

**Приймання та оброблення сигналів і зображень**

**Перетворювачі частоти**

## Загальні положення

**Перетворення частоти** – зміщення спектра сигналу з однієї ділянки частот в іншу при збереженні структури сигналу (початкових співвідношень між спектральними компонентами).

**Перетворювач частоти (ПрЧ)** – пристрій, який здійснює перетворення частоти.

### *Основні параметри та характеристики ПрЧ:*

- коефіцієнт передачі за потужністю (напругою);
- коефіцієнт шуму;
- діапазон входних (сигнальних) та проміжних частот;
- селективність; смуги пропускання та затримування; лінійні спотворення;
- входна та вихідна повні провідності;
- діапазони рівнів, побічні канали прийому, їхні коефіцієнти передачі;
- нелінійні спотворення (оцінюють, як і лінійні, відмінністю модулюючої функції вихідної напруги та її моделі);

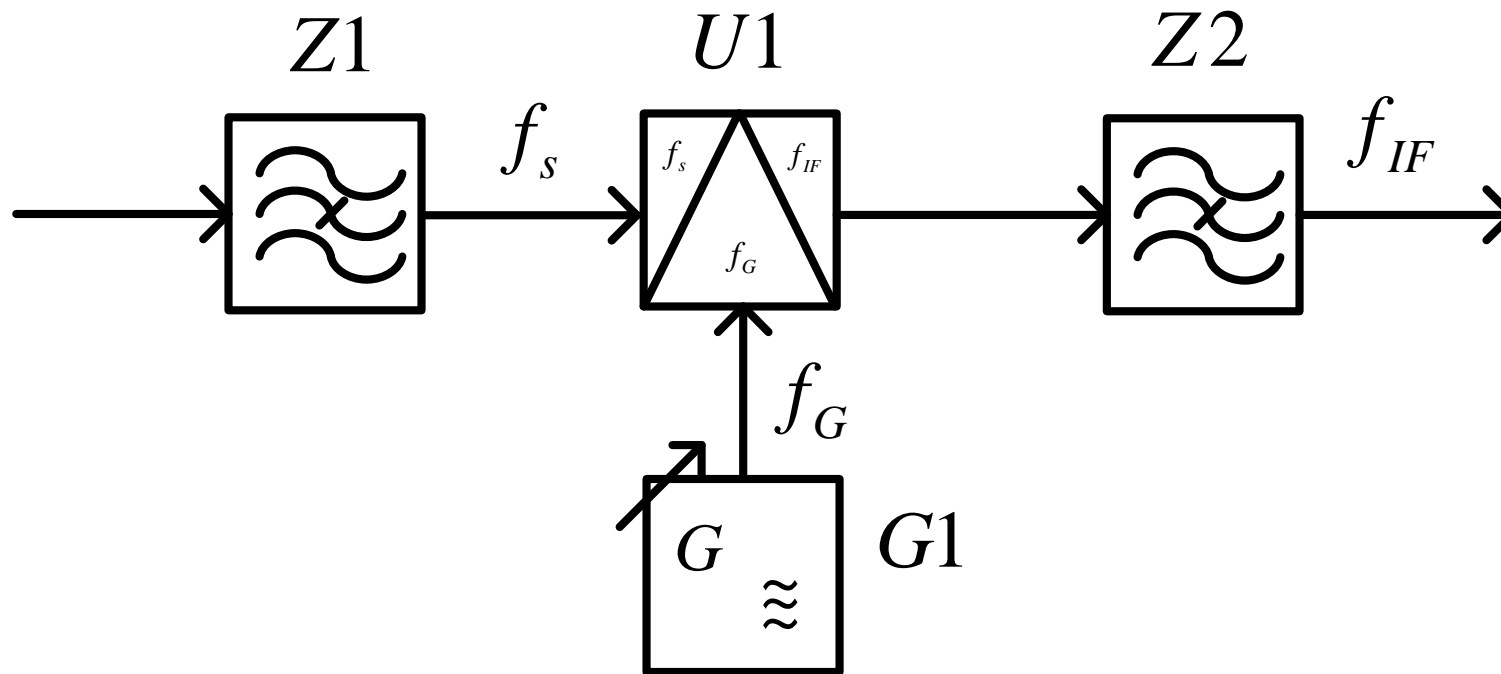
## Загальні положення

- рівень просочуваної напруги гетеродина на вхід ПрЧ та далі до антени (погіршує електромагнітну сумісність);
- ступінь зв'язку сигнальних кіл та гетеродина (призводить до захоплення коливань гетеродина сигналом та затягування частоти гетеродина при настроюванні сигнальних кіл);
- надійність, економність, габаритні розміри та маса.

**Перетворення частоти можливе лише у нелінійних чи нестационарних колах. Тому обов'язковим елементом змішувача ПрЧ є нелінійний чи нестационарний елемент (об'єднувальна назва – “перетворювальний елемент” (ПЕ)). Найчастіше використовують нелінійні елементи (діоди та транзистори).**

**Допустимий коефіцієнт шуму та робоча частота зазвичай визначають тип нелінійного елемента змішувача.**

## Загальні положення



*Рисунок – Загальна структурна схема перетворювача частоти (U1 – змішувач; G1 – гетеродин; Z2 – смуговий фільтр для виділення сигналу, перетвореного на проміжну частоту; Z1 (опціонально) – вхідний фільтр сигнальної частоти)*

## Загальні положення

У перетворювальному елементі утворюються гармоніки частот сигналу та гетеродину та їхні комбінаційні складові

$$f_k = mf_s \pm nf_G$$

Будь-яку з цих комбінаційних частот можна прийняти в якості проміжної та виділити.

В ідеальному випадку намагаються створити **режим малого сигналу**, коли

$$U_G \gg U_s \text{ та } U_G \gg U_{IF}$$

**Тоді спотворення практично відсутні та здійснюється лінійне перенесення спектра.**

У цьому випадку ПЕ щодо сигналу веде себе як лінійний елемент (в силу малого рівня вхідного сигналу робота відбувається на лінійній ділянці характеристики) і тому його відносять до лінійної частини приймача.

Щодо гетеродину ПЕ має бути якомога нелінійніший (оскільки напруга гетеродина велика). Це призводить до збільшення коефіцієнта передачі та відсутності гармонік сигналу.

## Загальні положення

### ПрЧ класифікують за такими ознаками:

- 1 – *за принципом перетворення*: а) з простим перетворенням (тобто використання перших гармонік сигналу та гетеродина); б) зі складним перетворенням (використовують вищі гармоніки гетеродина – малий рівень гетеродина);
- 2 – *за характером провідності ПЕ*: а) на ПЕ з активною провідністю (діоди, транзистори); б) з реактивною провідністю (нелінійні ємності, параметричні діоди);
- 3 – *за типом елементної бази*: а) на діодних ПЕ (кристалічні, тунельні, Шоттки), схеми – однокантні (небалансні), двокантні (балансні), кільцеві (широкосмуговіші), подвійні балансні (придушують коливання на частотах зеркального каналу); б) транзисторні (біполярний транзистор, польовий транзистор, МДН-тетроди), схеми – небалансні (прості, але з поганими параметрами), балансні (чистіший спектр та є придушені амплітуди шумів гетеродина);
- 4 – *за типом елементної бази гетеродина*: на транзисторах, діодах Ганна, ЛЗХ, ЛБХ, клістродах, на оптичних квантових генераторах, ІМС, ЛПД).

**Принцип роботи та схеми ПрЧ  
у помірно високому діапазоні**

## Загальні положення

ПрЧ можна розглядати як перемножувач двох частот, на виході якого стоїть фільтр, налаштований на проміжну частоту. Тоді напруги можна записати так:

$$U_s = U_{ms} \cos(\omega_s t + \varphi_s),$$

$$U_G = U_{mG} \cos(\omega_G t + \varphi_G),$$

$$U_{IF} = k_t U_{ms} U_{mG} \cos(\omega_{IF} t + \varphi_{IF}),$$

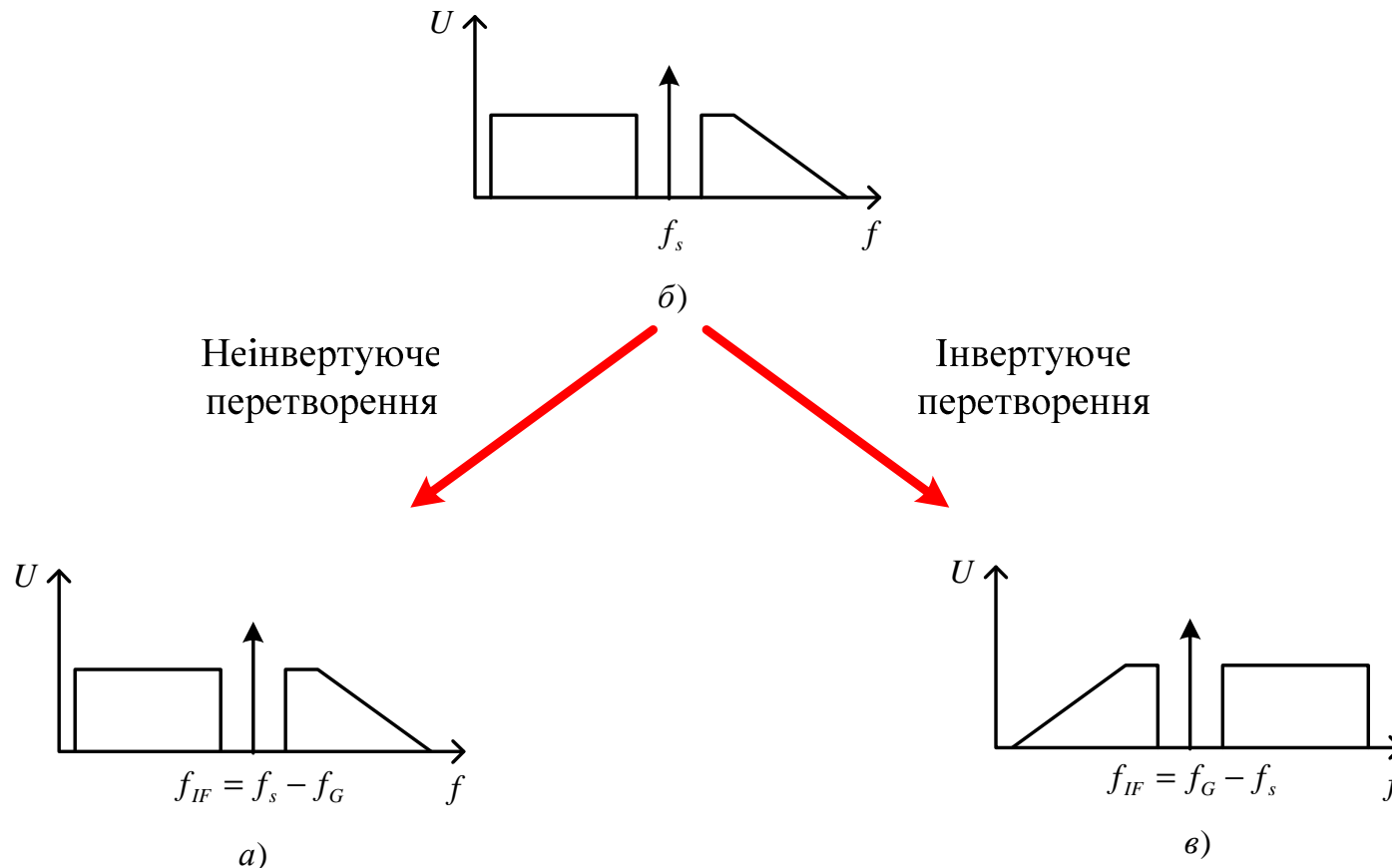
$k_t$  – коефіцієнт, який залежить від параметрів ПрЧ.

Залежно від співвідношення частот гетеродину та сигналу, можливі такі **режими роботи ПрЧ:**

- 1 –  $\omega_s > \omega_G$  ( $\omega_{IF} = \omega_s - \omega_G$ ) *неінвертуюче перетворення спектра сигналу (нижнє настроювання гетеродина)*. При такому перетворенні бічні смуги на ПЧ (рисунок а) на наступному слайді розташовано так само, як і у сигналу (рисунок б)) – вищі частоти спектра так і залишились вищими на ПЧ;

## Загальні положення

2 –  $\omega_s < \omega_G$  ( $\omega_{IF} = \omega_G - \omega_s$ ) *інвертуюче перетворення спектра сигналу (верхнє настроювання гетеродина)*. При такому перетворенні вищі частоти спектра сигналу відповідають нижчим частотам спектра сигналу на ПЧ – рисунок в). У такому режимі легше боротись з дзеркальним каналом.



## Побічні канали прийому

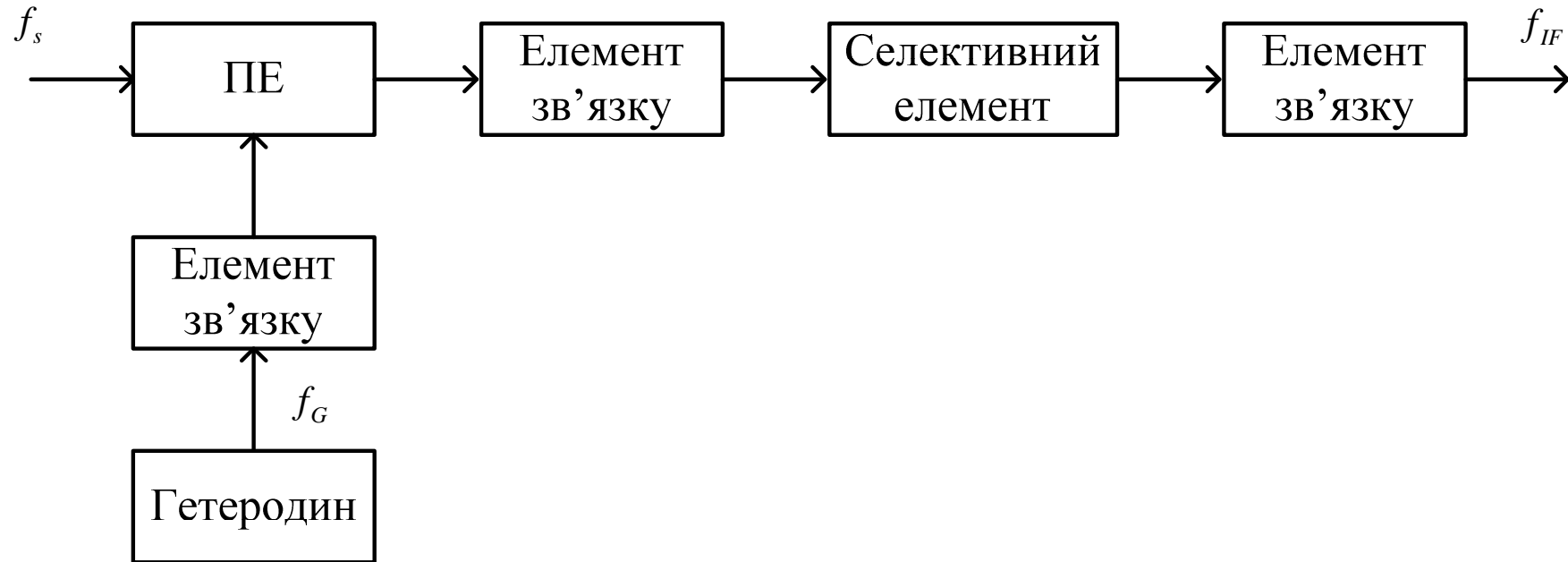
Побічні канали прийому – це частотні канали, сигнали, шум і завади яких при настроюванні приймача перетворюються у проміжну частоту, збільшуючи завади та шум на виході приймачі.

**Тому так важливо усунути побічні канали прийому!**

За квадратичного нелінійного елемента залишаються побічні канали – дзеркальний та прямого проходження. Коефіцієнт передачі по побічних каналах тим менший, порівняно з коефіцієнтом передачі по основному каналу, чим більше  $m+n > 2$  (див. слайд 5).

Якщо степінь апроксимуючого полінома ВАХ нелінійного елемента більше, ніж два, то при певному співвідношенні частот сигналу та ПЧ на виході приймача з'являються завади, обумовлені складовими з комбінаційними частотами, близькими до проміжної частоти. Виникають биття (“гетеродинні свисти”), які створюють значні завади. При голосовому мовленні вони схожі на тональні сигнали – “свисти”, частота яких змінюється при зміні частоти настроювання приймача.

## Загальні положення



*Структурна схема небалансного ПрЧ*

## Спотворення та селективність ПрЧ

Лінійні спотворення та селективність обумовлені та оцінюються так само, як і у підсилювачах, селективними колами ПрЧ – вхідними по спектру сигналу на середній частоті сигналу та вихідними по спектру сигналу, перетвореному на проміжну частоту.

Нелінійні спотворення спричиняє нелінійність ВАХ активного елемента ПрЧ. Нелінійні спотворення, як і гетеродинні “свисти”, виникають на окремих частотах діапазону, для яких комбінаційні частоти дорівнюють проміжній частоті..

## Загальні положення

Шум і флуктуації параметрів елементів кола гетеродина спричиняють випадкову частотну та амплітудну модуляції – частотним та амплітудним флуктуаціям напруги гетеродина, як розмивають його спектральну лінію. Це створює частотний та амплітудний шум гетеродина.

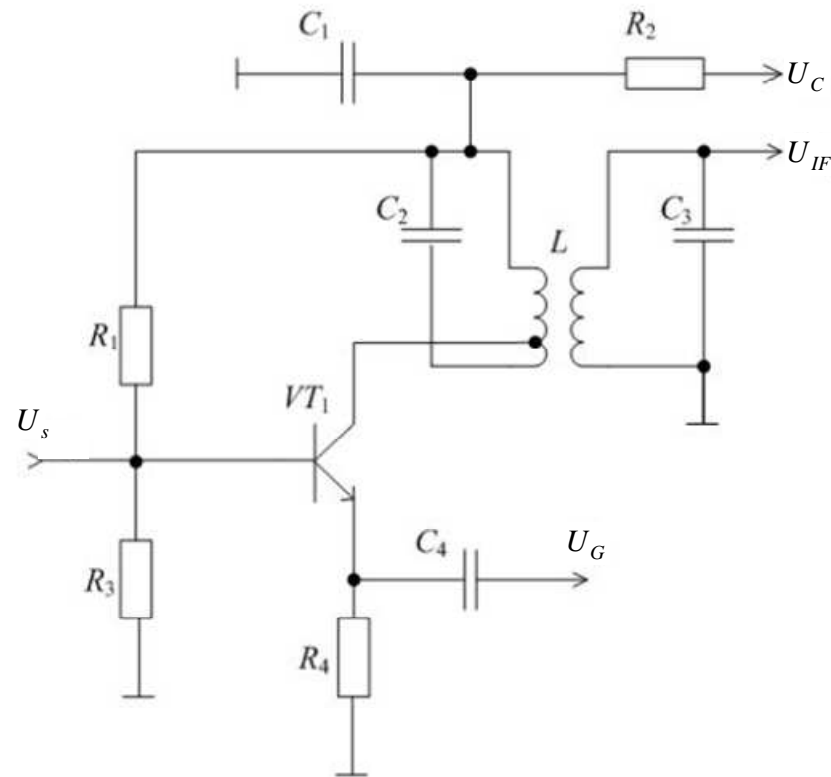
Компоненти спектра напруги гетеродина, які відстоять від частоти гетеродина у межах  $f_{IF} \pm \Delta F/2$  ( $\Delta F$  – смуга пропускання приймача), перетворюються на ПЧ так само, як спектри сигналів, завад і шуму основного та дзеркального каналів. Таким чином вони створюють додатковий шум на виході ПЧ, збільшуючи його коефіцієнт шуму.

Способи зменшення такого шуму:

- цифрові синтезатори частоти (Phase-Locked Loop (PLL) Synthesizers),
- збільшення ПЧ,
- використання у гетеродинах високодобротних контурів або додаткових вузькосмугових фільтрів зі смугою пропускання, меншою за подвоєне значення ПЧ,
- стабілізувати напругу живлення,
- використання високоточних деталей.

## Приклади схем ПрЧ

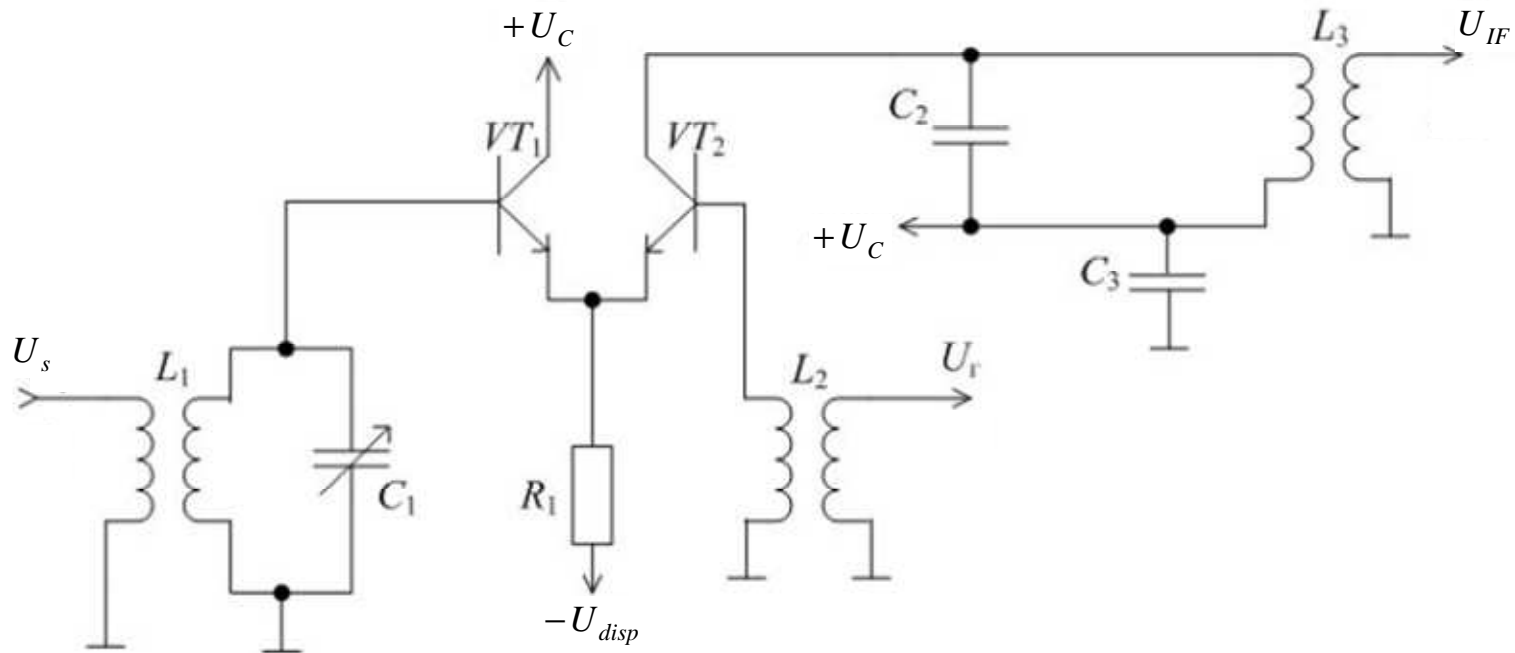
Процес перетворення частоти у транзисторних ПрЧ здійснюється за рахунок періодичної зміни провідності прямої передачі  $Y_{21}$  під впливом напруги гетеродину  $U_G$ . Крім цього, має місце періодична зміна активної та реактивної складових провідності  $Y_{12}$  під впливом напруги гетеродину.



*Приклад принципової схеми небалансного ПрЧ*

## Приклади схем ПрЧ

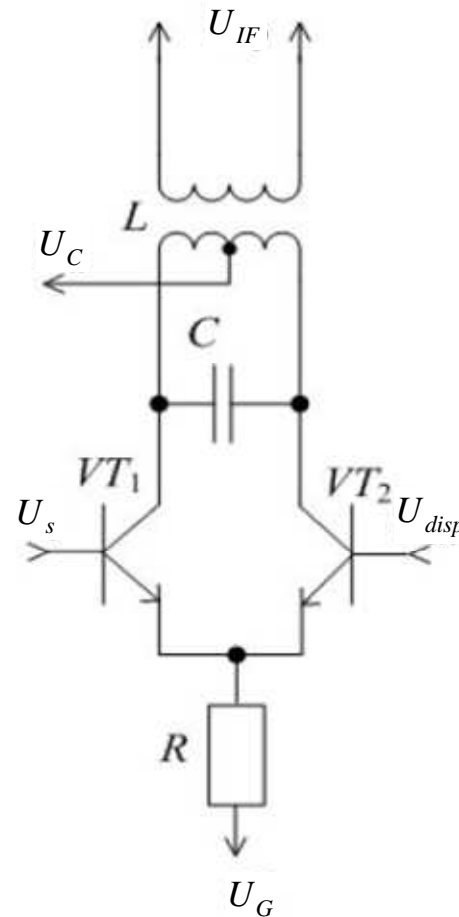
Диференціальні схеми забезпечують кращу розв'язку між коливаннями гетеродину та проміжної частоти.



*Принципова схема ПрЧ на диференціальному каскаді*

## Приклади схем ПрЧ

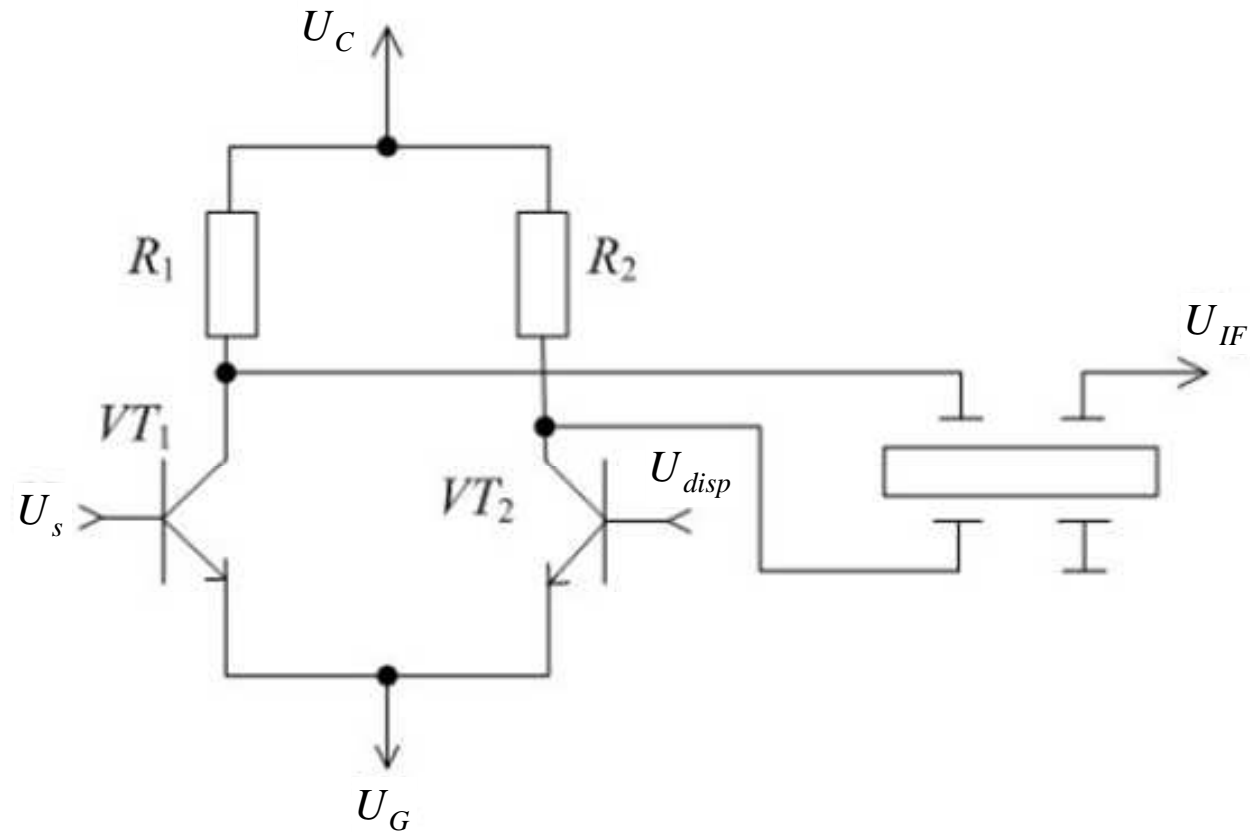
Принцип дії балансних змішувачів: струми гетеродину у навантаженні від першого та другого плечей спрямовано протифазно і коливання гетеродину на виході придушуються дуже добре, а струми від сигналу синфазно, що подвоює коефіцієнт передачі.



Приклад схеми балансного ПрЧ на диференціальному каскаді

## Приклади схем ПрЧ

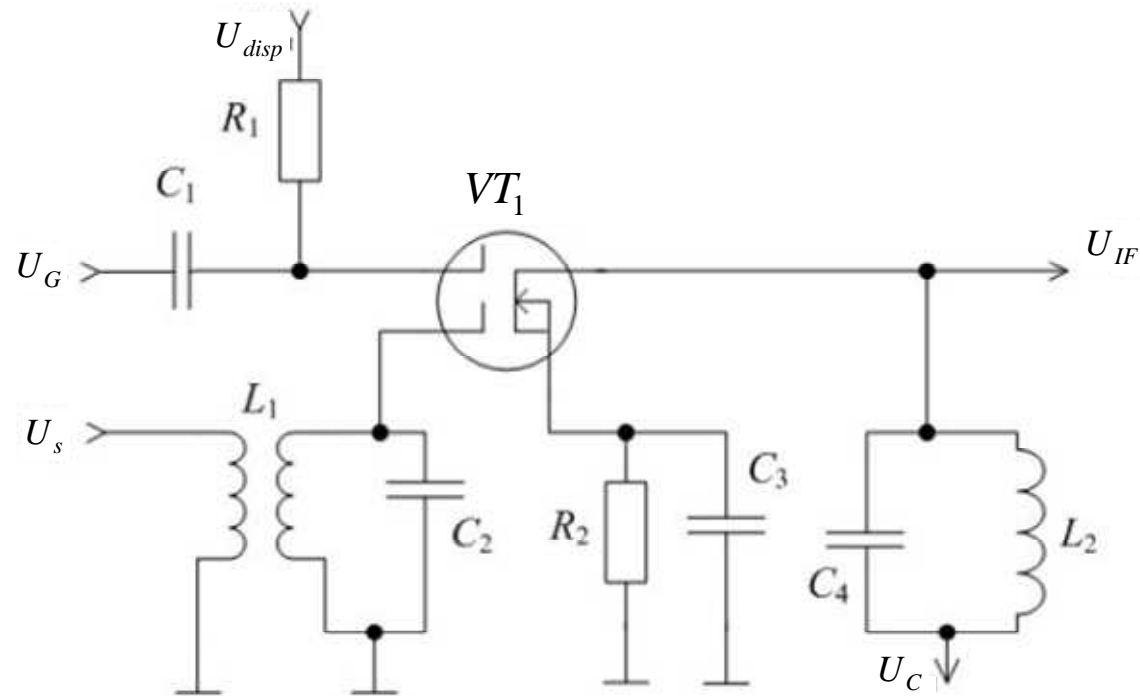
Використовують і сучасніший варіант – без LC-контуру, з використанням фільтрів на ПАХ чи кварцевих фільтрах.



*Приклад схеми балансного ПрЧ на кварцевих фільтрах*

## Приклади схем ПрЧ

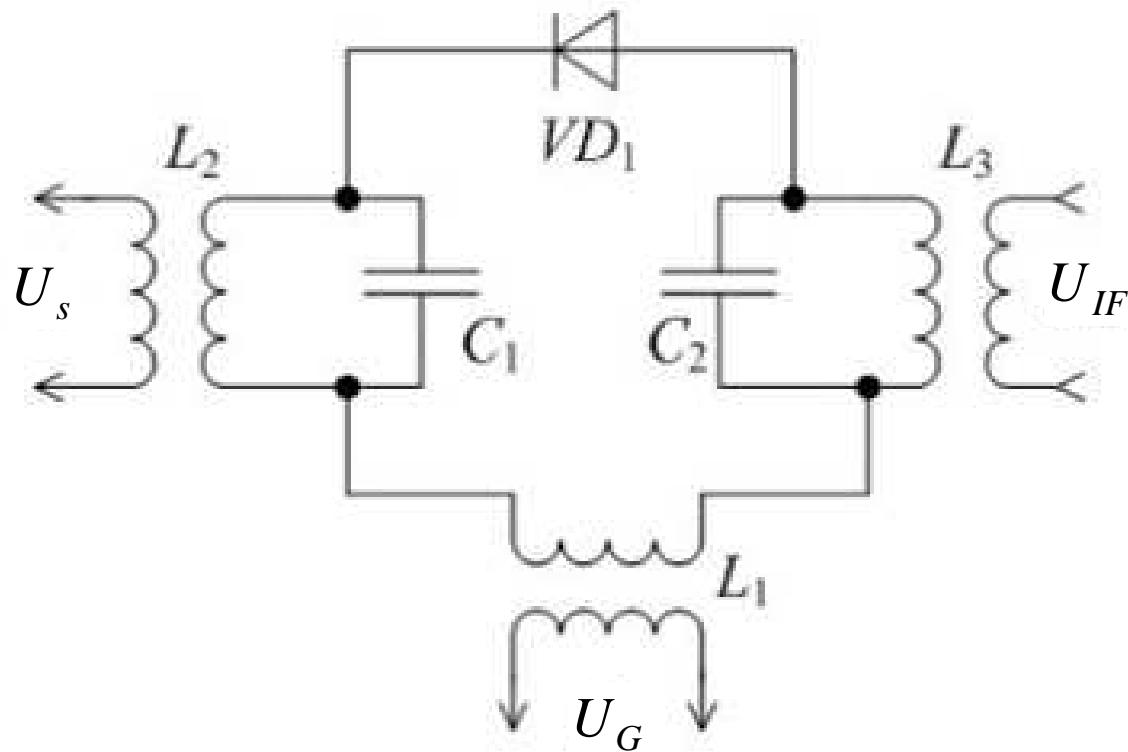
Крім власне перетворення частоти можна отримати підсилення сигналу – це перевага транзисторних змішувачів порівняно з діодними.



*Приклад схеми ПрЧ на польовому транзисторі*

## Приклади схем ПрЧ

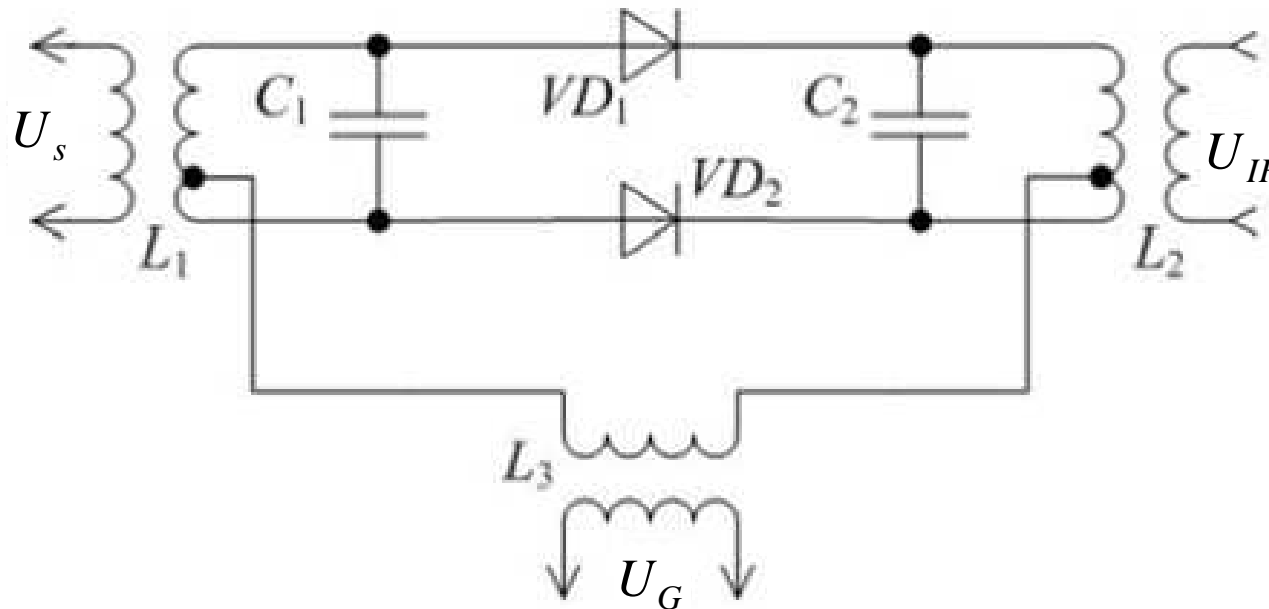
Основні недоліки небалансних діодних змішувачів: перенесення амплітуди шумів гетеродину на проміжну частоту, малий динамічний діапазон, у спектрі присутні складові частот сигналу і гетеродину, та їхні комбінації з кратними частотами. У балансних діодних змішувачів такі недоліки відсутні.



*Приклад схеми діодного небалансного ПрЧ*

## Приклади схем ПрЧ

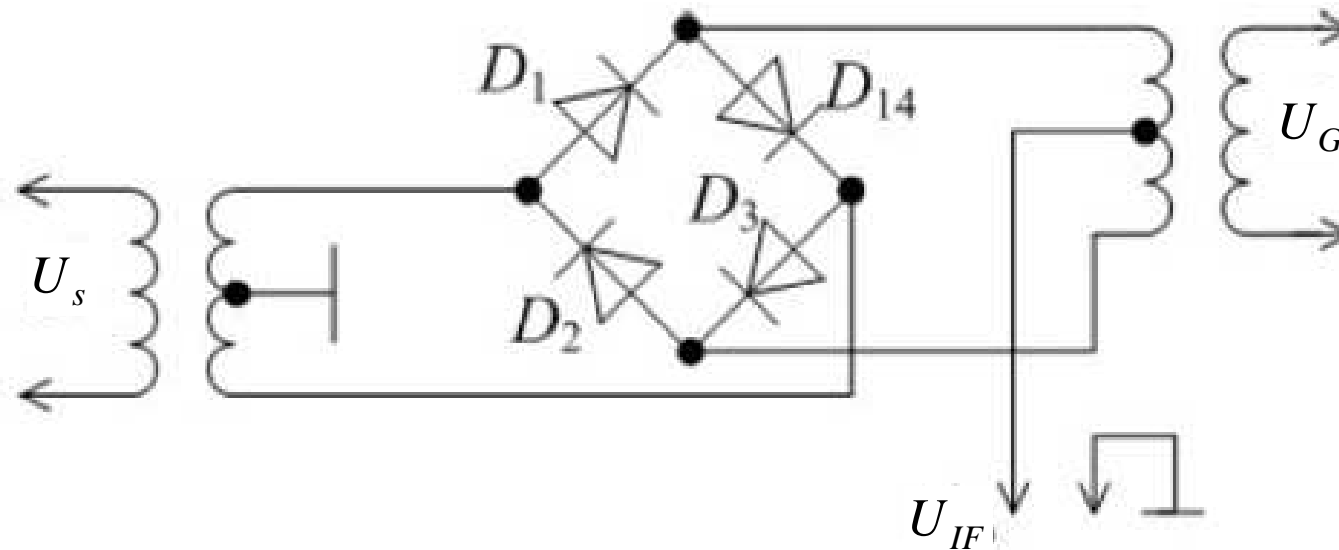
Переваги балансних діодних ПрЧ: знижено коефіцієнт шуму завдяки фазовому придушенню; вся потужність гетеродину надходить на діоди, тому можна використовувати гетеродин меншої потужності; завдяки придушенню парних гармонік у спектрі на виході зменшується рівень побічних складових у спектрі, тому покращується завадостійкість та збільшується динамічний діапазон за амплітудою.



*Приклад схеми балансного діодного ПрЧ*

## Приклади схем ПрЧ

Переваги кільцевої схеми: зменшення кількості паразитних каналів прийому; відсутність складових з частотами сигналу та гетеродину.



*Приклад схеми кільцевого балансного діодного ПрЧ*