



# 1. Digitalni sustavi i obrada podataka

---



# Sadržaj predavanja

---

- **osnovna struktura digitalnog sustava**
- binarno zapisivanje podataka
- predstavljanje binarnih podataka električnim veličinama
- prijenos binarnih podataka
- digitalni sustav i analogna okolina
- problemi elektroničke implementacije

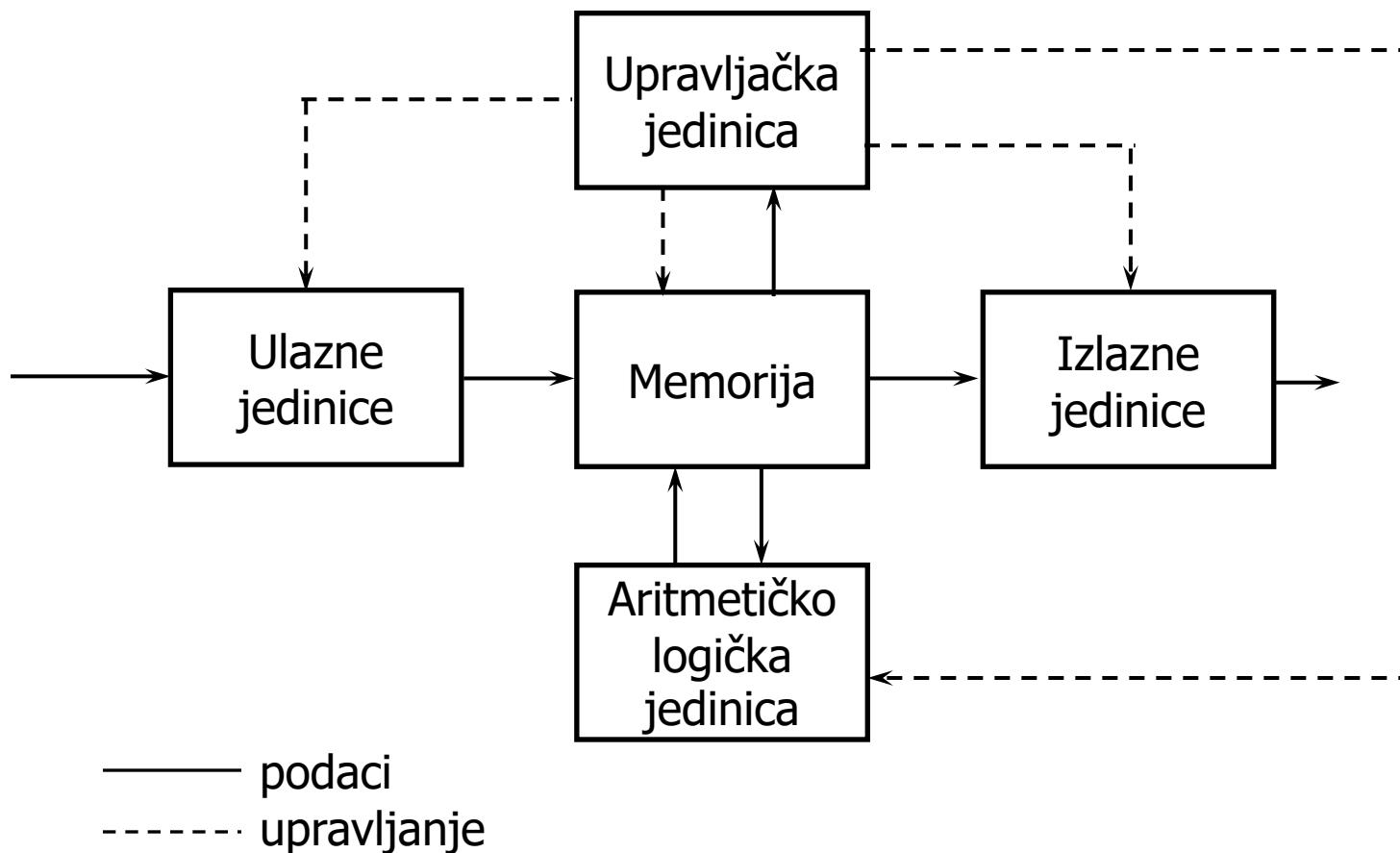


# Osnovna struktura digitalnog sustava

---

- *funkcije* digitalnog sustava:
  - obrada podataka
  - obavljanje aritmetičkih i logičkih operacija
  - donošenje odluka
- u općem slučaju *5 podsustava*:
  - ulazna jedinica
  - izlazna jedinica
  - memorija
  - aritmetičko-logička jedinica
  - upravljačka jedinica

# Osnovna struktura digitalnog sustava



*von Neumannova arhitektura računala*



# Osnovna struktura digitalnog sustava

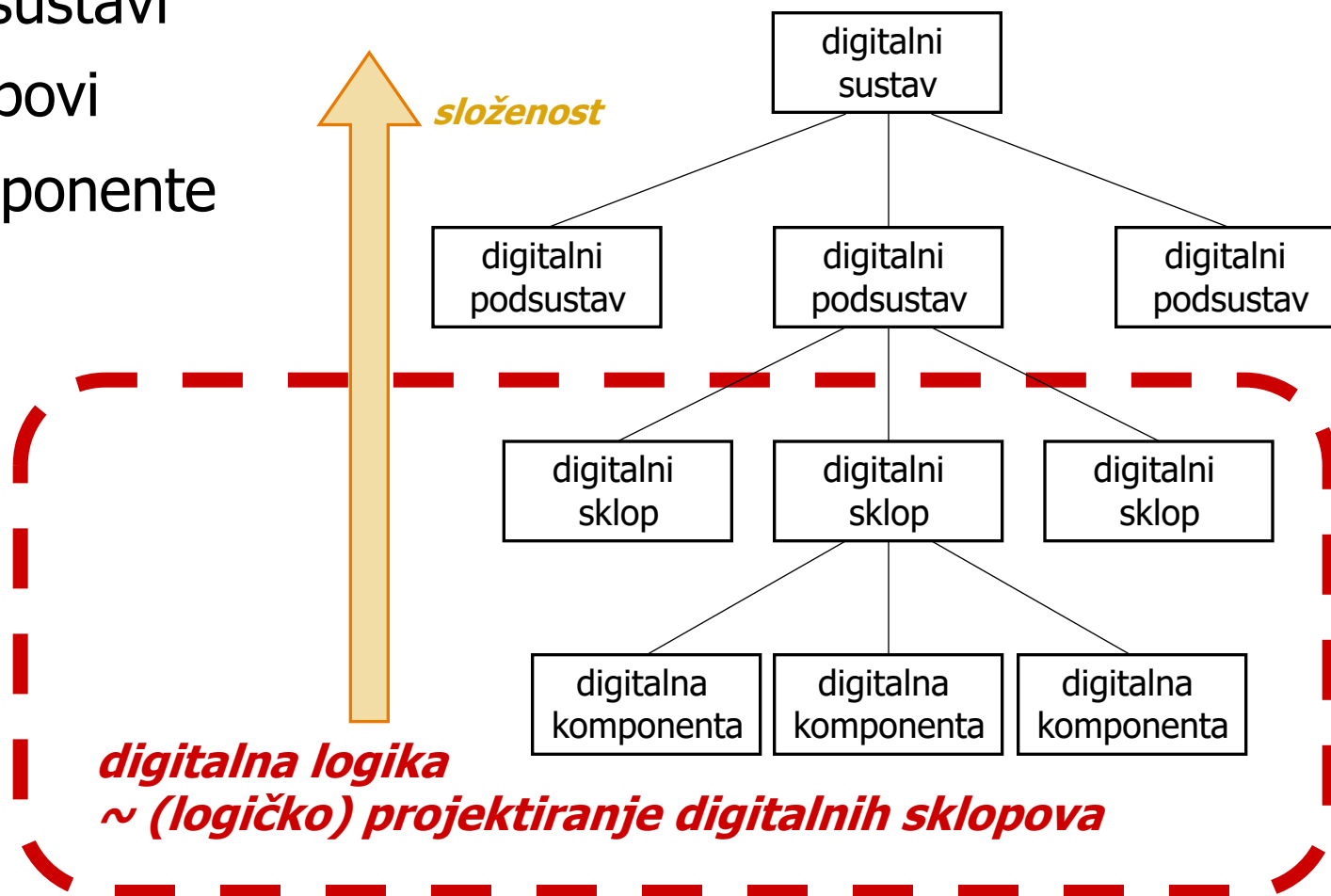
---

- *univerzalni* digitalni sustav  
~ *računalo* (engl. computer):  
promjena funkcije *programiranjem*
- računalo ~ univerzalni stroj za:
  - obradu podataka
  - upravljanje sustavima
  - distribuciju informacija
- današnje stanje:  
raširenost i prožimanje digitalnih sustava i računala  
u svakodnevni život

# Osnovna struktura digitalnog sustava

- *struktura* digitalnog sustava:

- podsustavi
- sklopovi
- komponente





# Sadržaj predavanja

---

- osnovna struktura digitalnog sustava
- **binarno zapisivanje podataka**
- predstavljanje binarnih podataka električnim veličinama
- prijenos binarnih podataka
- digitalni sustav i analogna okolina
- problemi elektroničke implementacije



# Binarno zapisivanje podataka

---

- zapis podataka *brojevima* ("digitalno")  
~ proizvoljni *brojevni sustav*
- ostvarivanje u *tehničkom* sustavu  
~ predočavanje znamenki posebnim fizičkim stanjem,  
"na prikladan način"
- različita stanja:
  - jasno prepoznavanje
  - jasno međusobno razlikovanje
- najjednostavnije i najefikasnije ~ ostvarenje *2 stanja*  
⇒ *binarni sustav* je osnova  
svih digitalnih elektroničkih sustava





# Binarno zapisivanje podataka

---

- binarna znamenka (0 ili 1) naziva se *bit* (engl. **binary digit**)
- grupiranje bitova u digitalnim sustavima radi prikaza podataka:
  - grupa od 8 bitova: *oktet* (engl. byte)
  - grupa od 4 bita: *kvartet* (engl. nibble)
  - osnovna grupa bitova: *riječ* (engl. word); tipično 8, 16, 32, 64, ... bita



# Binarno zapisivanje podataka

---

- veće grupiranje riječi ~ *blokovi*:
  - pohrana na magnetskim medijima (diskovi, trake)  
~ koriste se elektromagnetski uređaji (*spori!*)
  - vrijeme pristupa usporedivo  
s vremenom čitanja *bloka* podataka
  - *efikasnost* pristupa (čitanja/pisanja)



# Sadržaj predavanja

---

- osnovna struktura digitalnog sustava
- binarno zapisivanje podataka
- **predstavljanje binarnih podataka električnim veličinama**
- prijenos binarnih podataka
- digitalni sustav i analogna okolina
- problemi elektroničke implementacije



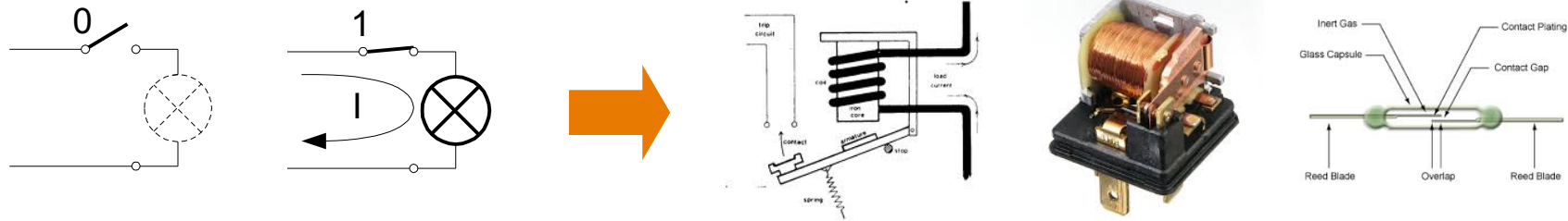
# Ostvarenje binarnog zapisa

---

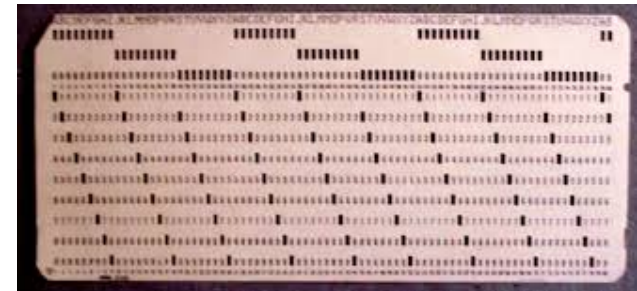
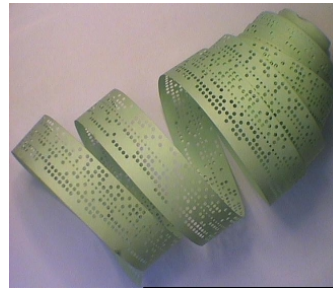
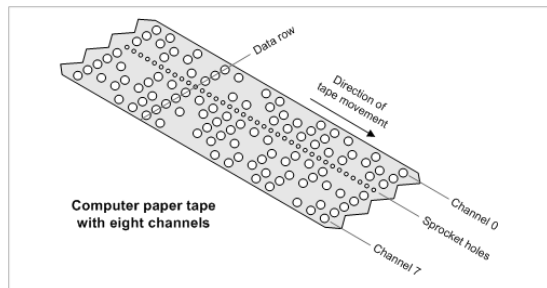
- binarne znamenke: 0 i 1
- fizičko predočavanje:
  - mehanička sklopka
  - papirna traka
  - magnetski medij
  - *tranzistorska sklopka* (elektronički sklop!)
- nositelj informacije:
  - pozitivni i negativni *impulsi* (struja ili napon)  $\sim 0, 1$
  - *nizovi* impulsa  $\sim$  grupe 0, 1

# Predočavanje binarnih veličina

- mehanička sklopka ("kontakt"), relej

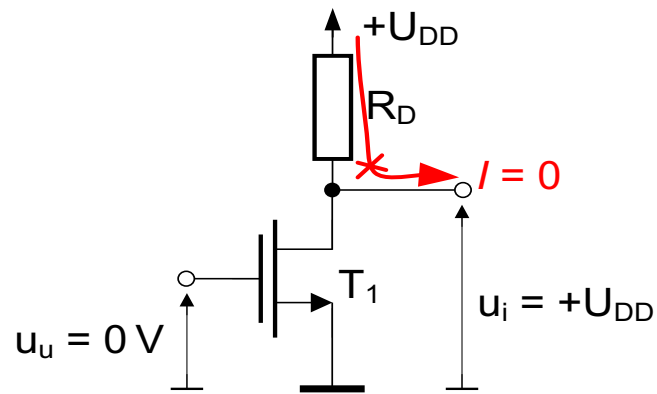
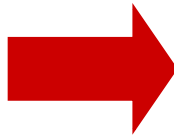
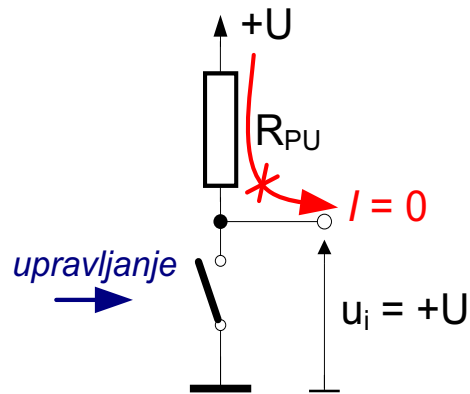


- bušena papirna traka/bušene papirne kartice

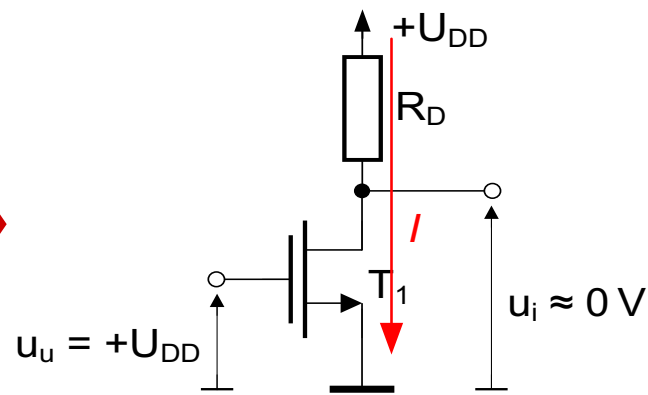
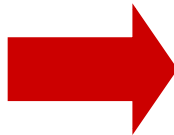
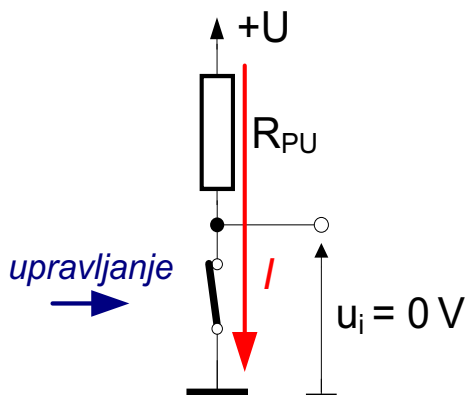


# Predočavanje binarnih veličina

- tranzistorska sklopka (s NMOS tranzistorom)



tranzistor ne vodi  
neopterećena sklopka!



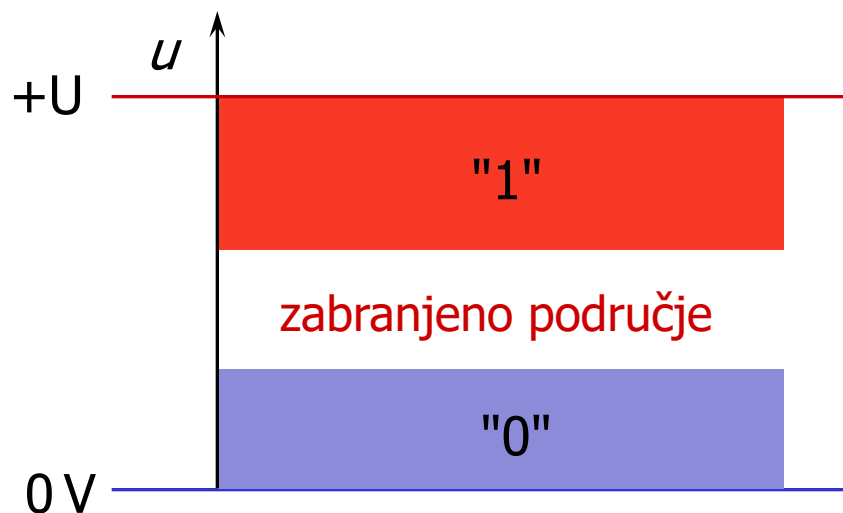
tranzistor vodi

# Predstavljjanje naponskim razinama

- ostvarenje elektroničkim sklopovima:  
0 i 1 ~ naponske razine (N, V)

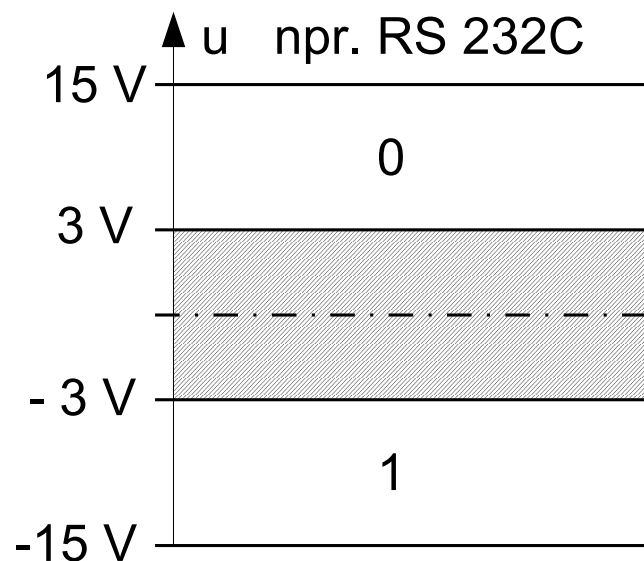
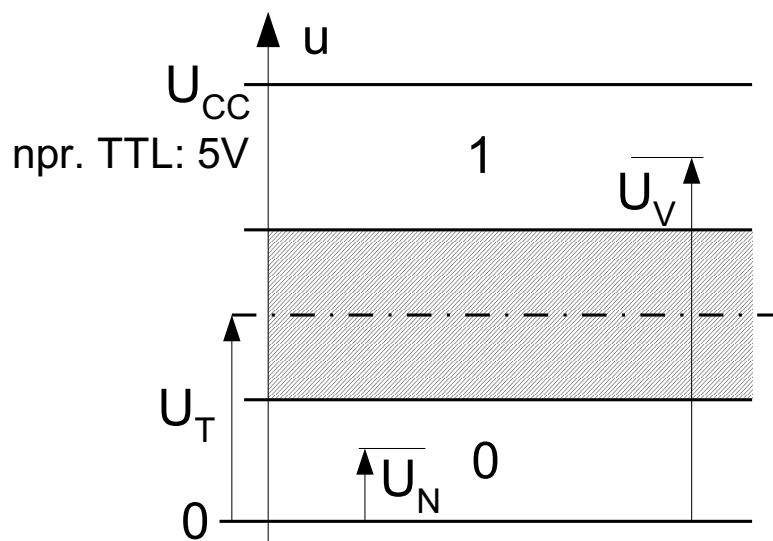
npr. 0 V (N)  $\rightarrow$  "0", +5 V (V)  $\rightarrow$  "1"

- problemi tehničke izvedbe  
(tolerancije, opterećenja, otpornost na smetnje)  
~ naponska *područja* umjesto razina



# Predstavljjanje naponskim razinama

- *unipolarni* signali: *unutar* digitalnog sustava
- *bipolarni* signali: *između* digitalnih sustava  
~ mogućnost otkrivanja prekida linije







# Sadržaj predavanja

---

- osnovna struktura digitalnog sustava
- binarno zapisivanje podataka
- predstavljanje binarnih podataka električnim veličinama
- **prijenos binarnih podataka**
- digitalni sustav i analogna okolina
- problemi elektroničke implementacije



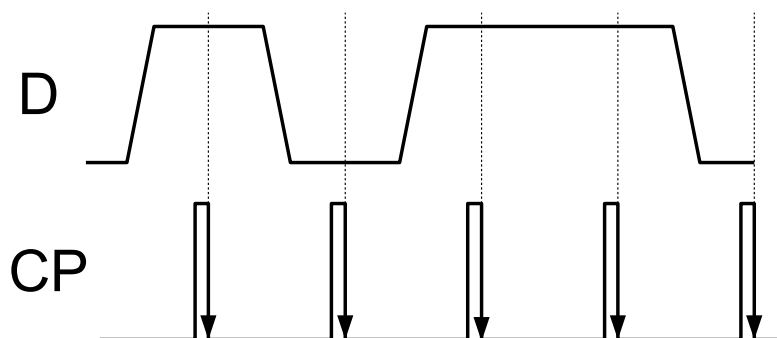
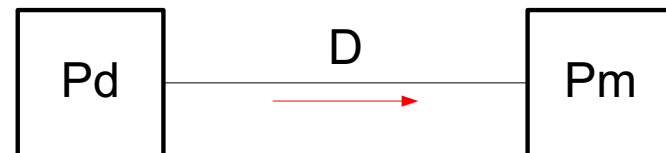
# Prijenos binarnih podataka

---

- prijenos podataka (informacija)  
~ primanje i slanje:
  - *unutar* digitalnog sustava, između njegovih dijelova
  - *između* izdvojenih digitalnih sustava
- prijenos *binarnih* podataka (riječ, blok podataka):
  - serijski (po bitu), između digitalnih sustava, radi štednje
  - paralelno (po bitu), unutar digitalnog sustava, radi brzine

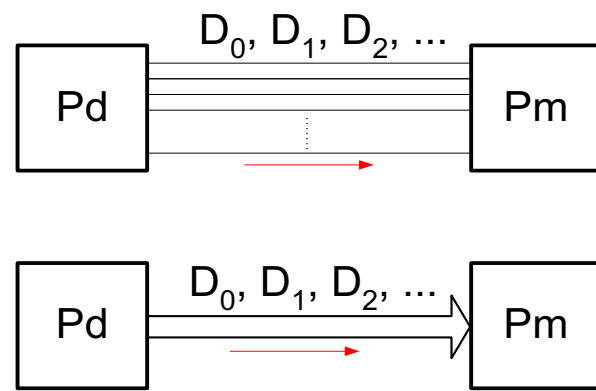
# Serijski prijenos

- po jednom vodu:
  - vremenski niz bitova
  - bitovi slijede u jednakim razmacima
- razlučiti trenutke očitavanja vrijednosti pojedinog bita  
⇒ *sinkronizacijski* (takti) impulsi, CP (Clock Pulse)



# Paralelni prijenos

- prijenos bitova jedne riječi po više vodova
  - *paralelni* (istovremeni) prijenos bitova pojedine grupe (riječi)
  - *serijski* (slijedni) prijenos pojedine grupe (riječi)
- tipično ostvarenje:  
prijenos podataka po *sabirnicama* digitalnog sustava
  - više paralelnih vodova (izjetkano na pločici, kabeli)
  - *svi* podsustavi ("funkcijski blokovi") digitalnog sustava međusobno tako povezani





# Sadržaj predavanja

---

- osnovna struktura digitalnog sustava
- binarno zapisivanje podataka
- predstavljanje binarnih podataka električnim veličinama
- prijenos binarnih podataka
- **digitalni sustav i analogna okolina**
- problemi elektroničke implementacije

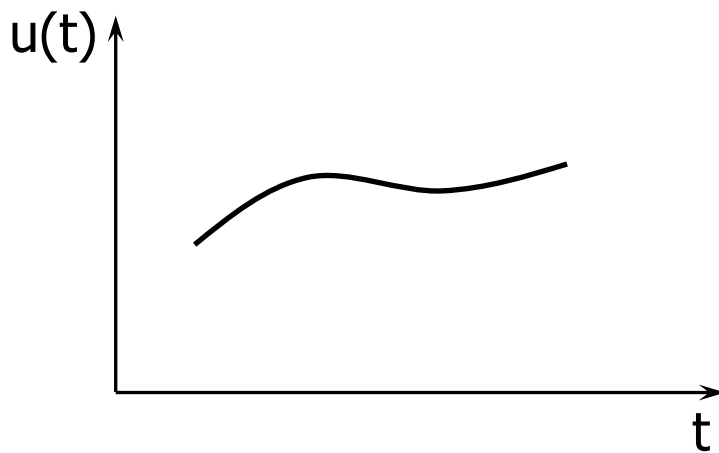
# Digitalni sustav i analogna okolina

- funkcija digitalnog sustava u stvarnom svijetu  
~ unos i obrada *podataka*, vraćanje rezultata:
  - podaci ~ *brojevi*
  - obrađuju se u *diskretnim* koracima,  
u skladu s nekim algoritmom
- stvarni svijet ~ okolina digitalnog sustava:
  - (fizikalne) *veliĉine*  
~ *mjerljiva* obilježja koja karakteriziraju opažanja  
pojava u stvarnom svijetu
  - mahom *kontinuirane* (vremenski i prostorno)
  - izmjerena vrijednost neke veliĉine ~ *podatak*



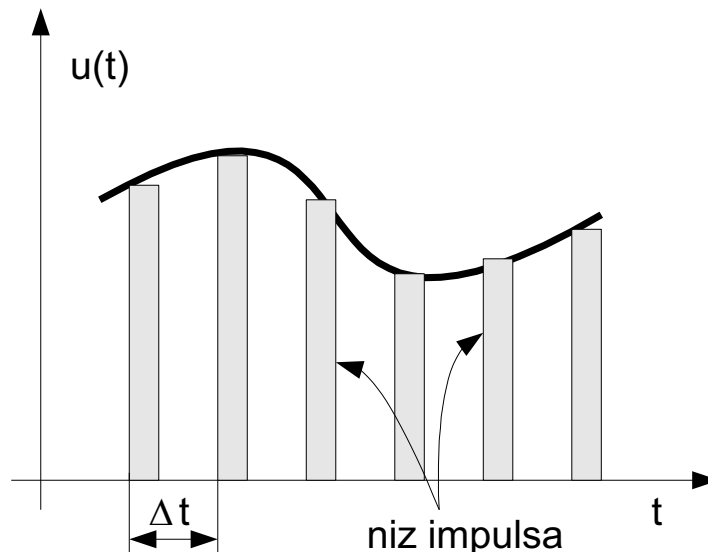
# Digitalni sustav i analogna okolina

- "usklađivanje" (kontinuiranih) fizikalnih veličina iz stvarnog svijeta i podataka iz digitalnih sustava  
~ *pretvorba* putem *električke* veličine *analogne* mjerenoj fizikalnoj veličini:
  - "analogna" veličina mahom *napon*  
~ *analogni* napon



# Digitalni sustav i analogna okolina

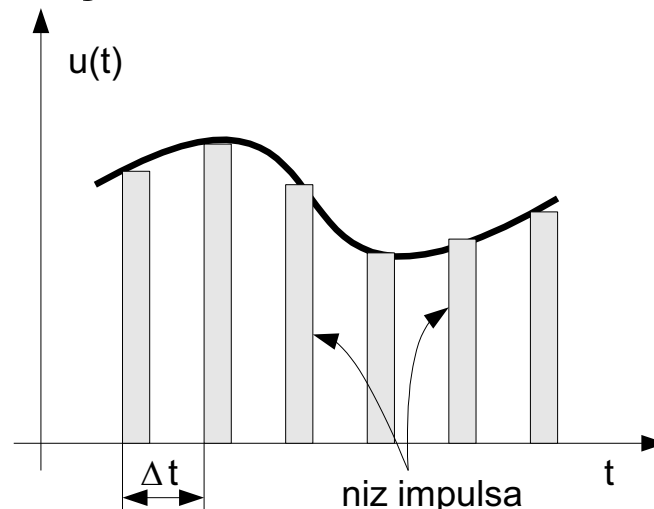
- informacija o ponašanju kontinuirane veličine:
  - *uzimanje uzoraka* amplitude analognog napona (*uzorkovanje*, engl. sampling)
  - *uzorkovanje u jednakim vremenskim razmacima* ~ diskretizacija po vremenu





# Digitalni sustav i analogna okolina

- *Shannonov teorem uzorkovanja* (1949.): informacija će biti očuvana ako se uzorci uzimaju u diskretnim intervalima  $\Delta t$ , tako da je  $\Delta t \leq 1/(2 f_g)$ 
  - *Fourierov razvoj* u red sinusoidalnih funkcija
  - $f_g$ : gornja granična frekvencija spektra valnog oblika ("signala") iz kojeg se uzimaju uzorci
  - vremenski diskretan *analogni* prikaz

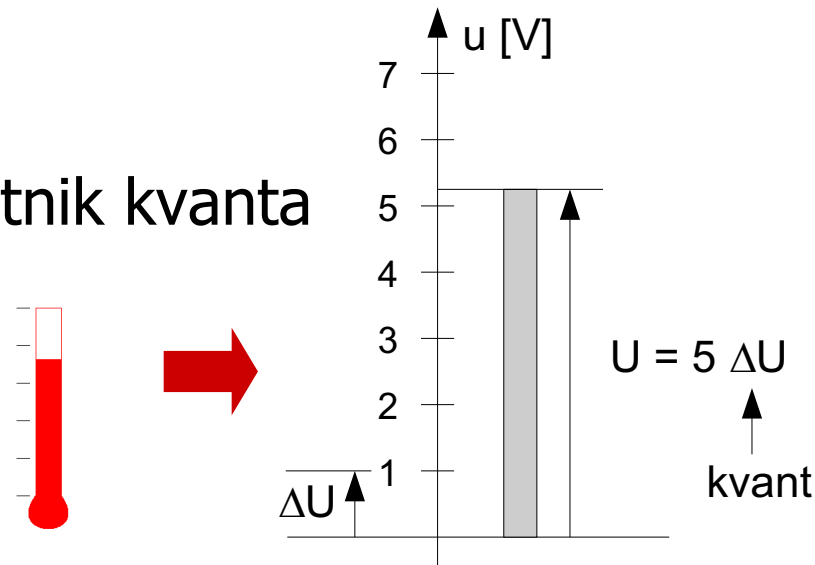


# Digitalni sustav i analogna okolina

- analogni oblik  $\rightarrow$  digitalni oblik:  
analogno-digitalna *pretvorba*  
(engl. analog-to-digital conversion, ADC) napona

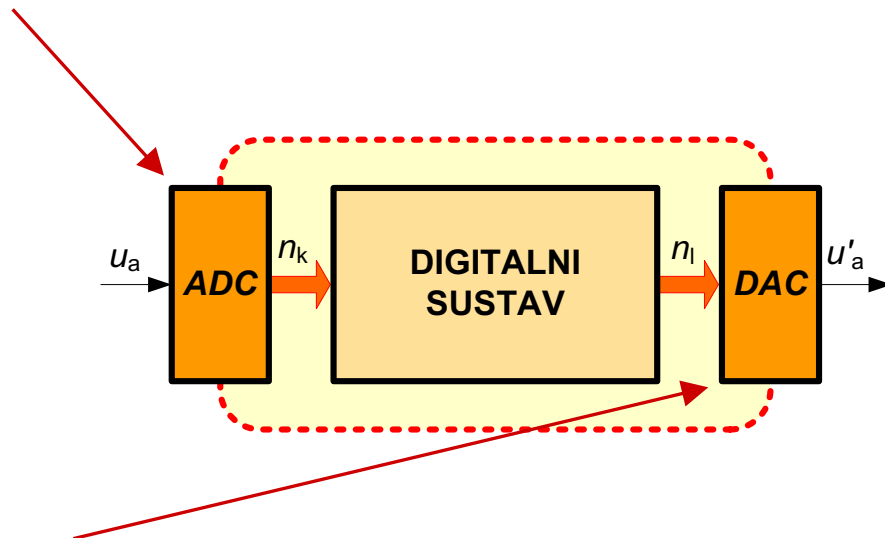


- diskretizacija po amplitudi  
 $\sim$  proces *kvantizacije* (dobivanje brojeva)
- *kvant*  $\sim$  jedinica mjere
- pogreška kvantizacije:
  - najbliži cjelobrojni višekratnik kvanta
  - manji kvanti?



# Digitalni sustav i analogna okolina

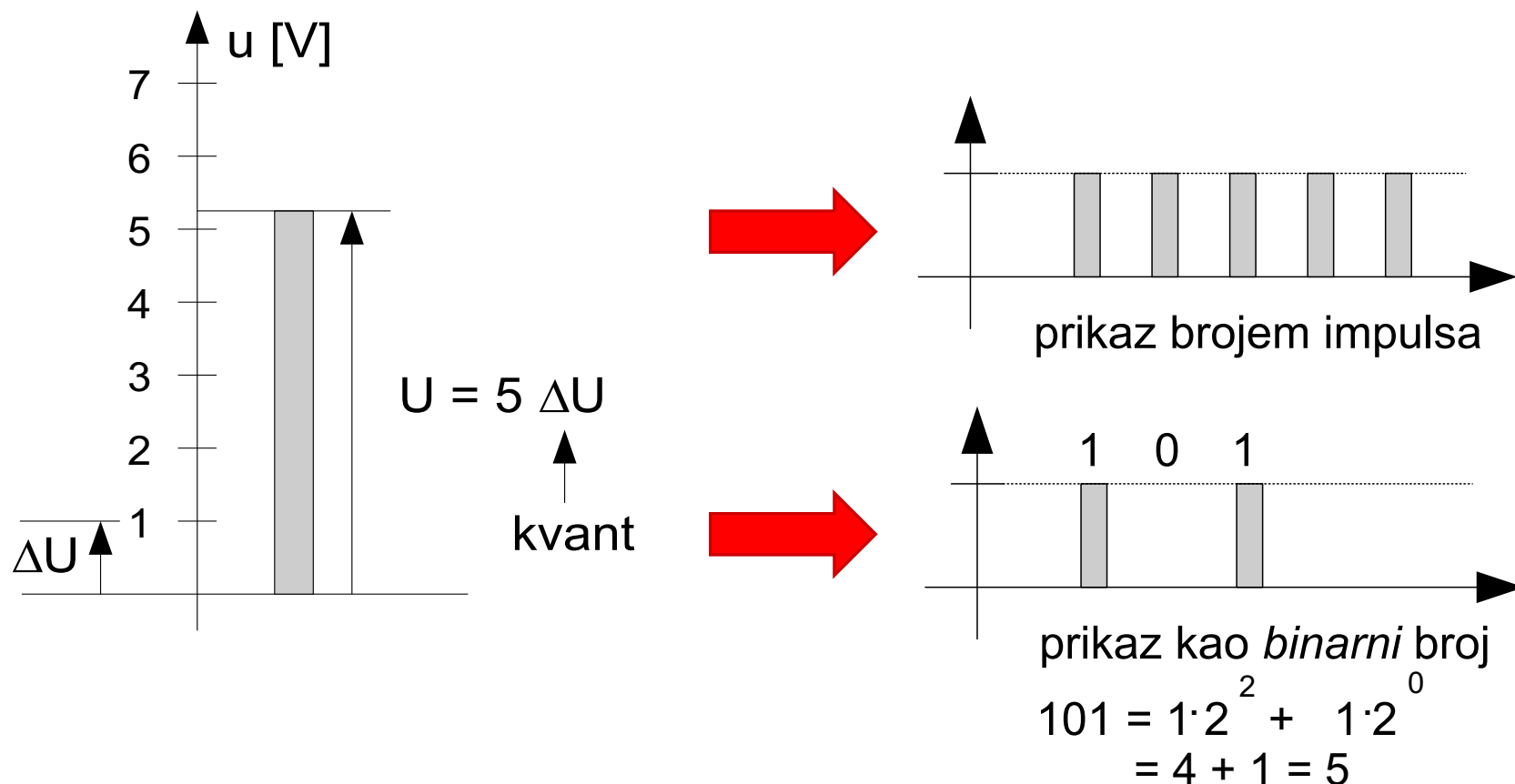
- ADC na *ulazu* digitalnog sklopa



- DAC na *izlazu* digitalnog sklopa

# Digitalni sustav i analogna okolina

- prikaz broja kvanata





# Prednosti digitalnog prikaza i obrade

- prikazivanje podataka diskretnim električkim signalima (impulsima), mahom *naponskima*
- informacija nije sadržana u amplitudi nego u prisutnosti/neprisutnosti impulsa
- manja podložnost smetnjama, veća pouzdanost
- objedinjeni prikaz i obrada numeričkih i nenumeričkih (simboličkih) veličina
- točnost ovisi o *broju* bitova (brojnih mjesta kojim prikazujemo podatke)



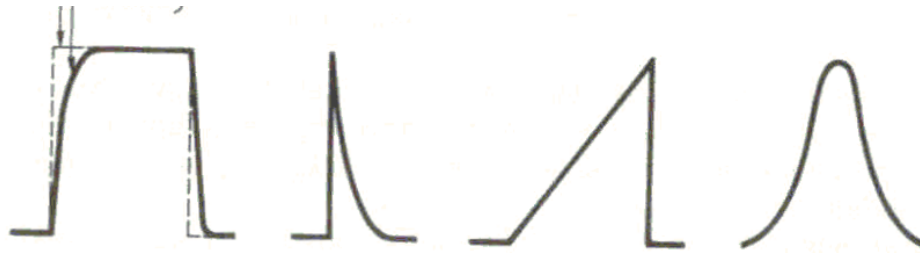
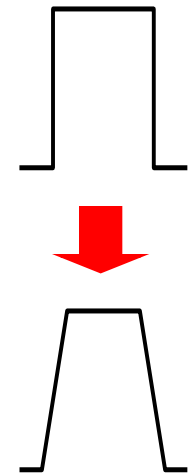
# Sadržaj predavanja

---

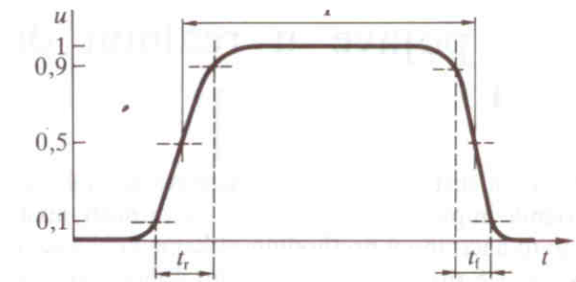
- osnovna struktura digitalnog sustava
- binarno zapisivanje podataka
- predstavljanje binarnih podataka električnim veličinama
- prijenos binarnih podataka
- digitalni sustav i analogna okolina
- **problemi elektroničke implementacije**

# Problemi elektroničke implementacije

- tok podataka u digitalnom sustavu  
~ niz pravokutnih naponskih impulsa
- u realnim uvjetima električki impulsi  
*nisu idealno* pravokutni  
⇒ *impulsna elektronika*

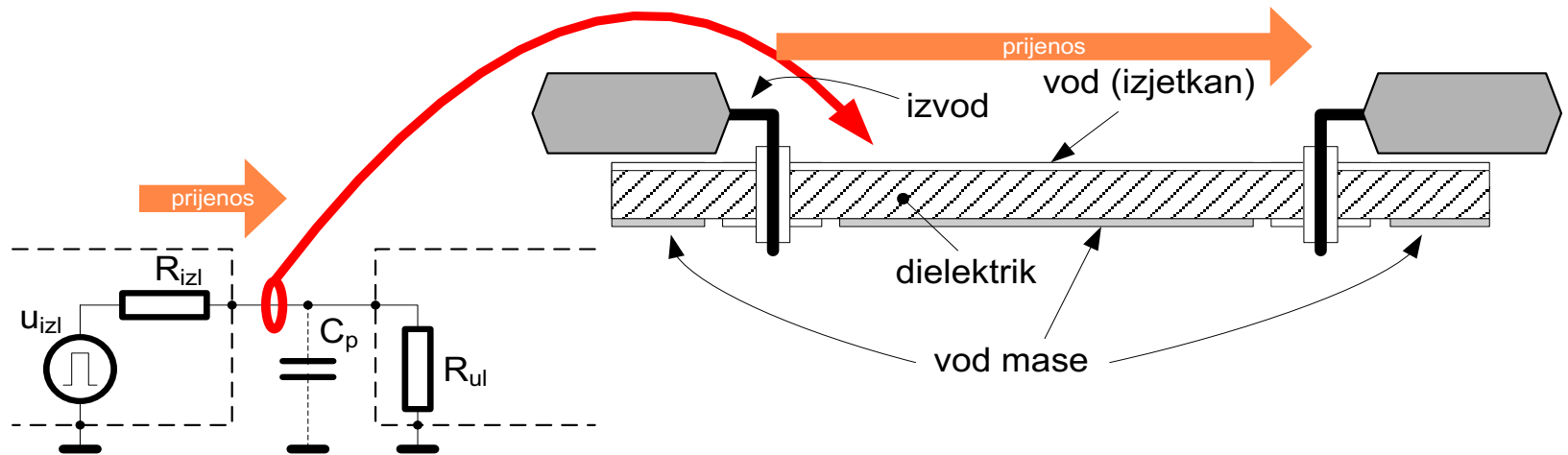


- djelovanje parazitnih kapacitivnosti  
~ izobličenje (prva aproksimacija:  
trapezni oblik!)



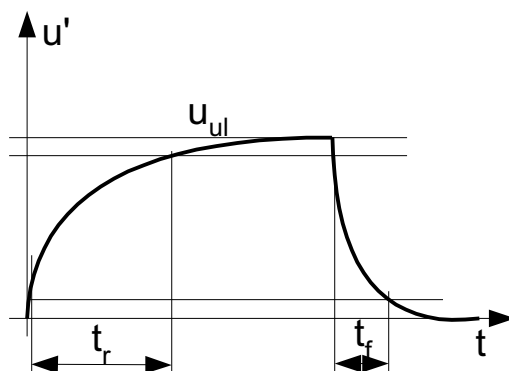
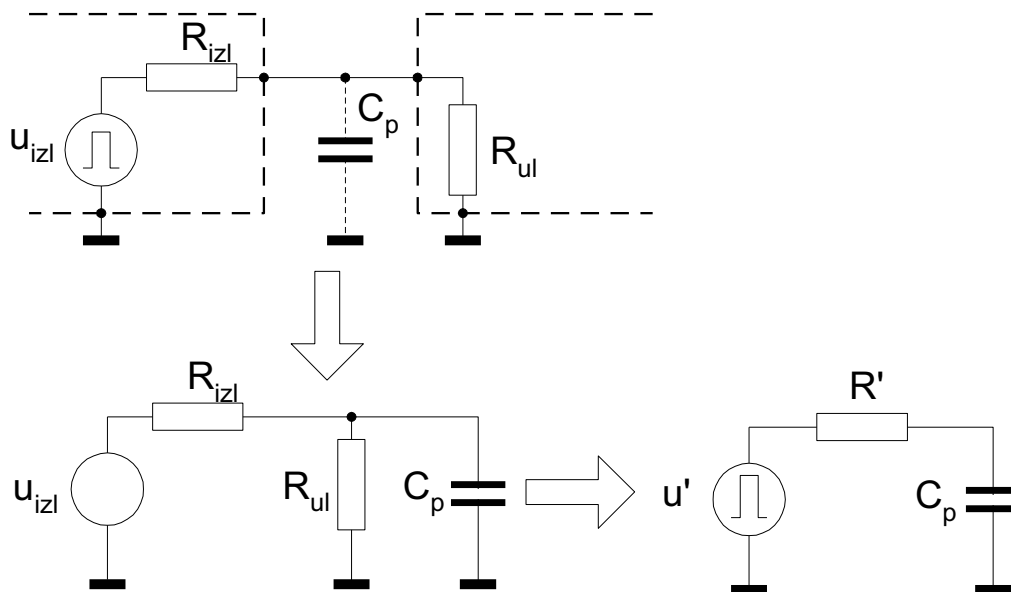
# Parazitne kapacitivnosti

- tipični uzrok izobličenja impulsa  
~ djelovanje *parazitnih* kapacitivnosti  
između voda signala i mase





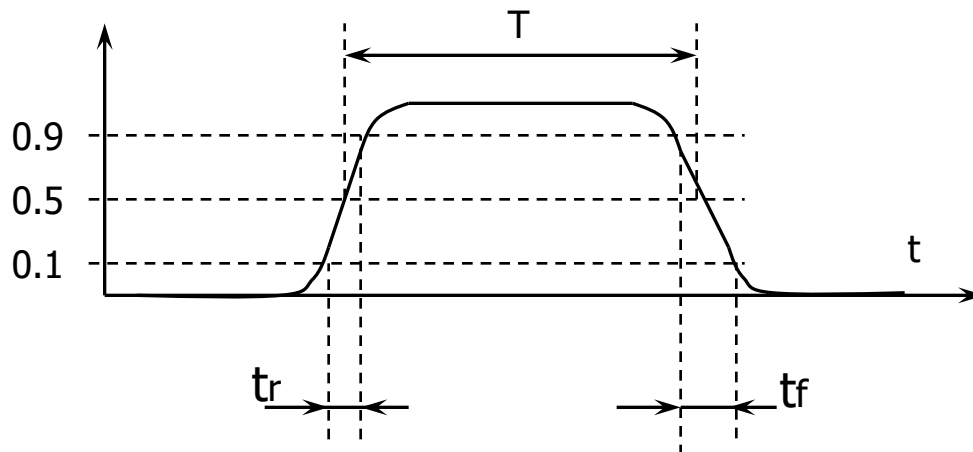
# Parazitne kapacitivnosti



$$u_{ul} = U f(e^{-t/\tau})$$
$$\tau = R' C_p$$

# Parametri impulsa

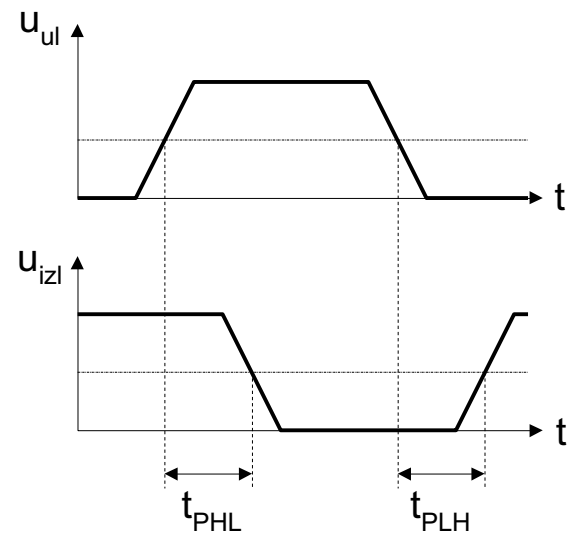
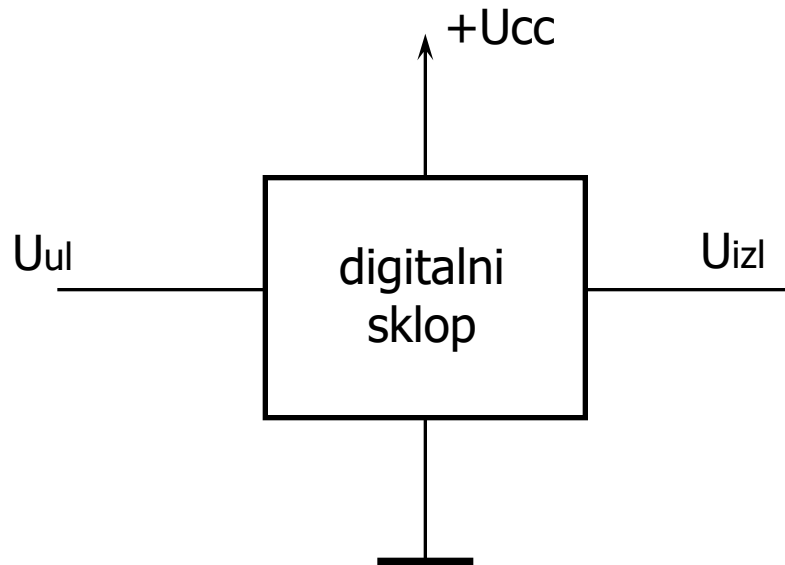
- vrijeme porasta  $t_r$
- vrijeme pada  $t_f$
- vrijeme trajanja  $T$



- povećanje frekvencije impulsa:
  - skraćenje vremena  $t_r$ ,  $t_f$  i  $T$
  - "spori" i "brzi" impulsi

# Vrijeme kašnjenja

- na ulaz digitalnog sklopa dovode se električki impulsi (signali) koji uzrokuju električnu promjenu na izlazu
- pri prolazu kroz sklopovlje impulsima je potrebno neko vrijeme





# Vrijeme kašnjenja

---

- vrijeme kašnjenja sklopa  $t_d$ 
  - vrijeme od polovice promjene ulaznog napona do polovice promjene izlaznog napona
- važan parametar:  
pri prolazu kroz više sklopova vrijeme kašnjenja se akumulira, što može dovesti do pogrešaka u radu sustava
- uz statičku potrebna i *dinamička* analiza rada sklopovlja

U. Peruško, V. Glavinić: *Digitalni sustavi*, Poglavlje 1:  
Digitalni sustavi i obrada podataka; str. 13-29