

Приймання та оброблення сигналів

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

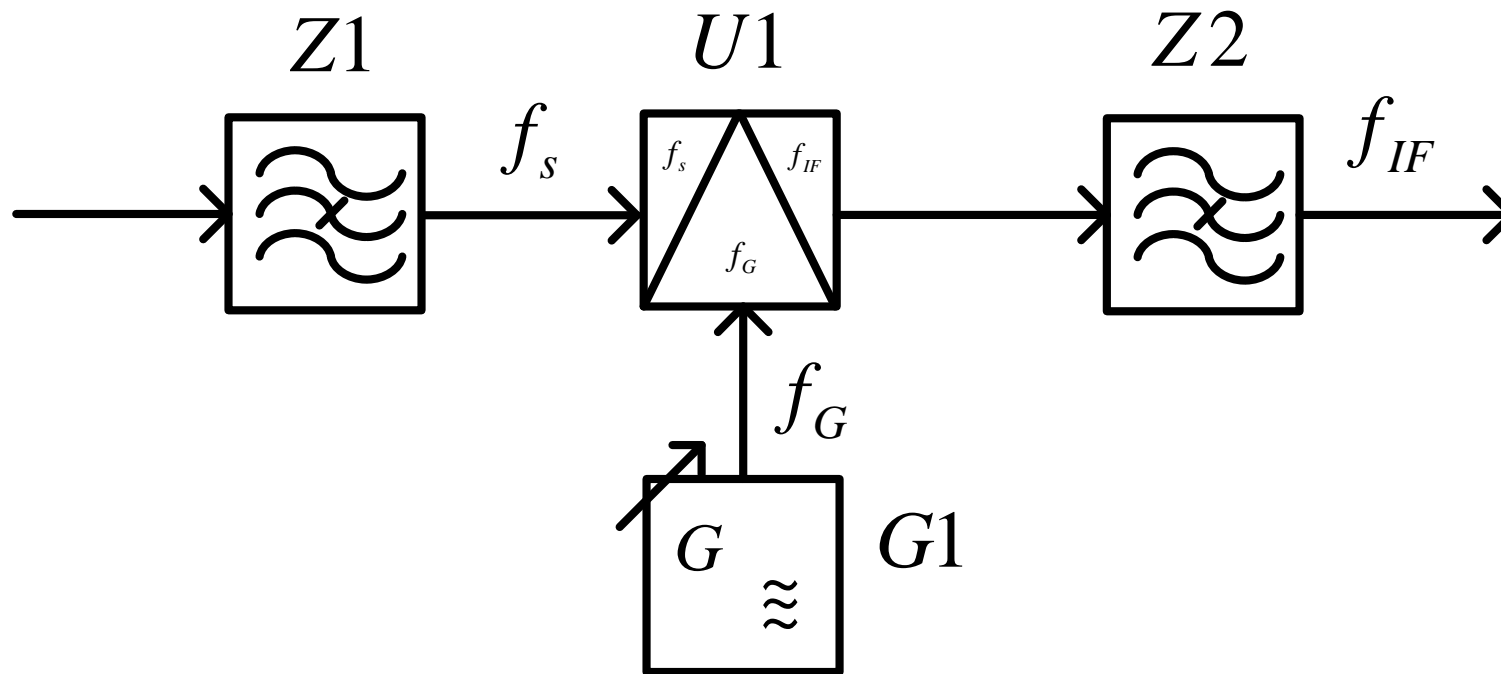


Рисунок – Загальна структурна схема перетворювача частоти (U1 – змішувач; G1 – гетеродин; Z2 – смуговий фільтр для виділення сигналу, перетвореного на проміжну частоту; Z1 (опціонально) – вхідний фільтр сигнальної частоти)

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 – одноконтурні (небалансні), двоконтурні (балансні), кільцеві (широкопasmовіші), подвійні балансні (придушують коливання на частотах зворотного 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, клістронах, 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:

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

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

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

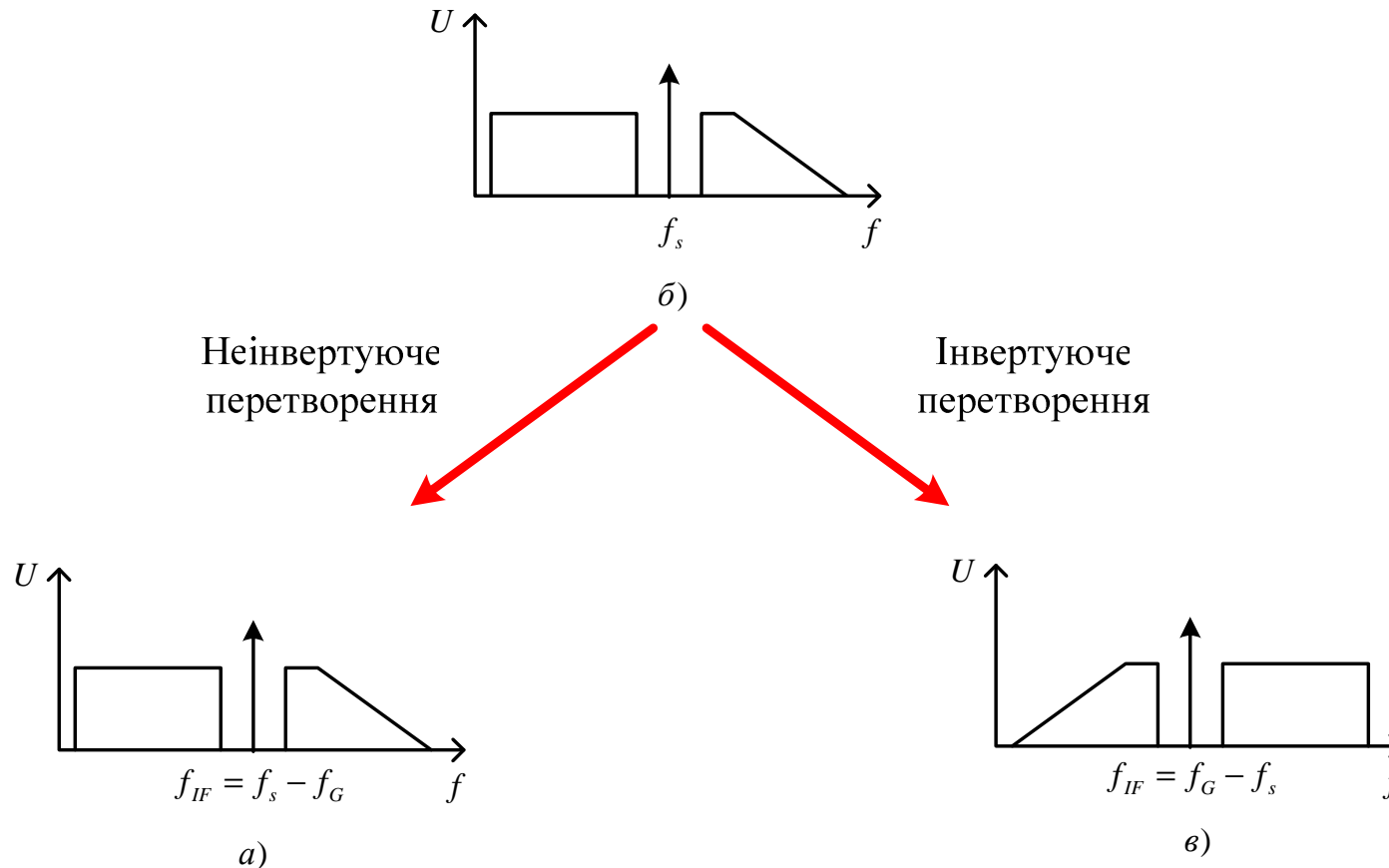
k_t – коефіцієнт, який залежить від параметрів ПрЧ.

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

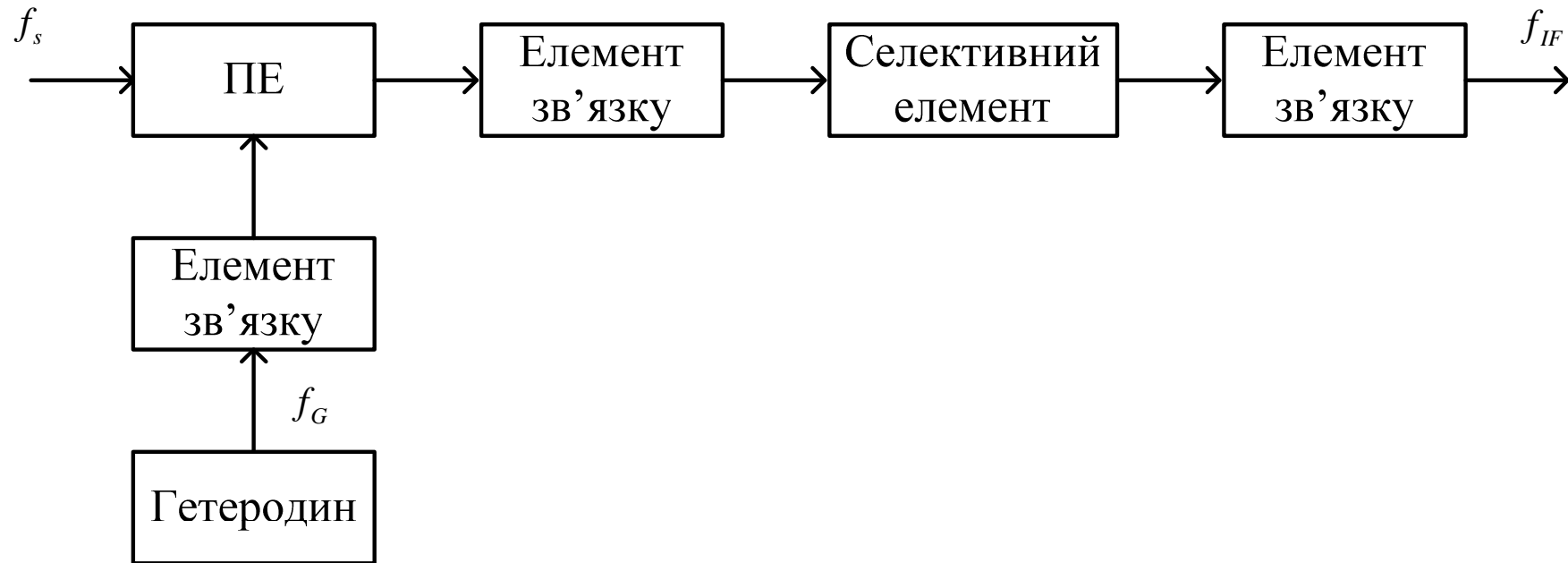
- 1 – $\omega_s > \omega_G$ ($\omega_{IF} = \omega_s - \omega_G$) *неінвертуюче перетворення спектра сигналу (нижнє настроювання гетеродина)*. При такому перетворенні бічні смуги на ПЧ (рисунок а) на наступному слайді розташовано так само, як і у сигналу (рисунок б)) – вищі частоти спектра так і залишились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



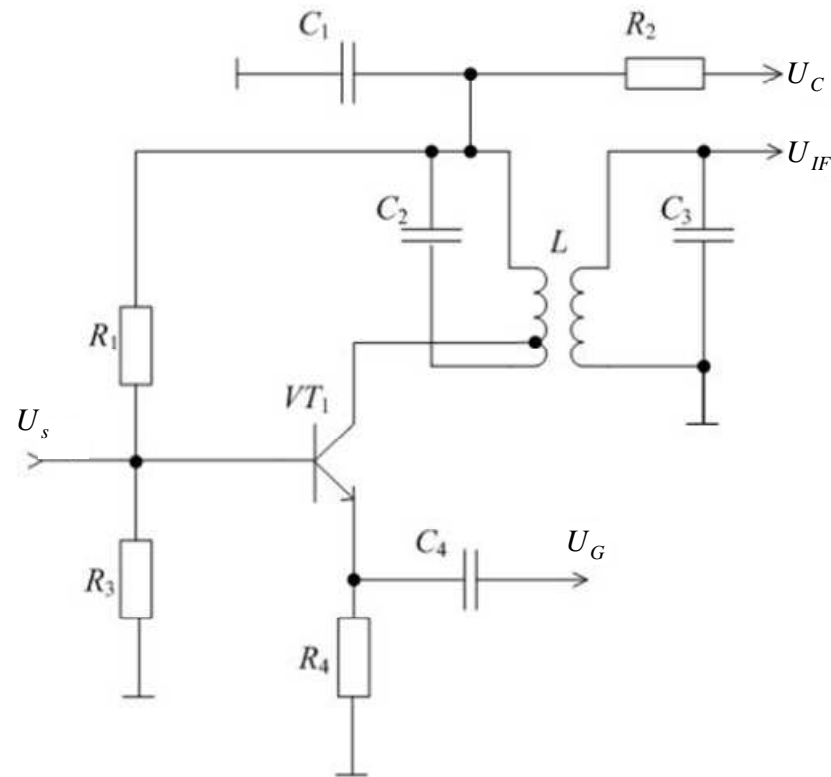
Загальні положення



Структурна схема небалансного ПрЧ

Приклади схем ПрЧ

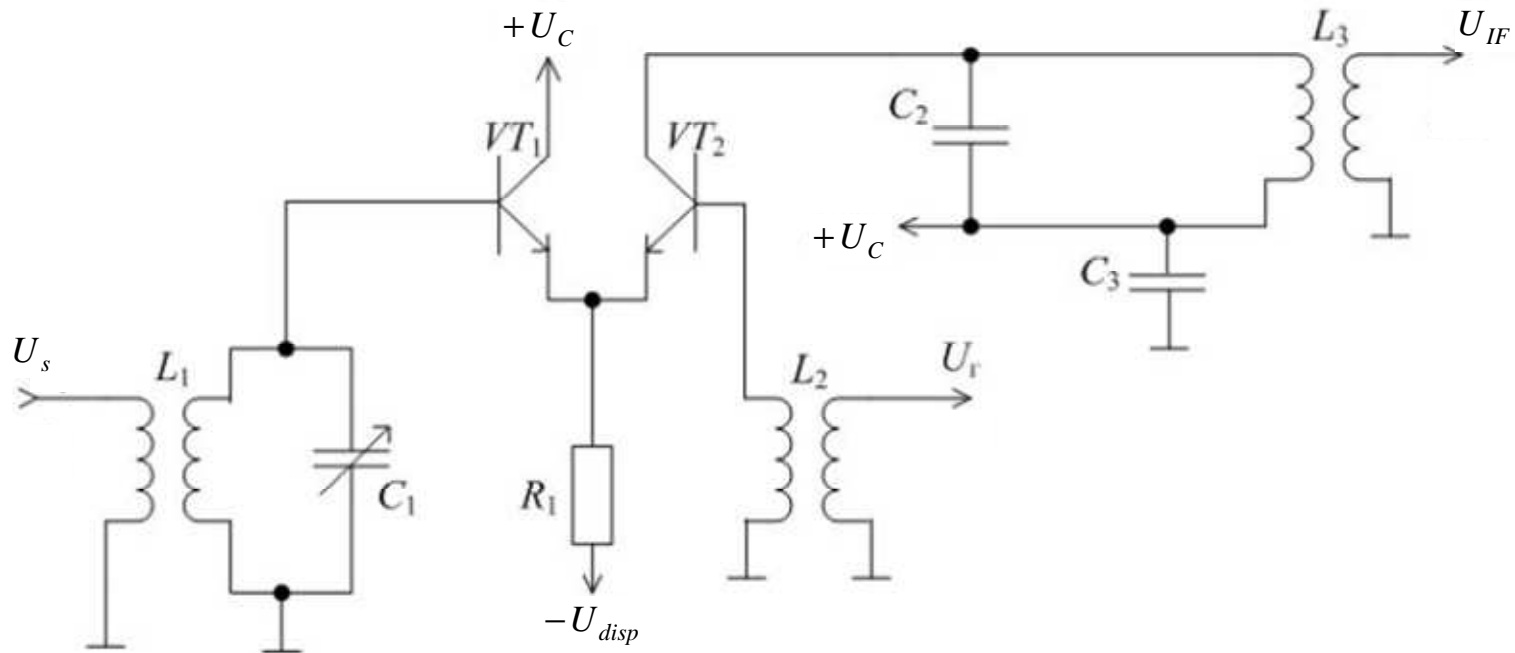
Процес перетворення частоти у транзисторних ПрЧ здійснюється за рахунок періодичної зміни провідності прямої передачі Y_{21} під впливом напруги гетеродину U_G . Крім цього, має місце періодична зміна активної та реактивної складових провідності Y_{12} під впливом напруги гетеродину.



Приклад принципової схеми небалансного ПрЧ

Приклади схем ПрЧ

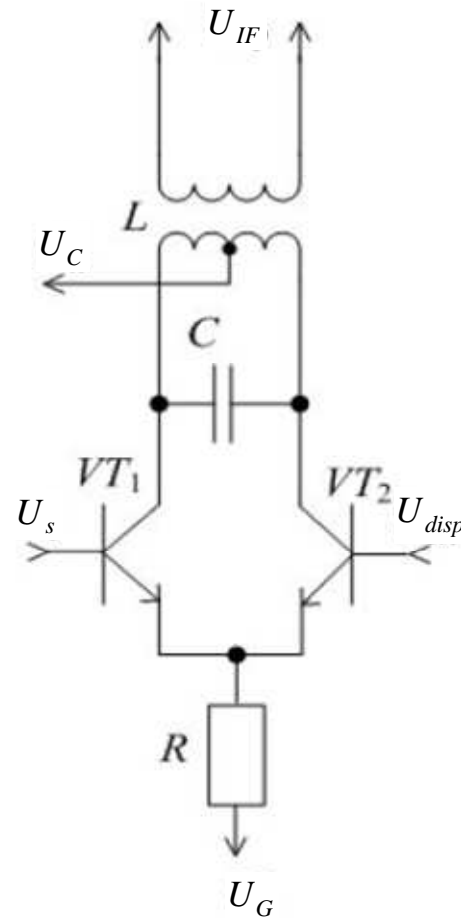
Диференціальні схеми забезпечують кращу розв'язку між коливаннями гетеродину та проміжної частоти.



Принципова схема ПрЧ на диференціальному каскаді

Приклади схем ПрЧ

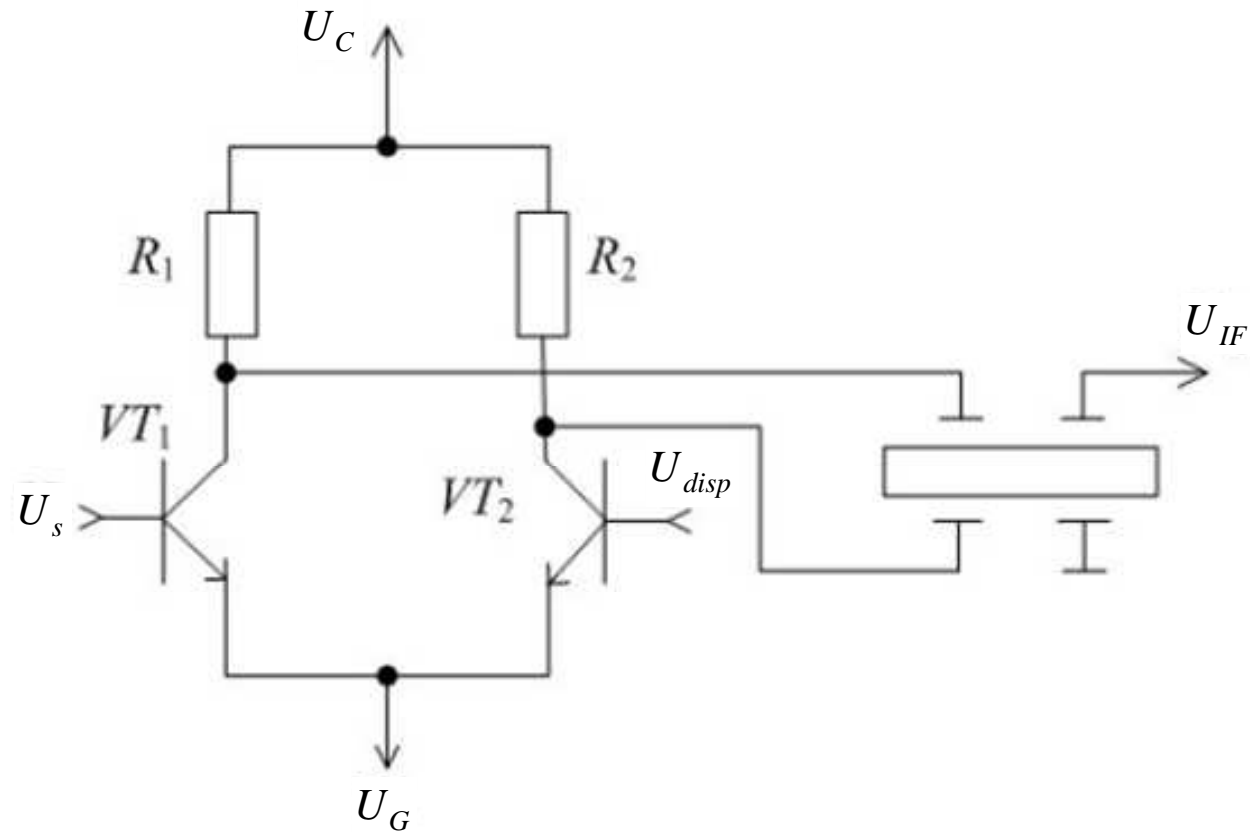
Принцип дії балансних змішувачів: струми гетеродину у навантаженні від першого та другого плечей спрямовано протифазно і коливання гетеродину на виході придушуються дуже добре, а струми від сигналу синфазно, що подвоює коефіцієнт передачі.



Приклад схеми балансного ПрЧ на диференціальному каскаді

Приклади схем ПрЧ

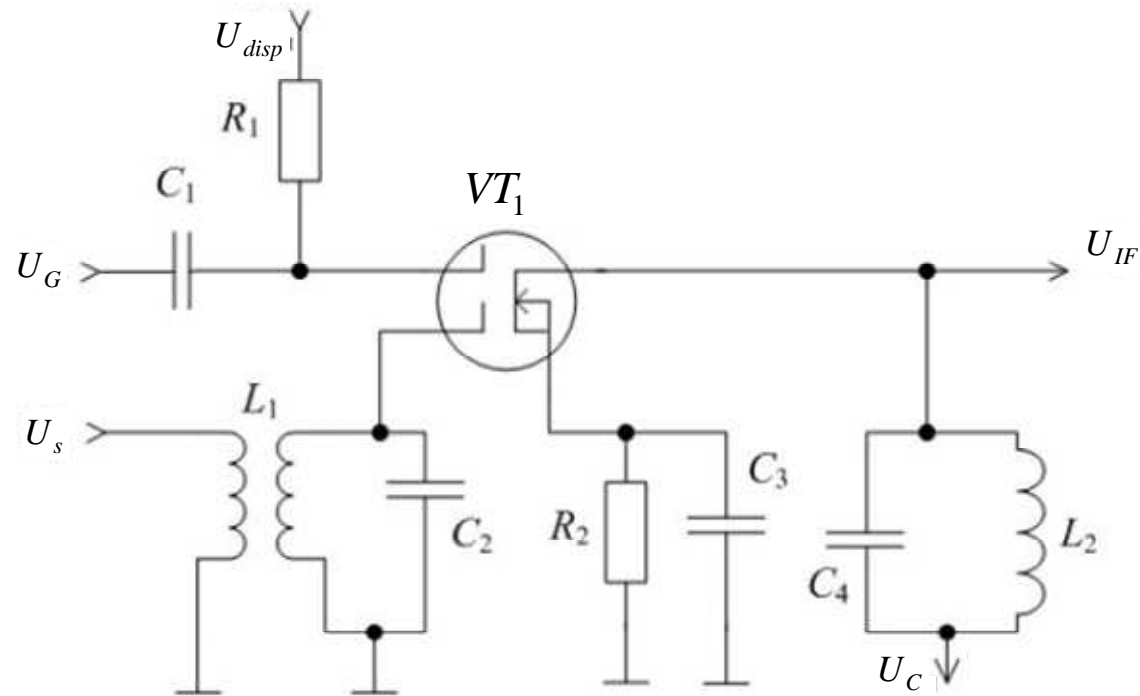
Використовують і сучасніший варіант – без LC-контуру, з використанням фільтрів на ПАХ чи кварцевих фільтрах.



Приклад схеми балансного ПрЧ на кварцевих фільтрах

Приклади схем ПрЧ

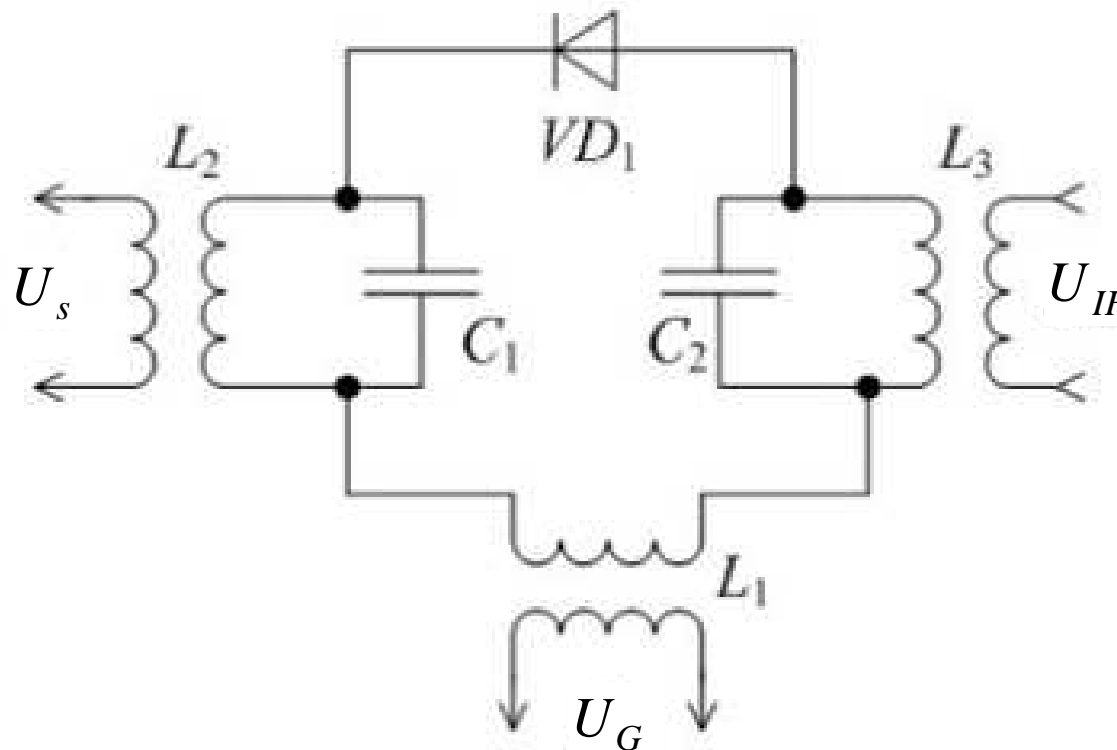
Крім власне перетворення частоти можна отримати підсилення сигналу – це перевага транзисторних змішувачів порівняно з діодними.



Приклад схеми ПрЧ на польовому транзисторі

Приклади схем ПрЧ

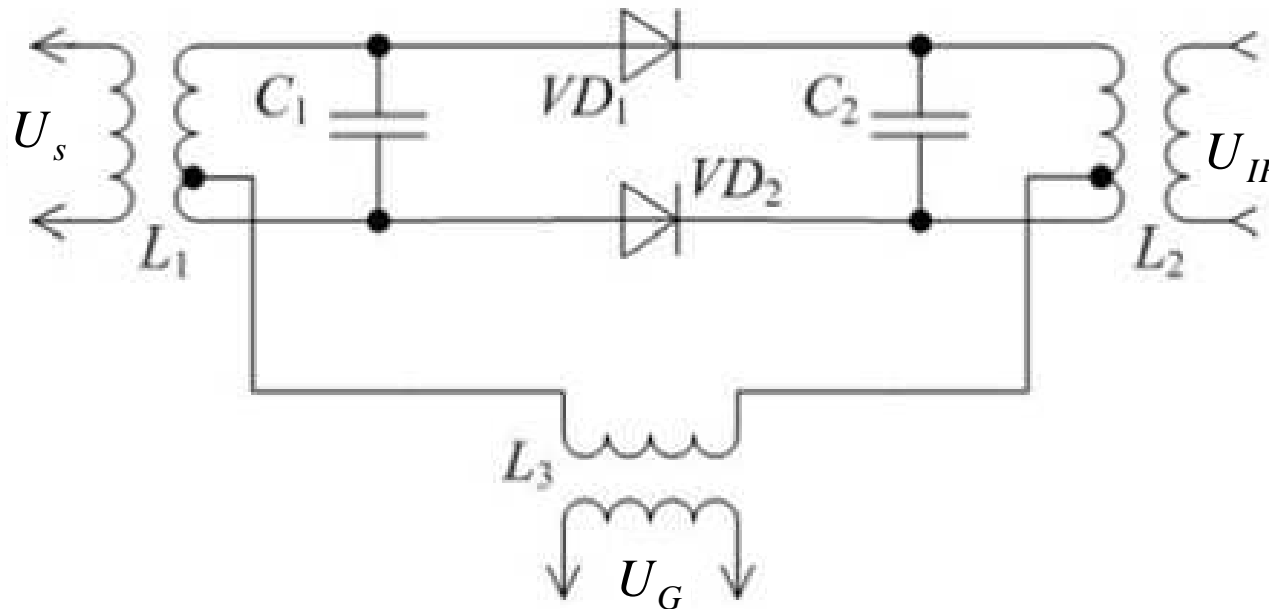
Основні недоліки небалансних діодних змішувачів: перенесення амплітуди шумів гетеродину на проміжну частоту, малий динамічний діапазон, у спектрі присутні складові частот сигналу і гетеродину, та їхні комбінації з кратними частотами. У балансних діодних змішувачів такі недоліки відсутні.



Приклад схеми діодного небалансного ПрЧ

Приклади схем ПрЧ

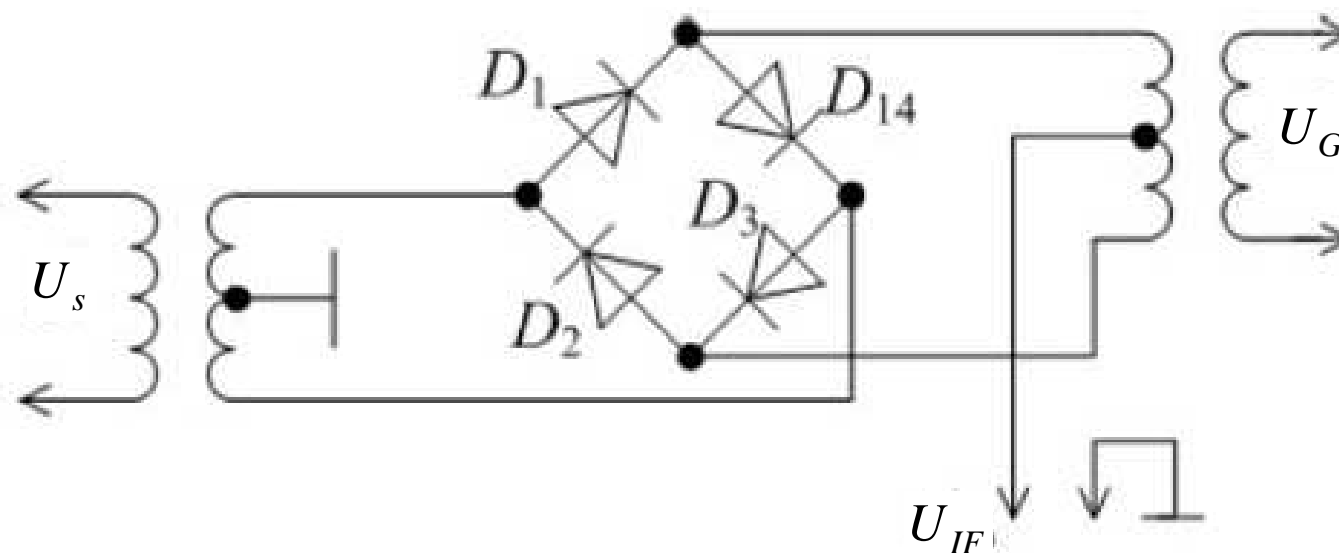
Переваги балансних діодних ПрЧ: знижено коефіцієнт шуму завдяки фазовому придушенню; вся потужність гетеродину надходить на діоди, тому можна використовувати гетеродин меншої потужності; завдяки придушенню парних гармонік у спектрі на виході зменшується рівень побічних складових у спектрі, тому покращується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