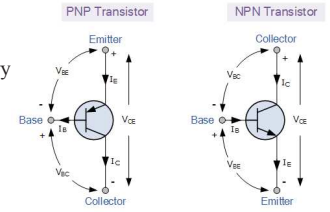
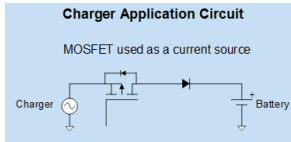
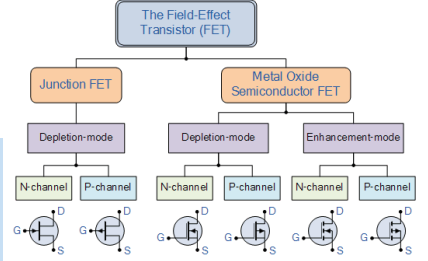


Tranzistory

- **Bipolárne**
dva typy nosiča náboja - elektróny a diery
riadené sú prúdom tečúcim do bázy
šípka udáva smer prúdu



- **Unipolárne**
jeden typ nosiča náboja
napätím riadené tranzistory



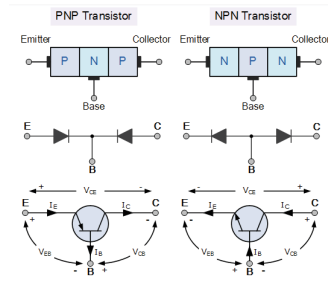
1

2

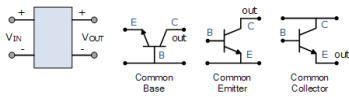
Bipolárne tranzistory

Oba typy bipolárnych tranzistorov, NPN a PNP môžu pracovať ako

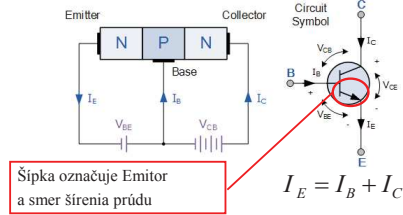
- Signálny zosilňovač (lineárny režim činnosti)
 - Spínač On/Off (nelineárny režim činnosti)
- Tranzistor zapojený ako spínač pracuje (prepína) medzi
- nevodivou oblasťou (Cut-off Region)
 - nasýtením (Saturation Region)



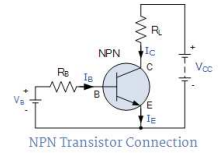
Zapojenia tranzistorov:



Zapojenie NPN bipolárneho tranzistora



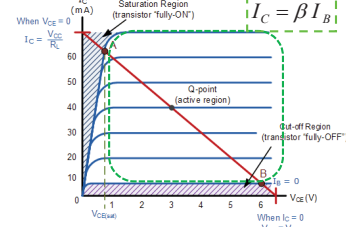
$$I_E = I_B + I_C$$



R_L zaťažovací odpor

$$\text{Pomer prúdov } \left(\sim 200 \right) \quad \frac{I_C}{I_B} = \beta$$

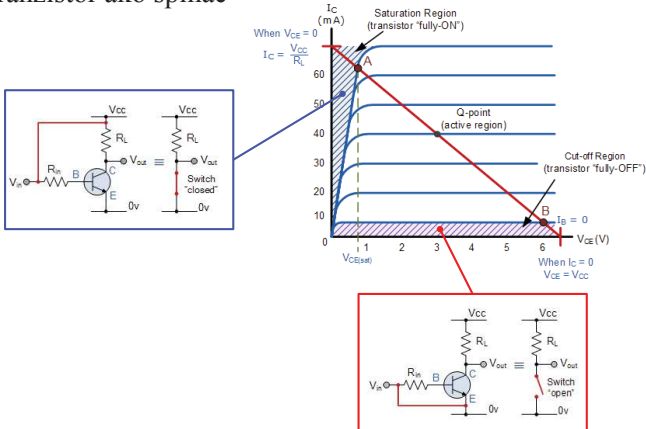
$$\text{Pomer prúdov } \quad \frac{I_C}{I_E} = \alpha \quad (\sim 0,99)$$



3

4

Tranzistor ako spínač



NPN tranzistor ako spínač

Pr.1: $\beta = 200$, $I_C = 4\text{mA}$, $I_B = 20\mu\text{A}$, $V_{in} = 2,5\text{V}$.
 $R_B = ?$

$$R_B = \frac{V_{in} - V_{BE}}{I_B} = \frac{2,5\text{V} - 0,7\text{V}}{20 \cdot 10^{-6}} = 90\text{k}\Omega$$

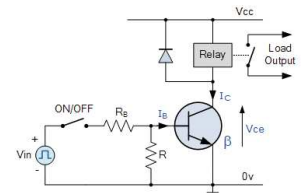
V rade E24 zvolíme, napr., hodnotu 82kΩ (tranzistor bude určite v stave nasýtenia).

Pr.2: $\beta = 200$, $I_C = 20\text{mA}$, $V_{in} = 5,0\text{V}$.
 $R_B = ?$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{0,2\text{A}}{200} = 1\text{mA}$$

$$R_B = \frac{V_{in} - V_{BE}}{I_B} = \frac{5\text{V} - 0,7\text{V}}{1 \cdot 10^{-3}} = 4,3\text{k}\Omega$$

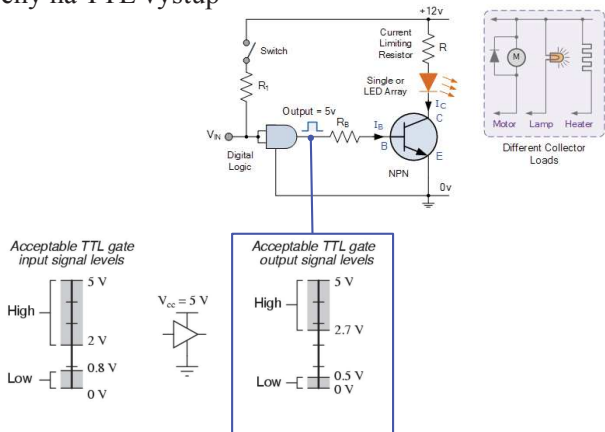
V rade E24 zvolíme hodnotu 4,3kΩ



5

6

NPN tranzistor ako spínač, pripojený na TTL výstup

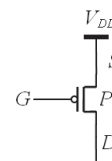
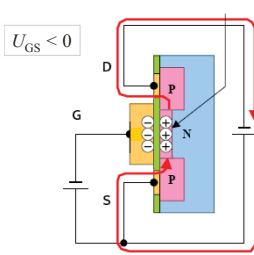


MOS FET

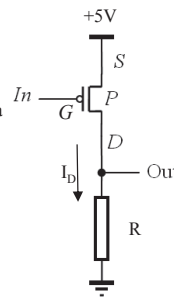
Vo výkonovej elektronike sa MOSFET tranzistory používajú ako polovodičové spínače

Technológia PMOS

PMOS (MOS tranzistor s kanálom **P**) - historicky najstaršia technológia
Nevýhody: nízka rýchlosť a zlá zlučiteľnosť s TTL obvodymi



In	Out	I_D
„log.1“	-> +0V	-> 0
„log.0“	-> +5V	> 5/R



7

Náhrada: NMOS

8

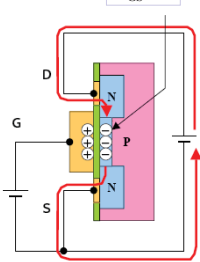
Technológia NMOS

(NMOS tranzistor s kanálom **N**)

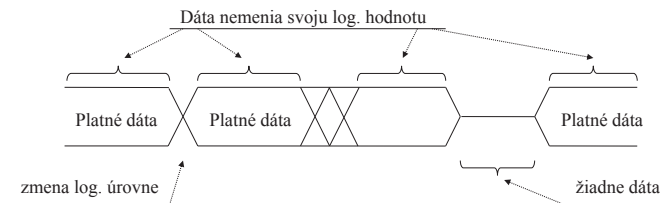
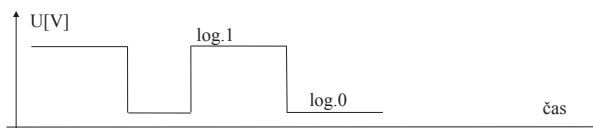
Výhody: rýchlejšie, zlučiteľné s TTL

Nevýhody: „straty“

$U_{GS} > 0$



Logické úrovne – „napätia“



In	Out	I_D
„log.1“	-> +0V	> 5/R
„log.0“	-> +5V	-> 0

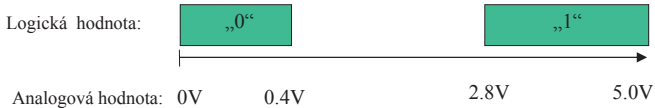
9

10

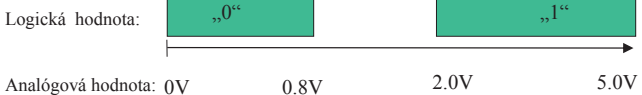
Náhrada: CMOS

TTL obvody: logické úrovne

Výstup:



Vstup:

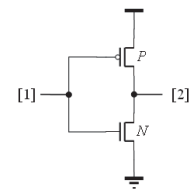


Základné stavebné prvky počítačov sú vytvorené :

- 1) z kombinačných obvodov, nemajú pamäť
 výstup = funkcia(vstupu)

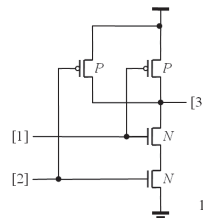
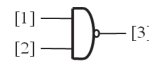
Invertor

In	Out
[1]	[2]
0	1
1	0



NAND

In	Out
[1]	[2]
[2]	[3]
0	0
0	1
1	0
1	1

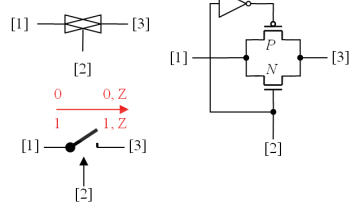


11

12

Spínač

Control	In	Out
[2]	[1]	[3]
0	0	Hi-Z
0	1	Hi-Z
1	0	0
1	1	1



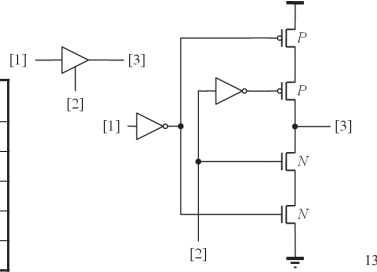
2) zo sekvenčných obvodov
výstup = funkcia (vstupu, stavu)

D – klopný obvod

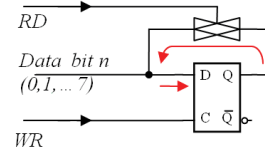


Trojstavový budič

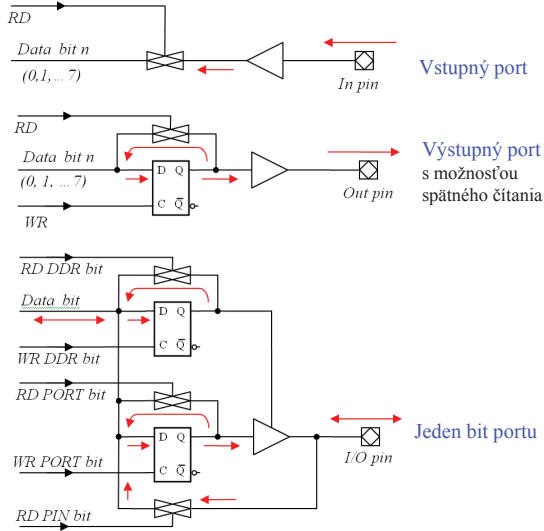
Control	In	Out
[2]	[1]	[3]
0	0	Hi-Z
0	1	Hi-Z
1	0	0
1	1	1



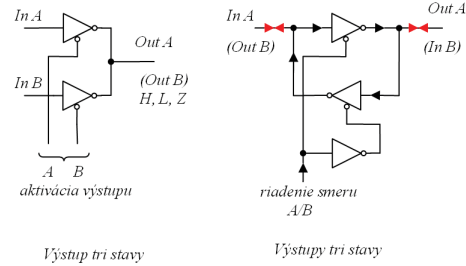
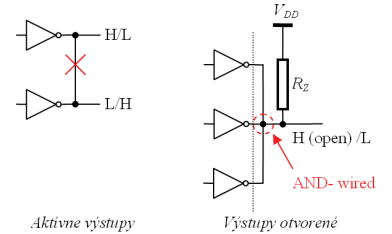
Bit pamäte RAM



Porty:



Zapojenie výstupov IC



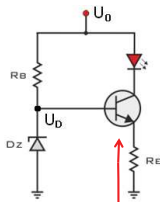
Pr: ZD, tranzistor, LED

Zenerova dióda D_z udržiava na baze konštantné napätie U_D ($U_0 > U_D$)

$$U_E = U_D - U_{BE} (\approx 0,7V)$$

$$R_E = \frac{U_E}{I_E}; I_E \equiv I_C \Rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta} \Rightarrow \text{(Vlime } \beta_{min} \text{ alebo } \beta_{max} \text{????)}$$

$$R_B = \frac{U_0 - U_D}{I_B + I_D} (\approx x \text{ mA})$$



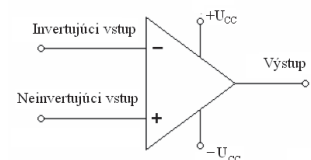
Aké množstvo tepla vyžiari tranzistor? „koľko W-ov?“

Operačné zosilňovače

- vznik OZ-ov - 40 te roky 20-teho str.
- OZ boli navrhnuté pre analógové počítače na realizáciu matematických operácií (odtiaľ názov operačný zosilňovač - OZ)
- prvé OZ boli elektrónkové
- v 50-tych rokoch sa začali vyrábať tranzistorové OZ
- 1960 - monolitické integrované formy

Operačný zosilňovač:
- jednosmerný zosilňovač s veľkým zosilnením a malým vlastným rušením,
- schopný stabilne pracovať v uzavretej SV slučke.

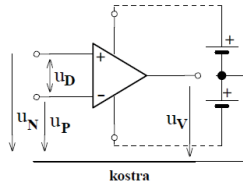
Napätové zosilnenie OZ býva 10^4 až 10^9



Operačné zosilňovače – Nápájacie napätie

Symetrické:

- napr. $\pm 10V$
- vstupné a výstupné signály môžu byť oboch polarít

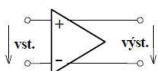


Nesymetrické:

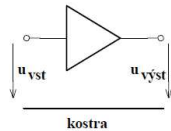
- napr. $+5V$
- výstupné napätie nemôže byť záporné

Operačné zosilňovače

Značenie: $V_+ \hat{=} V_p \hat{=} u_p$



Zapojenie OZ:
symetrický vstup - symetrický výstup



Zapojenie OZ:
asymetrický vstup - asymetr. výstup

Jednosmerné zosilnenie:

- súhlasné (súfázne)
- rozdielové

Ideálny OZ: $U_{V0} = A_0 u_D = A_0 (u_N - u_P)$

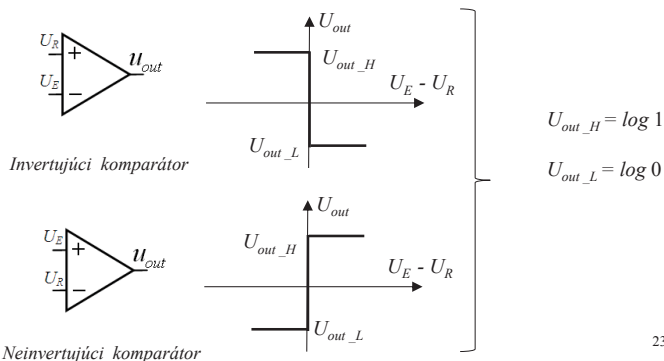
A_0 je jednosmerné rozdielové zosilnenie naprázdno (Teoretická hodnota $A_0 = \infty$)
(zosilnenie otvoreného obvodu)

Reálny OZ zosilňuje aj súhlasné u_{CM} : $U_{V0} = A_0 u_D + B_0 u_{CM}$ $u_{CM} = (u_N + u_P) / 2$

Pre kvalitný OZ platí: $B_0 \ll A_0$

Komparátory

- komparátor porovnáva dva vstupné signály.
- výsledok porovnávania sa objaví na výstupe ako odpovedajúca zmena výstupného signálu.
- transformujú vstupné spojité (analogové) signály, na nespojitý - digitálny výstupný signál s úrovňami („0“ a „1“)



Operačný zosilňovač Ideálny OZ

Parametre OZ:

Napät'ové zosilnenie otvoreného obvodu:

- cca 100 000; ideálny zosilňovač $A_0 \ll \infty$
- $A_0 = u_{out} / u_{in}$ niekedy sa udáva v dB
- $20 \log A_0$

Vstupná impedancia:

- $Z_{in} = u_D / i_{in}$ ($\approx pA$ až μA)
- V ideálnom prípade je $i_{in} = 0 \Rightarrow Z_{in} = \infty$

Výstupná impedancia:

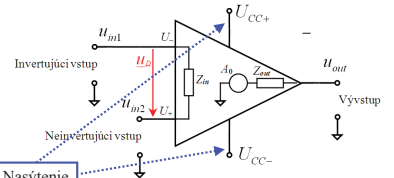
- $Z_{out} = 10$ -ky ohmov
- V ideálnom prípade je $Z_{out} = 0$

Ofset:

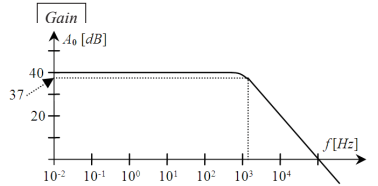
- $u_{out} = 0$ ak $u_D = U_- - U_+ = 0$
- alebo ak súčasne $U_- = U_+ = 0$

Pásmo priepustnosti OZ:

Frekvencia pri ktorej ALF charakteristika poklesne o -3dB

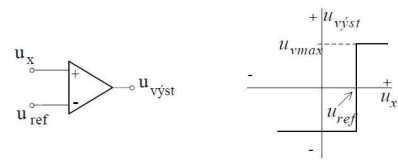


FET OZ majú vstupný prúd v „pA“
Rýchle bipolárne OZ majú 10-ky „uA“

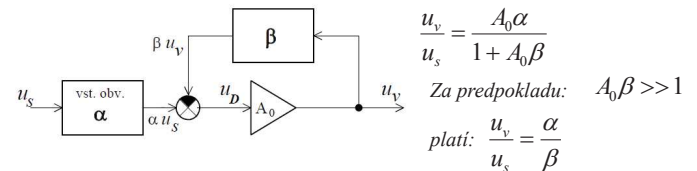


Zapojenia OZ-ov:

Bez SV:

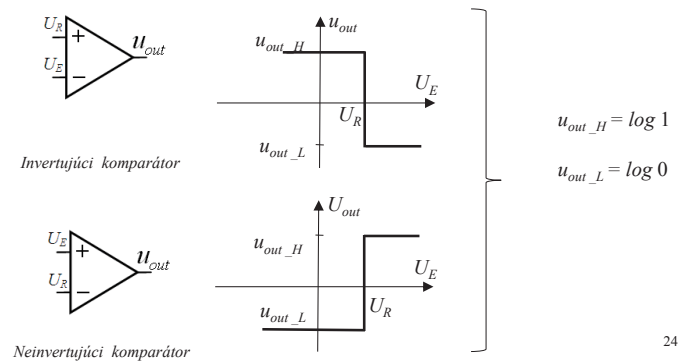


Záporná SV:



Komparátory

- prevodové charakteristiky komparátorov (invertujúci/neinvertujúci) prekreslime

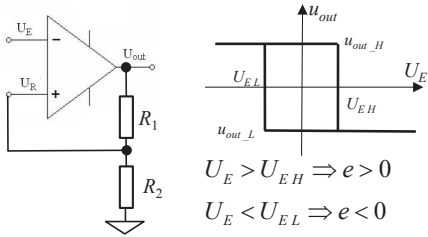


Komparátor so spätnou väzbou - s hysteréziou

- na vstupné signály sú často superponované poruchy
- výsledkom je časté prepínanie výstupného napätia
- riešením je kladná SV
- vďaka hysterézii preklopenie nenastane pri tej istej hodnote vstupného napätia $U_E \Rightarrow$ dve prahové hodnoty vstupného napätia: U_{EH} a U_{EL} .

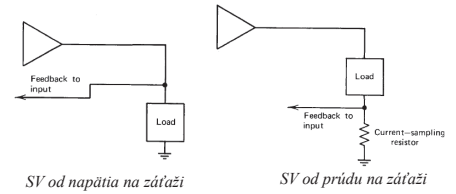
Invertujúci komparátor

Nech napr.: $u_{out,H} = -u_{out,L}$ a $R_1 = R_2 = R$

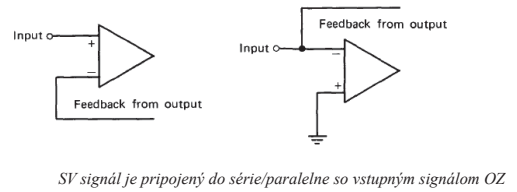


25

Typy SV od záťaže:

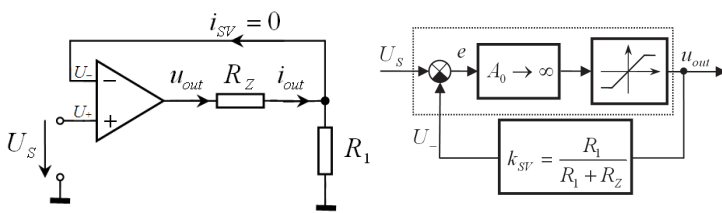


Pripojenie SV na vstup OZ:



26

Zapojenia OZ-ov: zdroj konštantného prúdu



Pre zapojenie platí:

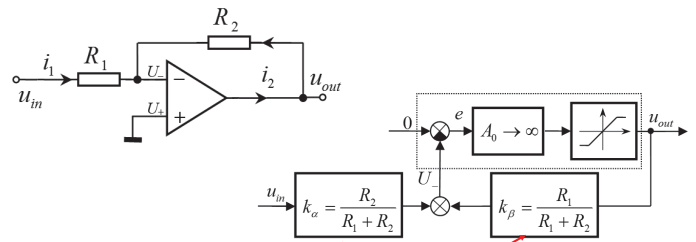
$$u_{out} = \frac{A_0}{1 + k_{SV} A_0} U_S$$

Prúd záťažou nezávisí od R_Z

$$u_{out} \hat{=} \frac{R_1 + R_Z}{R_Z} U_S \Rightarrow \frac{u_{out}}{R_1 + R_Z} = \frac{U_S}{R_1} = i_{out}$$

27

Zapojenia OZ-ov: invertujúce zapojenie



Pre zapojenie platí:

$$\frac{u_{in}}{R_1} - \frac{u_{out}}{R_2} = -\frac{u_{out}}{R_2} - \frac{u_{-}}{R_2}$$

Po úprave

$$u_{-} = \frac{u_{in} R_2}{R_1 + R_2} + \frac{u_{out} R_1}{R_1 + R_2}$$

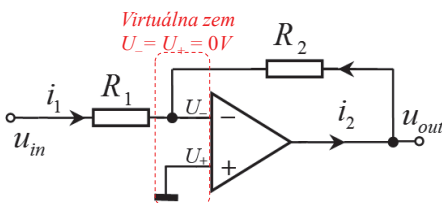
$$u_{out} = -A_0 k_{\alpha} u_{in} - A_0 k_{\beta} u_{out}$$

$$u_{out} (1 + A_0 k_{\beta}) = -A_0 k_{\alpha} u_{in}$$

$$u_{out} = \frac{-A_0 k_{\alpha} u_{in}}{1 + A_0 k_{\beta}} \Rightarrow \frac{u_{out}}{u_{in}} = \frac{-A_0 R_2}{1 + A_0 R_1} \hat{=} \frac{-R_2}{R_1}$$

28

Zapojenia OZ-ov: invertujúce zapojenie

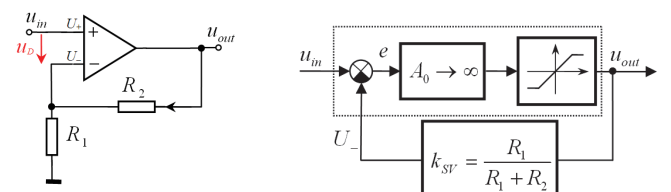


Jednoduchšie riešenie: $i_1 + i_2 = 0$

$$\frac{u_{in}}{R_1} + \frac{u_{out}}{R_2} = 0 \Rightarrow \frac{u_{out}}{R_2} = -\frac{u_{in}}{R_1} \Rightarrow \frac{u_{out}}{u_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

29

Zapojenia OZ-ov: neinvertujúce zapojenie

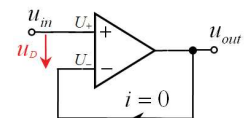


Pre zapojenie platí:

$$u_{out} = \frac{A_0}{1 + k_{SV} A_0} u_{in} \hat{=} \frac{1}{k_{SV}} u_{in} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} u_{in} = u_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

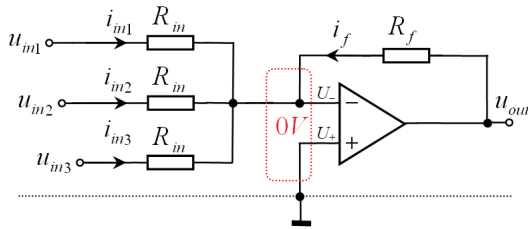
Nech $R_1 = \infty$ potom : $u_{out} = u_{in}$

Kedže $i = 0$ môžeme dosadiť $R_2 = 0$
Výsledkom je „SLEDOVAČ“



30

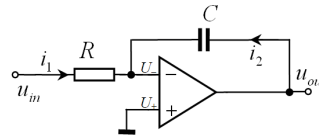
Zapojenia OZ-ov: Sumátor



Pre zapojenie platí: $-i_f = i_{in1} + i_{in2} + i_{in3} = \frac{1}{R_{in}}(u_{in1} + u_{in2} + u_{in3})$

$$u_{out} = i_f R_f = -\frac{R_f}{R_{in}}(u_{in1} + u_{in2} + u_{in3})$$

Zapojenia OZ-ov: integrátor



Časová oblasť:

$$i_2(t) = C \frac{d(u_{out}(t) - u_-(t))}{dt} = C \frac{du_C(t)}{dt}; [A; F, Vs^{-1}]$$

Operátorová oblasť:

$$I_C(s) = C \cdot s \cdot U_C(s)$$

Platí: $i_1 + i_2 = 0$

$$\frac{U_{in}(s)}{R} + sCU_{out}(s) = 0 \Rightarrow \frac{U_{out}(s)}{U_{in}(s)} = -\frac{1}{sCR};$$

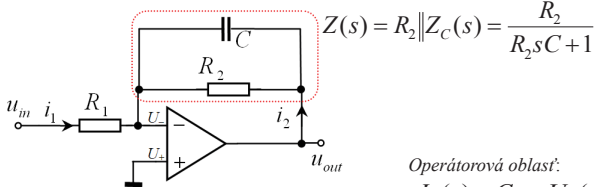
Výraz CR nazveme časová konštanta

$$\tau = CR \quad [s; Ss, \Omega]$$

31

32

Zapojenia OZ-ov: filter



$$Z(s) = R_2 \parallel Z_C(s) = \frac{R_2}{R_2 sC + 1}$$

Operátorová oblasť:

$$I_C(s) = C \cdot s \cdot U_C(s)$$

Platí: $i_1 + i_2 = 0$

$$\frac{U_{in}(s)}{R_1} + \frac{U_{out}(s)}{Z(s)} = 0 \Rightarrow \frac{U_{out}(s)}{U_{in}(s)} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{sCR_2 + 1};$$

Výraz CR_2 nazveme časová konštanta

$$\tau = CR_2 \quad [s; Ss, \Omega]$$

33