

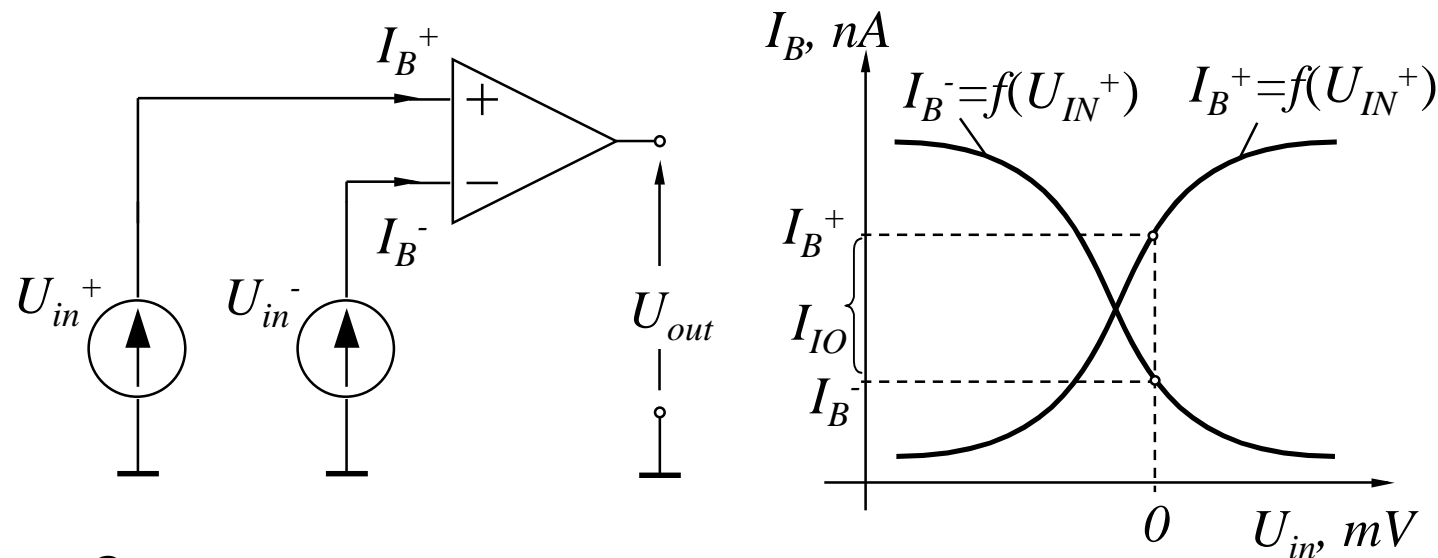
Основни експлоатационни характеристики и параметри на ОУ

Постояннотокови характеристики и параметри

Входни характеристики

Входните характеристики на ОУ спрямо неинвертиращия и инвертиращия вход се дефинират при празен ход в изхода и без обратна връзка както следва:

$$I_B^+ = f(U_{in}^+)_{U_{in}^- = 0}, \quad I_B^- = f(U_{in}^-)_{U_{in}^+ = 0}$$



Основни параметри:

- **Входен поляризиращ ток (Input Bias Current) I_{iB} :** Средната стойност на токовете на двата входа при нулево входно напрежение: $I_{iB} = (I_B^+ + I_B^-) / 2$

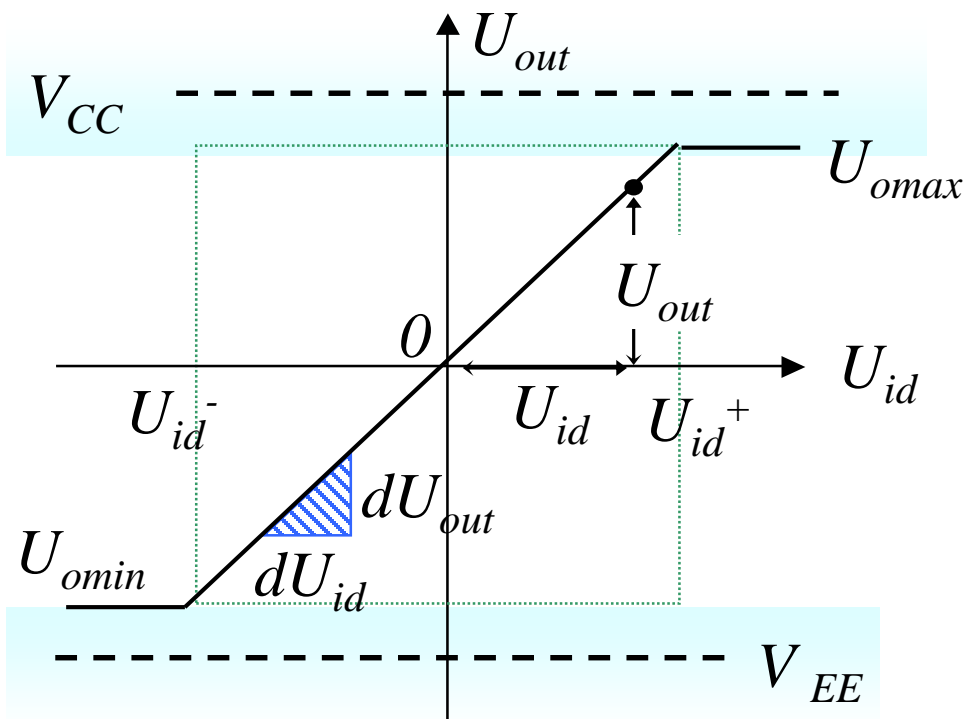
- **Входен ток на несиметрия (Input Offset Current) I_{i0} :** Разликата между токовете на двата входа при нулево входно напрежение: $I_{i0} = I_B^+ - I_B^-$

- **Входно диференциално съпротивление (Differential Input Resistance) R_{iD} :**

$$R_{id}^+ = R_{id}^- = \frac{dU_{in}^+}{dI_B^+} = \frac{dU_{in}^-}{dI_B^-}$$

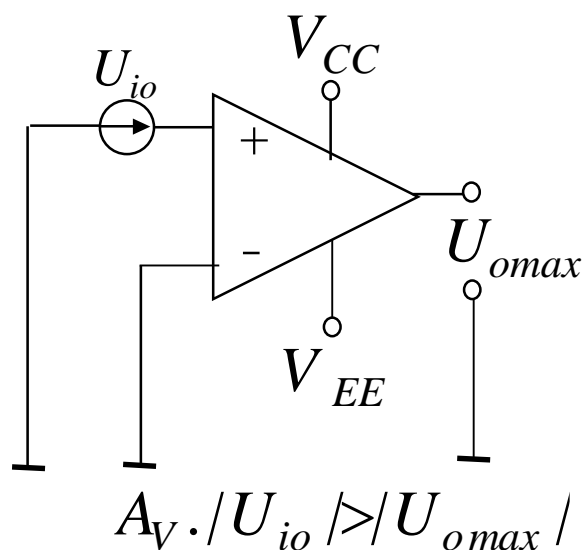
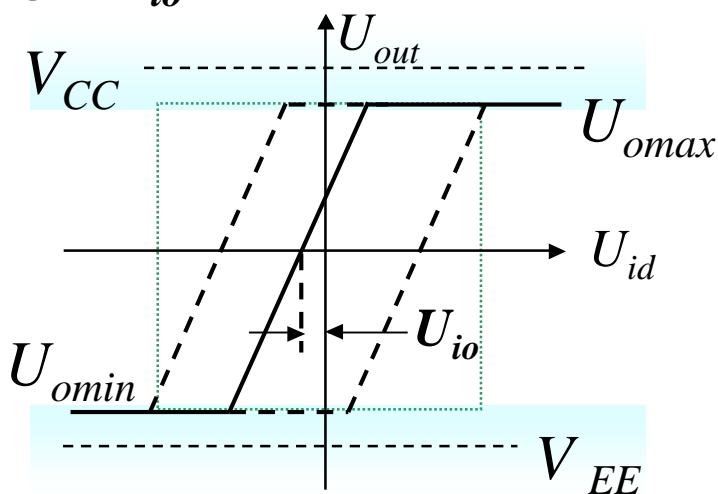
Постояннотокови характеристики и параметри на ОУ

Статична предавателна характеристика



Основни параметри:

- Интегрален коефициент на усилване по напрежение (**Large-Signal Voltage Amplification**): $A_V = U_{out} / U_{id}$
- Диференциален коефициент на усилване по напрежение (**Differential Voltage Amplification**): $A_D = dU_{out} / dU_{id}$
- Максимално изходно напрежение (**Maximum Peak Output Voltage**) U_{omax} (U_{omin}).
- Входно напрежение на несиметрия (**Input Offset Voltage**) U_{io} .



Постояннотокови характеристики и параметри на ОУ

Зависимост на входните напрежение и ток на несиметрия от температурата

Характеристиките се определят в режим на покой, т.е. при липса на входен сигнал, празен ход на изхода и изменение на температурата в обхвата T_{min} до T_{max} . Зависимостите на входните напрежение и ток на несиметрия от температурата на околната среда са нелинейни функции. От тях могат да бъдат определени следните параметри:

- Среден температурен коефициент на входното напрежение на несиметрия (*Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage*):

$$\alpha_{U_{io}} = \frac{U_{io}(T_{A1}) - U_{io}(T_{A2})}{T_{A1} - T_{A2}}, \mu V / ^\circ C$$

- Среден температурен коефициент на входния ток на несиметрия (*Average Temperature Coefficient of Input Offset Current*):

$$\alpha_{I_{io}} = \frac{I_{io}(T_{A1}) - I_{io}(T_{A2})}{T_{A1} - T_{A2}}, nA / ^\circ C$$

Предавателна характеристика за синфазните сигнали

Основни параметри:

- Коефициент на предаване на синфазните сигнали (*Common-Mode Voltage Gain*): $A_{CM} = dU_o / dU_{iCM}$

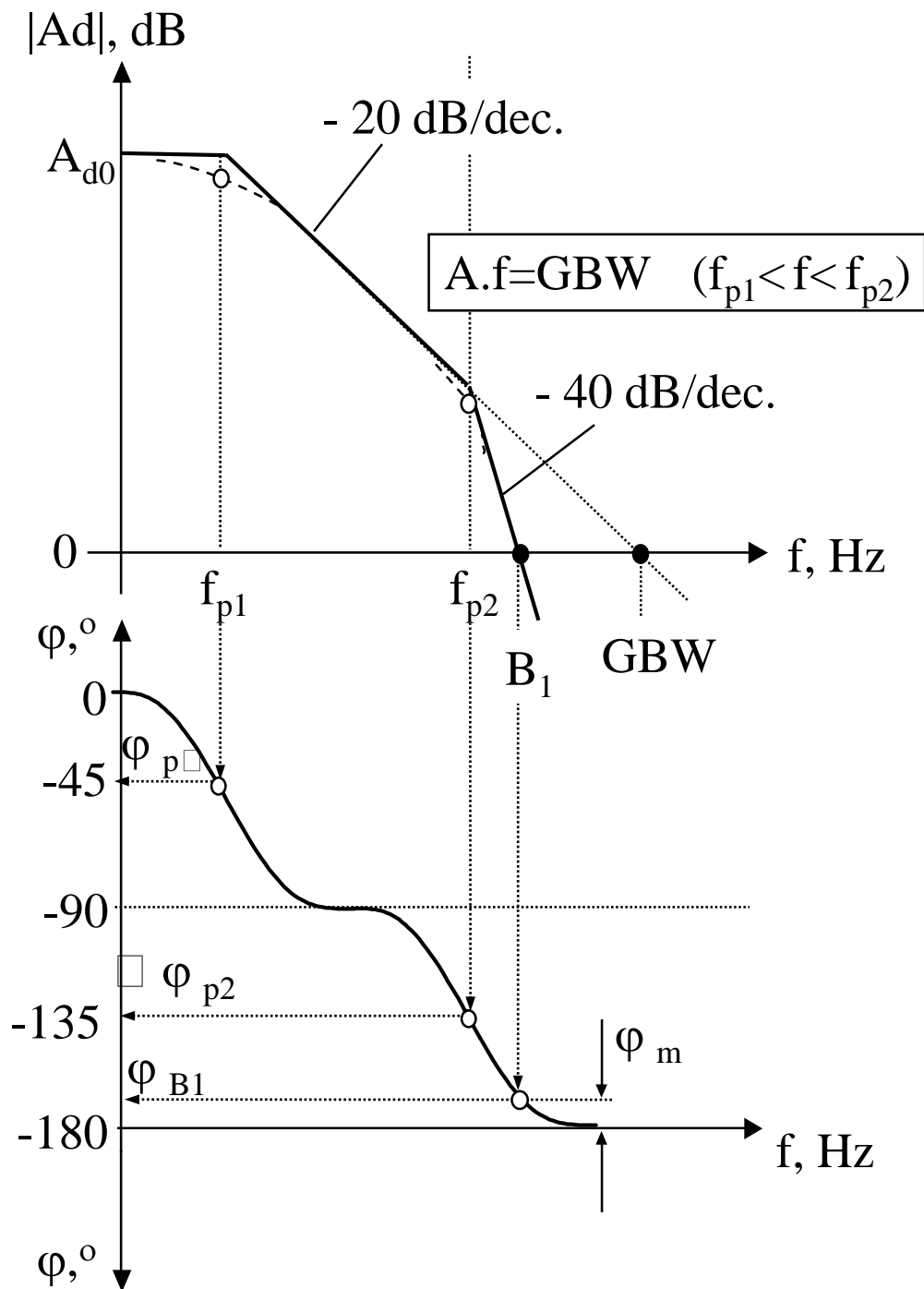
- Коефициент на потискане (режекция) на синфазните сигнали (*Common-Mode Rejection Ratio*):

$$CMRR = 20 \lg \frac{A_d}{A_{CM}}, dB$$

- Максимално входно синфазно напрежение (*Common-Mode Input Voltage Range*).

Динамични характеристики и параметри на ОУ

Честотни характеристики и параметри на ОУ с два полюса



Основни параметри:

f_{p1} f_{p2} - Гранични честоти на първи и втори полюс

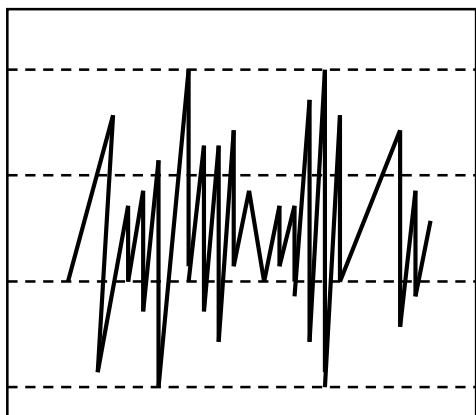
$A \cdot f = \text{GBW}$ - Произведение честота-усилване ($f_{p1} < f < f_{p2}$)

$\varphi_m = 180^\circ - |\varphi_{B1}|$ - Запас по фаза

Динамични характеристики и параметри на ОУ

Шумови характеристики

Шумовете се получават от хаотичните флуктуации на токоносителите в проводниците и полупроводниците.



\bar{e}_N - Ефективна стойност на шумовото напрежение

$$e_{Np-p} \approx 6,6 \cdot \bar{e}_N$$

Видове шум:

1) **Топлинен шум** – Причинява се от хаотичното топлинно движение на токоносителите в проводниците и полупроводниците.

Шумово напрежение за резистор със съпротивление R :

$$\bar{e}_N^2 = 4kTR\Delta f$$

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J / K}$ - Константа на Болцман

$T = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15$ - Температура в градуса К

Шумов ток за резистор със съпротивление R :

$$\bar{i}_N^2 = \frac{\bar{e}_N^2}{R^2} = \frac{4kT\Delta f}{R}$$

Спектрална плътност на шумово напрежение и шумов ток

$$\bar{S}_{U_o}^2 = \frac{d\bar{e}_N^2}{df} = 4kTR = \text{const}, \frac{\text{V}^2}{\text{Hz}}; \bar{S}_{I_o}^2 = \frac{d\bar{i}_N^2}{df} = \frac{4kT}{R}, \frac{\text{A}^2}{\text{Hz}}$$

Динамични характеристики и параметри на ОУ

2) **Шум на Шотки** – Причинява се от флуктуациите на токовете на основните и неосновните токоносители, които протичат през PN преходите на диоди и транзистори.

$$\bar{i}_{Nd}^2 = 2qI\Delta f$$

$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ - Заряд на електрона

3) **Фликер-шум (1/f – шум)** – Причинява се от изменението на скоростта на повърхностните рекомбинационни процеси, поради технологични дефекти в полупроводниковите елементи.

$$\bar{S}_U^2 = \bar{S}_{U_0}^2 \frac{f_{S1}}{f}, \text{ за } f \leq f_{S1}$$

Спектрална характеристика на шумово напрежение за ОУ



$$\bar{e}_{NU}^2 = \int_{0,1 \text{ Hz}}^{f_{S1}} \bar{S}_{U_0}^2 \frac{f_{S1}}{f} df + \int_{f_{S1}}^{f_{S2}} \bar{S}_{U_0}^2 df + \int_{f_{S2}}^{\infty} \bar{S}_{U_0}^2 \frac{f}{f_{S2}} df$$

Динамични характеристики и параметри на ОУ

Шумови параметри на усилвателите

1) **Фактор на шума** – Определя се като отношение на пълната мощност на шума в изхода на схемата P_{tot} към шумовата мощност P_{RG} , която би се получила в изхода му, ако усилвателя не внася шум:

$$F_N = \frac{P_{tot}}{P_{RG}} = \frac{P_{RG} + P_{Ne}}{P_{RG}}$$

P_{RG} - Мощност на шума в изхода, дължаща се на шума в съпротивлението R_G

P_{Ne} - Мощност на шума в изхода, дължаща се на собствените шумове на усилвателя

Фактор на шума за многостъпален усилвател

$$F_N = F_{N1} + \frac{F_{N1}}{A_{P1}} + \frac{F_{N2}}{A_{P1} \cdot A_{P2}} + \dots$$

Факторът на шума като отношение на две мощности най-често се изразява в децибели:

$$F_N = 10 \lg \frac{P_{tot}}{P_{RG}} = 10 \lg \frac{\bar{e}_{Ntot}^2}{R_L} \cdot \frac{R_L}{4kTR_G \Delta f A_U^2} = 20 \lg \frac{\bar{e}_{Ntot}}{A_U \sqrt{4kTR_G \Delta f}}$$

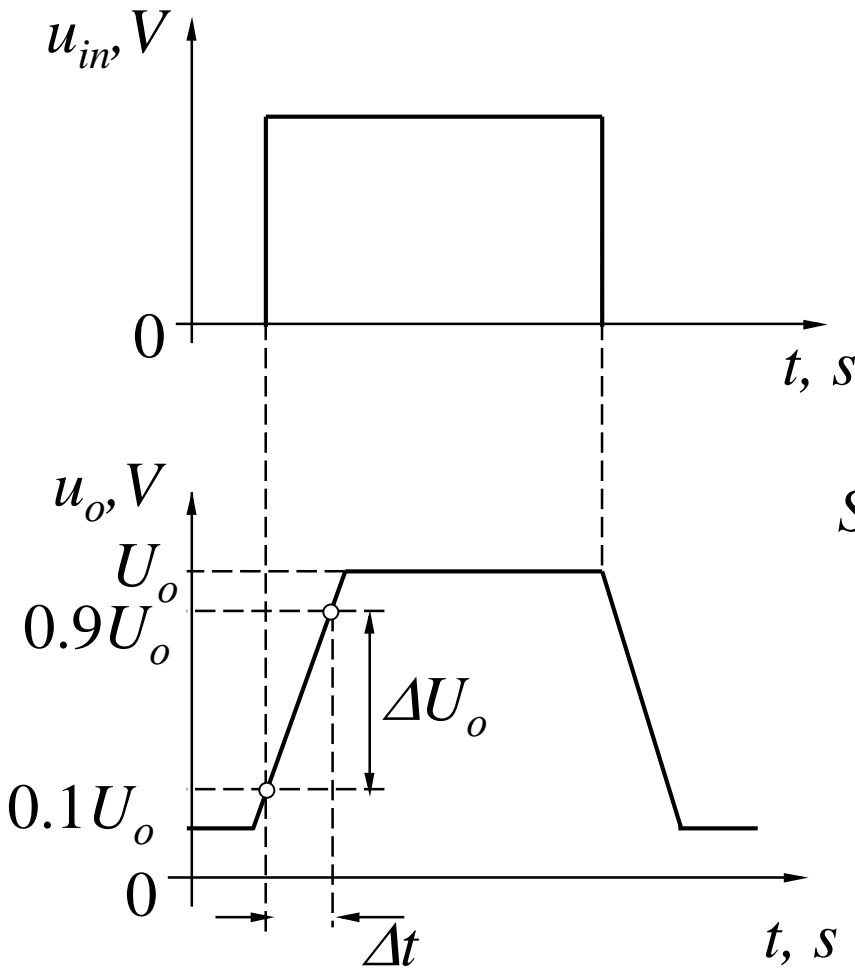
$$\bar{e}_{Ntot}^2 = \bar{e}_{NRG}^2 + \bar{e}_{NU}^2 + \bar{e}_{NI}^2 \quad \text{- Общо шумово напрежение}$$

За идеален усилвател $P_{Ne} = 0$; $F_N = 0dB$

2) **Отношение сигнал/шум:** $SN = \frac{U_i}{\bar{e}_{Ntot}}$

Динамични характеристики и параметри на ОУ

Преходна характеристика при голям сигнал



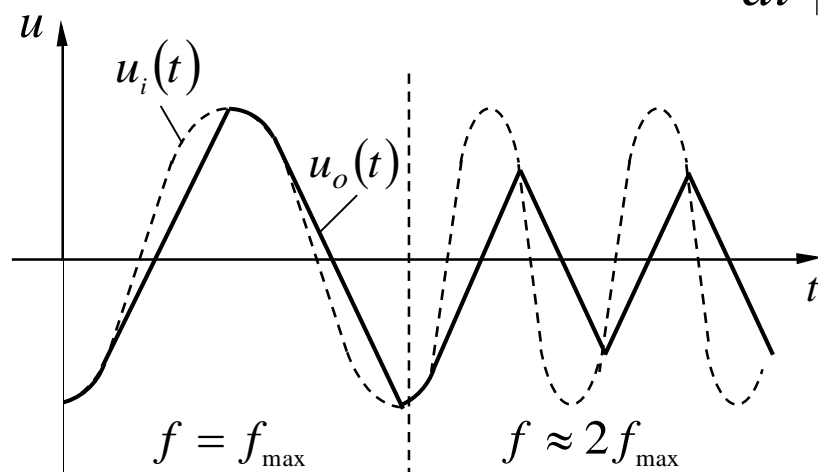
- Скорост на нарастване на изходното напрежение (**Slew Rate**):

$$SR = \frac{du_o}{dt} \approx \frac{\Delta U_o}{\Delta t}, V / \mu s$$

Зависимост на максималното изходно напрежение от честотата

$$u_i(t) = U_{i,m} \sin \omega t \quad \rightarrow \quad \frac{du_i}{dt} = \omega U_{i,m} \cos \omega t$$

$$\left. \frac{du_i}{dt} \right|_{(max)} = 2\pi f U_{i,m} \text{ за } \omega t = 0$$

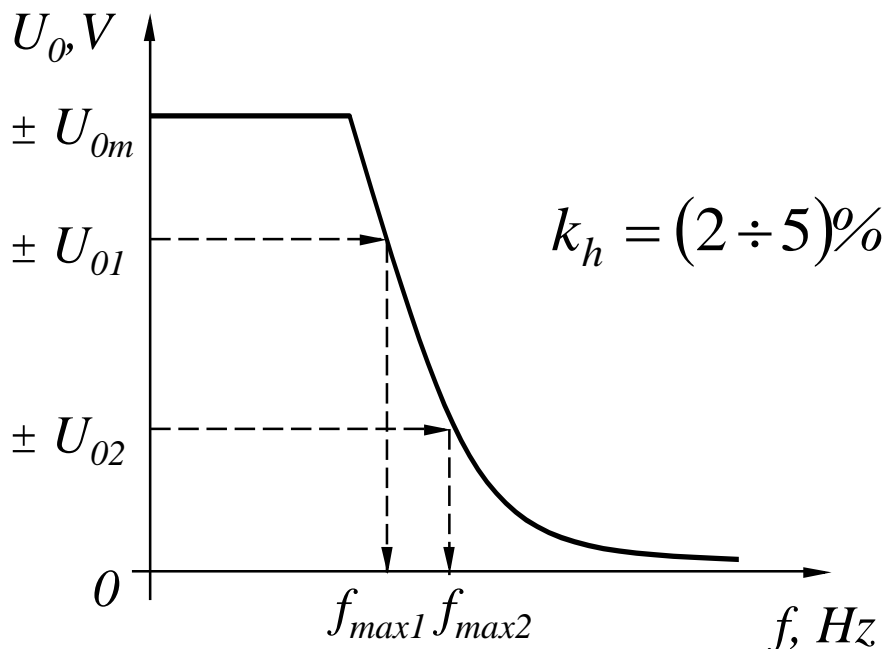


$$\left. \frac{du_i}{dt} \right|_{(max)} < SR_{OY}$$

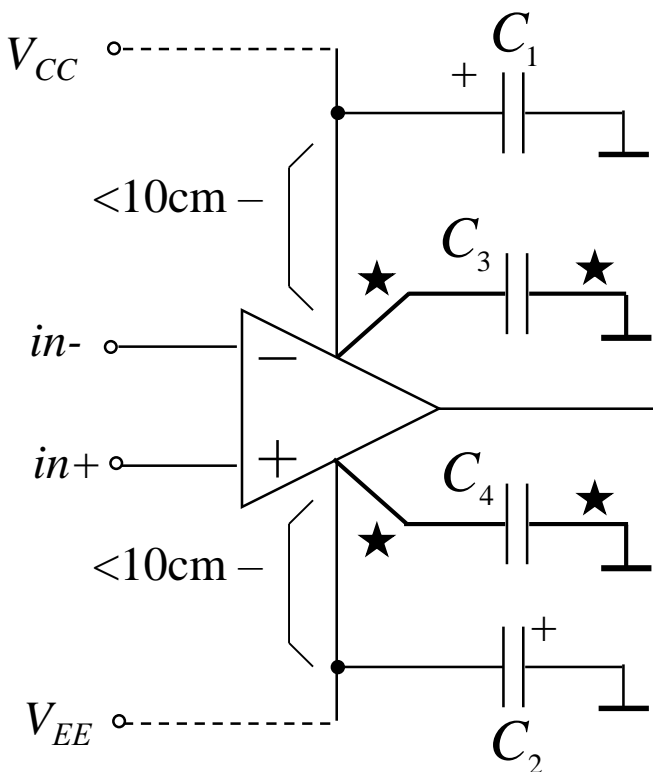
$$f_{max} < \frac{SR_{OY}}{2\pi U_{i,m}}$$

Динамични характеристики и параметри на ОУ

Зависимост на максималното изходно напрежение от честотата



Захранване и защита на ОУ



C_1 и C_2 - Електролитни
Кондензатори: $10 \div 50 \mu F$

C_3 и C_4 - Керамични
кондензатори: $100 nF$

★ - Монтаж на минимално разстояние

