

CMOS inverter je osnovni digitalni CMOS sklop. Iako je jednostavan sklop, njegovim se svojstvima u velikoj mjeri opisuju svojstva složenijih digitalnih CMOS sklopova koji se dobivaju njegovim proširenjem. CMOS inverter sastoji se od komplementarnog para  $n$ -kanalnog MOSFET-a  $T_{n1}$  i  $p$ -kanalnog MOSFET-a  $T_{p1}$  spojenih prema slici 1.

Električka svojstva CMOS sklopova podešavaju se dimenzijama kanala pojedinih MOS tranzistora. U vježbi se analizira utjecaj omjera širina kanala  $W_p/W_n$  pMOS i nMOS tranzistora na statička i dinamička svojstva CMOS invertora. Kod istosmjerne analize promatra se utjecaj  $W_p/W_n$  na napon praga okidanja i na granice smetnji, a u vremenskoj analizi utjecaj  $W_p/W_n$  na vremena kašnjenja pri prelasku izlaznog napona iz visoke u nisku razinu i obrnuto, te na ukupno vrijeme kašnjenja. Da bi se postigli realniji rezultati vremenske analize, analizirani CMOS inverter, s tranzistorima  $T_{n1}$  i  $T_{p1}$ , opterećen je prema slici 1 s istovrsnim invertorom s tranzistorima  $T_{n2}$  i  $T_{p2}$ .

## PRIPREMA

- Iz skripte Elektronika 1, II dio, proučiti poglavlje CMOS inverter.
- CMOS inverter s dimenzijama kanala  $L_n = L_p = 0,25 \mu\text{m}$  i  $W_n = 0,5 \mu\text{m}$  radi s naponom napajanja  $U_{DD} = 2,5 \text{ V}$ . Parametri tranzistora su  $K'_n = \mu_n C_{ox} = 150 \mu\text{A/V}^2$ ,  $K'_p = -\mu_p C_{ox} = -37,5 \mu\text{A/V}^2$  i  $U_{GSon} = -U_{GSop} = 0,5 \text{ V}$ . Izračunati napon praga okidanja invertora  $U_{PO}$  za omjere širina kanala  $W_p/W_n$  pMOS i nMOS tranzistora od:
  - $W_p/W_n = 1$ ; b)  $W_p/W_n = 3$  i c)  $W_p/W_n = 9$ .
 Zanemariti porast struja odvoda tranzistora u području zasićenja.

### Prostor za rješavanje:

$$L_n = L_p = 0,25 \mu\text{m} = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ m}$$

$$W_n = 0,5 \mu\text{m} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m}$$

$$U_{DD} = 2,5 \text{ V}$$

$$K'_n = \mu_n C_{ox} = 150 \mu\text{A/V}^2$$

$$K'_p = -\mu_p C_{ox} = -37,5 \mu\text{A/V}^2$$

$$U_{GSon} = -U_{GSop} = 0,5 \text{ V}$$

$$a) \frac{W_p}{W_n} = 1 \Rightarrow W_p = W_n$$

$$U_{PO} = \frac{r(U_{DD} + U_{GSop}) + U_{GSon}}{1+r}$$

$$= \frac{0,5(2,5 - 0,5) + 0,5}{1,5}$$

$$\approx 1 \text{ V}$$

$$r = \sqrt{\frac{K'_p}{K'_n}} = 0,5$$

$$U_{GSon} = -U_{GSop} \Rightarrow U_{PO} = \frac{U_{DD}}{2} \quad W_p = 3W_n = 1,5 \mu\text{m}$$

$$b) K_n = K'_n \frac{W_n}{L_n} = 150 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{0,5 \cdot 10^{-8}}{0,25 \cdot 10^{-8}} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ A/V}^2$$

$$K_p = K'_p \frac{W_p}{L_p} = -37,5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1,5 \cdot 10^{-8}}{0,25 \cdot 10^{-8}} = -2,25 \cdot 10^{-4} \text{ A/V}^2$$

$$r = \sqrt{-\frac{K_p}{K_n}} = 0,87 \quad U_{PO} = \frac{0,87 \cdot 2 + 0,5}{1,87} = 1,2 \text{ V}$$

$$c) r = \sqrt{-\frac{K_p}{K_n}} = \sqrt{\frac{\mu_p C_{ox} \frac{3W_n}{L_p}}{\mu_n C_{ox} \frac{W_n}{L_n}}} = \sqrt{\frac{37,5 \cdot 3}{150}} = 1,5$$

$$U_{PO} = \frac{1,5 \cdot 2 + 0,5}{2,5} = 1,4 \text{ V}$$