięcia regulacyjnego coraz większa część prądu płynie przez tranzystory T4 i T5 bezpośrednio do zasilania i wzmacnienie maleje. Zaletą powyższego układu są małe zmiany impedancji wejściowej i wyjściowej przy zmianach wzmacnienia.



Rys. 3. Wzmacniacz z regulacją wzmacnienia przez rozdział prądów (a) i charakterystyka regulacji (b)

2.1.3. Wzmacniacz ogranicznik

W przypadku modulacji kąta (FM, PM i pochodne) amplituda sygnału nie przenosi informacji a do demodulacji wystarcza informacja zawarta w częstotliwości chwilowej. Można wtedy ustabilizować amplitudę sygnału poprzez jego wzmacnienie i obcięcie. Zasadniczo każdy wzmacniacz przesterowany powoduje obcięcie sygnału, jednak w technice scalonej do realizacji wzmacniaczy-ograniczników wykorzystuje się wzmacniacze różnicowe. Ich zaletami są symetria ograniczania, łatwość kontroli poziomu ograniczania oraz prosta realizacja w technice scalonej.



Rys. 4. Wzmacniacz-ogranicznik (a) i jego charakterystyka przejściowa (b)

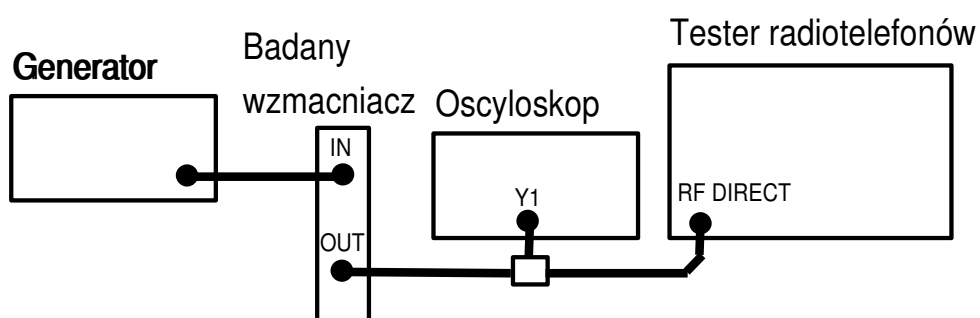
Amplituda napięcia wyjściowego takiego wzmacniacza nie może przekroczyć wartości (dla wyjścia symetrycznego):

$$U_{wy} = R_L I_{EE}$$

zależnej od prądu I_{EE} polaryzującego parę różnicową i rezystancji obciążenia R_L . Zazwyczaj we wzmacniaczu p. cz. łączy się kaskadowo kilka (3-8) stopni różnicowych, aby osiągnąć żądane wzmocnienie dla małych sygnałów (a przez to wymaganą czułość odbiornika) i skuteczne ograniczanie.

2.3. Badanie wzmacniacza p. cz. z regulacją wzmocnienia

Przeprowadzić badanie charakterystyki wejściowo-wyjściowej wzmacniacza IFA01. W tym celu należy zestawić układ pomiarowy przedstawiony na rysunku poniżej, do kalibracji sygnał z generatora doprowadzić do wejścia testera radiotelefonów (połączenie linią przerywaną).



Rys. 5. Schemat układu pomiarowego do badania wzmacniaczy p. cz.

W testerze radiotelefonów wybrać funkcję pomiaru nadajnika (przycisk “TX”), wejście RF DIRECT (przycisk programowany “RF DIR”), częstotliwość pracy 9MHz (przycisk “FREQ”, wpisać częstotliwość i potwierdzić przyciskiem “ENTER”) i rodzaj pracy AM (wcisnąć przycisk “MOD” a następnie “UNIT/SCROLL” aż na górze ekranu pokaże się napis “TX AM”).

Generator ustawić na częstotliwość 9,00MHz, włączyć modulację AM i ustawić głębokość modulacji 30%. Sprawdzić parametry sygnału z generatora mierząc go za pomocą testera radiotelefonów (połączenie “kalibracja” na rysunku). Pomiar mocy sygnału na wejściu “RF DIRECT” testera dostępny jest po wciśnięciu przycisku programowanego “SPECIAL” (i następnie w razie potrzeby przycisku “SEL. PWR”).

Do układu dołączyć wzmacniacz IFA01. Zmieniając poziom sygnału z generatora w zakresie od +10 do -110dBm dokonać pomiaru mocy sygnału wyjściowego wzmacniacza, głębokości modulacji oraz zniekształceń nieliniowych modulacji. Podczas pomiaru można obserwować przebieg wyjściowy wzmacniacza na oscyloskopie. Sporządzić wykres zależności poziomu sygnału wyjściowego wzmacniacza i głębokości modulacji sygnału od poziomu sygnału wejściowego. Określić wzmocnienie wzmacniacza dla małych sygnałów, próg zadziałania ARW i zakres dynamiki regulacji wzmocnienia.

Na jakim odcinku charakterystyki wzmacniacz przenosi modulację amplitudy wzmacnianego sygnału?

2.4. Badanie wzmacniacza ogranicznika

Wykonać analogiczne pomiary dla wzmacniacza-ogranicznika (zmodyfikowany wzmacniacz RFA01) w zakresie mocy sygnału wejściowego od +10 do -80dBm. Sporządzić wykres zależności poziomu sygnału wyjściowego wzmacniacza i głębokości modulacji sygnału od poziomu sygnału wejściowego. Obliczyć wzmocnienie wzmacniacza dla małych sygnałów i określić próg ograniczania.

Co dzieje się z modulacją amplitudy sygnału wejściowego? Do jakich rodzajów modulacji wzmacniacz-ogranicznik jest przydatny?

3. Filtry pośredniej częstotliwości

Filtr pośredniej częstotliwości jest elementem decydującym o selektywności odbiornika superheterodynowego. Powinien on przenosić pasmo częstotliwości odpowiadające szerokości pasma odbieranego sygnału (zależące od rodzaju modulacji) i tłumić niepożądane sygnały z kanałów sąsiednich. Wymagany poziom tłumienia wynosi od 30 do ponad 80dB w zależności od zastosowania i klasy odbiornika. Zazwyczaj do osiągnięcia wymaganej selektywności filtr musi zawierać kilka rezonatorów. Mogą być nimi obwody LC lub, jeśli wymagane jest węższe pasmo, rezonatory kwarcowe, piezoceramiczne lub mechaniczne. Filtry p. cz. realizuje się także w strukturach z powierzchniową falą akustyczną (filtry SAW).

Podstawowe parametry filtru pośredniej częstotliwości to:

- częstotliwość środkowa,
- szerokość pasma przepustowego,
- tłumienie w paśmie przepustowym (jak najmniejsze),
- tłumienie w paśmie zaporowym (nie mniejsze niż wymagane).

W pewnych przypadkach istotne są również dodatkowe parametry takie jak dopuszczalna nierównomierność charakterystyki w paśmie przenoszenia czy przebieg charakterystyki fazowej filtru (istotne dla modulacji FM i przy transmisji cyfrowej). Zazwyczaj charakterystyki fazowe określa się poprzez podanie wielkości opóźnienia grupowego. Wyraża ono czas opóźnienia wąskopasmowego sygnału zmodulowanego przechodzącego przez filtr, i matematycznie jest równoważne pochodnej charakterystyki fazowej. Aby filtr nie zniekształcał sygnału, opóźnienie grupowe filtru powinno być stałe w funkcji częstotliwości.

W niektórych przypadkach (np. telewizja) charakterystyka przenoszenia filtru powinna mieć bardziej złożony kształt. Zazwyczaj określa się wtedy graniczne charakterystyki, pomiędzy którymi powinna przebiegać rzeczywista charakterystyka filtru.

Przy porównywaniu właściwości filtrów p. cz. często stosuje się pewne wielkości opisujące kształt charakterystyki filtru.

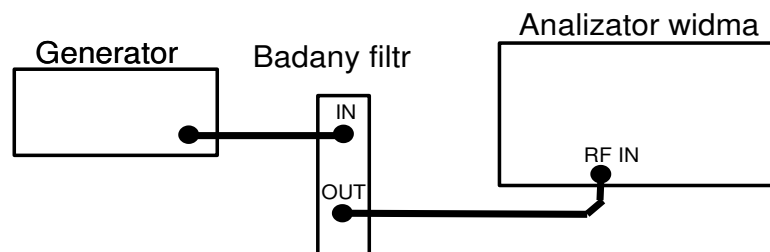
Współczynnik kształtu oraz **współczynnik prostokątności** filtru określa się jako stosunek szerokości pasma filtru mierzonych dla dwóch różnych poziomów tłumienia, jednego przy

niewielkim tłumieniu (tuż poniżej wierzchołka charakterystyki transmitancji) a drugiego przy tłumieniu bliskim wielkości dla pasma zaporowego (przy podstawie charakterystyki transmitancji). Zależnie od sposobu zdefiniowania, współczynnik ten może być większy od jedności (współczynnik prostokątności) lub mniejszy od jedności (współczynnik kształtu). W obu przypadkach im wartość jest bliższa jedności tym filtr ma charakterystykę bliższą idealnemu filtrowi prostokątnemu zapewniającemu doskonałą selektywność ale nierealizowalnego fizycznie.

Dobroć filtru określa się jako stosunek częstotliwości środkowej filtru do jego szerokości pasma. Nie może być ona większa od dobroci rezonatorów użytych do budowy filtru. W przypadku filtrów o większej szerokości pasma przenoszonego określa się zwykle **względną szerokość pasma** będącą odwrotnością dobroci i zwykle wyrażaną w procentach częstotliwości środkowej.

3.1. Pomiary charakterystyki przenoszenia filtru pośredniej częstotliwości

Układ pomiarowy skonfigurować według schematu z rysunku 6. W filtrze QFL01 wcisnąć przycisk "2". W generatorze wyłączyć modulację sygnału wyjściowego.



Rys. 6. Schemat układu pomiarowego do badania filtru p. cz.

Zmieniając częstotliwość generatora w zakresie 8,99 do 9,01MHz zmierzyć poziom sygnału wyjściowego filtru w funkcji częstotliwości. Obliczyć szerokość pasma przenoszenia filtru (na poziomie -6dB), tłumienie w paśmie przenoszenia i zaporowym oraz współczynnik kształtu filtru.

Do jakiego typu modulacji badany filtr jest przydatny?

Czy podobny filtr mógłby być zrealizowany za pomocą obwodów LC o dobroci rzędu 100?

4. Demodulatory amplitudy i częstotliwości

Klasycznym demodulatorem (detektorem) amplitudy jest prostownik szczytowy z germanową diodą ostrzową. Charakteryzuje się ona bardzo niskim napięciem progowym, dzięki czemu może demodulować sygnały z dobrą liniowością. Obecnie można ją zastąpić specjalnymi diodami Schottky'ego z bardzo niską barierą. Zwykle diody Schottky'ego oraz krzemowe diody złączowe mają zbyt wysoką barierę potencjału i zbyt wysokie napięcie przewodzenia, aby demodulować sygnały o amplitudzie nawet kilku woltów. Wadę tą można wyeliminować polaryzując diodę w kierunku przewodzenia niewielkim napięciem, ale komplikuje to konstrukcję detektora gdyż napięcie polaryzujące zależy od temperatury. W układach scalonych często diody detekcyjne zastępuje się tranzystorami, co pozwala na pewne wzmocnienie sygnału podczas

demodulacji.

Niezależnie od rodzaju diody detekcyjnej, przejście od obszaru zaporowego charakterystyki do obszaru przewodzenia zachodzi łagodnie. Jeśli sygnał zmodulowany będzie miał niewielką amplitudę to charakterystykę diody można aproksymować zależnością kwadratową a prąd wyprostowany jest proporcjonalny do kwadratu amplitudy sygnału wejściowego. Jest to detekcja kwadratowa. Znajduje ona zastosowanie do pomiaru mocy sygnałów w. cz.

Przy dużych amplitudach sygnału wejściowego charakterystykę diody można aproksymować linią łamaną a wtedy wartość chwilowa napięcia wyprostowanego jest proporcjonalna do chwilowej amplitudy sygnału zmodulowanego. Jest to detekcja linowa. Pozwala ona na demodulację sygnałów z modulacją AM bez zniekształceń.

W badanej wkładce AMD01 demodulator amplitudy jest zrealizowany na tranzystorze bipolarnym. Do demodulacji wykorzystuje się złącze B-E tranzystora. Sygnał zmodulowany doprowadzony do bazy a z obwodu RC znajdującego się w obwodzie emitera odbiera się wyjściowy sygnał zdemodulowany. Demodulator poprzedzony jest jednostopniowym wzmacniaczem p. cz. Przesterowanie tego wzmacniacza ogranicza zakres demodulowanych napięć od góry.

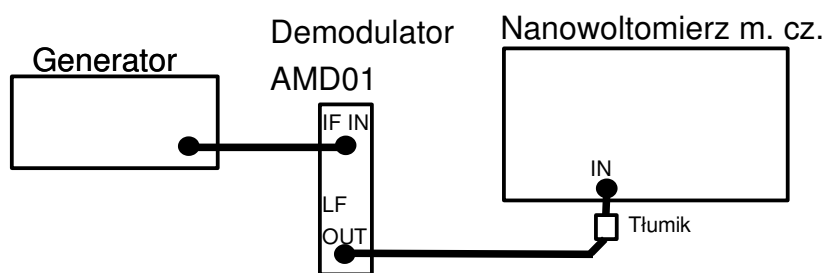
Badany w ćwiczeniu demodulator FM, znajdujący się we wkładce FMD01, jest zrealizowany w układzie demodulatora koincydencyjnego. Zawiera on układ mnożący dwa sygnały oraz przesuwnik fazy zależny od częstotliwości. Przesuwnik ten wykorzystuje zależność przesunięcia fazy napięcia w obwodzie rezonansowym w funkcji częstotliwości w pobliżu częstotliwości rezonansowej. Jeśli sygnał wejściowy demodulatora zostanie przemnożony przez sygnał przesunięty w fazie to napięcie wyjściowe demodulatora będzie zależne od tego przesunięcia fazy. Dzięki zależności przesunięcia fazy od częstotliwości sygnału, sygnał wyjściowy będzie zawierał składową zależną od częstotliwości chwilowej sygnału wejściowego.

Starsze układy demodulatorów wykorzystywały konwersję modulacji FM na modulację AM + FM na zboczu charakterystyki odstrojonego obwodu rezonansowego lub zależności fazowe w obwodach sprzężonych.

Obecnie coraz szersze zastosowanie znajdują demodulatory częstotliwości z pętlą PLL. Sygnał wyjściowy uzyskuje się z sygnału sterującego generator VCO w stanie śledzenia przez pętlę zmian częstotliwości sygnału wejściowego FM.

4.1. Pomiary detektora amplitudy

Układ pomiarowy skonfigurować według schematu zamieszczonego poniżej. Generator ustawić na częstotliwość 9MHz, włączyć modulację AM i ustawić głębokość modulacji na bliską 100%. Jeśli w ćwiczeniu jest użyty generator G4-153 to do kontroli głębokości modulacji użyć oscyloskopu. Miliwoltomierz m. cz. dostroić na maksimum wskazań pokrętle "FREQUENCY" (częstotliwość około 1kHz). Zakres pomiarowy zmienia się przełącznikiem "SENSITIVITY".



Rys. 7. Schemat układu pomiarowego do badania demodulatora AM.

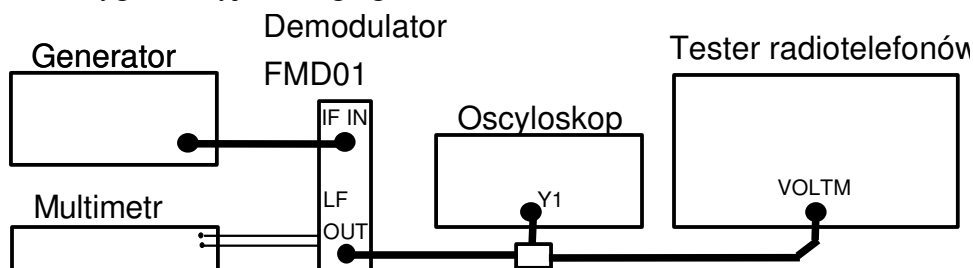
Zmieniając tłumienie sygnału z generatora zmierzyć poziom sygnału wyjściowego m. cz. detektora w funkcji poziomu sygnału wejściowego w. cz.. Wykres sporządzić podając poziom sygnałów m. cz. i w. cz. w skali logarytmicznej (w decybelach). Zaznaczyć zakres pracy liniowej detektora oraz zakres pracy kwadratowej (odcinek, na którym 1dB zmiany poziomu sygnału w. cz. odpowiada 2dB zmiany poziomu sygnału wyjściowego).

Porównać szerokości obu zakresów pracy detektora. Który z tych zakresów jest przydatny do demodulacji sygnału AM, a który byłby odpowiedni do pomiaru mocy sygnału w. cz.?

4.2. Pomiary demodulatora częstotliwości

1. Badanie charakterystyki statycznej demodulatora

Układ pomiarowy skonfigurować według schematu zamieszczonego na rys 8. Przyciskiem wybrać typ demodulatora "LC" (kwadraturowy). Generator ustawić na częstotliwość 465kHz i wyłączyć modulację. Poziom sygnału wyjściowego generatora ustawić na -20dBm.



Rys. 8. Schemat układu pomiarowego do badania demodulatora FM.

Zmieniając częstotliwość generatora w zakresie 430 do 480kHz i odczytując napięcie na woltomierzu dokonać pomiaru statycznej charakterystyki demodulatora.

2. Badanie zniekształceń nieliniowych w demodulatorze.

W generatorze ustawić częstotliwość 465kHz i włączyć modulację częstotliwości. Analizator radiotelefonów przełączyć w tryb badania odbiornika "RX" i włączyć funkcję pomiaru zniekształceń "DIST". Zmierzyć zależność poziomu zniekształceń nieliniowych od poziomu sygnału modulującego (dewiacji częstotliwości) równocześnie obserwować na oscyloskopie sygnał zdemodulowany. Zaobserwować zniekształcenia pojawiające się przy dużych wartościach dewiacji. Sporządzić wykres zależności zniekształceń od dewiacji częstotliwości oraz szkice przebiegu czasowego sygnału wyjściowego demodulatora dla kilku wartości dewiacji.