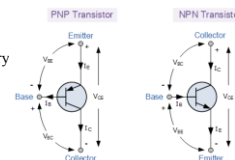
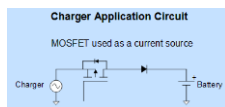
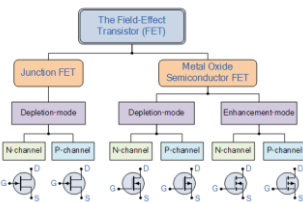


Tranzistory

- **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

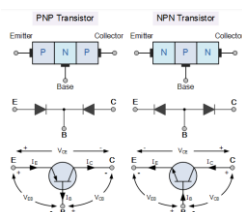


1

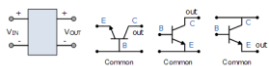
2

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)

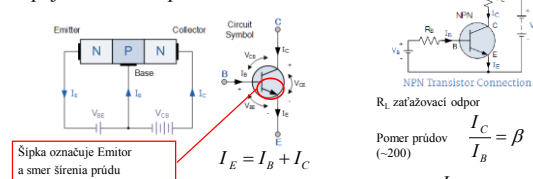


Zapojenia tranzistorov:



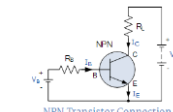
3

Zapojenie NPN bipolárneho tranzistora



Šípka označuje Emitter a smer šírenia prúdu

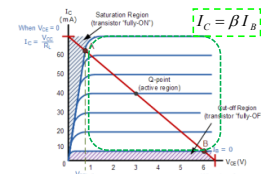
$$I_E = I_B + I_C$$



R_L zafazovací odpor

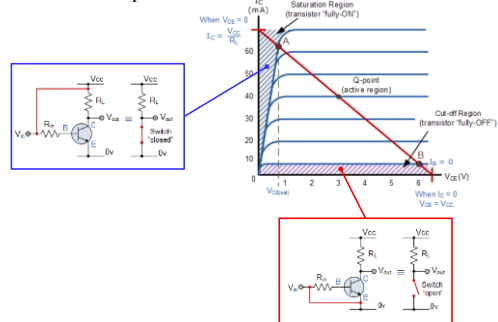
Pomer prúdov $\frac{I_C}{I_B} = \beta$ (~200)

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



4

Tranzistor ako spínač



5

NPN tranzistor ako spínač

Pr.1: $\beta = 200, I_C = 4mA, I_B = 20\mu A, V_m = 2,5V.$
 $R_B = ?$

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

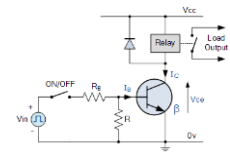
V rade E24 zvolíme, napr., hodnotu 82kΩ (tranzistor bude určite v stave nasýtenia).

Pr.2: $\beta = 200, I_C = 200mA, V_m = 5,0V.$
 $R_B = ?$

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

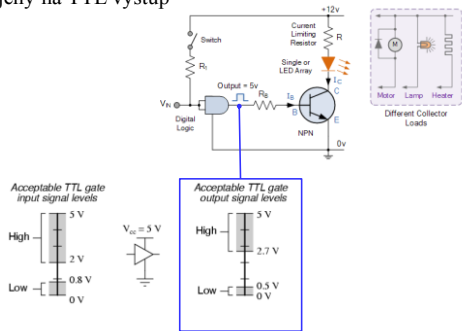
$$R_B = \frac{V_{in} - V_{BE}}{I_B} = \frac{5V - 0,7V}{1E-3} = 4,3k\Omega$$

V rade E24 zvolíme hodnotu 4,3kΩ



6

NPN tranzistor ako spínač, pripojený na TTL výstup



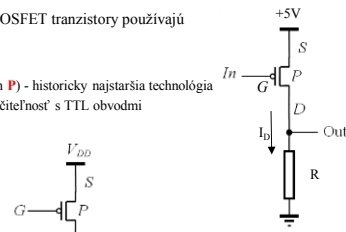
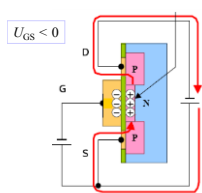
7

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 obvodmi



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

Náhrada: NMOS

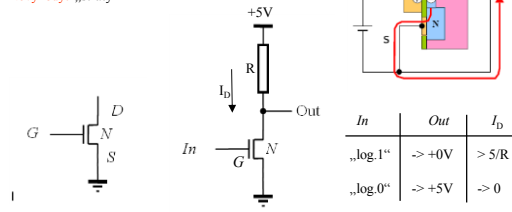
8

Technológia NMOS

(NMOS tranzistor s kanálom N)

Výhody: rýchlejšie, zlučiteľné s TTL

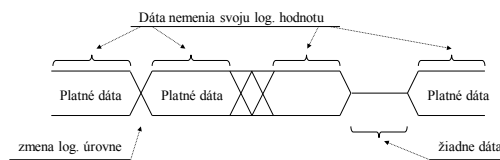
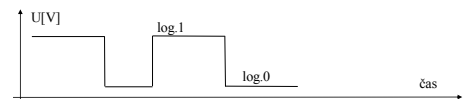
Nevýhody: „straty“



Náhrada: CMOS

9

Logické úrovne – „napätia“



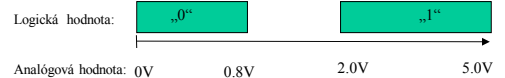
10

TTL obvody: logické úrovne

Výstup:



Vstup:



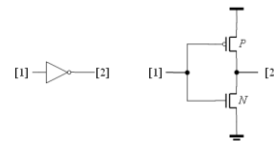
11

Základné stavebné prvky počítačov sú vytvorené:

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

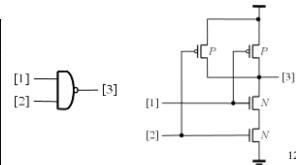
Invertor

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



NAND

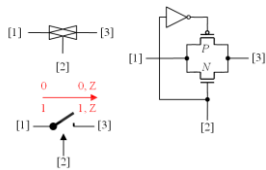
In	Out
[1]	[3]
0	1
1	0
1	1



12

Spínač

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



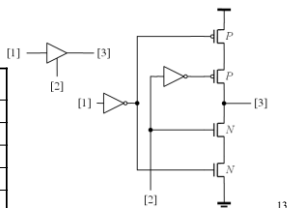
2) zo sekvenčných obvodov
výstup = funkcia (vstupu, stavu)

D – klopný obvod

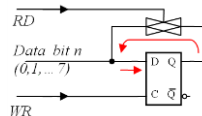


Trojstavový budič

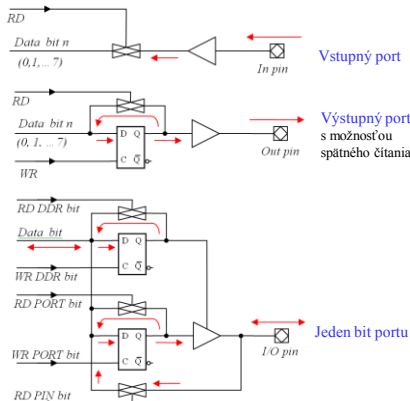
Control	In	Out
[2]	[1]	[3]
0	0	Hi-Z
0	1	Hi-Z
1	0	0
1	1	1



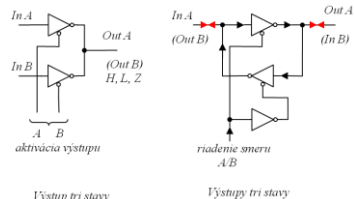
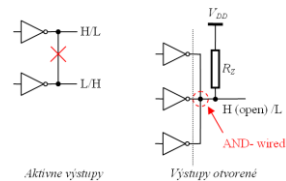
Bit pamäte RAM



Porty:



Zapojenie výstupov IC



Pr: ZD, tranzistor, LED

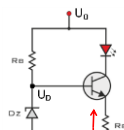
Zenerova dioda D_z udržiava na baze konštantné napätie U_D ($U_D > U_D$)

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

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

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

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

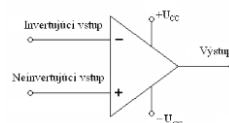


Operačné zosilňovače

- 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.

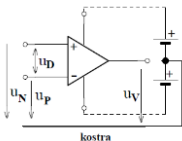
Napätové zosilnenie OZ býva 10^4 až 10^9



Operačné zosilňovače – Napájacie napätie

Symetrické:

- napr. ±10V
- vstupné a výstupné signály môžu byť oboch polarít



Nesymetrické:

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

Operačný zosilňovač Ideálny OZ

Parametre OZ:

Napätové zosilnenie otvoreného obvodu:
 - cca 100 000; ideálny zosilňovač $A_0 = \infty$
 $A_0 = u_{out} / u_{in}$, niekedy sa udáva v dB
 $20 \log A_0$

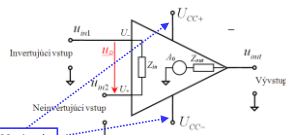
Vstupná impedancia:
 $Z_{in} = u_D / i_{in}$ ($\approx pA$ až μA)
 V ideálnom prípade je $i_{in} = 0 \Rightarrow Z_{in} = \infty$

Výstupná impedancia:
 $Z_{out} = 10\text{-ky ohmov}$
 V ideálnom prípade je $Z_{out} = 0$

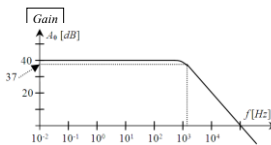
Ofset:
 $u_{out} = 0$ ak $u_D = U_- - U_+ = 0$
 alebo ak súčasne $U_- = U_+ = 0$

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“



19

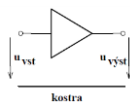
20

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

Operačné zosilňovače



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)

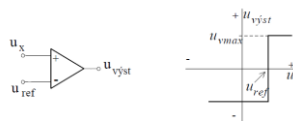
Reálny OZ zosilňuje aj súhlasné u_{CM} : $U_{V0} = A_0 u_D + B_0 u_{CM}$ $u_{CM} = (u_N + u_P) / 2$

Pre kvalitný OZ platí: $B_0 \ll A_0$

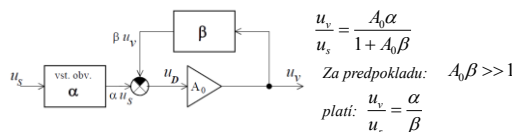
21

Zapojenia OZ-ov:

Bez SV:



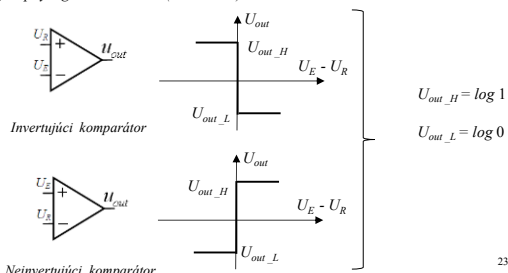
Záporná SV:



22

Komparátory

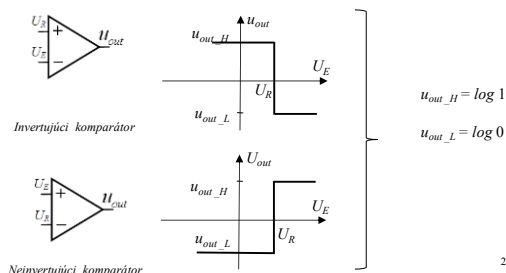
- komparátor porovnáva dva vstupné signály.
- výsledok porovnávania sa objaví na výstupe ako odpovedajúca zmena výstupného signálu.
- transformujú vstupné spojité (analogové) signály, na nespojitý - digitálny výstupný signál s úrovňami („0“ a „1“)



23

Komparátory

- prevodové charakteristiky komparátorov (invertujúci/neinvertujúci) prekrúsime



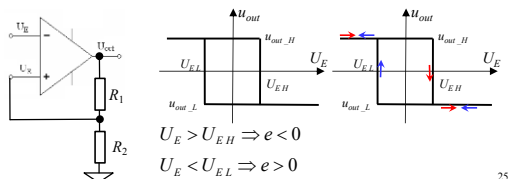
24

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 preklonenie nenastane pri tej istej hodnote vstupného napätia $U_E \Rightarrow$ dve prahové hodnoty vstupného napätia: U_{EH} a U_{EL} .

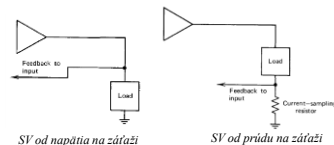
Invertujúci komparátor

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

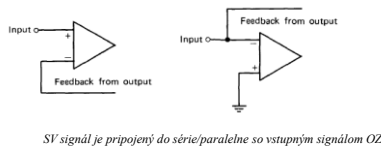


25

Typy SV od zátiaže:

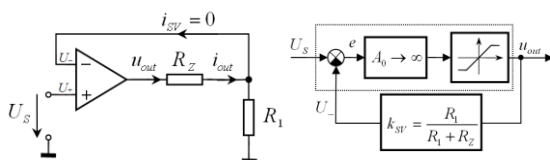


Pripojenie SV na vstup OZ:



26

Zapojenia OZ-ov: zdroj konštantného prúdu



Pre zapojenie platí:

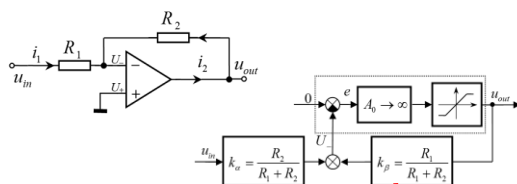
$$u_{out} = \frac{A_0}{1 + k_{SV} A_0} U_S$$

Prúd zátiažou 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:

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

Po úprave

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

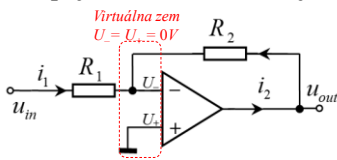
$$u_{out} = -A_0 k_\alpha u_{in} - A_0 k_\beta u_{out}$$

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

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

28

Zapojenia OZ-ov: invertujúce zapojenie

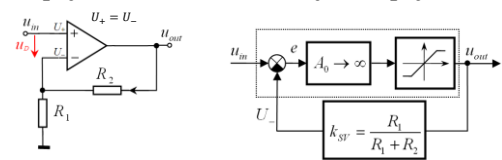


Jednoduchšie riešenie: $i_1 + i_2 = 0$

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

29

Zapojenia OZ-ov: neinvertujúce zapojenie

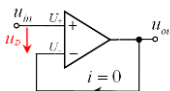


Pre zapojenie platí:

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

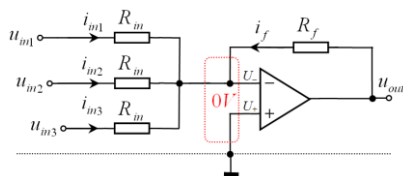
Nech $R_1 = \infty$ potom: $u_{out} = u_{in}$

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



30

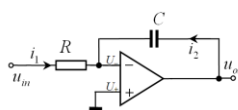
Zapojenia OZ-ov: Sumátor



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: $i_1 + i_2 = 0$

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

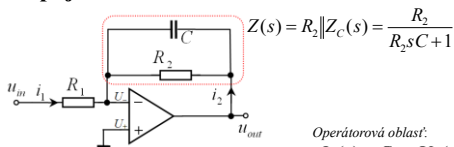
Výraz CR nazveme časová konštanta

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

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: $i_1 + i_2 = 0$

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

Výraz CR_2 nazveme časová konštanta

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

33