

Тема 4

Радіоприймальні пристрої ЗРЛ.

Заняття №2 Підсилювачі високої частоти і перетворювачі частоти.

Питання заняття

1. Призначення та основні технічні характеристики вхідних ланцюгів та ПВЧ різних типів.
2. Принцип дії ПВЧ різних типів.
3. Перетворювачі частоти.

Призначення та основні технічні характеристики вхідних ланцюгів та ПВЧ різних типів

Призначення і основні технічні характеристики вхідних ланцюгів

Вхідні кола приймача призначені для узгодження антенно-фідерної системи з підсилювачем високої частоти, а при відсутності ПВЧ - безпосередньо з перетворювачем і виконання попередньої селекції.

В якості вхідних кіл використовують окремі коливальні системи або сукупність декількох зв'язаних між собою коливальних систем.

В діапазонах ДХ, СХ, КХ і початковій ділянці метрового діапазону хвиль (до 150÷200Мгц) в якості вхідних кіл (а також міжкаскадних) ланцюгів використовують коливальні контури з зосередженими параметрами, які складаються з котушок індуктивності і конденсаторів.

На частотах більш як 200МГц застосовують коливальні системи з розподільними параметрами, так як з підвищенням частоти габарити котушок індуктивностей зменшуються і на таких частотах їх конструктивно виконати неможливо. Крім цього, з підвищенням частоти внаслідок росту активного опору провідників із-за поверхневого ефекту швидко падає добротність коливальних систем з зосередженими параметрами.

На частотах від 200 до 1000МГц в якості вхідних (і міжкаскадних) ланцюгів застосовують відрізки довгих ліній, а на частотах більш як 1000МГц - об'ємні резонатори. Об'ємні резонатори мають велику площу поверхні, внаслідок чого густина струмів в металі, а значить і втрати на джоулеве тепло малі. В РЛС см-діапазону вхідне коло як правило конструктивно об'єднане з розрядником антенного перемикача.

Коливальні контури в діапазоні частот перестроюються за допомогою електричної або механічної зміни одного або декількох параметрів. Електричне перестроювання виконується за допомогою феритів, напівпровідникових конденсаторів, механічна - за допомогою змінних конденсаторів, короткозамкнутих поршнів і т.п.

Зв'язок вхідних кіл з джерелом сигналу може бути ємнісним, індуктивним, автотрансформаторним. Для систем з розподільними параметрами можуть застосовуватись зв'язки лінією (пов'язані лінії), отвором або щілиною.

Основними параметрами вхідних пристроїв є:

**коефіцієнт передачі по напрузі $K_{вх}$ або по потужності $K_{рвх}$;
смуга пропускання $\Delta F_{вх}$; резонансна частота f_o .**

Під коефіцієнтом передачі вхідного кола по напрузі розуміють відношення напруги (потужності) на виході кола до ЕРС (номінальної потужності) джерела сигналу.

Коефіцієнт передачі має максимальне значення при узгоджені АФС з вхідним колом.

На практиці значення вказаних параметрів вхідних кіл мають порядок:

$$K=0,7\div 3; K_p=0,7\div 0,95; \Delta F=5\div 70\text{МГц}.$$

Призначення і основні технічні характеристики ПВЧ

Підсилювач високої частоти (ПВЧ) – це самостійний структурний елемент приймача, в якому відбувається підсилення сигналу несучої частоти. Він розташовується між вхідним пристроєм і змішувачем в супергетеродинному радіоприймальному пристрої (РПРП).

ПВЧ забезпечує:

- максимальну чутливість приймача;**
- підсилення сигналу;**
- частотну вибірність на несучій частоті.**

За типом підсилювального приладу розрізняють ПВЧ на триполюсних приладах (лампах і транзисторах), на двополюсних приладах (тунельних і параметричних діодах), на чотири полюсних приладах (ЛБХ).

Основні параметрами ПВЧ:

1. Коефіцієнт підсилення

$K_0 = U_{вих0} / U_{вх0}$ або потужності $K_{P0} = P_{вих0} / P_{вх0} = K_0^2 G_n / G_v$,
де G_n і G_v – активні складові провідностей навантаження і входу підсилювачів.

2. Частотна вибірність, котра характеризує зменшення підсилення при заданому розстроєнні підсилювача Δf відносно резонансного підсилення каскаду і визначається як

$$\sigma_{\Delta f} = K_0 / K(\Delta f)$$

3. Коефіцієнт шуму $K_{ш}$.

4. Стійкість, що характеризується відсутністю самозбудження,

$$k_{c\Box} = 0,5 \sqrt{\frac{|Y_{21}|}{|Y_{12}|}}$$

де Y_{21} – провідність прямої передачі, а Y_{12} – провідність зворотної передачі.

5. Динамічний діапазон.

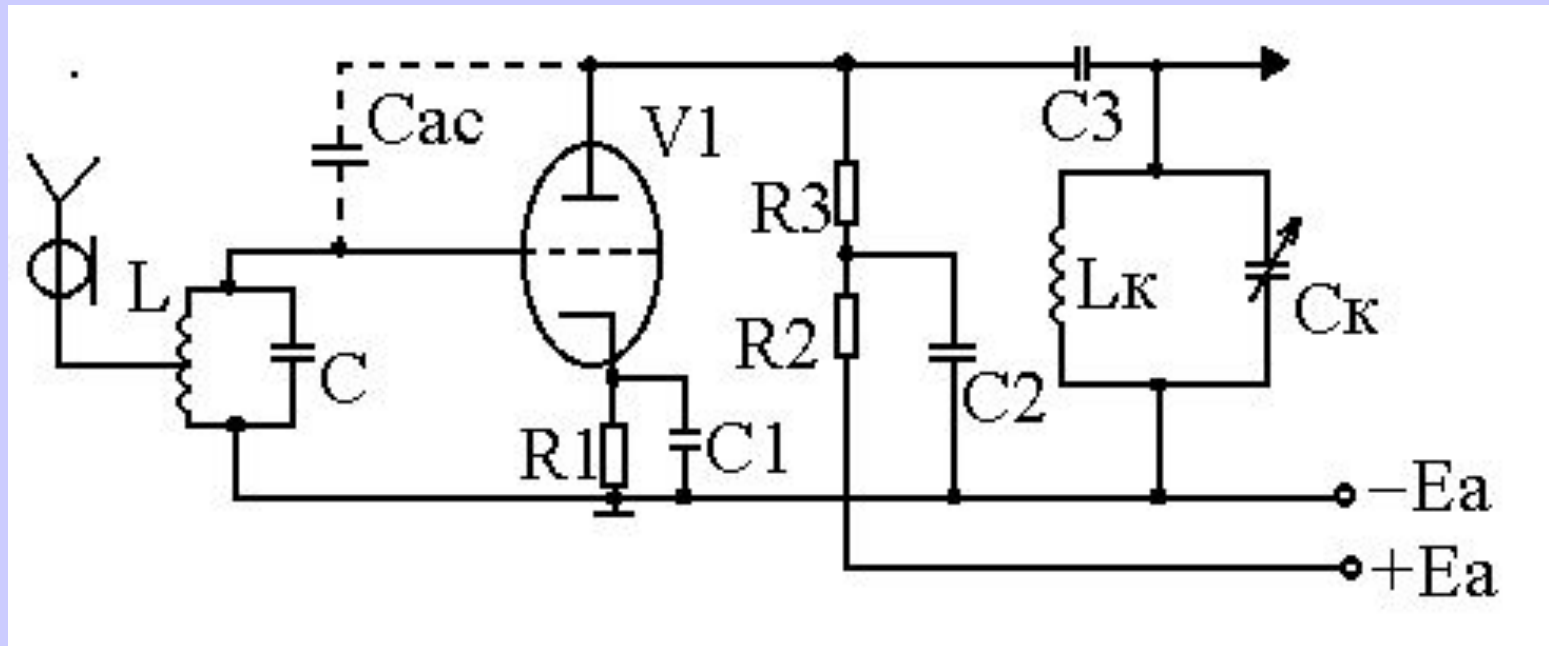
В метровому діапазоні хвиль прийнятні характеристики мають лампові ПВЧ, транзисторні і підсилювачі на тунельних діодах. Широкі можливості мають підсилювачі на ЛБХ, які можна використовувати практично в усьому радіотехнічному діапазоні роботи ЗРЛ.

В дециметровому діапазоні хвиль, гарні характеристики мають підсилювачі на польових транзисторах, напівпровідникові параметричні підсилювачі неохолоджені і з охолодженням до $T=20K$ і квантово-молекулярні підсилювачі.

Щодо способу вмикання триполюсного приладу підсилювачі поділяються на підсилювачі з загальним катодом (загальним емітером), загальною сіткою (загальною базою), загальним анодом (загальним колектором). Останні два практично ніколи не застосовуються.

Принцип дії ПВЧ різних типів

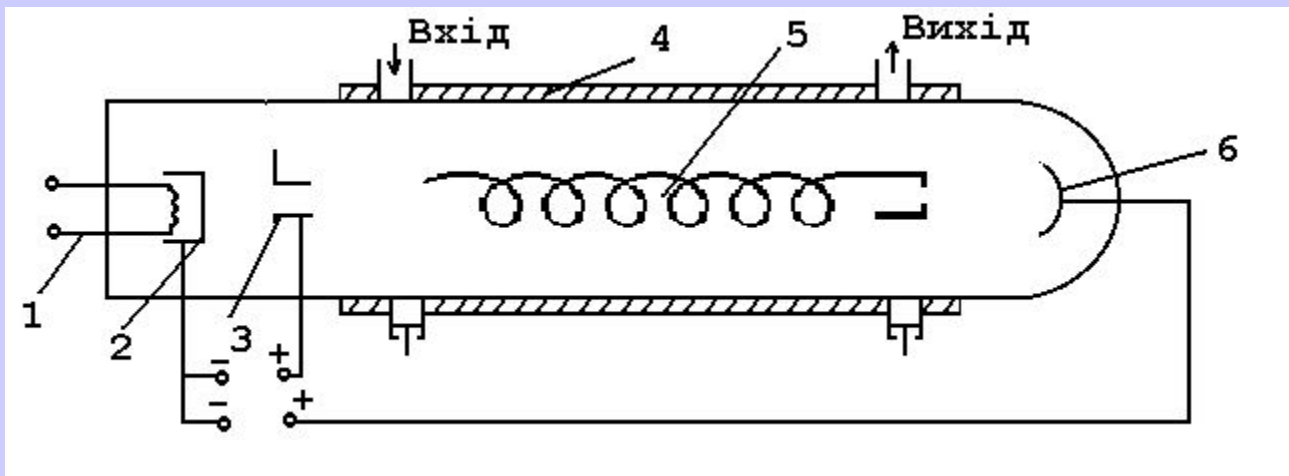
Підсилювачі на тріоді з загальним катодом широко використовуються в якості першого каскаду ПВЧ метрового діапазону хвиль.



Підсилювальний каскад може бути побудовано за паралельною або послідовною схемою (навантаження – контур $L_K C_K$, джерело живлення E_a і підсилювальний елемент - $V1$ з'єднані паралельно або послідовно).

При підвищенні частоти, коефіцієнт передачі такого підсилювача знижується через велику паразитну міжелектродну ємність C_{ac} . Цей недолік усунуто в схемі резонансного підсилювача на тріоді із загальною сіткою. В даній схемі прохідною ємністю є $C_{ak} < C_{ac}$. Підсилювач дає гарне підсилення по напрузі і практично не підсилює сигнали по потужності. Поряд із цими схемами ПВЧ широко використовуються каскадні схеми, наприклад, відома схема (ЗК - ЗС), де два тріоди включаються послідовно за різними схемами. Зворотна провідність в такій схемі у десятки разів менша ніж у каскадах ЗК або ЗС. Отже така схема більш стійка. Схема дає високі коефіцієнти підсилення по напрузі і потужності $K_U \gg 1, K_P \gg 1$.

Підсилювач високої частоти на ЛБХ знаходить широке застосування в НВЧ діапазоні радіохвиль.



1-підігрівач; 2-катод; 3-анод; (утворюють електронну гармату); 4-фокусуєча система (виконується у вигляді соленоїда або постійного магніту і створює повздовжнє постійне, по відношенню до електронного потоку магнітне поле високої напруженості); 5-спіраль (виконує роль уповільнювальної системи) сповільнює фазову швидкість хвилі електричного поля підсилювальних коливань; 6-колектор (притягує електрони, що вилітають з електронної гармати).

Принцип дії засновано на тривалій взаємодії електронного потоку з біжучою хвилею електричного поля підсилювальних коливачів. Внаслідок такої взаємодії здійснюється перетворення кінетичної енергії рухомих пучків електронів в енергію ЕМП підсилювальних коливачів.

Тривала взаємодія потоку електронів з ЕМП можлива за виконанням наступних умов:

- рівність фазової швидкості ЕМП хвилі і швидкості електронів $V_{\phi} = V_e$;**
- наявності поздовжньої складової електронного потоку.**

Достоїнства ПВЧ на ЛБХ:

- Порівняно малий коефіцієнт шуму $K_{ш} = 3 \div 8$.
- Великий коефіцієнт підсилення потужності $K_p = 20 \div 30 \text{ dB}$ (100 ÷ 1000) разів.
- Широка смуга пропускання ($2\Delta f =$ сотні МГц).
- Висока електрична міцність і спроможність послаблювати потужний зондувальний сигнал, що проникає через розрядники антенного перемикача на вхід радіоприймача.

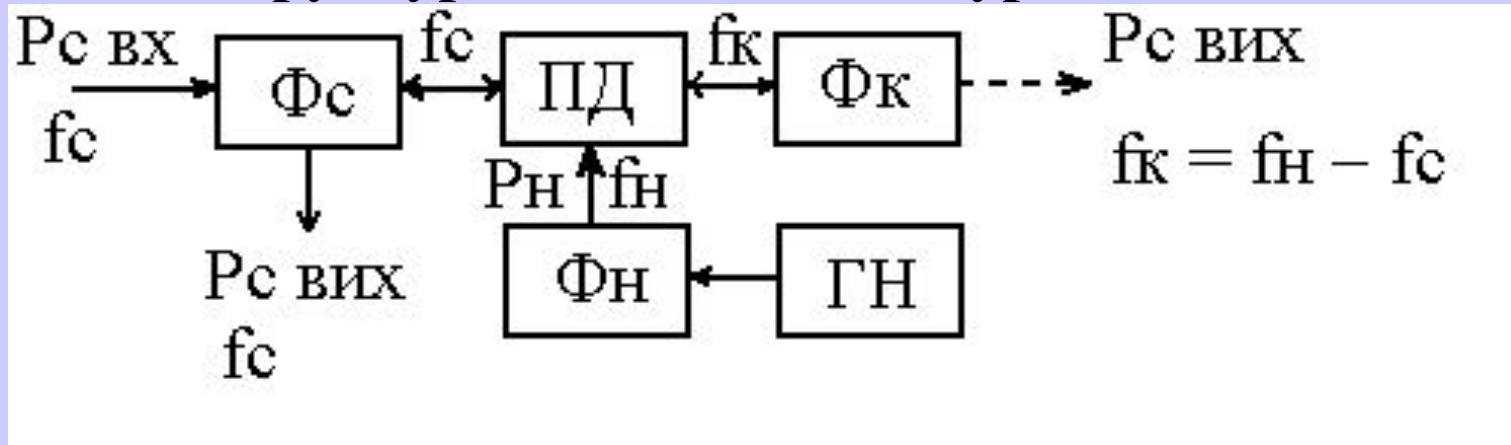
Недоліки ПВЧ на ЛБХ:

- Велика споживана потужність.
- Малий коефіцієнт корисної дії (порядку 10%).

Параметричними підсилювачами (ПП) називають пристрої з коливальним контуром, в яких підсилення вхідного сигналу здійснюється за рахунок енергії джерела високої частоти, котре періодично змінює ємність або індуктивність контуру, вносячи таким чином в контур енергію.

Розрізняють напівпровідникові, феритові і електронно-променеві параметричні підсилювачі. Напівпровідникові параметричні підсилювачі (НПП) завдяки малій потрібній потужності генератора накачування, а також можливості мікромініатюризації отримали найбільше застосування.

Структурна схема двоконтурного НПП



До складу входять: ПД – параметричний діод; Φ_c , Φ_n , Φ_k – фільтри настроєні на частоти сигналу, накачки і комбінаційну частоту відповідно; ГН – генератор накачки.

Якщо $f_k = f_n - f_c$, то потужність генератора накачки (ГН) перекачується в обидва ланцюжки f_c і f_k . Тобто параметричний підсилювач є регенеративним і може забезпечувати велике підсилення. Регенеративні підсилювачі використовуються за двома схемами на прохід і на відбиття. Останні при інших рівних умовах дозволяють отримати великий добуток $K * \Pi_{0,7}$ при меншому $K_{ш}$.

На ПД діє напруга трьох частот f_c , f_n , f_k тому такі параметричні підсилювачі називають тричастотними.

Принцип дії: під впливом напруги накачування (U_H) ємність ПД змінюється за періодичним законом, і може бути розкладена в ряд Фур'є

$$C(t) = C_0 + C_1 \cos \omega_H t + C_2 \cos 2\omega_H t$$

обмежуючись тільки лінійними членами ряду, тобто, припускаючи, що ємність діода змінюється тільки з частотою накачки, маємо

$$C(t) = C_0 (1 + m \cos \omega_H t), \text{ де } m = C_1 / C_0 \text{ коефіцієнт модуляції ємності.}$$

Через діод тече струм сигналу $i_0 = I_0 \cos \omega_c t$ і створює на ньому напругу в якій окрім складової напруги на частоті сигналу, створюються складові з комбінаційними частотами

$$\omega_{k1} = \omega_H - \omega_c \text{ та } \omega_{k2} = \omega_H + \omega_c$$

Так як до ПД підключено комбінаційний контур, котрий настроєний на одну з частот ω_k , то в ньому виникає на цій частоті комбінаційний струм $i_k = I_k \cos \omega_k t$, який протікаючи через діод, утворює на ньому напругу $U_d(t)$

$$U_d(t) = \frac{1}{C(t)} \int_0^{\infty} I_k \cos \omega_k t dt$$

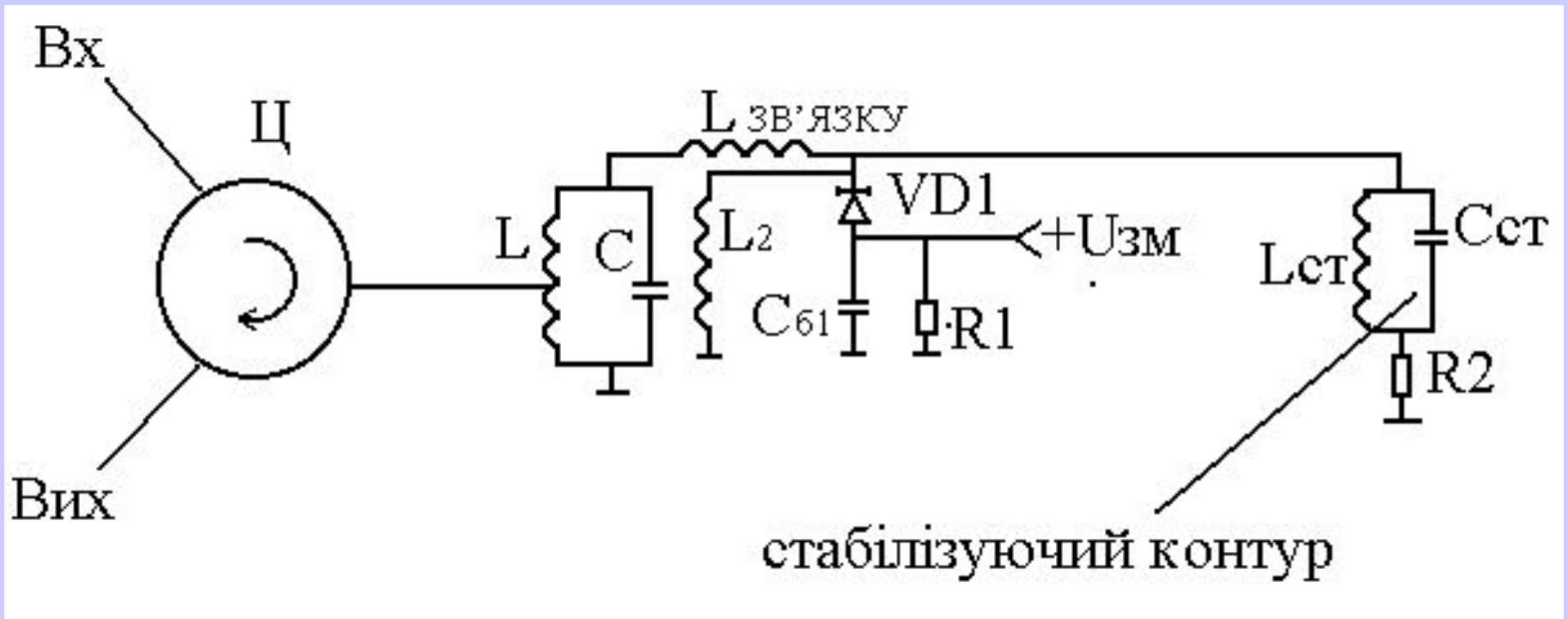
в якій окрім складової на f_k утворюється напруга на f_c – напруга зворотного перетворення. Ця напруга викликає в сигнальному контурі Φ_c додатковий струм. Амплітуда результуючого сигнального струму залежить від співвідношення фаз струму джерела сигналу і додаткового струму, обумовленого дією напруги зворотного перетворення частоти. Якщо $\omega_k = \omega_n + \omega_c$, то можна показати, що при зворотному перетворенні обидва струми складаються в фазі, тобто сигнал підсилюється.

В реальних параметричних підсилювачах $K_p \approx 17 \div 18 \text{ dB}$ $\Pi_{0,7} \approx (0,02 \div 0,1) f_c$ $K_{ш} = 1,1 \div 1,3$ гібридно-інтегральний НПП в діапазоні $2,2 \div 2,3 \text{ ГГц}$ має $K_p \geq 20 \text{ dB}$, $T_{ш} \leq 190 \text{ K}$. Для зниження $T_{ш}$ ($K_{ш}$) застосовують охолодження підсилювачів за допомогою рідкого азоту ($T = 78 \text{ K}$) при цьому типове значення $T_{ш}$ НПП складає $(20 \div 40) \text{ K}$, але при цьому значно ускладнюється конструкція і погіршуються його експлуатаційні характеристики.

Основними перевагами *підсилювачів на тунельних діодах* ПТД є достатньо низький $K_{ш}$ при високій широкосмуговості, малі споживані потужності від джерела живлення і можливість реалізації в гібридно-інтегральному виконанні. Сучасні ПТД працюють у діапазоні до 20 ГГц, мають $K_p \leq 13 \div 20 \text{ дБ}$, $K_{ш} = 5 \div 6 \text{ дБ}$ у смузі пропускання 10÷15% від несучої частоти.

В ПТД як і в НПП (регенеративних параметричних підсилювачах) ефект підсилювання досягається за рахунок внесення в контур від'ємної провідності. Але механізм утворення від'ємної провідності інший. Якщо в НПП від'ємний опір утворюється завдяки періодичному змінюванню нелінійної ємності, то в ПТД від'ємна провідність виникає в самому діоді завдяки тунельному ефекту при подачі на нього постійної напруги певної величини.

Спрощена схема ПТД



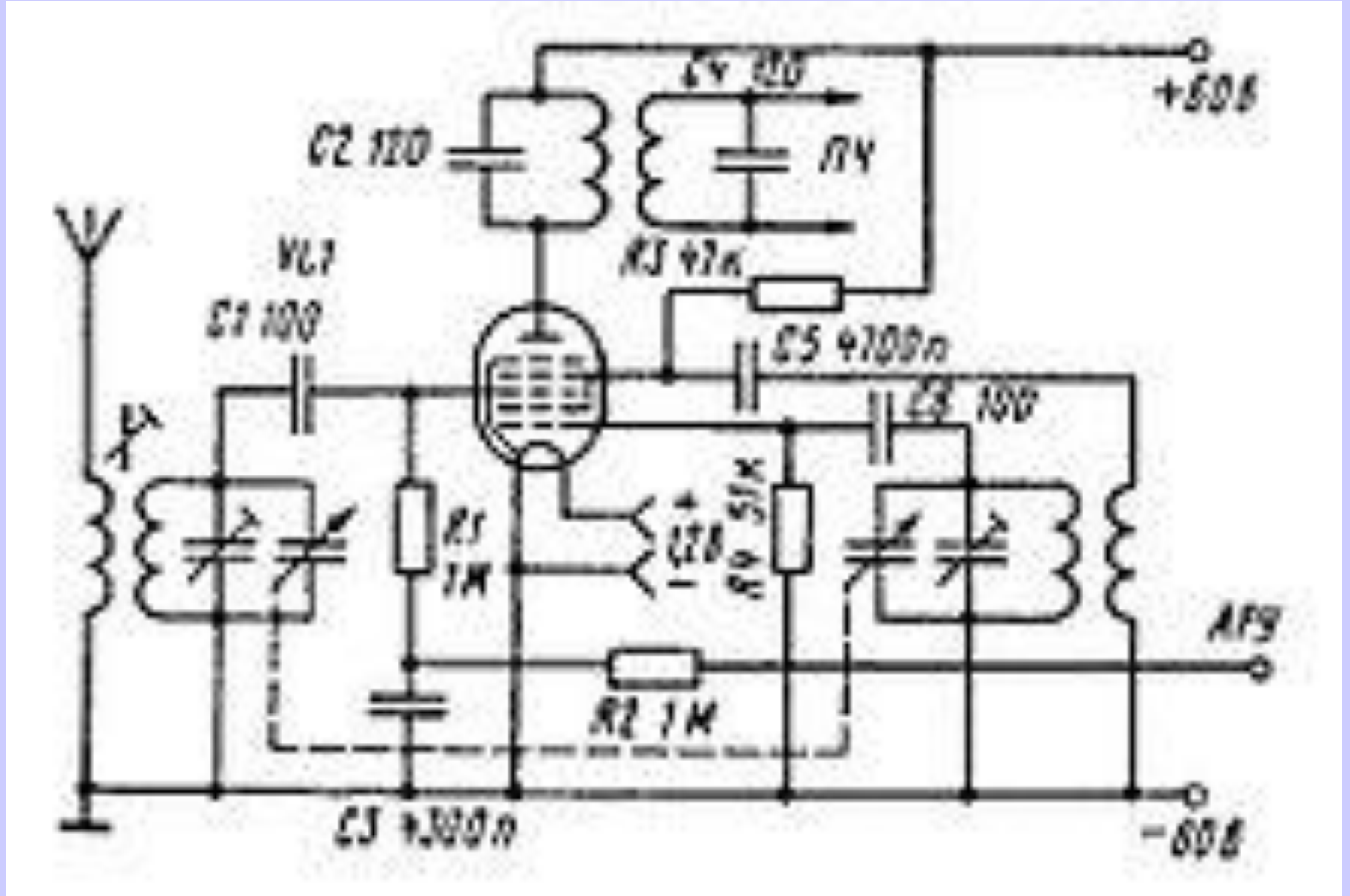
В залежності від діапазону робочих частот, вимог, що пред'являються до підсилювача, ПТД може бути хвилеводною, коаксіальною, смужковою або інтегральною конструкцією.

Перетворювачі частоти

Перетворювач частоти - радіоелектронний пристрій для перетворення електричного (електромагнітного) сигналу шляхом переносу його спектра на деякий інтервал по осі частот.

Перетворювач частоти дозволяє знизити робочу частоту основного тракту посилення і селекції сигналу (тракту ПЧ), також зробити цей тракт таким, що не перестроюється, тобто, для настроювання радіоприймача на різні несучі частоти змінюється частота гетеродину перетворювача частота, частота вихідного сигналу, що зветься проміжною частотою (ПЧ), залишається незмінної.

Схема однолампового перетворювача частоти на гетоді 1А1П



Функціонально перетворювач частоти містить у собі три складові частини - гетеродин, змішувач і вихідний смуговий фільтр. *Гетеродин* являє собою генератор сигналу синусоїдальної форми, що настроюється, або з фіксованою частотою. *Змішувач* - основна частина перетворювача, нелінійний електронний пристрій, у якому відбувається утворення потрібного спектра. Принцип дії змішувача полягає в тому, у результаті нелінійних процесів утворюються комбінаційні гармоніки, частоти яких дорівнюють різницям або сумах частот гармонік вхідних сигналів, або частот кратних частотам вихідних гармонік. Амплітуди отриманих комбінаційних гармонік пропорційні амплітудам вихідних, таким чином, кожний з наборів комбінаційних гармонік (різницевих, сумарних, різницевих і сумарних кратним) еквівалентний спектру вхідного сигналу, зрушеному по частоті.

***Смуговий фільтр* призначений для селекції потрібного набору гармонік, звичайно виконаний за стандартною схемою смугового фільтра на *LC* - елементах.**

Характеристики перетворювачів частоти

а) По частотних властивостях можливі два варіанти перетворювачів:

- з гетеродином, що перебудовується і фіксованим значенням несучої вихідного сигналу - найпоширеніший варіант, використовуваний у радіоприймальних і вимірювальних пристроях. Частотними параметрами в цьому випадку є: діапазон перебудови гетеродину (і отже діапазон вхідних сигналів) і значення несучої вихідного сигналу (ПЧ);**
- з фіксованим гетеродином - використовується в спеціальних випадках, у якості частотних параметрів при цьому будуть: припустимі значення частоти вхідного сигналу й значення величини переносу спектра.**

б) Внутрішні параметри перетворювача залежать від типу нелінійного елемента в змішувачі:

- крутість перетворення - відношення амплітуди вихідного струму (при закороченому виході) до амплітуди напруги вхідного сигналу;**
- внутрішній коефіцієнт підсилення - відношення амплітуди напруги ПЧ до амплітуди напруги вхідного сигналу;**
- коефіцієнт шуму перетворювача.**

Висновки:

Підсилювачі високої частоти на вакуумних лампах мають найбільшу шумову температуру з усіх типів ПВЧ. На частотах вище 200МГц шумова температура лампових ПВЧ перевищує шумову температуру антени.

Крім того лампові підсилювачі мають порівняно низьку надійність роботи і споживають значну потужність від джерела живлення. В наслідок цього лампові підсилювачі не рекомендують використовувати в якості ПВЧ у нових розроблюваних радіолокаційних приймачах. Однак в силу їх підвищеної електричної міцності і високої радіаційної стійкості в окремих випадках ПВЧ в метровому діапазоні хвиль на частотах до 200МГц можуть виконуватися на надмініатюрних металокерамічних тріодах підвищеної надійності типу 6С51Н-В, 6С52Н-В і в дециметровому діапазоні хвиль на частотах до 1200МГц – на тріоді 6С53Н-В, які мають конструкцію, зручну для спряження з коаксіальними хвилеводами.

Транзисторні підсилювачі високої частоти в метровому і дециметровому діапазонах мають значно меншу шумову температуру у порівнянні з ламповими. Крім того, вони високо надійні (строк служби до 100 000 годин), мають високу стабільність підсилення, малі габарити і масу, споживають незначну потужність. Транзисторні ПВЧ найбільш перспективні для приймачів метрового, дециметрового і сантиметрового діапазонів хвиль до частот $3\div 4$ ГГц.

Параметричні підсилювачі високої частоти на напівпровідникових діодах мають дуже низьку шумову температуру. ППД без охолодження в діапазоні частот від 1 до 36ГГц мають шумову температуру $100\div 300K$, а в метровому діапазоні частот шумова температура ППД може бути порядку $50\div 70K$, тобто близьку до шумової температури квантових підсилювачів. Основною перевагою ППД є великий динамічний діапазон по вхідному сигналу порядку 90-100дБ. Підсилювачі виконані на спеціальних потужних напівпровідникових діодах, мають динамічний діапазон до 120дБ.