



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta mechatroniky, informatiky  
a mezioborových studií



# Logické funkce a jejich realizace pomocí transistorů

*Prof. Ing. Ondřej Novák, CSc.*  
**ITE**

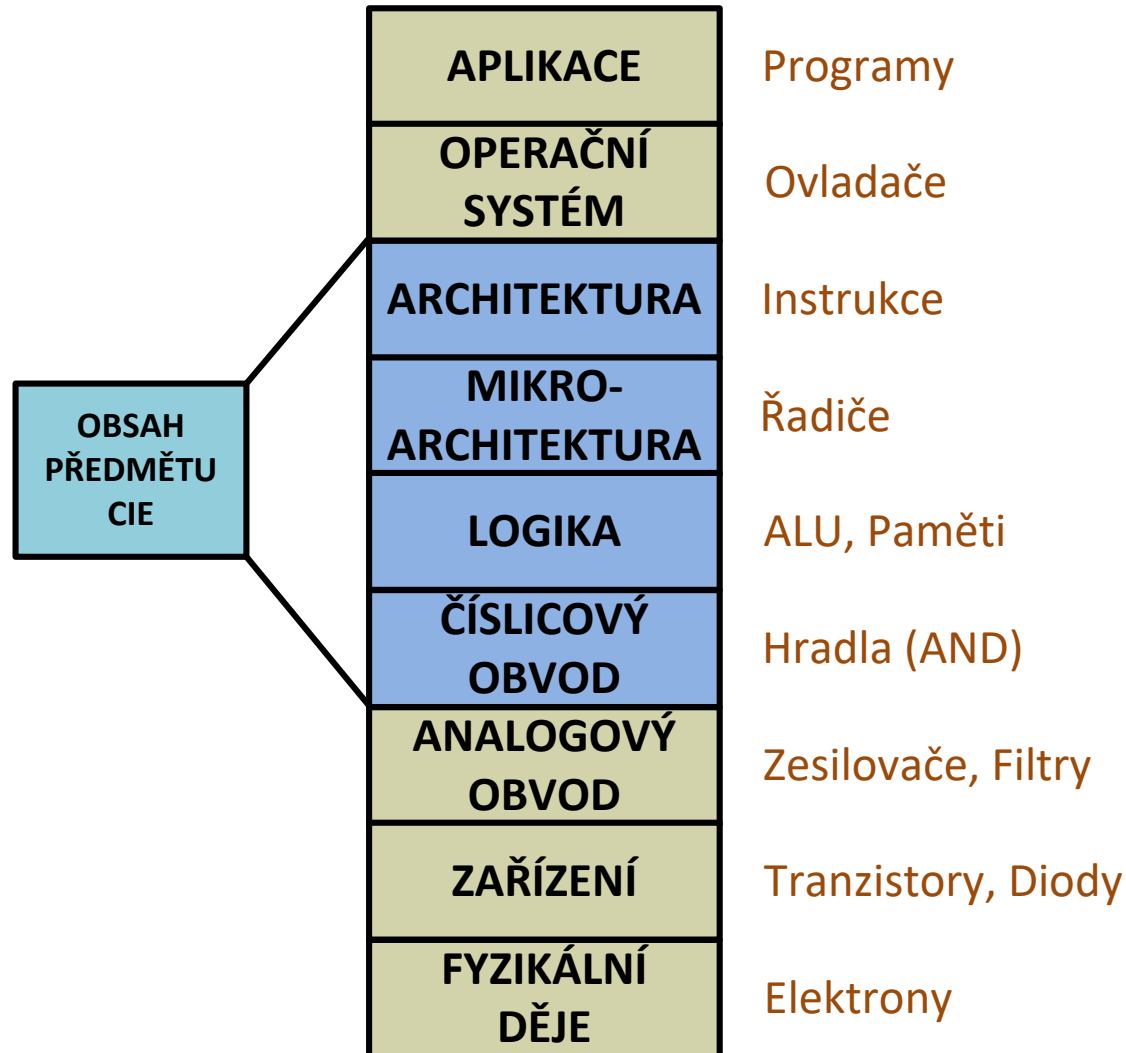
# Umění porozumět složitému integrovanému obvodu

---

- Abstrakce
- Návrhová pravidla
- Hierarchický návrh
- Modularita
- Opakování základních funkčních bloků

# Abstrakce

Zanedbání detailů, když nejsou nezbytné



# Návrhová pravidla

---

- Záměrné omezení návrhářových možností, aby bylo možné pracovat na vyšší úrovni abstrakce

Příklad: Návrh číslicového obvodu

Uvažování diskrétních napájecích napětí

Uvažování logických funkcí místo popisu analogových zařízení

- Čím vyšší množství detailu je možné zvládnout, tím je zpravidla návrh efektivnější

Příklad: Rozdíl mezi jazyky C, Systém C, VHDL

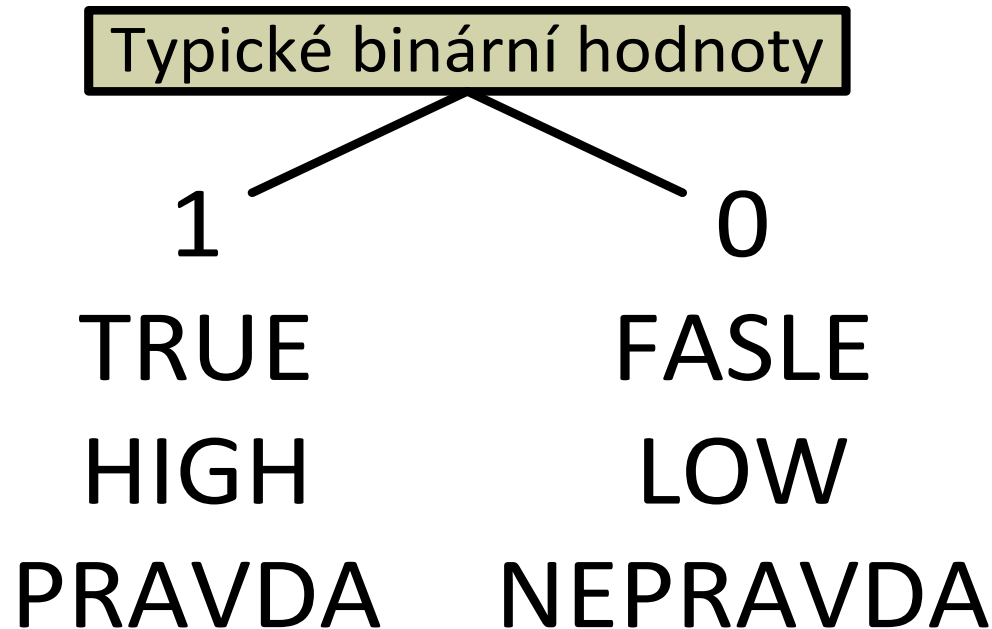
# Další zjednodušení

---

- Hierarchický návrh
  - Rozdělení systému do modulů
- Modularita
  - Dobře definované funkce a rozhraní
- Regularita
  - Opakované využití stejných modulů

# Binární hodnoty

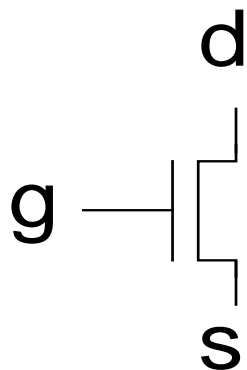
---



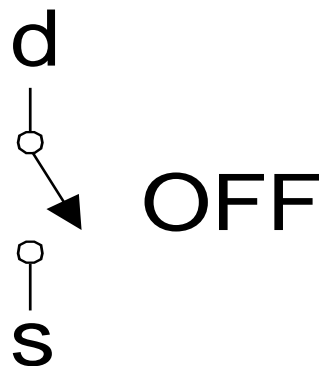
- Negativní logika (1 = nepravda)
- Mechanické systémy, optické systémy, pneumatické systémy – různě vyjádření logických hodnot
- Číslicové obvody zpravidla využívají dvou napěťových úrovní k representaci 1 a 0.

# Transistory

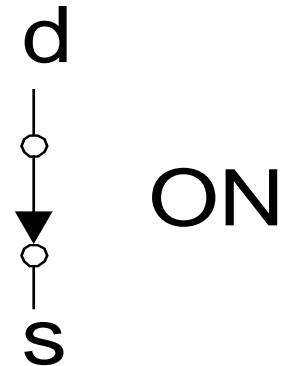
- Logická hradla jsou zpravidla konstruována z transistorů
- Transistor je třívývodový napětím řízení přepínač
  - Dva porty jsou sepnuty nebo rozepnuty v závislosti na napětí třetího portu



$g = 0$

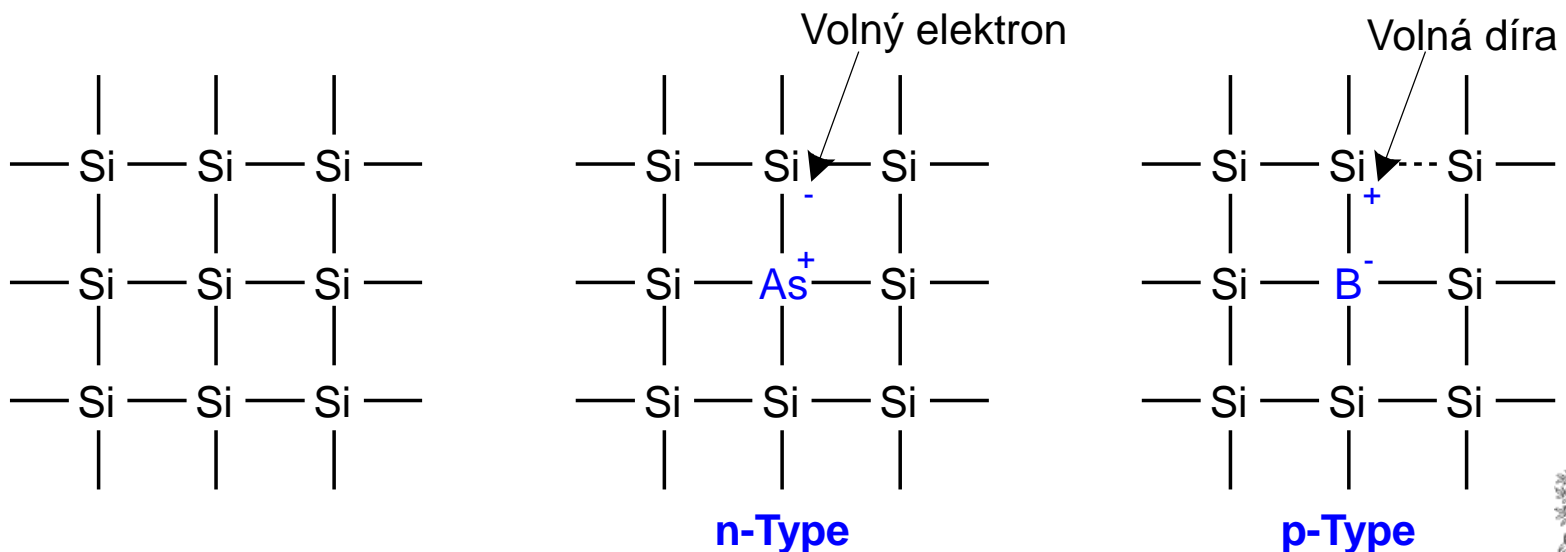


$g = 1$



# Křemík – základ polovodičů

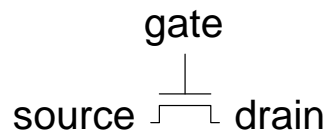
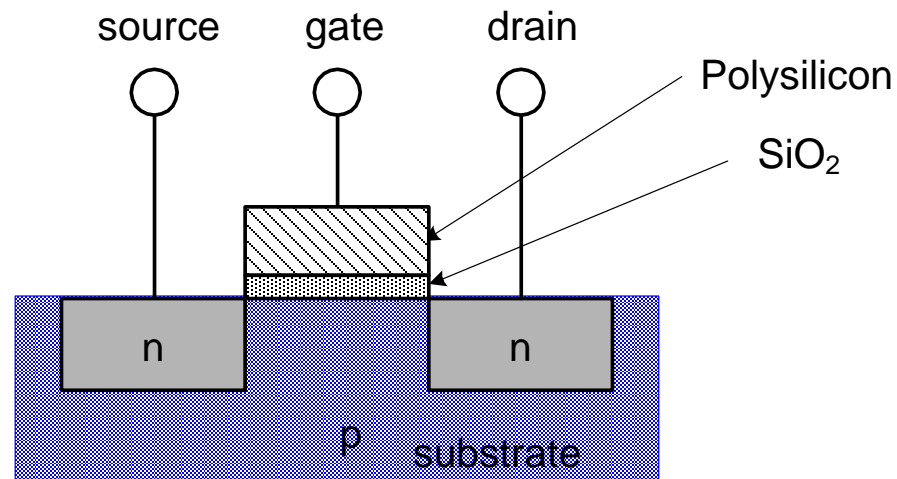
- Čistý křemík je špatným vodičem – nemá volné nosiče náboje
- Krystalová struktura křemíku se dopuje prvky s volnými nosiči náboje
  - n-typ (volné elektrony)
  - p-typ (volné díry v krystalové mřížce)





# MOS Transistory

- Metal oxide silicon (MOS) transistory:
  - Polysilikonový nebo kovový gate
  - Oxid - izolátor
  - Obohacený křemík – polovodič typu p nebo n

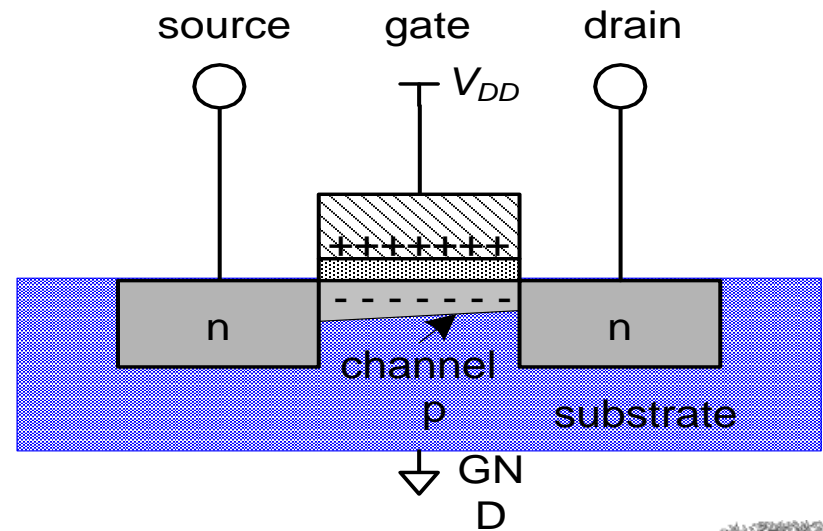
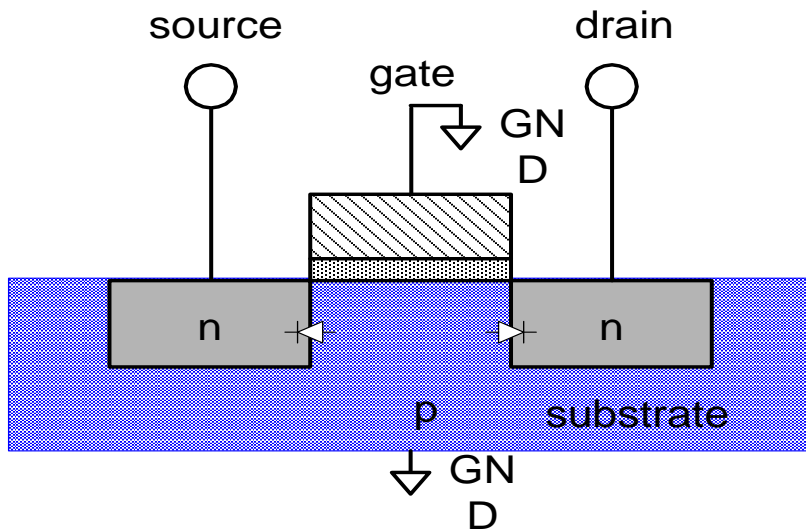


nMOS

# Transistory: nMOS

Gate = 0, nesepnuto OFF

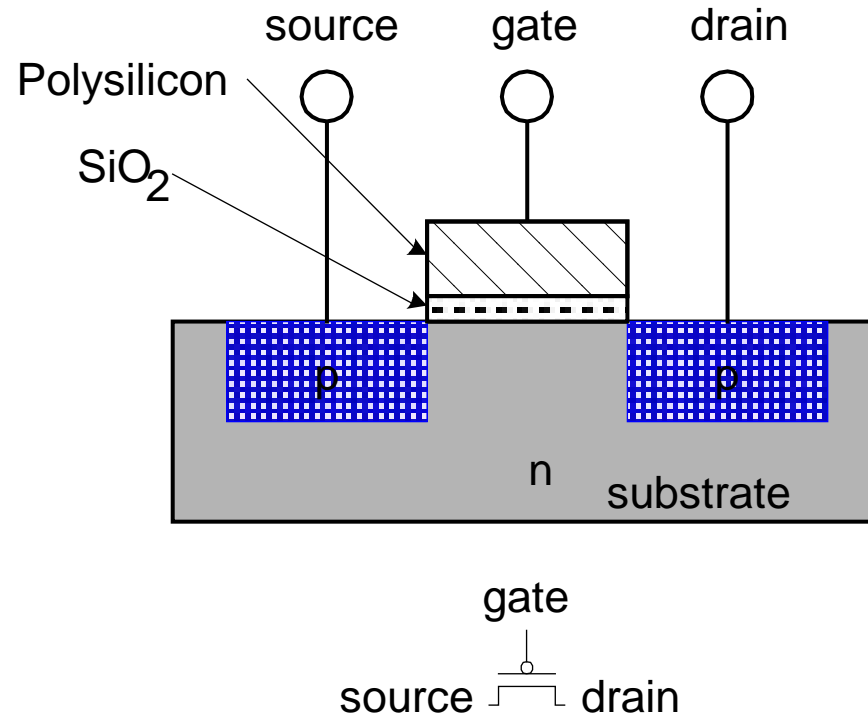
Gate = 1, sepnuto ON



nMOS transistor vede dobře v okolí log. 0, v okolí log. 1  
je vyšší úbytek napětí na transistoru

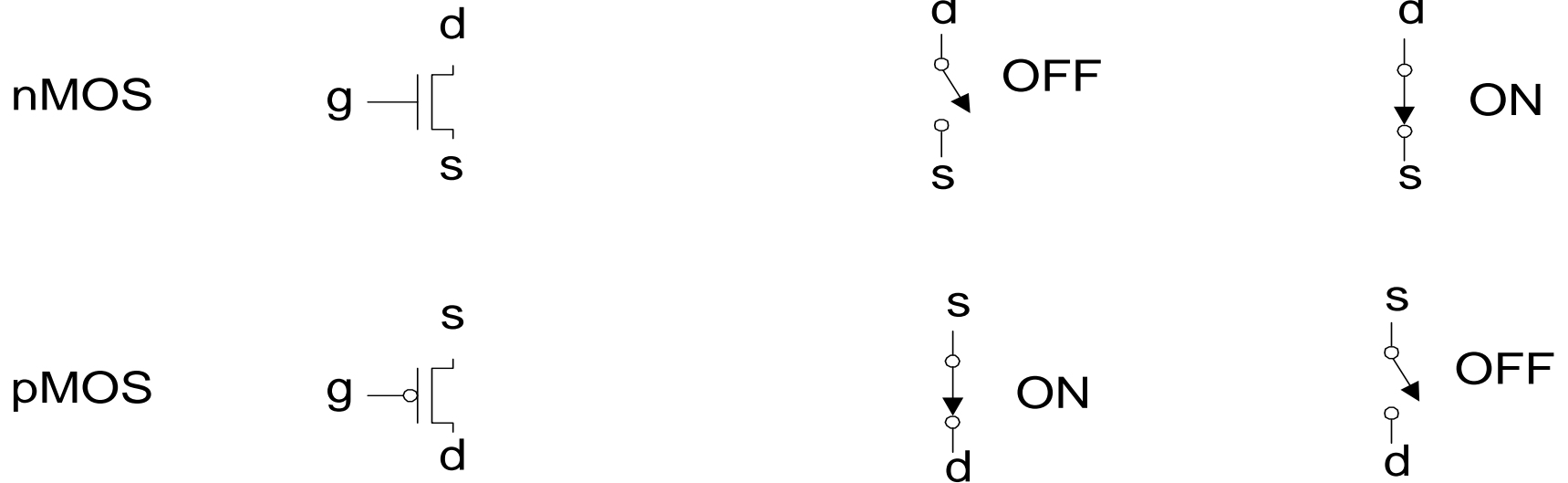
# Transistory: pMOS

- ON Gate = 0
- OFF Gate = 1

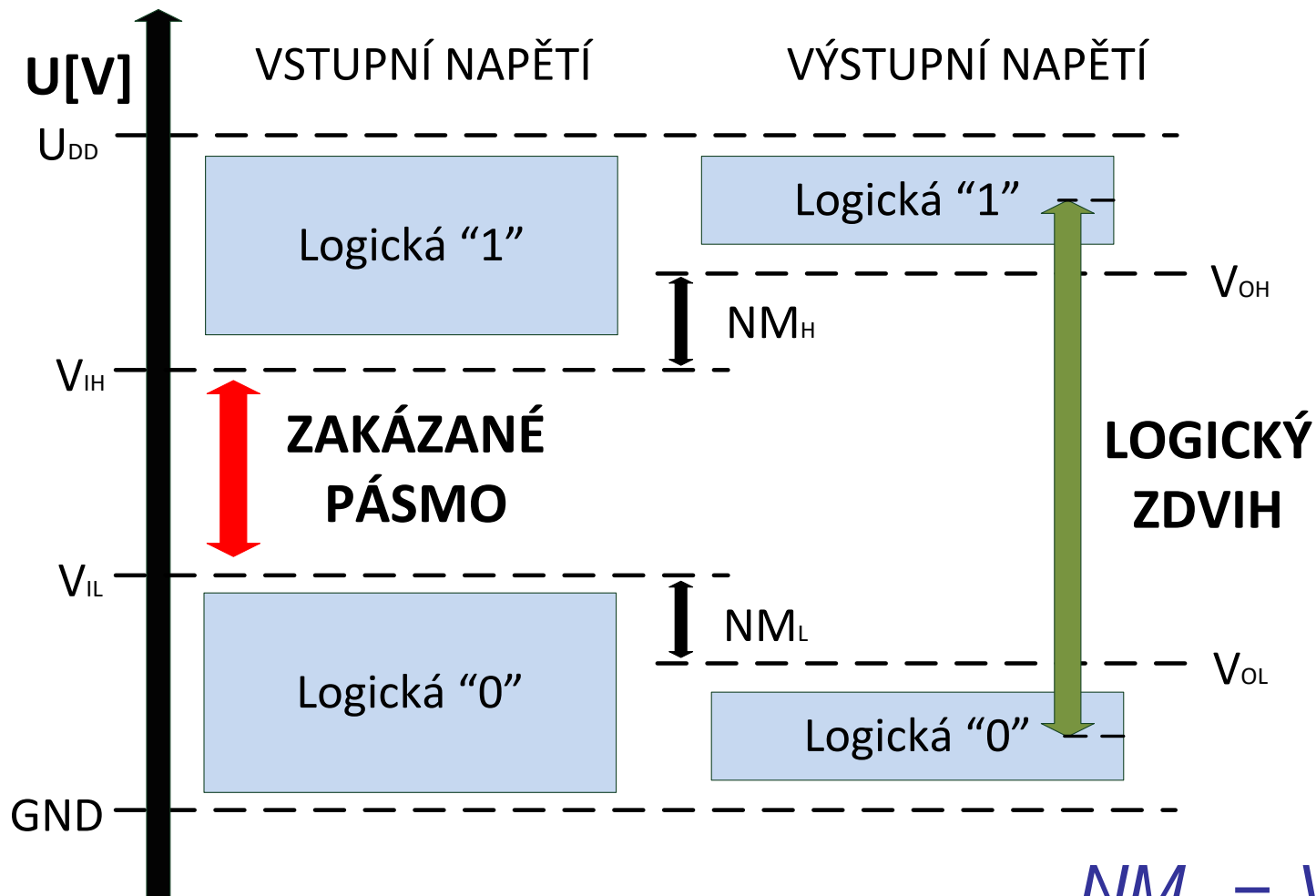


pMOS transistor vede dobře v okolí log. 1, v okolí log. 0  
je vyšší úbytek napětí na transistoru

# Funkce transistoru



# Logické úrovně



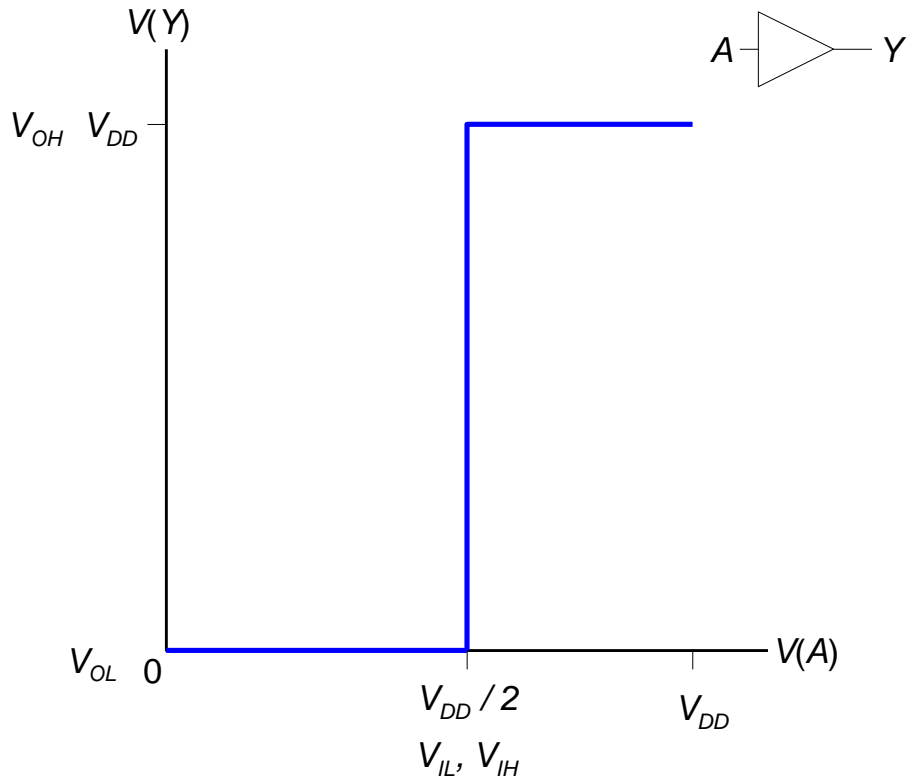
NM – odolnost proti šumu (noise margin)

$$NM_H = V_{OH} - V_{IH}$$

$$NM_L = V_{IL} - V_{OL}$$

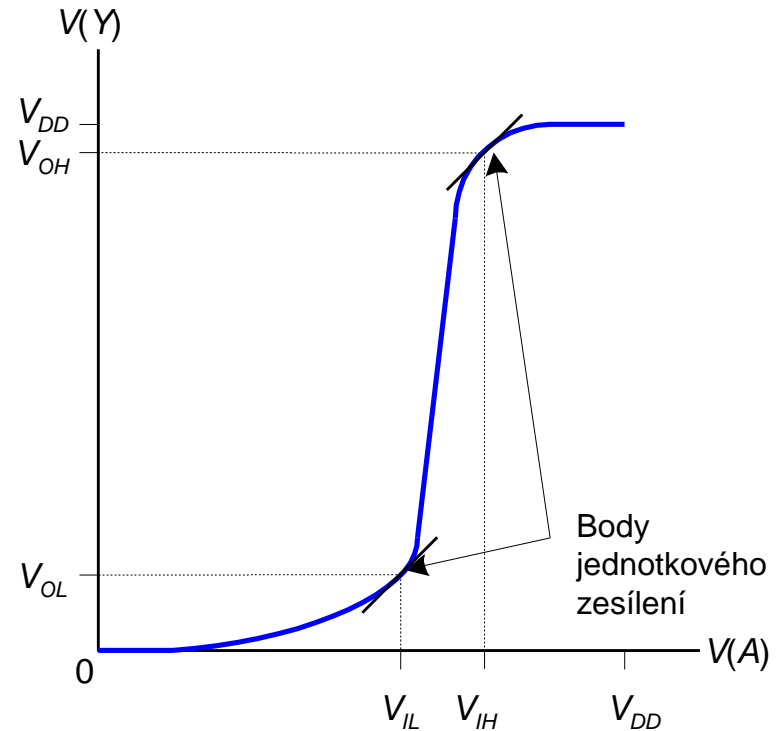
# Převodní charakteristika

Ideální buffer:



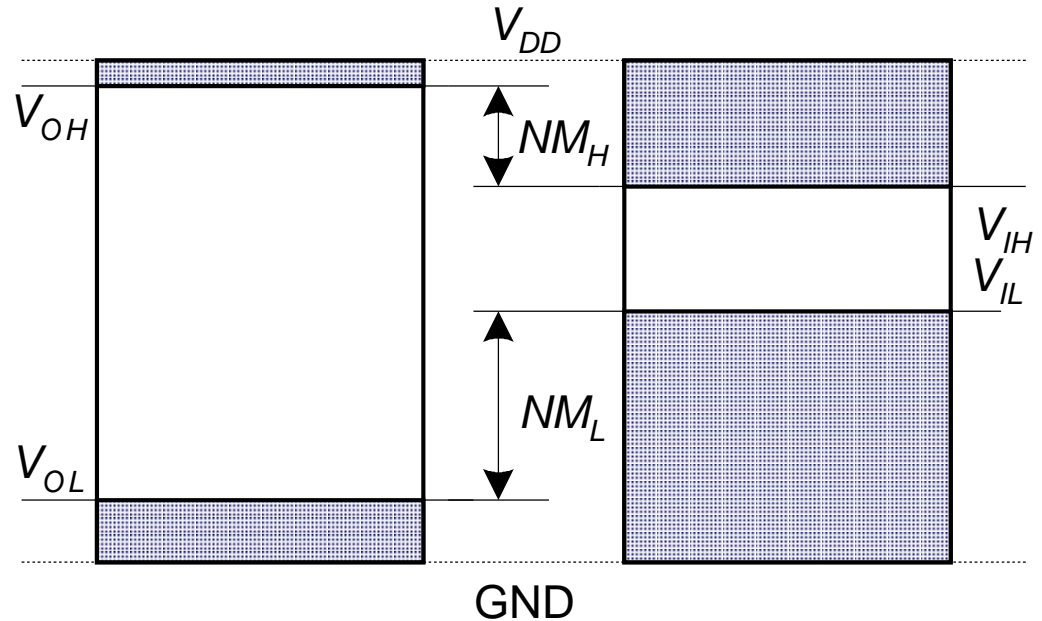
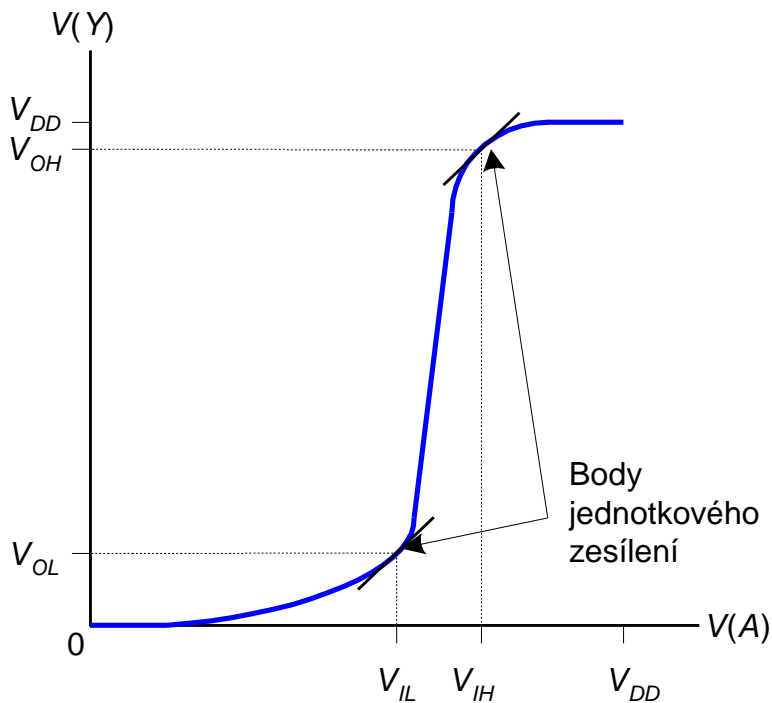
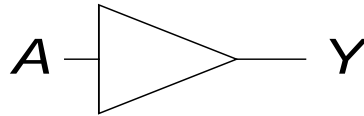
$$NM_H = NM_L = V_{DD}/2$$

Reálný buffer:



$$NM_H, NM_L < V_{DD}/2$$

# Převodní charakteristika



# Napájecí napětí

---

- V letech 1970 až 1980  $V_{DD} = 5\text{ V}$
- Nové technologie umožnily snížit  $V_{DD}$ 
  - Vyšší integrace, menší rozměry transistorů
  - Snížení spotřeby
- 3.3 V, 2.5 V, 1.8 V, 1.5 V, 1.2 V, 1.0 V, 0.8, ...
- Při propojování různých obvodů je třeba zajistit jejich kompatibilitu



# Logická hradla

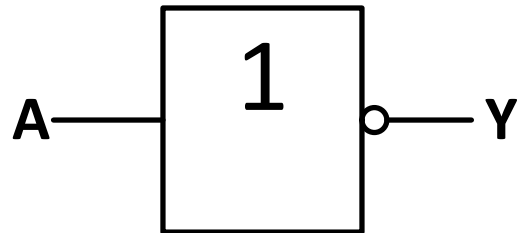
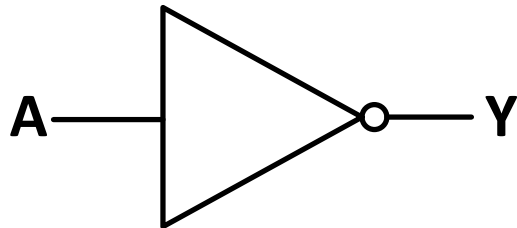
---

- Realizují určitou logickou funkci, definovanou pravdivostní tabulkou
- Jednovstupové funkce:
  - NOT, buffer
- Dvouvstupové:
  - AND, OR, XOR, NAND, NOR, XNOR
- Vícevhstupové: ...

# Jednovstupové funkce

---

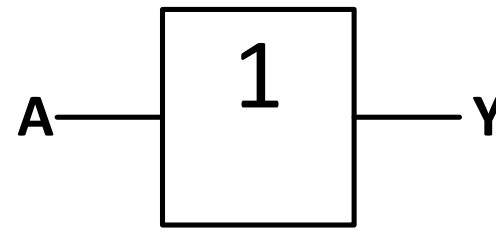
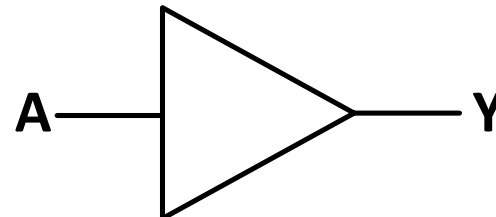
NOT



$$Y = \overline{A}$$

A	Y
0	1
1	0

BUF

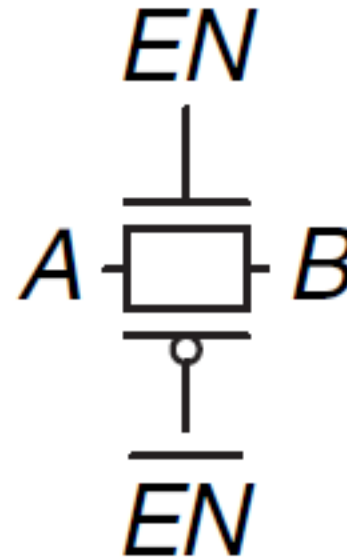


$$Y = A$$

A	Y
0	0
1	1

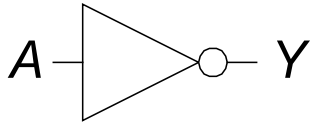
# Přenosové hradlo

- ideální vypínač (switch)
- složené z pMOS a nMOS transistoru
- přenos signálu z A do B jestliže  $EN = 1$
- vysoká impedance mezi A a B jestliže  $EN = 0$



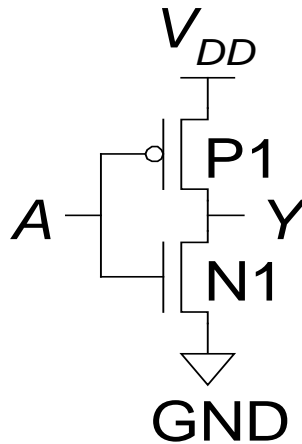
# CMOS hradlo: NOT

**NOT**



$$Y = \overline{A}$$

A	Y
0	1
1	0



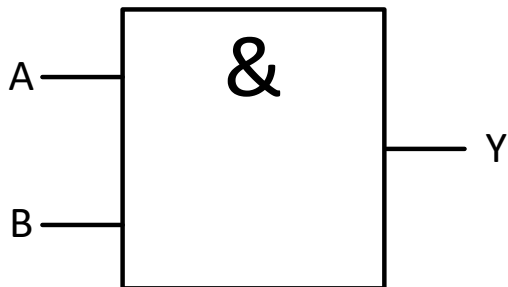
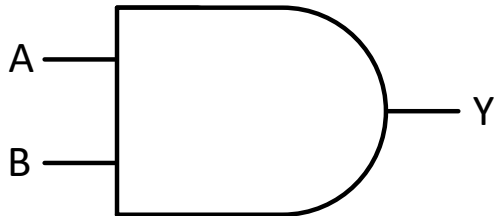
A	P1	N1	Y
0	ON	OFF	1
1	OFF	ON	0



ELSEVIER

# Dvouvstupové funkce

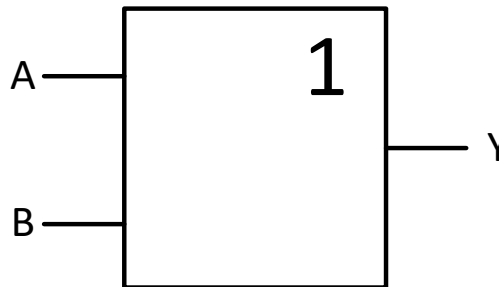
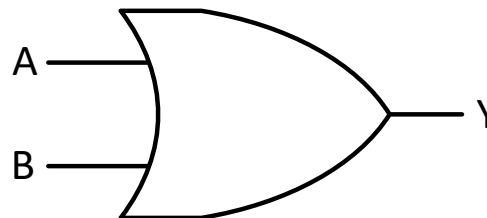
AND



$$Y = AB$$

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

OR

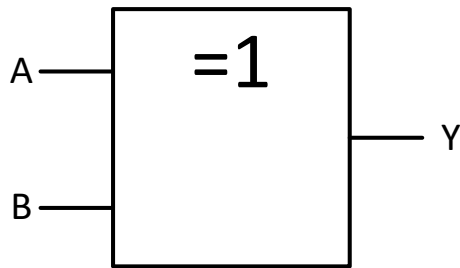
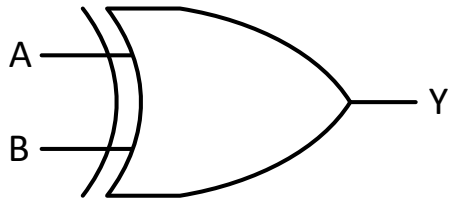


$$Y = A + B$$

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

# Dvouvstupové funkce

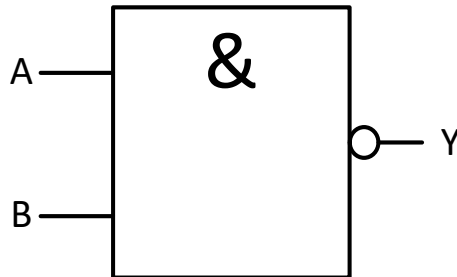
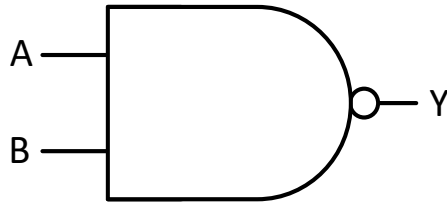
XOR



$$Y = A \oplus B$$

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

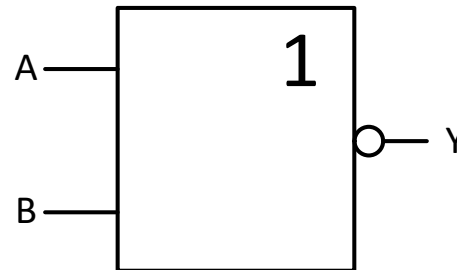
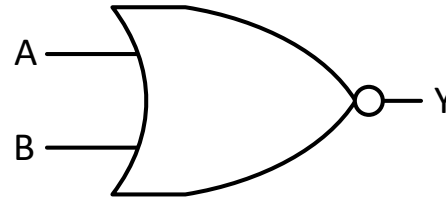
NAND



$$Y = \overline{AB}$$

A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

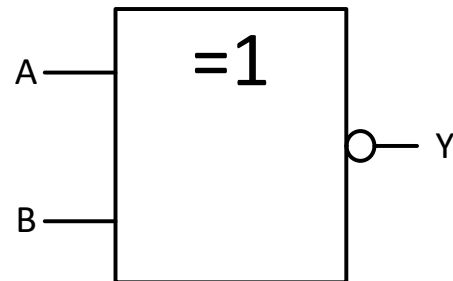
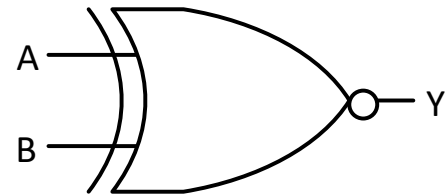
NOR



$$Y = \overline{A + B}$$

A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

XNOR

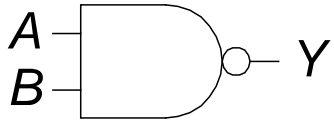


$$Y = \overline{A \oplus B}$$

A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

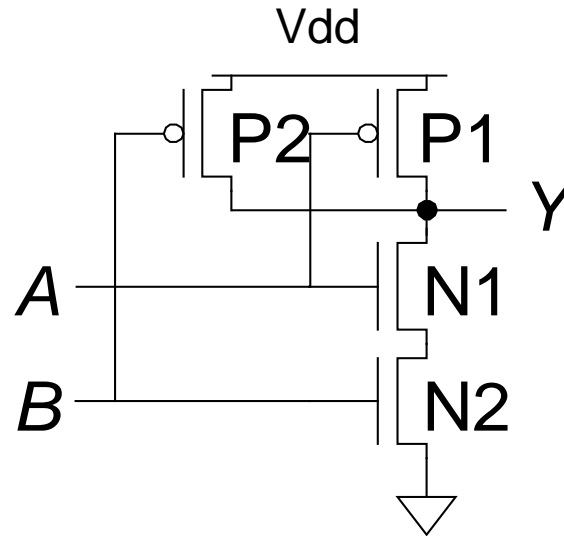
# CMOS hradlo: NAND

## NAND



$$Y = \overline{AB}$$

A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

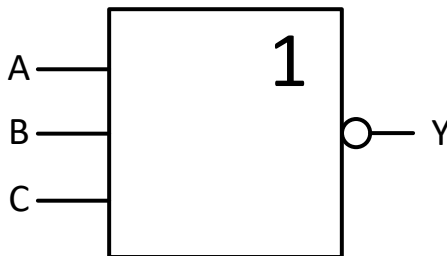
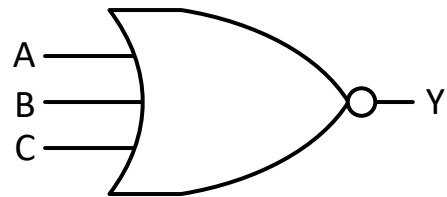


A	B	P1	P2	N1	N2	Y
0	0	ON	ON	OFF	OFF	1
0	1	ON	OFF	OFF	ON	1
1	0	OFF	ON	ON	OFF	1
1	1	OFF	OFF	ON	ON	0



# Vícevstupové funkce

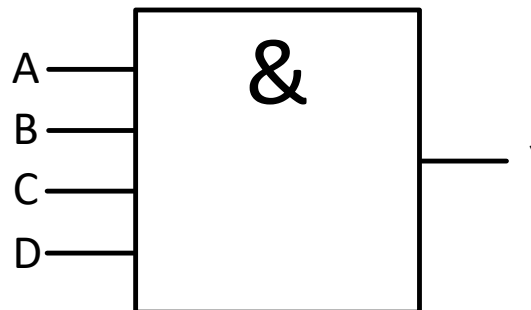
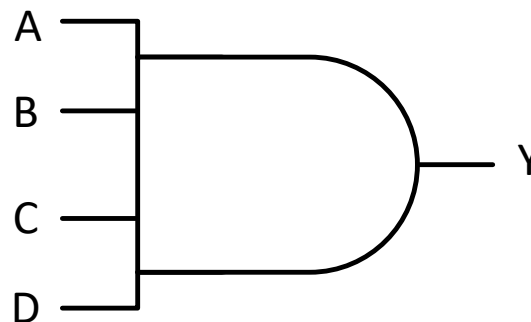
NOR3



$$Y = \overline{A + B + C}$$

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

AND4



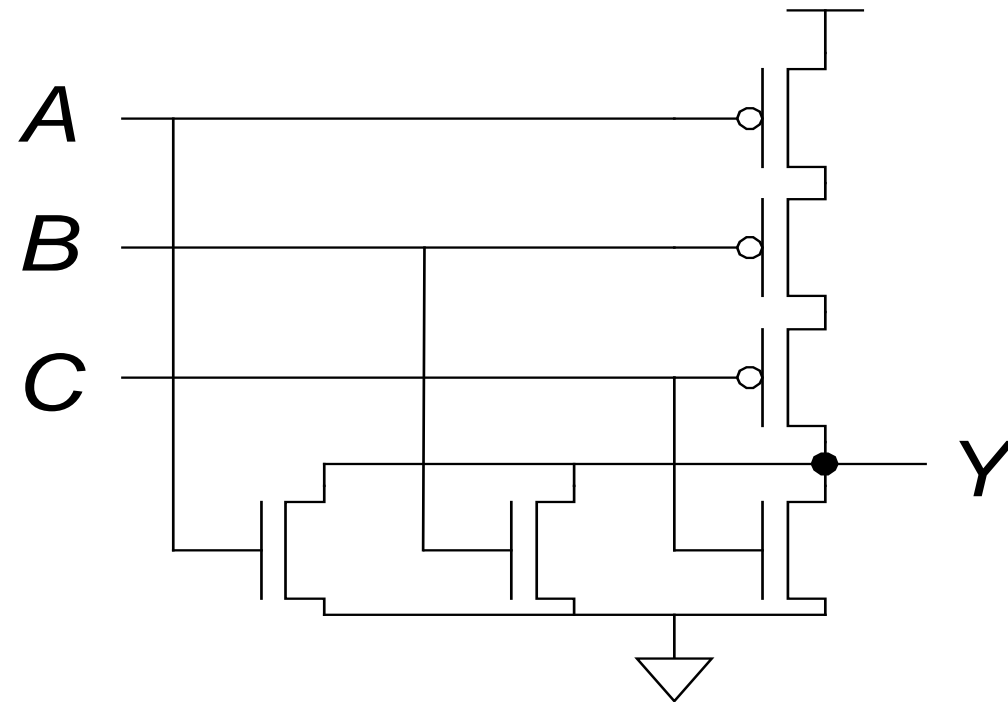
$$Y = ABCD$$

A	B	C	D	Y
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	1



# Třívstupové NOR3 hradlo

---



# Všechny funkce dvou proměnných

$ab$	$ab$	$ab$	$ab$		
00	01	10	11		
0	0	0	0	$f = 0$	nulová funkce
0	0	0	1	$f = ab$	logický součin
0	0	1	0	$f = a\bar{b}$	přímá inhibice
0	0	1	1	$f = a$	identita a
0	1	0	0	$f = \bar{a}b$	zpětná inhibice
0	1	0	1	$f = b$	identita b
0	1	1	0	$f = \bar{a}b + a\bar{b}$	nonekvivalence
0	1	1	1	$f = a + b$	logický součet
1	0	0	0	$f = \bar{a}\bar{b}$	NOR
1	0	0	1	$f = ab + \bar{a}\bar{b}$	ekvivalence
1	0	1	0	$f = \bar{b}$	negace b
1	0	1	1	$f = a + \bar{b}$	zpětná implikace
1	1	0	0	$f = \bar{a}$	negace a
1	1	0	1	$f = \bar{a} + b$	přímá implikace
1	1	1	0	$f = \bar{a} + \bar{b}$	NAND
1	1	1	1	$f = 1$	triviální identita

# Úplný soubor logických funkcí

---

- Soubor umožňující realizovat všechny logické funkce
  - součin + negace
  - negovaný součin
  - součet + negace
  - ...