

POLITECHNIKA WARSZAWSKA
Instytut Radioelektroniki
Zakład Radiokomunikacji

LABORATORIUM TECHNIKI ODBIORU RADIOWEGO

Ćwiczenie 1

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,
- kasetta zawierająca moduły:
 - RFA02 - oporowy wzmacniacz w. cz. (jednotranzystorowy),
 - RFA03 - wzmacniacz w. cz. z tranzystorami JFET,
 - RFA04 - wzmacniacz w. cz. przeciwobny ze sprzężeniem zwrotnym,
 - RFA06 - wzmacniacz w. cz. ze sprzężeniem zwrotnym,
 - MIX01 - mieszacz pierścieniowy diodowy,
 - MIX02 - mieszacz podwójnie zrównoważony z tranzystorami JFET,
 - MIX03 - mieszacz podwójnie zrównoważony z tranzystorami bipolarnymi,
 - MIX04 - mieszacz podwójnie zrównoważony z układem scalonym UL1042,
 - BPF01 - zespół filtrów pasmowoprzepustowych,
 - IFA01 – wzmacniacz z ARW,
 - RFA02 – wzmacniacz-ogranicznik (przebudowany)

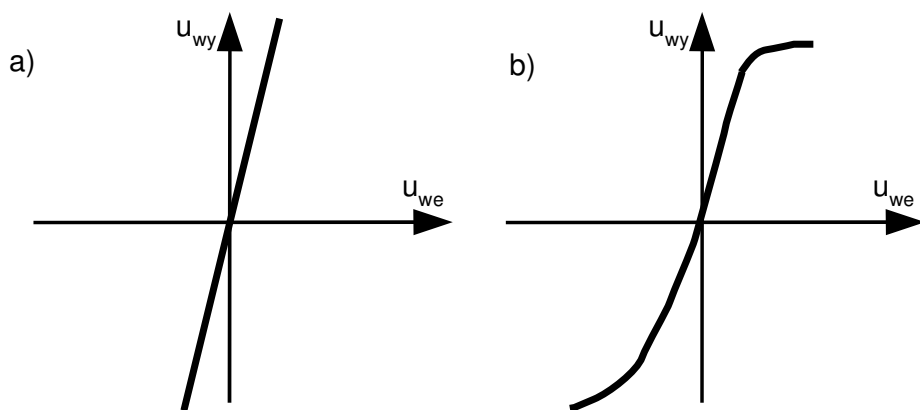
2. Wzmacniacze wysokiej częstotliwości

2.1. Wstęp teoretyczny

Podstawowym zadaniem wzmacniacza jest wzmacnianie sygnałów w torach radiowych. W idealnym wzmacniaczu napięcie wyjściowe powinno być proporcjonalne do napięcia wejściowego:

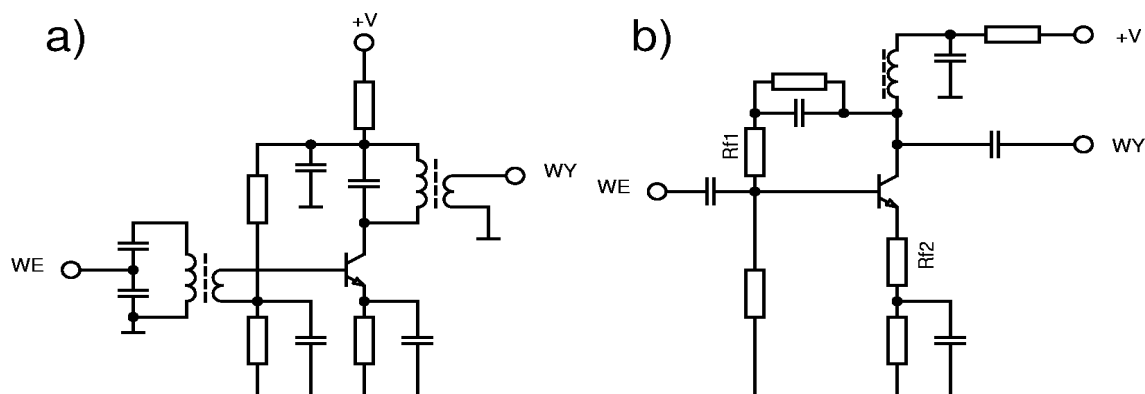
$$u_{wy} = K_U u_{we}$$

gdzie K_U jest wzmocnieniem wzmacniacza. Oznacza to, że charakterystyka przejściowa jest linią prostą. W rzeczywistości charakterystyki elementów aktywnych są nieliniowe i z tego powodu rzeczywista charakterystyka przejściowa wzmacniacza odbiega od linii prostej (rys. 1.) co jest źródłem zniekształceń.



Rys. 1. Charakterystyka przejściowa wzmacniacza: a) idealnego, b) rzeczywistego

Wzmacniacze stosowane w radiotechnice można podzielić na wąskopasmowe (selektywne, rezonansowe) i szerokopasmowe. We wzmacniaczach wąskopasmowych do dopasowania wejść i wyjść elementów aktywnych wykorzystuje się obwody rezonansowe. Zapewniają one możliwość transformacji impedancji w szerokim zakresie, dzięki czemu można osiągnąć duże wzmocnienie pojedynczego stopnia, ale pasmo przenoszonych częstotliwości jest wąskie, ograniczone pasmem przenoszenia zastosowanych obwodów rezonansowych.



Rys. 2. Przykładowy schemat wzmacniacza: a) rezonansowego, b) szerokopasmowego

We wzmacniaczach szerokopasmowych zazwyczaj wymaga się zapewnienia jednakowego wzmocnienia w całym paśmie pracy wzmacniacza. Często realizuje się to poprzez zastosowanie ujemnego sprzężenia zwrotnego, pozwalającego także na poprawę dopasowania na wejściu i wyjściu wzmacniacza. Niekiedy do uzyskania dopasowania stosuje się transformatory szerokopasmowe, nie dają one jednak takich możliwości transformacji impedancji jak obwody rezonansowe. Brak możliwości pełnego dopasowania tranzystora oraz wprowadzenie ujemnego sprzężenia zwrotnego powodują znaczną redukcję uzyskiwanego wzmocnienia wzmacniacza, zwykle jest ono rzędu 10dB podczas gdy we wzmacniaczu rezonansowym przy niezbyt wysokich częstotliwościach może znacznie przekraczać 20dB.

2.1.1. Wzmacniacze w. cz. o wysokiej liniowości

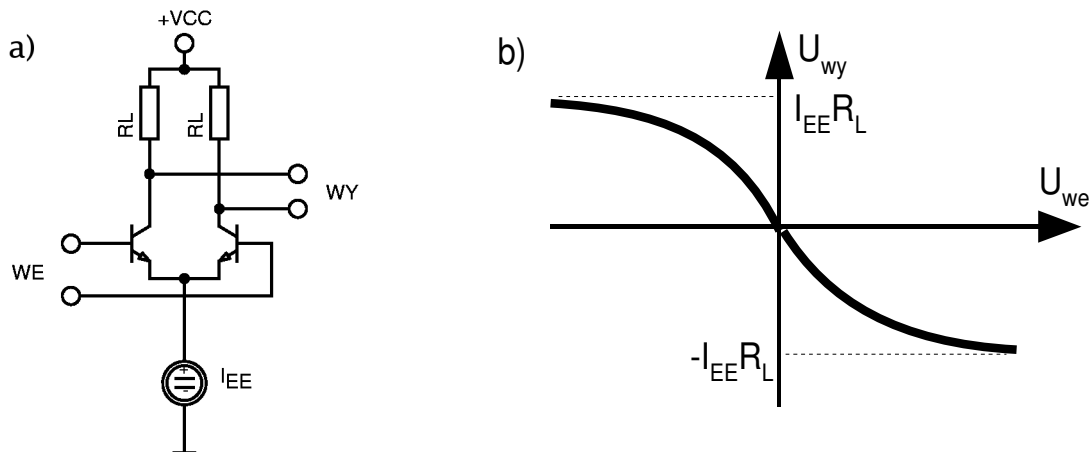
Wzmacniacze w. cz. często muszą wzmacniać równocześnie wiele sygnałów w taki sposób aby uniknąć wzajemnych zakłóceń między nimi. Wymagana jest wtedy szczególnie dobra liniowość wzmacniacza, można ją osiągnąć poprzez następujące techniki:

- zwiększanie prądów kolektora (drenu) tranzystorów,
- stosowanie silnego ujemnego sprzężenia zwrotnego,
- stosowanie elementów o bardziej liniowych charakterystykach (tranzystory polowe),
- stosowanie układów przeciwsobnych.

Do tej grupy można zaliczyć wzmacniacze RFA03, RFA04 oraz RFA06 badane podczas ćwiczenia. Schematy wzmacniaczy są zamieszczone w załączniku.

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 wzmocnienie i obciążenie. Zasadniczo każdy wzmacniacz przesterowany powoduje obciążenie 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. 3. 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.

2.1.4. Zniekształcenia intermodulacyjne we wzmacniaczach

Nieliniową charakterystykę przejściową wzmacniacza rzeczywistego można aproksymować zależnością wielomianową:

$$u_{wy} = f(u_{we}) = A_1 u_{we} + A_2 u_{we}^2 + A_3 u_{we}^3 + \dots$$

Jeśli do takiego wzmacniacza rzeczywistego zostanie doprowadzony pojedynczy sygnał sinusoidalny o częstotliwości $f = \omega/2\pi$:

$$u_{we} = U_0 \sin(\omega t)$$

to w sygnale wyjściowym pojawiają się harmoniczne:

$$u_{wy} = U_1 \sin(\omega t) + U_{2\sin}(2\omega t) + U_{3\sin}(3\omega t) + \dots$$

W praktyce badanie liniowości wzmacniacza lub innego bloku funkcjonalnego

odbiornika za pomocą pojedynczego sygnału jest trudne, gdyż wymagany jest sygnał pomiarowy o bardzo małej zawartości harmonicznych. Typowy poziom harmonicznych w sygnale wyjściowym generatora sygnałowego w. cz. wynosi -40dB w stosunku do sygnału użytecznego, co jest zbyt mało do przeprowadzenia skutecznych pomiarów. Ponadto w radiokomunikacji często mamy do czynienia ze wzmacniaczami wąskopasmowymi zawierającymi obwody rezonansowe, które mogą wyłumić harmoniczne sygnały pomiarowego.

Tak wysoka czystość widmowa sygnału nie jest wymagana w najczęściej stosowanej w radiokomunikacji metodzie dwusygnałowej. W metodzie tej do wejścia badanego układu jest doprowadzany złożony sygnał pomiarowy będący sumą dwóch sygnałów o różnych częstotliwościach i jednakowych amplitudach. Istnieją również metody wykorzystujące trzy sygnały (metoda trójsygnałowa) bądź nawet kilkadziesiąt sygnałów. Metody te są szczególnie często stosowane do badania urządzeń telewizyjnych. Wadą tych metod jest konieczność użycia bardziej złożonego układu do wytworzenia sygnału pomiarowego.

Jeśli do wzmacniacza zostaną doprowadzone dwa sygnały o częstotliwościach f_1 i f_2 to oprócz harmonicznych obydwu sygnałów pojawią się produkty intermodulacji o częstotliwościach wyrażonych ogólną zależnością (obejmującą także sygnały użyteczne i ich harmoniczne):

$$f = |m f_1 \pm n f_2|$$

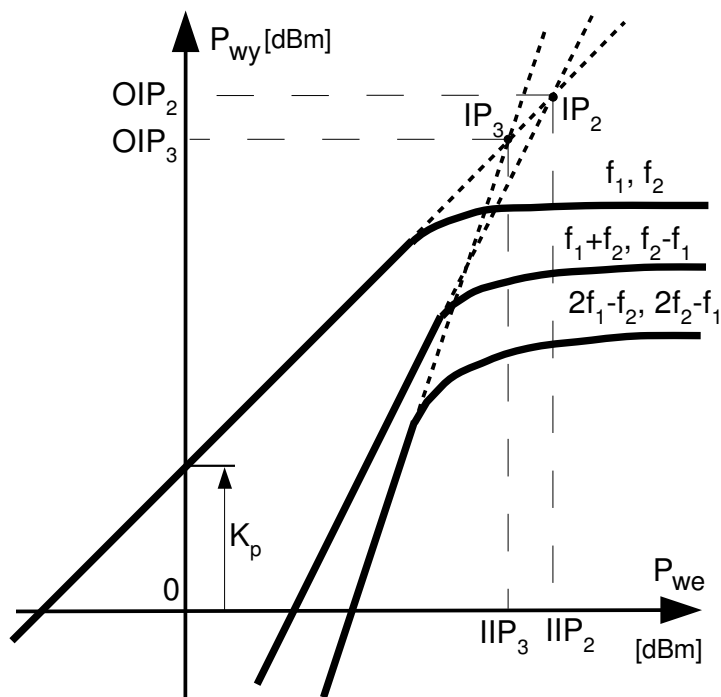
gdzie m i n są liczbami całkowitymi. Suma wartości bezwzględnych współczynników m i n jest nazywana rzędem produktu intermodulacji. Amplitudy harmonicznych i produktów intermodulacji są funkcją poziomu sygnałów wyjściowych i rzędu produktu. Jeśli amplitudy obu składowych sygnału wejściowego są równe to poziom produktów intermodulacji wzrasta tylokrotnie szybciej od wzrostu poziomów sygnałów wejściowych ile wynosi rząd danego produktu. Oznacza to że na każdy decybel przyrostu poziomu sygnałów wejściowych produkty intermodulacji drugiego rzędu wzrastają o 2dB a produkty intermodulacji trzeciego rzędu wzrastają o 3dB. Teoretycznie, przy pewnym poziomie sygnału wejściowego poziom danego produktu intermodulacji powinien zrównać się z poziomem sygnału użytecznego, punkt ten jest nazywany punktem przechwycenia i oznaczany IP (ang. Intercept Point). W praktyce do zrównania się poziomów nigdy nie dochodzi ze względu na ograniczenie mocy sygnału wyjściowego badanego układu a położenie punktu przechwycenia graficznie wyznacza się z punktu przecięcia się przedłużeń odpowiednich charakterystyk (rys. 4). Położenie punktu przechwycenia określa się podając poziom mocy wejściowej lub mocy wyjściowej, na rysunku oznaczone są one oznaczone jako odpowiednio IIPx i OIPx, gdzie x jest rzędem analizowanego produktu. Różnica między tymi wielkościami jest równa wzmocnieniu mocy wzmacniacza.

Matematycznie poziom IIPx lub OIPx wyznacza się na podstawie odstępu od zniekształceń intermodulacyjnych danego rzędu (x) zgodnie z zależnościami:

$$IIP_x = P_{we} + \frac{d}{x-1}$$

$$OIP_x = P_{wy} + \frac{d}{x-1}$$

gdzie x jest rzędem produktu intermodulacji a P_{we} i P_{wy} mocami sygnałów na częstotliwości f_1 lub f_2 mierzonymi odpowiednio na wejściu i wyjściu badanego układu.



W praktyce najbardziej istotne są produkty intermodulacji trzeciego rzędu występujące na częstotliwościach $2f_1-f_2$ oraz $2f_2-f_1$. Częstotliwości te znajdują się w pobliżu częstotliwości f_1 i f_2 i w związku z tym są trudne do odfiltrowania. Niekiedy określa się również właściwości badanego układu dla zniekształceń intermodulacyjnych drugiego rzędu, są one mierzone na częstotliwościach f_1-f_2 oraz f_2+f_1 . Aby pomiar produktów intermodulacji drugiego rzędu był możliwy, wzmacniacz musi przenosić co najmniej oktawową pasmo częstotliwości.

Zazwyczaj punkt IP2 wypada przy wyższym poziomie sygnału niż IP3.

Uwaga: Wzmacniacze o dużej liniowości zachowują się nieco inaczej. W ich sygnale wyjściowym występują produkty intermodulacji wysokich rzędów przez co reguła określająca szybkość wzrostu poziomu produktów intermodulacji przy wzroście poziomu sygnału wejściowego przestaje obowiązywać. Dla takich wzmacniaczy położenie punktu IP3 (lub IP2) najwygodniej określać matematycznie ze wzoru podanego powyżej, podstawiając do niego dane uzyskane dla punktu pomiarowego, dla którego odstęp od produktów intermodulacji wynosi około 50dB.

2.1.2. Poziom kompresji

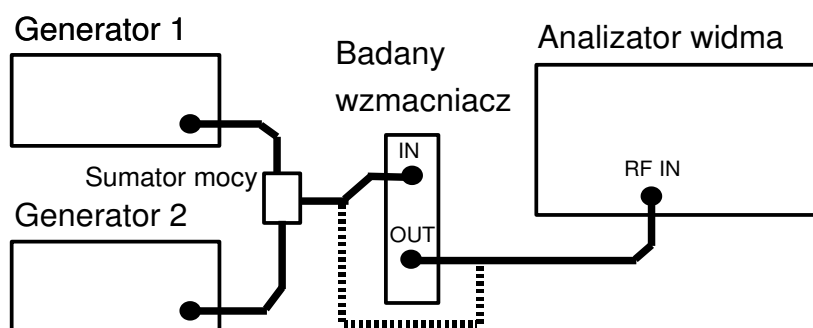
Jak już wspomniano sygnał wyjściowy wzmacniacza nie może wzrastać nieograniczenie przy wzroście sygnału wejściowego, chociażby z powodu ograniczonych wartości napięć i prądów zasilających. W zakresie małych sygnałów sygnał na wyjściu wzmacniacza jest proporcjonalny do sygnału wejściowego. Jest to obszar pracy liniowej wzmacniacza, w którym wzmocnienie, definiowane jako stosunek sygnału wyjściowego do wejściowego (lub różnica poziomów wyrażona w dB), jest stałe. Powyżej pewnego poziomu sygnał wyjściowy zaczyna przyrastać słabiej niż proporcjonalnie do sygnału wejściowego. Zazwyczaj jako

koniec liniowego zakresu przyjmuje się punkt, w którym sygnał wyjściowy jest o 1dB mniejszy niż byłby gdyby proporcjonalność była zachowana. Poziom mocy wyjściowej wzmacniacza w tym punkcie jest nazywany poziomem 1dB kompresji. Punkt ten można także zdefiniować także jako punkt w którym wzmacnienie wzmacniacza maleje o 1 dB w stosunku do wzmacnienia mierzonego przy małych sygnałach.

2.2. Pomiary charakterystyk intermodulacyjnych wzmacniaczy

Przeprowadzić badanie charakterystyki wejściowo-wyjściowej wzmacniacza RFA02:

1. Zestawić układ pomiarowy przedstawiony na rysunku poniżej, jednak wstępnie w celu kalibracji sygnał z sumatora mocy doprowadzić bezpośrednio do wejścia analizatora widma (połączenie linią przerywaną).



Rys. 5. Schemat układu do badania właściwości intermodulacyjnych wzmacniaczy

2. Na jednym z generatorów ustawić częstotliwość f_1 równą 12MHz a na drugim częstotliwość f_2 równą 14MHz (częstotliwości powinny różnić się o około 2MHz). W analizatorze widma ustawić częstotliwość środkową (FREQUENCY) równą 20MHz i zakres przemiatania (SPAN) równy 40MHz. Ustawić poziom sygnałów wyjściowych generatorów tak aby oba prążki miały poziom 0dB odczytywany na analizatorze widma. Dla ułatwienia obliczeń można w generatorach uaktywnić funkcje odczytu względnego poziomu sygnału “ Δ dB”.

3. Ustawić na obu generatorach poziom sygnału równy -60dBm . Odczytać z analizatora widma i zanotować poziomy sygnałów na wyjściu wzmacniacza. Sprawdzić, czy występują prążki na częstotliwości f_1+f_2 oraz f_1-f_2 (produkty intermodulacji 2 rzędu) i na częstotliwościach $2f_1-f_2$ oraz $2f_2-f_1$ (produkty intermodulacji 3 rzędu). Jeśli prążki są zauważalne to zanotować ich poziom.

4. Powtarzać pomiary zwiększając poziom sygnałów z obu generatorów jednocześnie skokami co 5dB. Zaobserwować pojawianie się produktów intermodulacji coraz wyższych rzędów.

5. Sporządzić wykres poziomu sygnałów wyjściowych wzmacniacza na częstotliwościach f_1 , f_2 oraz wskazanych wyżej produktów intermodulacji w funkcji poziomu sygnałów na wejściu. Z uzyskanych wyników określić wzmacnienie w zakresie liniowym (dla małych sygnałów), punkt w którym wzmacnienie maleje o 1dB oraz wyznaczyć położenie punktów IP2 i IP3

(podać poziomy odniesione zarówno do wejścia jak i do wyjścia wzmacniacza).

6. Powtórzyć pomiary dla wybranego innego wzmacniacza (RFA03, RFA04 lub RFA06). Uzyskane wyniki porównać z uzyskanymi dla wzmacniacza RFA02. Na podstawie schematu ideowego określić technikę, która umożliwiła osiągnięcie większej liniowości.

3. Badanie mieszacza

3.1. Wstęp teoretyczny

Mieszacz jest układem zawierającym nieliniowy element, do którego doprowadzone są dwa sygnały o różnych częstotliwościach. Jeden z sygnałów, zazwyczaj niosący pewną informację, jest nazywany sygnałem użytecznym. Drugi sygnał jest nazywany sygnałem heterodyny, zazwyczaj jest on niemodulowanym przebiegiem okresowym (np. sinusoidalnym). Doprowadzenie obydwu sygnałów do elementu nieliniowego powoduje powstanie szeregu sygnałów o częstotliwościach określonych wzorem:

$$f = |m f_1 \pm n f_2|$$

gdzie m i n są liczbami rzeczywistymi. Zazwyczaj użytecznym sygnałem wyjściowym jest jeden z sygnałów o częstotliwościach f_1+f_2 oraz f_1-f_2 . Aby mieszanie było maksymalnie efektywne, charakterystyka elementu nieliniowego w mieszaczu powinna być zbliżona do zależności kwadratowej. W praktyce jako elementy mieszające stosuje się diody lub tranzystory. Ich charakterystyka odbiega jednak od zależności kwadratowej toteż oprócz wymienionych wyżej sygnałów na wyjściu mieszacza występują niepożądane sygnały: wejściowy i heterodyny, ich harmoniczne oraz produkty mieszania wyższych rzędów. Częściową eliminację tych sygnałów osiąga się stosując mieszacze zrównoważone, w których występuje kilka elementów nieliniowych połączonych tak, aby część wytworzonych przez nie sygnałów niepożądanych znosiła się wzajemnie. Mieszacze MIX01 do MIX04 używane w ćwiczeniu są mieszaczami zrównoważonymi.

W odbiornikach radiowych mieszacze stosuje się do przetworzenia odbieranego sygnału na sygnał na częstotliwości pośredniej. Częstotliwość ta jest zazwyczaj stała, co ułatwia realizację wzmacniaczy i filtrów częstotliwości pośredniej. Przy dostrajaniu odbiornika do wybranej częstotliwości należy tak dobrać częstotliwość heterodyny, aby była ona mniejsza lub większa od częstotliwości odbieranego sygnału o wielkość częstotliwości pośredniej.

Wadą odbiorników z przemianą częstotliwości jest występowanie zjawiska odbioru niepożądanych sygnałów nadawanych na innych częstotliwościach niż częstotliwość sygnału użytecznego. Jeśli częstotliwość heterodyny oznaczyć jako f_h a częstotliwość pośrednią jako f_p to odbiornik, nawet z idealnym mieszaczem, będzie odbierać sygnał zarówno na częstotliwości f_h-f_p jak i f_h+f_p . Na jednej z tych częstotliwości nadawany jest sygnał użyteczny, natomiast druga częstotliwość jest nazywana częstotliwością lustrzaną. Jest ona odległa od częstotliwości sygnału użytecznego o podwójną wartość częstotliwości pośredniej. Aby wyłumić sygnał na częstotliwości lustrzanej konieczne jest zastosowanie na wejściu

mieszacza obwodu rezonansowego lub filtru pasmowego przepuszczającego sygnał użyteczny a tłumiącego sygnał lustrzanym. Dodatkowo filtr (obwód) wejściowy może być wykorzystany do stłumienia sygnału heterodyny przenikającego do anteny poprzez wejście mieszacza.

3.2. Pomiary

3.2.1. Mieszacz jednotranzystorowy

Jako mieszacz jednotranzystorowy wykorzystuje się wzmacniacz RFA02 doprowadzając do jego wejścia sygnały z dwóch generatorów poprzez sumator mocy. Układ pomiarowy jest identyczny jak do badania właściwości intermodulacyjnych wzmacniaczy – rys. 5.

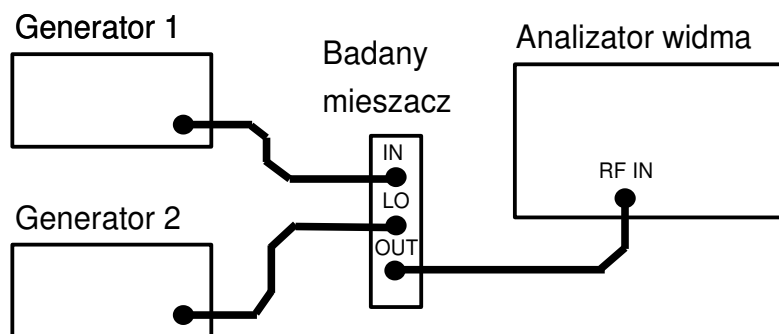
1. Jeden z generatorów ustawić na częstotliwość pracy 14MHz a poziom sygnału na -40dB. Sygnał tego generatora będzie sygnałem wejściowym mieszacza. Sygnał drugiego generatora, ustawionego na częstotliwość 12MHz, będzie on sygnałem heterodyny.
2. Zaobserwować produkt mieszania na częstotliwości 2MHz. W razie potrzeby w analizatorze widma włączyć węższy filtr wciskając kolejno przycisk BW, przycisk RES BW (obok ekranu) na pozycję MAN i pokręcając pokrętkę w lewo.
3. Zmieniając poziom sygnału z drugiego generatora (na częstotliwości 12MHz) zaobserwować zmiany poziomu prążka na częstotliwości 2MHz. Określić optymalny poziom sygnału heterodyny jako punkt, przy którym uzyskuje się największe wzmocnienie przemiany (najwyższy poziom prążka na częstotliwości 2MHz).
4. Naszkicować widmo sygnału wyjściowego mieszacza i zidentyfikować występujące w nim składowe.
5. Oszacować wzmocnienie przemiany jako stosunek poziomu sygnału wyjściowego na częstotliwości 2MHz do mocy sygnału wejściowego na częstotliwości 14MHz. Porównać uzyskaną wartość z wartością wzmocnienia wzmacniacza RFA02 dla małych sygnałów uzyskaną w punkcie 2.2.
6. Porównać poziomy sygnałów o częstotliwościach 12 oraz 14MHz na wejściu i wyjściu wzmacniacza. Czy mieszacz jednotranzystorowy wprowadza tłumienie sygnałów wejściowych?

3.2.2. Mieszacz zrównoważony

Zmienić mieszacz na wybrany mieszacz zrównoważony (MIX01, MIX02, MIX03 lub MIX04),podłączając go zgodnie ze schematem poniżej. **Uwaga:** w tym układzie pomiarowym poziomy sygnałów doprowadzonych do wejść mieszacza są o 6dB wyższe niż w poprzednim układzie ponieważ nie stosuje się sumatora mocy. Przed wykonaniem pomiarów należy ponownie dokonać kalibracji poprzez dołączenie kolejno obydwu generatorów do wejścia analizatora i ustawienie poziomu mocy 0dB.

Badania mieszacza przeprowadzić analogiczne jak w poprzednim punkcie. Jako

optymalny punkt pracy mieszacza przyjąć poziom sygnału heterodyny, przy którym poziom produktu mieszania o częstotliwości 2MHz przestaje istotnie wzrastać (nie należy przekraczać poziomu +15dBm).



Rys. 6. Schemat układu pomiarowego do badania mieszaczy zrównoważonych.

1. Naszkicować widmo sygnału na wyjściu mieszacza i zidentyfikować występujące w nim prążki.
2. Porównać poziomy sygnału wejściowego 14MHz i wyjściowego 2MHz i określić wzmocnienie (lub tłumienie) przemiany.
3. Określić tłumienie sygnału wejściowego i sygnału heterodyny określane jako stosunek mocy sygnału wyjściowego mieszacza na danej częstotliwości (12MHz lub 14MHz) do mocy sygnału doprowadzonego do mieszacza. Jeśli poziom sygnału wejściowego lub heterodyny na wyjściu mieszacza jest większy niż poziom odpowiedniego sygnału doprowadzonego do mieszacza to wyrażone w decybelach tłumienie jest ujemne.
4. Porównać właściwości mieszacza jednotranzystorowego i zrównoważonego (wzmocnienie przemiany, poziom tłumienia sygnałów niepożądanych, wymagany poziom sygnału heterodyny).

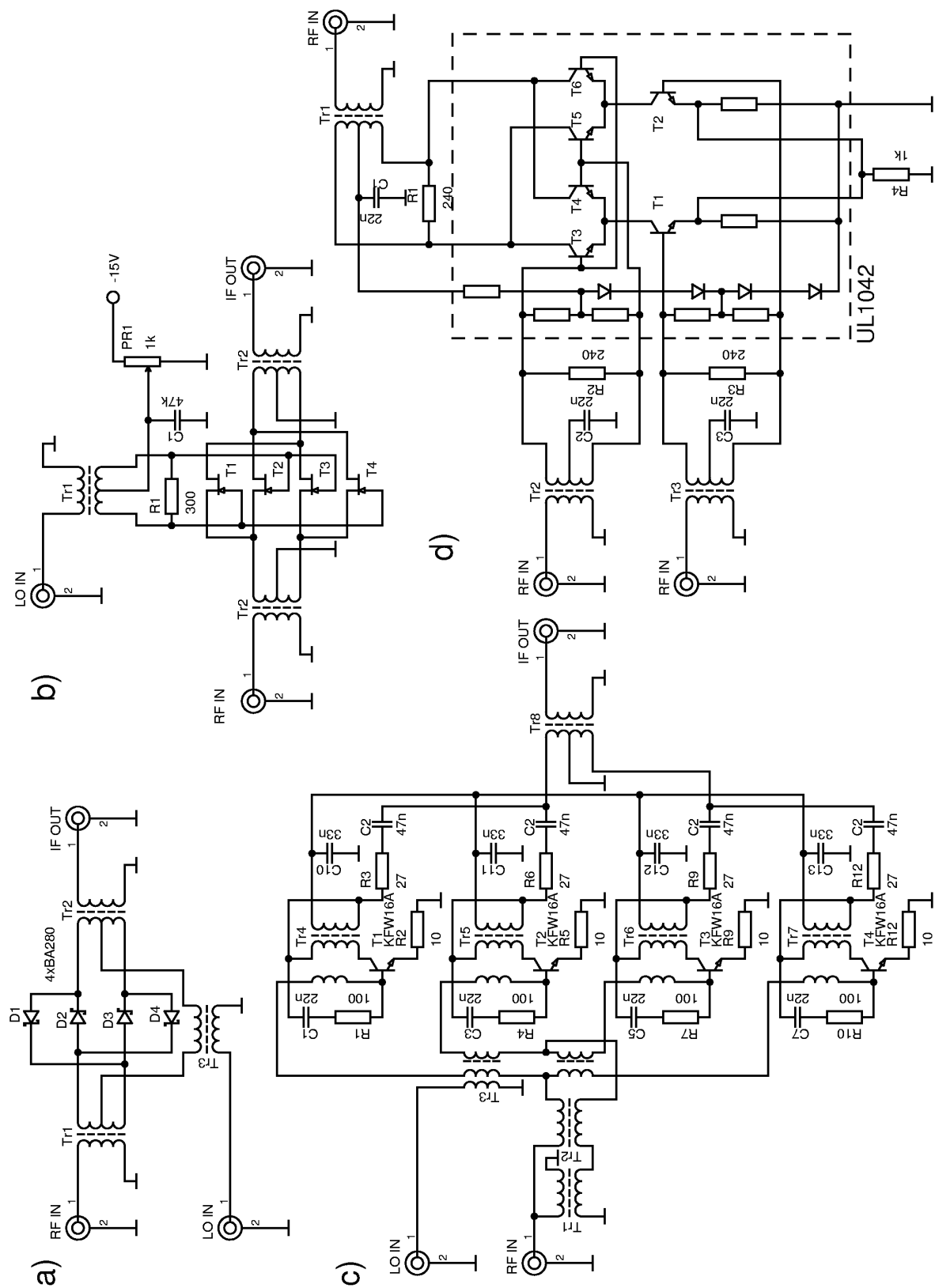
3.2.3. Badanie stopnia przemiany z filtrem wejściowym

1. Do mieszacza doprowadzić sygnał heterodyny o optymalnym poziomie i dla wybranego poziomu sygnału wejściowego na częstotliwości 14MHz zanotować poziom prążka o częstotliwości pośredniej 2MHz.
2. Zmienić częstotliwość generatora dającego sygnał wejściowy z 14MHz do 10MHz i zaobserwować ponowne pojawienie się prążka na częstotliwości 2MHz. Powrócić do częstotliwości 14MHz.
3. Pomiędzy generator sygnału wejściowego a wejście RFin mieszacza włączyć zespół filtrów pasmowych BPF01 i wybrać przyciskiem filtr 14MHz. Zaobserwować wpływ tłumienia filtru w paśmie przepustowym. Oszacować wielkość tego tłumienia porównując poziomy sygnału o częstotliwości pośredniej uzyskane z filtrem i bez filtru.
4. Przestroić generator sygnału wejściowego ponownie na częstotliwość 10MHz i zaobserwować efekt tłumienia częstotliwości lustrzanej. Oszacować tłumienie filtru dla częstotliwości lustrzanej porównując poziomy zmierzone przy częstotliwości sygnału

wejściowego 10MHz i 14MHz. Jeśli sygnał na częstotliwości pośredniej nie będzie widoczny to zwiększyć poziom sygnału wejściowego o znaną wielkość, którą należy uwzględnić przy obliczaniu tłumienia.

3.2.4. Obserwacja charakterystyki filtru

Wyjście filtru dołączyć do wejścia analizatora i włączyć tryb zapamiętywania maksimum wciskając przyciski TRACE i MAX HOLD (obok ekranu). Powoli zmieniając częstotliwość generatora w zakresie od 10MHz do 20MHz obserwować rysowanie na ekranie charakterystyki filtru. Określić pasmo przenoszenia filtru i tłumienie wnoszone na częstotliwości 14MHz. Oszacować tłumienie filtru dla częstotliwości lustrzanej i porównać z wielkością uzyskaną w poprzednim punkcie.



Rys. 8. Schematy ideowe mieszaczy używanych w ćwiczeniu: a) MIX01, b) MIX02, c) MIX03, d) MIX04