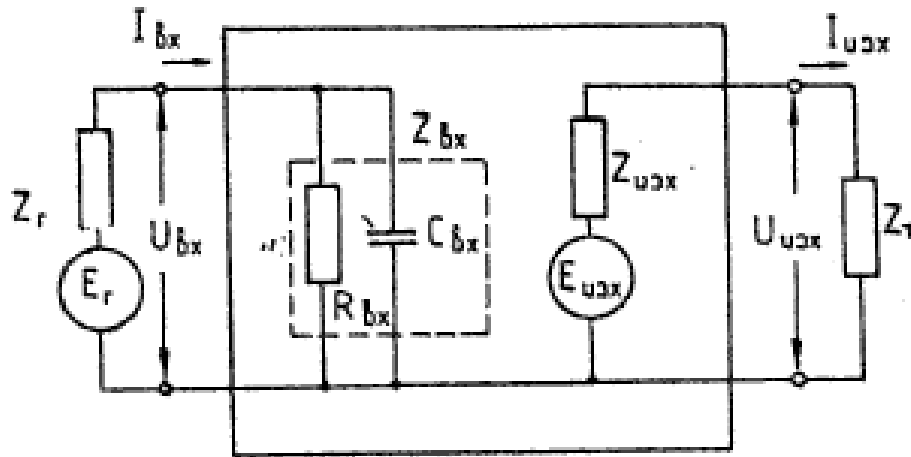


Измервателни усилватели. Видове усилватели.
Схеми и функции на преобразуване на
инвестиращ, неинвестиращ усилвател,
повторител, суматор, интегриращ и
диференциращ усилвател.

ИЗМЕРВАТЕЛНИ УСИЛВАТЕЛИ. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

- Усилвателят е устройство, в което чрез маломощен входен сигнал се управлява енергийният поток от хранващ източник към полезен товар, включен на неговия изход.
- В зависимост от вида на управляваната енергия усилвателите могат да бъдат:
 - Електрически
 - Пневматични
 - Механични и др.
- Електронните усилватели са разновидност на електрическите и се характеризират с това, че в тях управлението на енергията се извършва с електронни елементи.
- При определени условия електронният усилвател може да се разглежда като линеен активен четириполюсник.

Измервателни усилватели. Общи сведения



- В зависимост от съотношението на импедансите във входната ($Z_r, Z_{вх}$) и изходната ($Z_{изх}, Z_T$) верига са възможни теоретично девет режима на работа или девет вида усилватели.

- Най-типични са тези, при които размерностите на входните и изходните величини са еднакви:

- усилвател на напрежение

$$Z_r \ll Z_{вх}, Z_{изх} \ll Z_T$$

- усилвател на ток

$$Z_r \gg Z_{вх}, Z_{изх} \gg Z_T$$

- усилвател на мощност

$$Z_r \approx Z_{вх}, Z_{изх} \approx Z_T$$

Измервателни усилватели. Общи сведения

- Най-важният параметър на електронните усилватели е техният **коэффициент на усилване**. За усилвателя на напрежение

$$K = \frac{\dot{U}_{изх}}{\dot{U}_{вх}}$$

- При усилването на входния сигнал е необходимо да се запазва неговата форма. Отклонението на формата на изходния сигнал от формата на входния се нарича **изкривяване**.

- **Линейните изкривявания** се дължат на наличието на реактивни елементи в усилвателя. Те довеждат до зависимост на коефициента на усилване от честотата при синусен входен сигнал:

$$\dot{K} = K(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$$

- АЧХ $K = K(\omega)$
- ФЧХ $\varphi = \varphi(\omega)$

Измервателни усилватели. Общи сведения

- **Нелинейните изкривявания** причиняват нарушаване на линейната зависимост между изходното и входното напрежение на усилвателя.
 - В общия случай функцията $U_{\text{изх}} = f(U_{\text{вх}})$, наречена амплитудна характеристика, не е линейна.
 - В следствие на нелинейните изкривявания при входен синусен сигнал изходният сигнал не е синусен. Той може да се разложи в ред на Фурие.

Големината на нелинейните изкривявания при входен синусен сигнал се оценява с **коэффициента на нелинейни изкривявания (Клирфактор)**

$$K_h = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1}$$

- **Входен импеданс** – $Z_{\text{вх}}$
 - $R_{\text{вх}} = 1 \div 100 \text{ M}\Omega$
 - $C_{\text{вх}} = 20 \div 50 \text{ pF}$

Основни параметри на ИУ

- Измервателните усилватели (ИУ) представляват електронни усилватели с **номирани метрологични характеристики**. Преобладаващо това са линейни усилватели за постоянно и променливо напрежение, които имат точен и стабилен коефициент на усилване, малки честотни и фазови грешки.
- Основна характеристика на усилвателя е **номиналният коефициент на усилване** K_n , равен на неговата номинална чувствителност.
- **Основна грешка** на усилвателя

$$\gamma = \frac{K - K_n}{K_n}$$

K - действителния коефициент на усилване при произволна честота

Основни параметри на ИУ

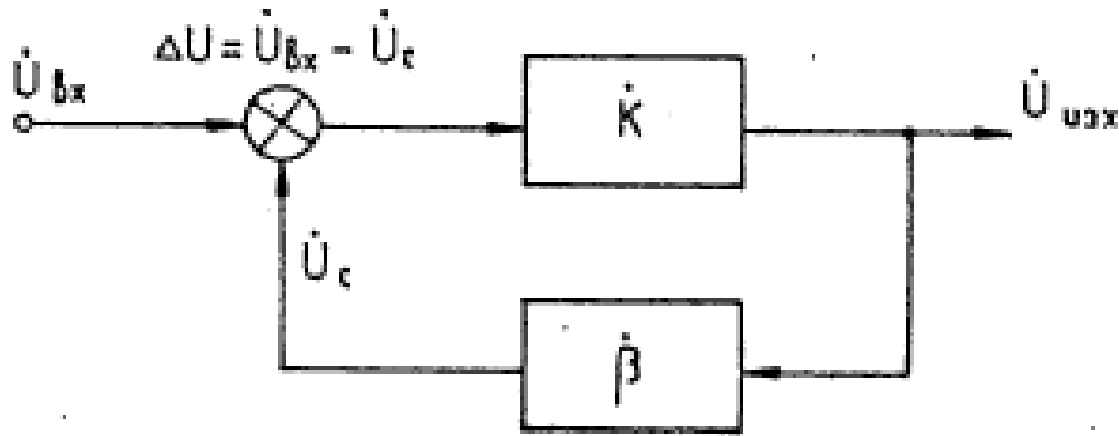
- **Честотната грешка** е съществена част от основната грешка

$$\gamma_f = \frac{K - K_0}{K_0} = M - 1 \qquad M = \frac{K}{K_0}$$

- Определя се като относителна разлика на реалния коефициент на усилване K (най-често за долната и горната честотна граница) спрямо коефициента на усилване K_0 при средни честоти (обикновено $f_0 = 1000$ Hz)
- M - **коефициент на честотните изкривявания** се дефинира за ниски и високи честоти.
- Освен честотата съществуват и други **дестабилизиращи фактори**, които предизвикват изменение на коефициента на усилване K . По-важните от тях са:
 - изменение на околната температура
 - нестабилността на захранващите напрежения
 - стареенето на градивните елементи.

Основни параметри на ИУ

- Основен метод за стабилизиране на коефициента на усилване - въвеждане на отрицателна обратна връзка (ООВ).



- K - Коефициент на усилване на канала за право предаване
- β - Коефициент на усилване на канала за ООВ
- K_F - коефициент на усилване на усилвателя при наличие на ООВ

$$K_F = \frac{\dot{U}_{изх}}{\dot{U}_{вх}} = \frac{K}{1 + \beta K}$$

Основни параметри на ИУ

- При средни честоти ($K = K_0$) и чисто активна верига за обратна връзка коефициентът на усилване е реално число:

$$K_F = \frac{K_0}{1 + \beta K_0} = \frac{K_0}{F_0}$$

- Коефициентът на усилване на канала за право преобразуване K_0 намалява $1 + \beta K_0$ пъти
- $F_0 = 1 + \beta K_0$ дълбочина на обратната връзка.
- При $\beta K_0 \gg 1$ усилването се определя само от канала за ООВ, т.е.

$$K_F = \frac{1}{\beta}$$

- Едновременно намалява и относителната нестабилност на усилвателя.
- Ефектът от въвеждането на ООВ се проявява само, ако коефициентът на предаване в може да се реализира с висока точност и стабилност

Основни параметри на ИУ

- ООВ влияе върху стойността на входния и изходния импеданс на усилвателя, като посоката на изменение (намаляване или увеличаване) се определя от нейната конкретна реализация.
- При много ниски и много високи честоти коефициентът на усилване K е намаляващо по модул комплексно число и може да се получи

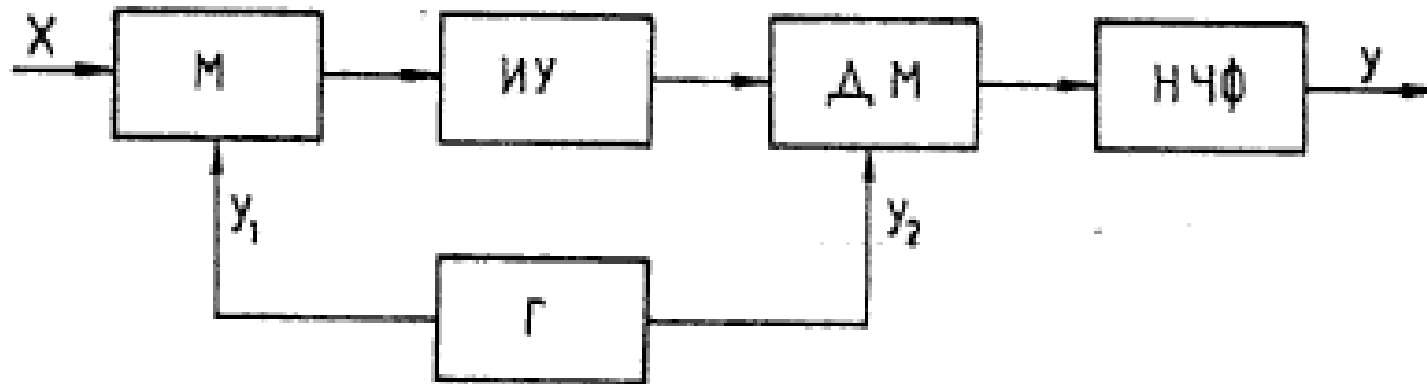
$$1 + \dot{\beta} \dot{K} = 0$$

$$K_F \rightarrow \infty$$

- **Самовъзбуждане на усилвателя** - обратната връзка се превръща в положителна и в усилвателя възникват автогенерации.
- **Устойчивостта срещу самовъзбуждане** е основно изискване към усилвателите с ООВ

Основни параметри на ИУ

- **Дрейф на нулевото ниво** - В усилвателите за постоянно напрежение точността на усилването се ограничава съществено от инфранискочестотните шумове, дължащи се главно на зависимостта на параметрите на усилвателните елементи от температурата и захранващите напрежения
- МДМ усилвателите (усилватели с модулация - демодулация) преобразуват спектъра на усилваните сигнали. Дрейфът на нулевото ниво МДМ усилвателите е по-малък от $1\mu\text{V}/^\circ\text{C}$



Основни линейни преобразувания с операционни усилватели

- Характеристики на съвременните измервателни усилватели предимно операционни усилватели:
 - монолитни интегрални микросхеми
 - голям коефициент на усилване
 - високо входно съпротивление
 - незначително изходно съпротивление
 - добра стабилност на напрежението на несиметрия.
- Приложения:
 - за мащабиране на напрежение и ток
 - за преобразуване на ток в напрежение и обратно
 - други измервателни преобразувания.
- Операционни усилватели (ОУ):
 - Два входа инвертиращ и неинвертиращ, и един изход.
 - При използване на инвертиращия вход полученият изходен сигнал е в противофаза с входния.
 - ОВ за стабилизиране на коефициента на усилване.

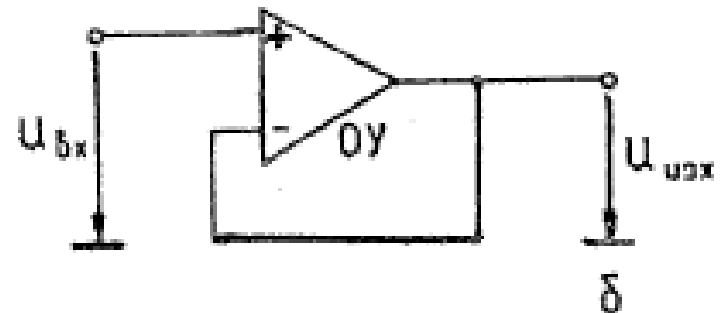
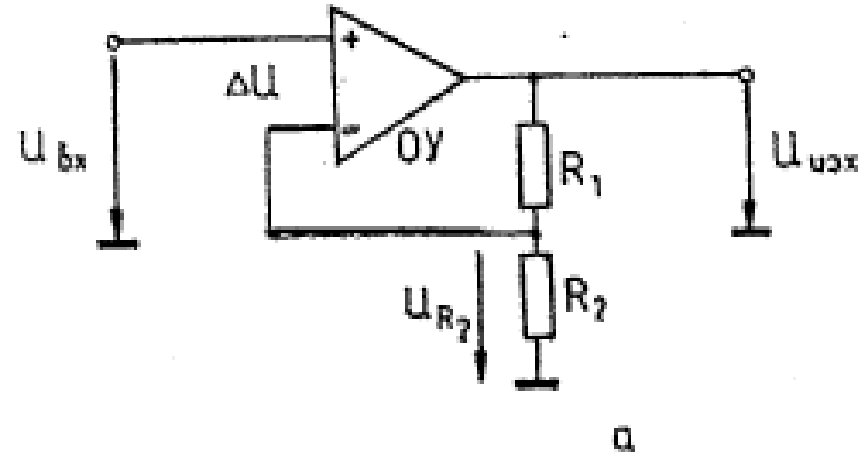
Неинвертирац усилвател

- Неинвертирац усилвател с ООБ

$$\beta = \frac{u_{R_2}}{u_{u3x}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$K = \frac{u_{u3x}}{\Delta u} \rightarrow \infty$$

$$K_F \approx \frac{1}{\beta} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$



- Операционен повторител
 $K_F=1$
 - Висок входен импеданс
 - Малък изходен импеданс

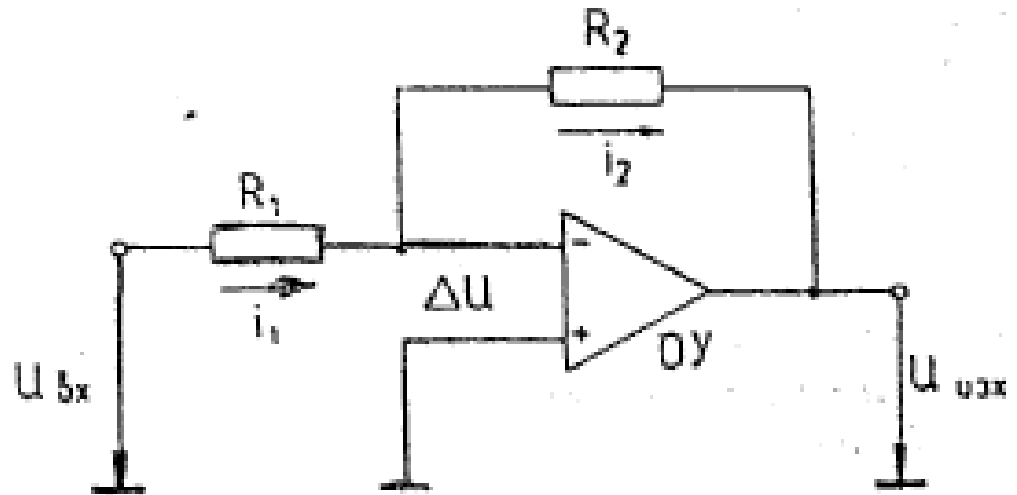
Инвертирацц усилвател

- При идеални характеристики

$$i_1 = i_2$$

$$\frac{U_{вх}}{R_1} = -\frac{U_{изх}}{R_2}$$

$$K_F = -\frac{R_2}{R_1}$$



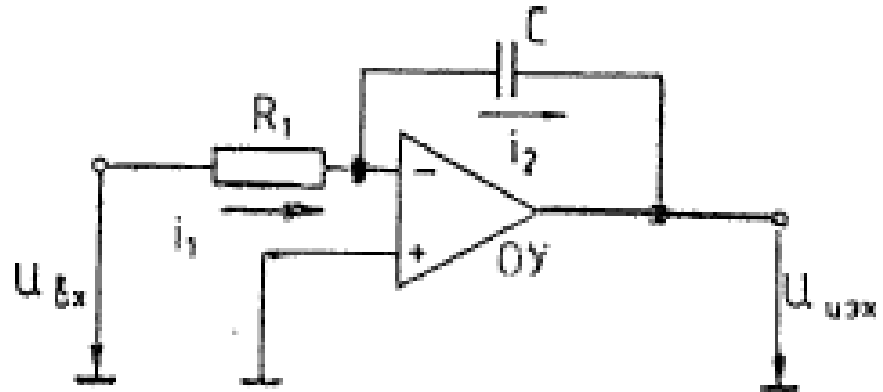
- Знакът минус показва, че изходното напрежение е в противофаза на входното

Аналогов интегратор

$$i_1 = i_2$$

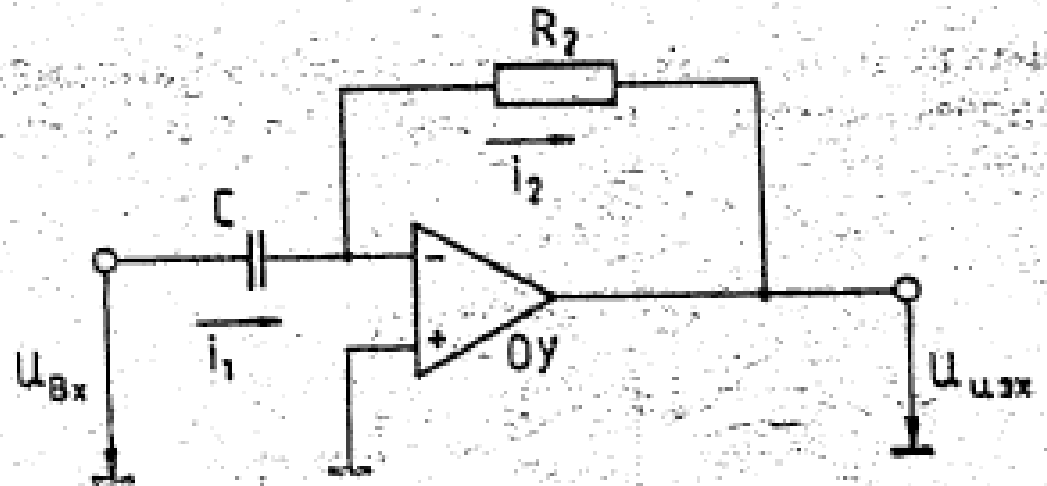
$$\frac{u_{вх}}{R_1} = -C \frac{du_{изх}}{dt}$$

$$u_{изх} = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t u_{вх} dt$$



- Изходното напрежение е пропорционално на площта, ограничена от кривата на входния сигнал в граници от $t = 0$ до някакъв момент от времето t .
- Изходното напрежение не се връща към нула, ако входното напрежение приеме нулева стойност - то само престава да се изменя.
- Изходното напрежение във всеки момент от времето зависи от предисторията на входния сигнал.

Аналогов дифференциатор



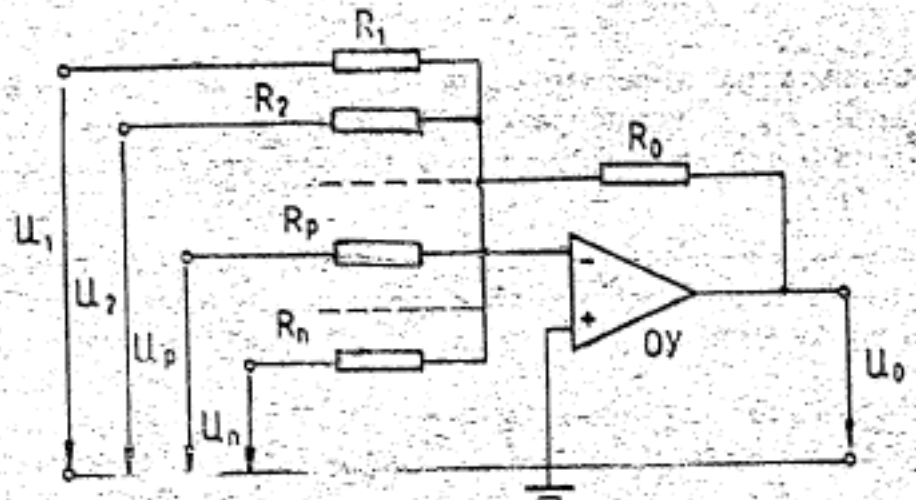
$$i_1 = i_2$$

$$C \frac{du_{вх}}{dt} = - \frac{u_{uzx}}{R_2}$$

$$u_{uzx} = -R_2 C \frac{du_{вх}}{dt}$$

Аналогов суматор

В съответствие с първия закон на Кирхоф при идеални параметри на ОУ



$$\frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} + \dots + \frac{u_p}{R_p} + \dots + \frac{u_n}{R_n} = -\frac{u_{uzx}}{R_0}$$

$$R_1 = R_2 = \dots = R_p = \dots = R_n = R$$

$$u_{uzx} = -\frac{R_0}{R} \sum_{p=1}^n u_p$$