

Uvod u organizaciju racunara – Logička kola

Danijela Simić

logicka kola

1. oktobar 2024.



1. Uvod
2. Kašnjenje logičkog kola
3. Implementacija logičkih kapija u savremenim računarima

Slajdovi su napravljeni na osnovu skripte:

Arhitektura i organizacija računara.

autor: **Milan Banković**

http://skripta_arh.pdf

Uvod

Logička kola

Logičko kolo (eng. logic circuit) je uređaj koji implementira neki skup logičkih funkcija u datoj tehnologiji.

Logička kola

Logičko kolo (eng. logic circuit) je uređaj koji implementira neki skup logičkih funkcija u datoj tehnologiji.

Elementarna logička kola implementiraju unarne i binarne logičke veznike.

Logička kola

Logičko kolo (eng. logic circuit) je uređaj koji implementira neki skup logičkih funkcija u datoj tehnologiji.

Elementarna logička kola implementiraju unarne i binarne logičke veznike.

Elementarna logička kola su gradivne elemente u konstrukciji složenijih kola.

(x_1, x_2, \dots, x_n) – ulaz

(y_1, y_2, \dots, y_m) – izlaz

Svaki od ulaza i izlaza predstavlja 0 ili 1 (logička vrednost).



Vrednosti se menjaju tokom vremena, zato obično pišemo $y_i = x_i(t)$.

Kombinatorno kolo

Kombinatorno kolo – vrednosti na izlazu u nekom trenutku zavise samo od vrednosti na ulazu u istom tom trenutku.

Vrednosti se menjaju tokom vremena, zato obično pišemo $y_i = x_i(t)$.

Kombinatorno kolo

Kombinatorno kolo – vrednosti na izlazu u nekom trenutku zavise samo od vrednosti na ulazu u istom tom trenutku.

Dizajn kombinatornih kola je jednostavan.

Sekvencijalno kolo

Sekvencijalno kolo – vrednosti na izlazu u nekom trenutku zavise od vrednosti ulaza u prethodnim vremenskim trenucima.

Sekvencijalno kolo

Sekvencijalno kolo – vrednosti na izlazu u nekom trenutku zavise od vrednosti ulaza u prethodnim vremenskim trenucima.

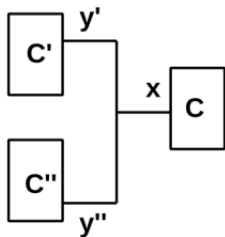
Dizaj je teži – neophodno je razmatrati i trenutne ulaze, ali i one ulaze iz prethodnih vremenskih trenutaka koje više nisu prisutne.

Vrednost visoke impedanse

Svaki od izlaza logičkog kola može da ima vrednost 0 i 1, ali i da nema nikakvu vrednost.

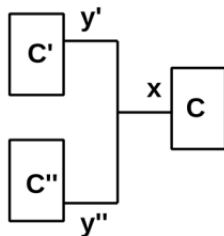
Vrednost visoke impedanse

- y' i y'' su povezani na isti izlaz.



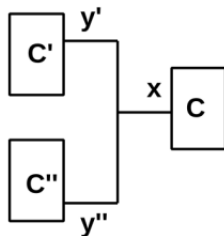
Vrednost visoke impedanse

- y' i y'' su povezani na isti izlaz.
- Ponašanje je nedefinisano.



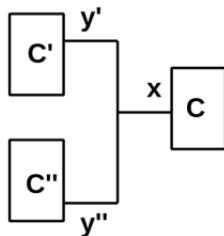
Vrednost visoke impedanse

- y' i y'' su povezani na isti izlaz.
- Ponašanje je nedefinisano.
- Može da izazove i kratak spoj.



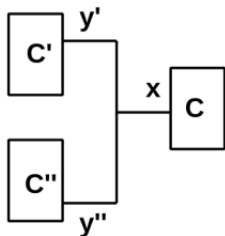
Vrednost visoke impedanse

- y' i y'' su povezani na isti izlaz.
- Ponašanje je nedefinisano.
- Može da izazove i kratak spoj.
- Rešenje: u svakom trenutku najviše jedan izlaz je uključen.



Vrednost visoke impedanse

- y' i y'' su povezani na isti izlaz.
- Ponašanje je nedefinisano.
- Može da izazove i kratak spoj.
- Rešenje: u svakom trenutku najviše jedan izlaz je uključen.
- Visoka imendansa – "isključen izlaz", označavamo sa \mathbb{Z} .



- Ekskluzivna disjunkcija (EILI – XOR):

$$x \oplus y = (x \vee y) \wedge \neg(x \wedge y)$$

- Šeferova funkcija (NI – NAND):

$$x \uparrow y = \neg(x \wedge y)$$

- Pirsova (Lukašievičeva) funkcija (NILI – NOR):

$$x \downarrow y = \neg(x \vee y)$$

- Ekvivalencija (NEILI – XNOR):

$$x \sim y = \neg(x \oplus y) = (x \wedge y) \vee \neg(x \vee y)$$

Potpun skup logičkih veznika

Skup logičkih veznika S je **potpun** ako za svaku logičku funkciju F postoji ekvivalentna funkcija G koja koristi isključivo veznike iz skupa S .

Primeri potpunih skupova logičkih veznika su:

- $\{\neg, \vee\}$,
- $\{\neg, \wedge\}$,
- $\{\neg, \oplus\}$,
- $\{\uparrow\}$,
- $\{\downarrow\}$.

- Proizvoljana logička funkcija se može predstaviti logičkim izrazom koji je izgrađen nad potpunim skupom logičkih veznika.


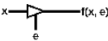
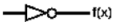

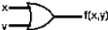
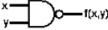
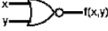

- Proizvoljana logička funkcija se može predstaviti logičkim izrazom koji je izgrađen nad potpunim skupom logičkih veznika.
- Proizvoljno logičko kolo se može implementirati ako su na raspolaganju logička kola koja implementiraju logičke veznike iz izabranog potpunog skupa logičkih veznika.

- Proizvoljana logička funkcija se može predstaviti logičkim izrazom koji je izgrađen nad potpunim skupom logičkih veznika.
- Proizvoljno logičko kolo se može implementirati ako su na raspolaganju logička kola koja implementiraju logičke veznike iz izabranog potpunog skupa logičkih veznika.

- Proizvoljana logička funkcija se može predstaviti logičkim izrazom koji je izgrađen nad potpunim skupom logičkih veznika.
- Proizvoljno logičko kolo se može implementirati ako su na raspolaganju logička kola koja implementiraju logičke veznike iz izabranog potpunog skupa logičkih veznika.

Logička kapija

Elementarna logička kola – kola koja implementiraju osnovne logičke veznike iz potpunog skupa logičkih veznika – nazivamo **logičke kapije** (ili gejtovi).

Назив кола	Функција кола	Шематска ознака
Бафер (енгл. <i>buffer</i>)	$f(x) = x$	
Бафер са три стања (енгл. <i>three-state buffer</i>)	$f(x, e) = \begin{cases} x, & \text{za } e = 1 \\ \mathbf{Z}, & \text{za } e = 0 \end{cases}$	
НЕ коло (енгл. <i>NOT</i>)	$f(x) = \bar{x}$	
И коло (енгл. <i>AND</i>)	$f(x, y) = x \cdot y$	
ИЛИ коло (енгл. <i>OR</i>)	$f(x, y) = x + y$	
НИ коло (енгл. <i>NAND</i>)	$f(x, y) = x \uparrow y$	
НИЛИ коло (енгл. <i>NOR</i>)	$f(x, y) = x \downarrow y$	
ЕИЛИ коло (енгл. <i>XOR</i>)	$f(x, y) = x \oplus y$	
НЕИЛИ коло (енгл. <i>XNOR</i>)	$f(x, y) = x \sim y$	

$$f(x) = x$$

$$f(x) = x$$

Sa logičke tačke gledišta – nema funkciju.

$$f(x) = x$$

Sa logičke tačke gledišta – nema funkciju.

Razlozi postojanja su *tehnički* – služi za pojačavanje signala prilikom prenosa između različitih delova sistema.

Bafer sa tri stanja

Služi kao prekidač, u zavisnosti od ulaza propušta ili ne ulaz na izlaz.

Bafer sa tri stanja

Služi kao prekidač, u zavisnosti od ulaza propušta ili ne ulaz na izlaz.

Ima dva ulazna parametra e i x .

Bafer sa tri stanja

Služi kao prekidač, u zavisnosti od ulaza propušta ili ne ulaz na izlaz.

Ima dva ulazna parametra e i x . Ukoliko je $e = 1$ onda je izlaz x .

Bafer sa tri stanja

Služi kao prekidač, u zavisnosti od ulaza propušta ili ne ulaz na izlaz.

Ima dva ulazna parametra e i x . Ukoliko je $e = 1$ onda je izlaz x . Ukoliko je $e = 0$ onda je izlaz vrednost visoke impendanse.

Ponašanja kapija u slučaju ulaza visoke imenpendanse

- U slučaju AND kola, ako je jedna vrednost 0 izlaz je 0. Ali, ako je jedna vrednost 1, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.

Ponašanja kapija u slučaju ulaza visoke imenpendanse

- U slučaju AND kola, ako je jedna vrednost 0 izlaz je 0. Ali, ako je jedna vrednost 1, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.
- U slučaju OR kola, ako je jedna vrednost 1 izlaz je 1. Ali ako je jedna vrednost 0, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.

Ponašanja kapija u slučaju ulaza visoke imenpendanse

- U slučaju AND kola, ako je jedna vrednost 0 izlaz je 0. Ali, ako je jedna vrednost 1, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.
- U slučaju OR kola, ako je jedna vrednost 1 izlaz je 1. Ali ako je jedna vrednost 0, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.
- U slučaju NAND kola, ako je jedna vrednost 0 izlaz je 1. Ali, ako je jedna vrednost 1, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.

Ponašanja kapija u slučaju ulaza visoke imenpendanse

- U slučaju AND kola, ako je jedna vrednost 0 izlaz je 0. Ali, ako je jedna vrednost 1, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.
- U slučaju OR kola, ako je jedna vrednost 1 izlaz je 1. Ali ako je jedna vrednost 0, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.
- U slučaju NAND kola, ako je jedna vrednost 0 izlaz je 1. Ali, ako je jedna vrednost 1, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.
- U slučaju NOR kola, ako je jedna vrednost 1 izlaz je 0. Ali ako je jedna vrednost 0, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.

Ponašanja kapija u slučaju ulaza visoke imenpendanse

- U slučaju AND kola, ako je jedna vrednost 0 izlaz je 0. Ali, ako je jedna vrednost 1, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.
- U slučaju OR kola, ako je jedna vrednost 1 izlaz je 1. Ali ako je jedna vrednost 0, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.
- U slučaju NAND kola, ako je jedna vrednost 0 izlaz je 1. Ali, ako je jedna vrednost 1, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.
- U slučaju NOR kola, ako je jedna vrednost 1 izlaz je 0. Ali ako je jedna vrednost 0, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.
- Kola NOT, XOR i XNOR imaju nedefinisanu vrednost ukoliko je jedan od ulaza \mathbb{Z} .

Ponašanja kapija u slučaju ulaza visoke imenpendanse

- U slučaju AND kola, ako je jedna vrednost 0 izlaz je 0. Ali, ako je jedna vrednost 1, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.
- U slučaju OR kola, ako je jedna vrednost 1 izlaz je 1. Ali ako je jedna vrednost 0, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.
- U slučaju NAND kola, ako je jedna vrednost 0 izlaz je 1. Ali, ako je jedna vrednost 1, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.
- U slučaju NOR kola, ako je jedna vrednost 1 izlaz je 0. Ali ako je jedna vrednost 0, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.
- Kola NOT, XOR i XNOR imaju nedefinisanu vrednost ukoliko je jedan od ulaza \mathbb{Z} .

Ponašanja kapija u slučaju ulaza visoke imenpendanse

- U slučaju AND kola, ako je jedna vrednost 0 izlaz je 0. Ali, ako je jedna vrednost 1, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.
- U slučaju OR kola, ako je jedna vrednost 1 izlaz je 1. Ali ako je jedna vrednost 0, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.
- U slučaju NAND kola, ako je jedna vrednost 0 izlaz je 1. Ali, ako je jedna vrednost 1, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.
- U slučaju NOR kola, ako je jedna vrednost 1 izlaz je 0. Ali ako je jedna vrednost 0, a druga \mathbb{Z} , izlaz je nedefinisan.
- Kola NOT, XOR i XNOR imaju nedefinisanu vrednost ukoliko je jedan od ulaza \mathbb{Z} .

Elementarne logičke kapije se mogu uopštiti tako da imaju proizvoljan broj ulaza.

Kašnjenje logičkog kola

Kašnjenje logičkog kola

Kašnjenje logičkog kola je vreme potrebno da se nakon promene vrednosti na ulazima kola izlazi stabilizuju na novim vrednostima.

Kašnjenje logičkog kola

Kašnjenje logičkog kola je vreme potrebno da se nakon promene vrednosti na ulazima kola izlazi stabilizuju na novim vrednostima.

Kašnjenje zavisi od implementacije logičkog kola i **ne mora biti isto za različite izlaze i različite logičke kapije.**

- Svaka logička kapija ima svoje kašnjenje.

- Svaka logička kapija ima svoje kašnjenje.
- Meri se u nanosekundama ili pikosekundama.

- Svaka logička kapija ima svoje kašnjenje.
- Meri se u nanosekundama ili pikosekundama.
- Kašnjenje kapije koje ima više ulaza je veće od kapije koja ima dva ulaza.

- Svaka logička kapija ima svoje kašnjenje.
- Meri se u nanosekundama ili pikosekundama.
- Kašnjenje kapije koje ima više ulaza je veće od kapije koja ima dva ulaza.
- Kašnjenje NAND i NOR u CMOS tehnologiji je manje u odnosu na kašnjenje AND i OR.

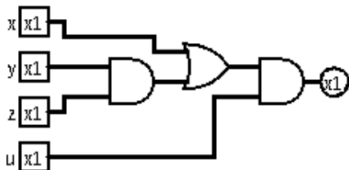
Ukoliko se dve logičke kapije nadovežu jedna na drugu (tj. izlaz iz prve se poveže na ulaz druge), tada će ukupno kašnjenje biti jednako zbiru kašnjenja pojedinačnih kapija.

Kašnjenje logičkog kola

Ukoliko se dve logičke kapije nadovežu jedna na drugu (tj. izlaz iz prve se poveže na ulaz druge), tada će ukupno kašnjenje biti jednako zbiru kašnjenja pojedinačnih kapija.

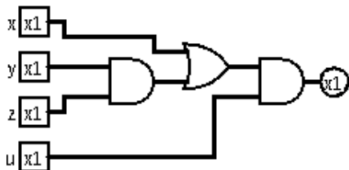
Ukoliko se logičko kolo konstruiše prema nekom logičkom izrazu, tada će kašnjenje biti proporcionalno **dubini tog izraza**.

Kašnjenje logičkog kola



- Ovo kolo je dubine 3.

Kašnjenje logičkog kola



- Ovo kolo je dubine 3.
- Ako svaka logička kapija kasni Δ , onda je ukupno kašnjenje jednako 3Δ .

- **Žice** koje povezuju logička kola imaju svoja kašnjenja.

Kašnjenje logičkog kola

- **Žice** koje povezuju logička kola imaju svoja kašnjenja.
- Savremeni računari se zasnivaju na prenosu električnih signala kroz provodnike.

Kašnjenje logičkog kola

- **Žice** koje povezuju logička kola imaju svoja kašnjenja.
- Savremeni računari se zasnivaju na prenosu električnih signala kroz provodnike.
- Teorijski maksimum prenosa struje je 300000 km/s – **u svakoj nanosekundi signal može preći najviše 30cm.**

Kašnjenje logičkog kola

- **Žice** koje povezuju logička kola imaju svoja kašnjenja.
- Savremeni računari se zasnivaju na prenosu električnih signala kroz provodnike.
- Teorijski maksimum prenosa struje je 300000 km/s – u svakoj nanosekundi signal može preći najviše 30 cm .
- U praksi je nemoguće postići brzinu svetlosti – obično 2 ns su potrebne da signal pređe 30 cm žice.

Kašnjenje logičkog kola

- **Žice** koje povezuju logička kola imaju svoja kašnjenja.
- Savremeni računari se zasnivaju na prenosu električnih signala kroz provodnike.
- Teorijski maksimum prenosa struje je 300000 km/s – u svakoj nanosekundi signal može preći najviše 30 cm .
- U praksi je nemoguće postići brzinu svetlosti – obično 2 ns su potrebne da signal pređe 30 cm žice.
- Zato je za povećanje brzine logičkog kola potrebno smanjivati rastojanja među logičkim kapijama.

Implementacija logičkih kapija u savremenim računarima

Uređaj je priključen na izvor električne struje, a logičke vrednosti se predstavljaju naponskim nivoima.

Uređaj je priključen na izvor električne struje, a logičke vrednosti se predstavljau naponskim nivoima.

- Neka je napon baterije uređaja $5V$ (tj. potencijal negativnog i pozitivnog pola baterije se razlikuje za $5V$).

Uređaj je priključen na izvor električne struje, a logičke vrednosti se predstavljau naponskim nivoima.

- Neka je napon baterije uređaja $5V$ (tj. potencijal negativnog i pozitivnog pola baterije se razlikuje za $5V$).
- Obično je negativan pol baterije na potencijalu $0V$.

Uređaj je priključen na izvor električne struje, a logičke vrednosti se predstavljaju naponskim nivoima.

- Neka je napon baterije uređaja $5V$ (tj. potencijal negativnog i pozitivnog pola baterije se razlikuje za $5V$).
- Obično je negativan pol baterije na potencijalu $0V$.
- Negativan pol se obično naziva masa (eng. ground).

Uređaj je priključen na izvor električne struje, a logičke vrednosti se predstavljaju naponskim nivoima.

- Neka je napon baterije uređaja $5V$ (tj. potencijal negativnog i pozitivnog pola baterije se razlikuje za $5V$).
- Obično je negativan pol baterije na potencijalu $0V$.
- Negativan pol se obično naziva masa (eng. ground).
- Pozitivan pol baterije je na potencijalu $5V$.

Uređaj je priključen na izvor električne struje, a logičke vrednosti se predstavljaju naponskim nivoima.

- Neka je napon baterije uređaja $5V$ (tj. potencijal negativnog i pozitivnog pola baterije se razlikuje za $5V$).
- Obično je negativan pol baterije na potencijalu $0V$.
- Negativan pol se obično naziva masa (eng. ground).
- Pozitivan pol baterije je na potencijalu $5V$.
- Pozitivan pol nazivamo napajanje (eng. supply).

- Vrednosti napajanja koje su bliske nuli (npr. $+1.5V$) smatraju se **logičkom nulom**.

Masa i napajanje

- Vrednosti napajanja koje su bliske nuli (npr. $+1.5V$) smatraju se **logičkom nulom**.
- Vrednosti napajanja koje su bliske $+5V$ (npr. $+3.5V$) smatraju se **logičkom jedinicom**.

Masa i napajanje

- Vrednosti napajanja koje su bliske nuli (npr. $+1.5V$) smatraju se **logičkom nulom**.
- Vrednosti napajanja koje su bliske $+5V$ (npr. $+3.5V$) smatraju se **logičkom jedinicom**.
- Naponski nivoi koji se nalaze između (npr. u intervalu od $+1.5V$ do $+3.5V$) ne predstavljaju validnu logičku vrednost.

Masa i napajanje

- Vrednosti napajanja koje su bliske nuli (npr. $+1.5V$) smatraju se **logičkom nulom**.
- Vrednosti napajanja koje su bliske $+5V$ (npr. $+3.5V$) smatraju se **logičkom jedinicom**.
- Naponski nivoi koji se nalaze između (npr. u intervalu od $+1.5V$ do $+3.5V$) ne predstavljaju validnu logičku vrednost.
- Kolo se mora dizajnirati tako da **u stabilnom stanju ni jedna tačka nije u središnjem naponskom opsegu**.

Masa i napajanje

- Vrednosti napajanja koje su bliske nuli (npr. $+1.5V$) smatraju se **logičkom nulom**.
- Vrednosti napajanja koje su bliske $+5V$ (npr. $+3.5V$) smatraju se **logičkom jedinicom**.
- Naponski nivoi koji se nalaze između (npr. u intervalu od $+1.5V$ do $+3.5V$) ne predstavljaju validnu logičku vrednost.
- Kolo se mora dizajnirati tako da **u stabilnom stanju ni jedna tačka nije u središnjem naponskom opsegu**.
- Ipak, tokom tranzicije iz jednog stanja u drugo, napon prolazi kroz središnji opseg vrednosti.

Masa i napajanje

- Vrednosti napajanja koje su bliske nuli (npr. $+1.5V$) smatraju se **logičkom nulom**.
- Vrednosti napajanja koje su bliske $+5V$ (npr. $+3.5V$) smatraju se **logičkom jedinicom**.
- Naponski nivoi koji se nalaze između (npr. u intervalu od $+1.5V$ do $+3.5V$) ne predstavljaju validnu logičku vrednost.
- Kolo se mora dizajnirati tako da **u stabilnom stanju ni jedna tačka nije u središnjem naponskom opsegu**.
- Ipak, tokom tranzicije iz jednog stanja u drugo, napon prolazi kroz središnji opseg vrednosti.
- Na primer, prilikom tranzicije iz logičke nule u logičku jedinicu, napon se uvećava od vrednosti bliske nuli do vrednosti bliske $+5V$.

Prekidači

Da bi na izlazu logičkog kola bila nula, potrebno je povezati taj izlaz sa masom.

Prekidači

Da bi na izlazu logičkog kola bila nula, potrebno je povezati taj izlaz sa masom.

Da bi na izlazu logičkog kola bila logička jedinica, potrebno je kolo povezati sa napajanjem.

Prekidači

Da bi na izlazu logičkog kola bila nula, potrebno je povezati taj izlaz sa masom.

Da bi na izlazu logičkog kola bila logička jedinica, potrebno je kolo povezati sa napajanjem.

Ovo ponašanje se ostvaruje korišćenjem prekidača.

Prekidači

Da bi na izlazu logičkog kola bila nula, potrebno je povezati taj izlaz sa masom.

Da bi na izlazu logičkog kola bila logička jedinica, potrebno je kolo povezati sa napajanjem.

Ovo ponašanje se ostvaruje korišćenjem prekidača.

Načini izrade prekidača:

- Prve verzije su zasnovane na **vakuumskim cevima**.

Načini izrade prekidača:

- Prve verzije su zasnovane na **vakuumskim cevima**.
- Od 50-ih godina su zasnovani na **poluprovodničkoj tehnologiji**.

Načini izrade prekidača:

- Prve verzije su zasnovane na **vakuumskim cevima**.
- Od 50-ih godina su zasnovani na **poluprovodničkoj tehnologiji**.
- Poluprovodnička tehnologija je zasnovana na hemijskom elementu **silicijumu**.

Načini izrade prekidača:

- Prve verzije su zasnovane na **vakuumskim cevima**.
- Od 50-ih godina su zasnovani na **poluprovodničkoj tehnologiji**.
- Poluprovodnička tehnologija je zasnovana na hemijskom elementu **silicijumu**.
- Najznačajnija poluprovodnička komponenta je **tranzistor** koji može da se ponaša kao prekidač.

- Postoje dve vrste tranzistora – **bipolarni** i **unipolarni**.

- Postoje dve vrste tranzistora – **bipolarni** i **unipolarni**.
- Savremeni računari su zasnovani na vrsti unipolarnih tranzistora – **MOS tranzistori** (eng. Metal Oxide Semiconductor).

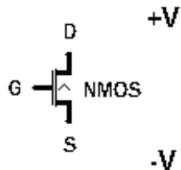
- Postoje dve vrste tranzistora – **bipolarni** i **unipolarni**.
- Savremeni računari su zasnovani na vrsti unipolarnih tranzistora – **MOS tranzistori** (eng. Metal Oxide Semiconductor).
- MOS tranzistori imaju tri priključka: **sors**, **drejn**, **gejt**.

- Postoje dve vrste tranzistora – **bipolarni** i **unipolarni**.
- Savremeni računari su zasnovani na vrsti unipolarnih tranzistora – **MOS tranzistori** (eng. Metal Oxide Semiconductor).
- MOS tranzistori imaju tri priključka: **sors**, **drejn**, **gejt**.
- Struja protiče od sorsa ka drejnu pod uslovom da se odgovarajući napon dovede na gejt.

- Postoje dve vrste tranzistora – **bipolarni** i **unipolarni**.
- Savremeni računari su zasnovani na vrsti unipolarnih tranzistora – **MOS tranzistori** (eng. Metal Oxide Semiconductor).
- MOS tranzistori imaju tri priključka: **sors**, **drejn**, **gejt**.
- Struja protiče od sorsa ka drejnu pod uslovom da se odgovarajući napon dovede na gejt.
- Postoje dva tipa MOS tranzistora: **NMOS** i **PMOS**.

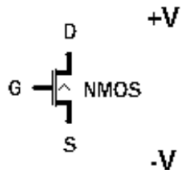
NMOS tranzistori

- Sors je priključen na negativan, a drejn na pozitivan napon.



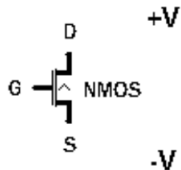
NMOS tranzistori

- Sors je priključen na negativan, a drejn na pozitivan napon.
- Tranzistor provodi struju kada je napon na gejtu u zoni logičke jedinice (obično iznad $2/3$ napona napajanja).



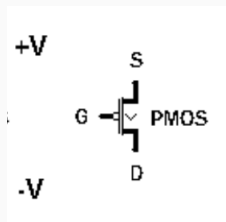
NMOS tranzistori

- Sors je priključen na negativan, a drejn na pozitivan napon.
- Tranzistor provodi struju kada je napon na gejtu u zoni logičke jedinice (obično iznad $2/3$ napona napajanja).
- Ukoliko je napon u zoni logičke nule, tranzistor ne provodi struju od sorsa ka drejnu.



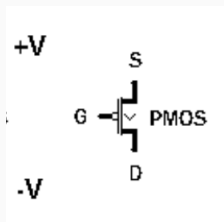
PMOS tranzistori

- Sors se priključuje na pozitivan, a drejn na negativen napon.



PMOS tranzistori

- Sors se priključuje na pozitivan, a drejn na negativan napon.
- PMOS tranzistor provodi struju kada je napon na gejtu u zoni logičke nule. Tranzistor ne provodi struju kada je napon na gejtu u zoni logičke jedinice.



CMOS

Ukoliko se za izradu logičkih kola koriste i NMOS i PMOS tranzistori tada govorimo o CMOS tehnologiji.

CMOS

Ukoliko se za izradu logičkih kola koriste i NMOS i PMOS tranzistori tada govorimo o CMOS tehnologiji.

Danas se isključivo koristi CMOS tehnologija zbog **značajne uštede struje i zagrevanja**.

CMOS

Ukoliko se za izradu logičkih kola koriste i NMOS i PMOS tranzistori tada govorimo o CMOS tehnologiji.

Danas se isključivo koristi CMOS tehnologija zbog **značajne uštede struje i zagrevanja**.

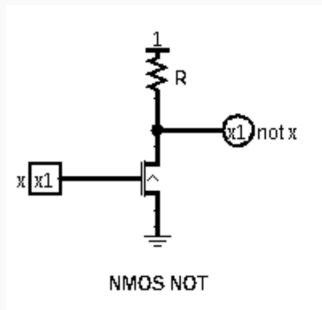
CMOS je tehnološki najzahtevniji jer na istom čipu koegzistiraju PMOS i NMOS tranzistori.

Implementacija logičkih kapija u savremenim računarima

NE (NOT) kolo

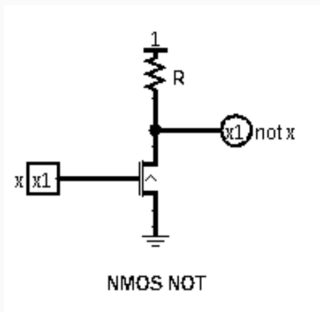
NE kolo – NMOS NOT

- U donjoj mreži se nalazi jedan NMOS tranzistor.



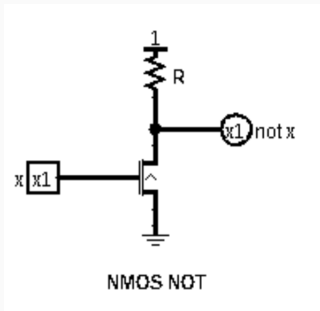
NE kolo – NMOS NOT

- U donjoj mreži se nalazi jedan NMOS tranzistor.
- Gornja mreža se sastoji iz jednog otpornika čija je uloga da uspostavi slabu vezu sa napajanjem.



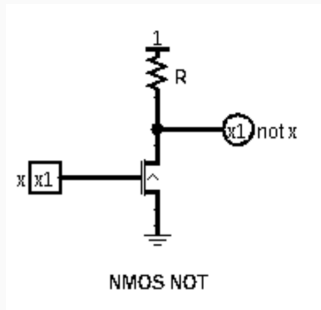
NE kolo – NMOS NOT

- U donjoj mreži se nalazi jedan NMOS tranzistor.
- Gornja mreža se sastoji iz jednog otpornika čija je uloga da uspostavi slabu vezu sa napajanjem.
- Kada je na ulazu logička nula, tada je NMOS tranzistor zatvoren.



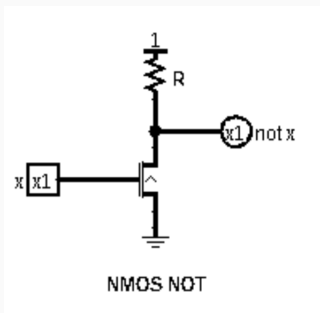
NE kolo – NMOS NOT

- U donjoj mreži se nalazi jedan NMOS tranzistor.
- Gornja mreža se sastoji iz jednog otpornika čija je uloga da uspostavi slabu vezu sa napajanjem.
- Kada je na ulazu logička nula, tada je NMOS tranzistor zatvoren.
- Slaba veza otpornika omogućava prenos potencijala na izlaz, pa na izlazu imamo logičku jedinicu.



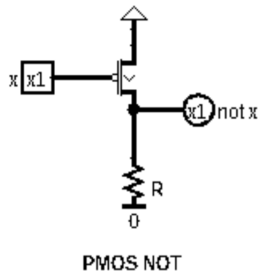
NE kolo – NMOS NOT

- Kada je na ulazu logička jedinica, donja grana je otvorena, uspostavlja se direktna/jaka veza sa masom, pa je na izlazu nizak potencijal (logička nula).



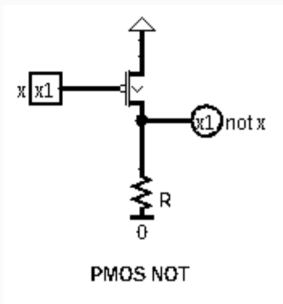
NE kolo – PMOS NOT

- U gornjoj mreži je PMOS, a u donjoj mreži je otpornik koji uspostavlja slabu vezu sa masom.



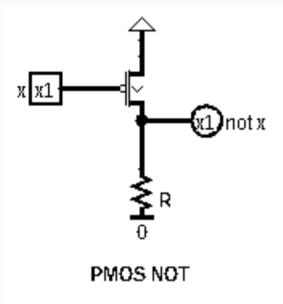
NE kolo – PMOS NOT

- U gornjoj mreži je PMOS, a u donjoj mreži je otpornik koji uspostavlja slabu vezu sa masom.
- Logička nula na ulazu, otvara tranzistor i povezuje izlaz sa napajanjem (logička jedinica).



NE kolo – PMOS NOT

- U gornjoj mreži je PMOS, a u donjoj mreži je otpornik koji uspostavlja slabu vezu sa masom.
- Logička nula na ulazu, otvara tranzistor i povezuje izlaz sa napajanjem (logička jedinica).
- Logička jedinica na ulazu zatvara tranzistor i prekida protok struje, pa se preko otpornika na izlaz dovodi potencijal mase (logička nula).



Problem sa NMOS i PMOS implementacijom

- U jednom od dva stabilna stanja ova kola kontinuirano provode struju.

Problem sa NMOS i PMOS implementacijom

- U jednom od dva stabilna stanja ova kola kontinuirano provode struju.
- NMOS u slučaju jedinice na ulazu provodi kontinuirano struju ka izlazu.

Problem sa NMOS i PMOS implementacijom

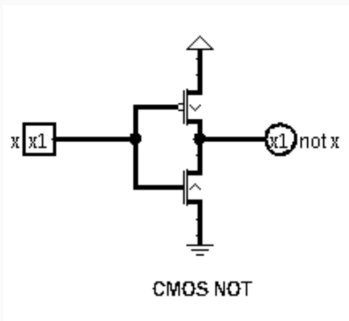
- U jednom od dva stabilna stanja ova kola kontinuirano provode struju.
- NMOS u slučaju jedinice na ulazu provodi kontinuirano struju ka izlazu.
- PMOS u slučaju nule na ulazu provodi kontinuirano struju ka izlazu.

Problem sa NMOS i PMOS implementacijom

- U jednom od dva stabilna stanja ova kola kontinuirano provode struju.
- NMOS u slučaju jedinice na ulazu provodi kontinuirano struju ka izlazu.
- PMOS u slučaju nule na ulazu provodi kontinuirano struju ka izlazu.
- Zato imamo **veće zagrevanje** i **veću potrošnju struje**.

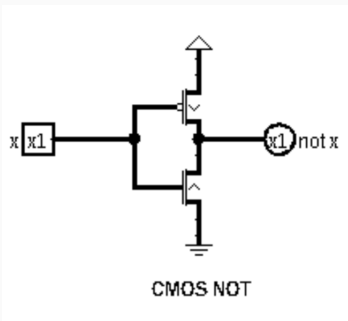
NE kolo – CMOS NOT

- Ne koriste se otpornici.



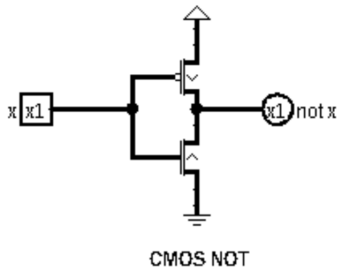
NE kolo – CMOS NOT

- Ne koriste se otpornici.
- U slučaju logičke nule na ulazu, donji tranzistor je zatvoren, a gornji je otvoren, pa imamo vezu sa napajanjem (logička jedinica).



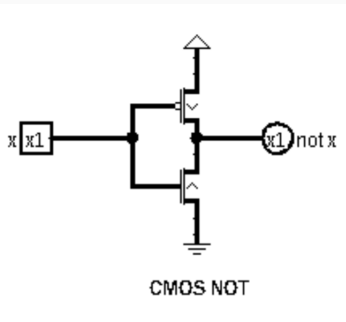
NE kolo – CMOS NOT

- Ne koriste se otpornici.
- U slučaju logičke nule na ulazu, donji tranzistor je zatvoren, a gornji je otvoren, pa imamo vezu sa napajanjem (logička jedinica).
- U slučaju logičke jedinice na ulazu, donji tranzistor je otvoren, a gornji zatvoren, pa imamo vezu izlaza sa masom (logička nula).



NE kolo – CMOS NOT

- U svakom trenutku otvoren je tačno jedan od tranzistora, dok je drugi zatvoren, pa nema proticanja struje ni u jednom stabilnom stanju.



NE kolo – CMOS NOT

- U svakom trenutku otvoren je tačno jedan od tranzistora, dok je drugi zatvoren, pa nema proticanja struje ni u jednom stabilnom stanju.
- Struja protiče samo u periodima tranzicije između stanja dok se ne uspostavi stabilan potencijal na izlazu kola.

