



Sveprisutno računarstvo

3. Izlaz

- Ulazno-izlazni pinovi
- PWM
- PID upravljač

Creative Commons



[Sveprisutno računarstvo](#) by Hrvoje Mlinarić & Igor Čavrak, FER
is licensed under [CC BY-NC-SA 4.0](#)

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

This license requires that reusers give credit to the creator.

It allows reusers to distribute, remix, adapt, and build upon the material in any medium or format, for noncommercial purposes only.

If others modify or adapt the material, they must license the modified material under identical terms.

BY: Credit must be given to you, the creator.

NC: Only noncommercial use of your work is permitted.

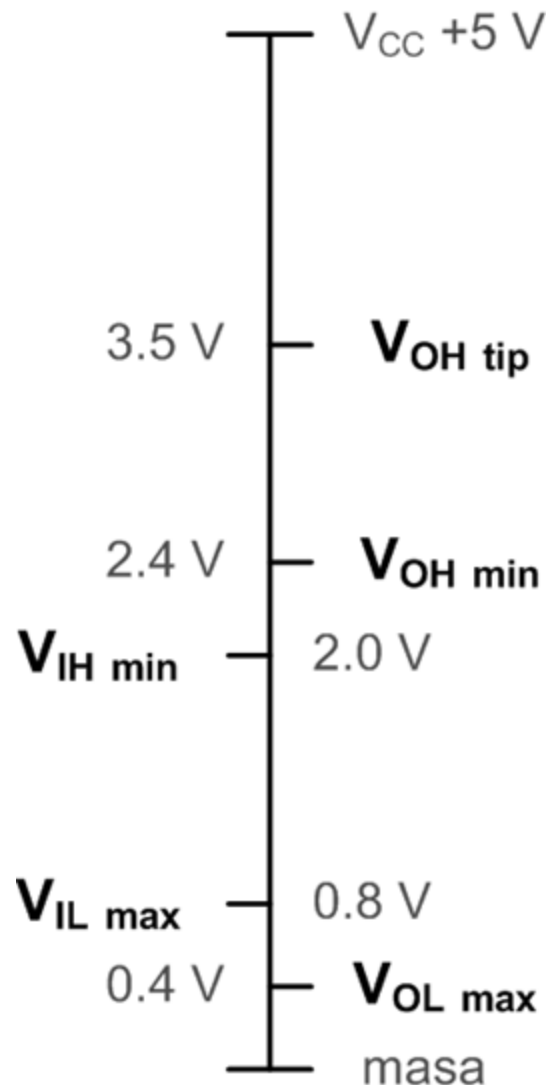
SA: Adaptations must be shared under the same terms.



Ulazno-izlazni pinovi

- Naziv TTL često se koristi dvojako:
 - označava klasu integriranih sklopova
 - označava naponske razine (kompatibilne s TTL logičkim razinama) sklopova koji nisu TTL
- Nekad – gradivni blok procesora
- Danas – povezni sklopovi (*glue logic*) visoko integriranih komponenata

- Razvoj od početka 60-ih do danas
 - zadnje poboljšanje 1985-e
 - 74AS/ALS (Advanced Schottky)
 - čak i danas dostupne i starije inačice
- Obitelj Texas Instruments 7400 je industrijska norma:
 - drugi proizvođači proizvode kompatibilne sklopove
 - proizvode se kompatibilni sklopovi ostvareni pomoću drugih tehnologija
 - npr. serija 74HCT00 je CMOS zamjena za 7400

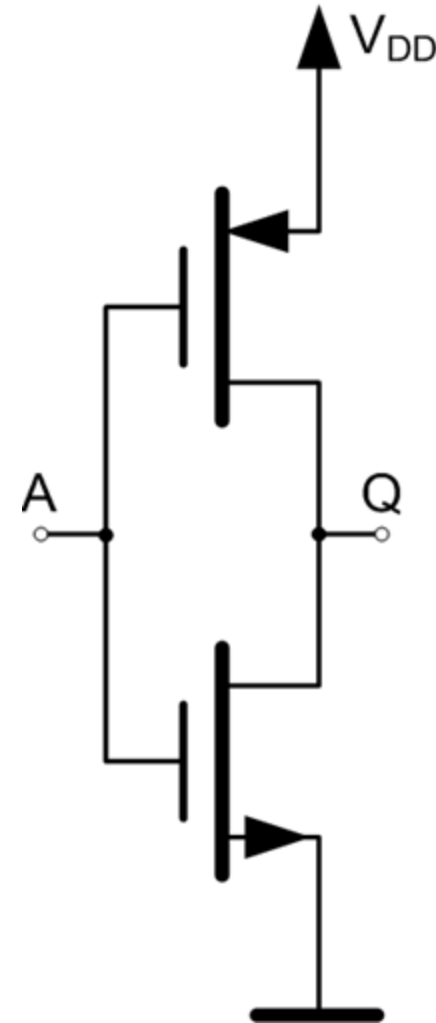


- $V_{OH\text{ min}}$ = minimalni izlazni napon visoke logičke razine
 - sklop mora dati visoku razinu od najmanje 2.4 V uz struju od 0.4 mA
- $V_{OL\text{ max}}$ = maksimalni izlazni napon niske logičke razine
 - sklop ne smije dati više od 0.4 V na izlazu uz opterećenje do 16 mA
- $V_{IH\text{ min}}$ = minimalni ulazni napon visoke logičke razine
 - sklop mora prepoznati 2.0 ili više volti kao visoku logičku razinu, i ne vući struju više od 0.04 mA
- $V_{IL\text{ max}}$ = maksimalni ulazni napon niske logičke razine
 - sklop mora prepoznati 0.8 V kao nisku logičku razinu i ne vući struju više od 1.6 mA

- Napajanje = 5 V
- Uvijek teče mala struja nužna za održavanje ispravne logičke razine
 - donja granica minimalne potrošnje – visoka!
- Potrošnja ne raste tako brzo s frekvencijom kao kod CMOS-a

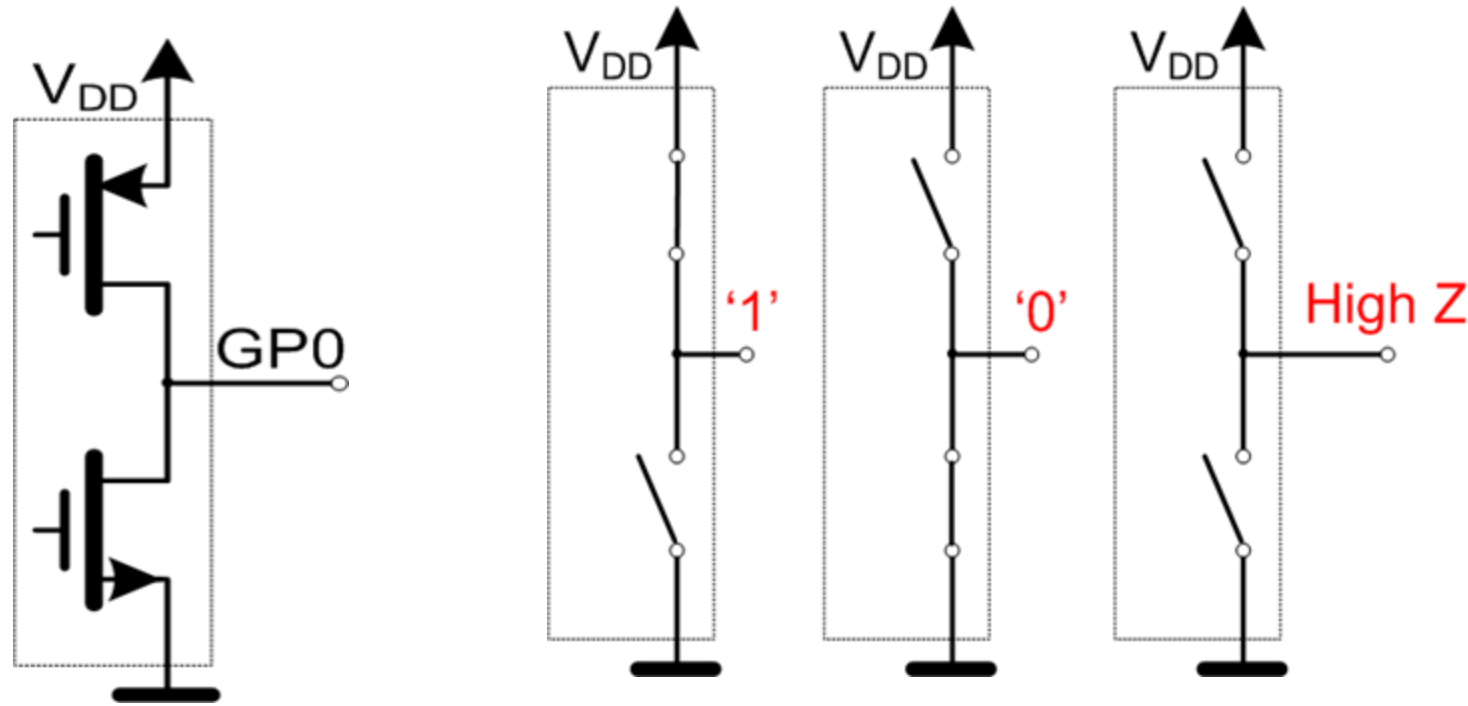
CMOS

- Povijest – novi tip tranzistora je jeftiniji za izradu i lakši za integraciju (od bipolarnih)
 - P-MOS
 - N-MOS
- Brzi razvoj mikroprocesora potiče razvoj MOSFET-a
- Osnovni razlog uspjeha MOSFET-a je CMOS logika
 - C-MOS
- Upareni komplementarni i simetrični p- i n-kanalni MOSFE tranzistori
- Prednosti
 - otpornost na smetnje
 - brzi simetričan odziv
 - mala statička potrošnja
 - struja teče jedino pri promjeni stanja
 - manje zagrijavanje
 - brzina



Tri stanja

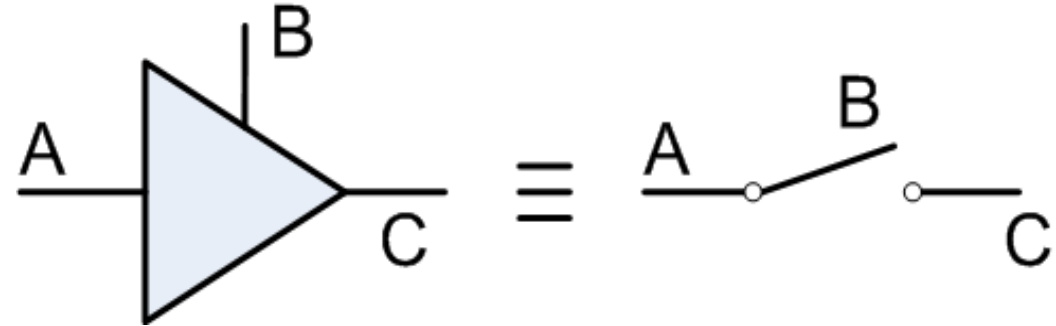
- Jedan pin ulazno-izlaznog porta mikrokontrolera možemo pojednostavljeno predstaviti:



- "Sklopke" mogu spojiti pin na visoku razinu, nisku razinu ili ga držati odspojenim - u visokoj impedanciji

Međusklop s tri stanja

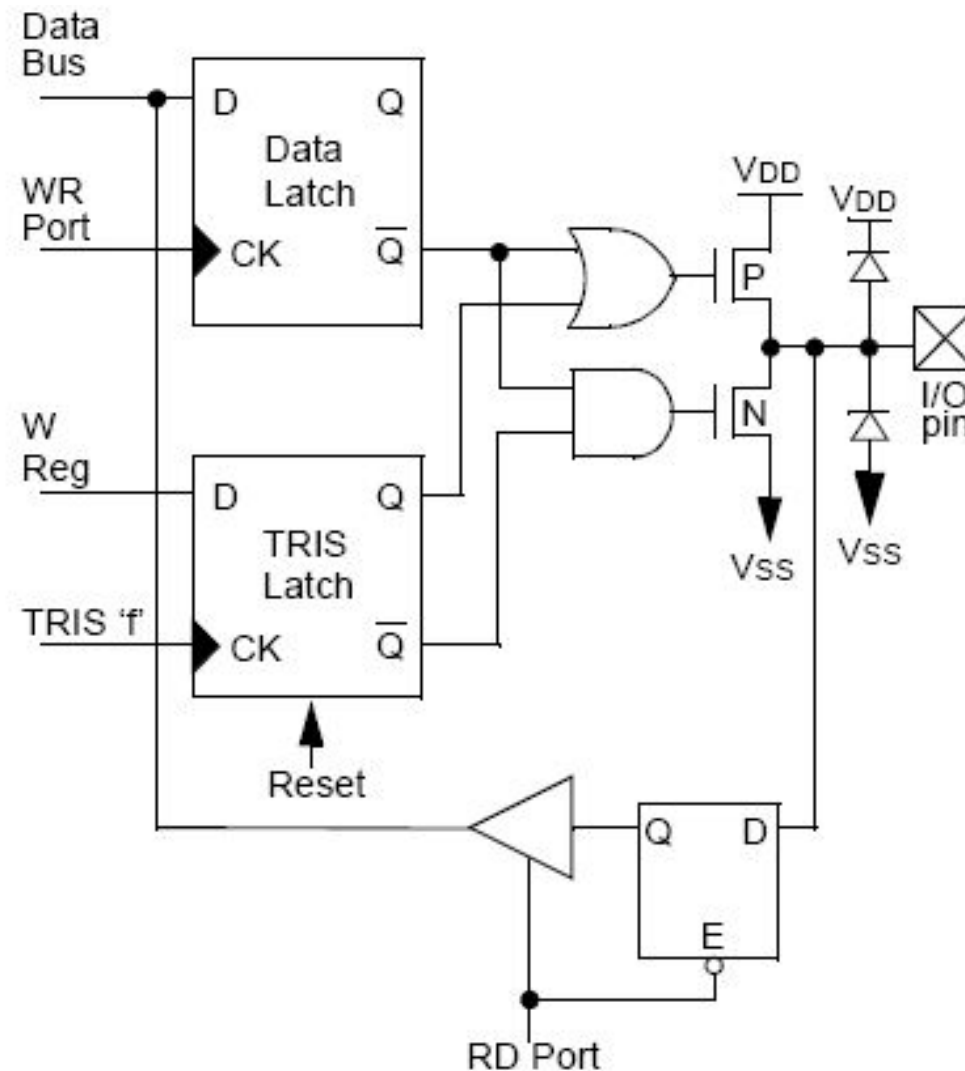
- Međusklop s tri stanja
- Omogućuje komunikaciju zajedničkom sabirnicom
 - neaktivan uređaj postavlja svoj izlaz u stanje visoke impedancije



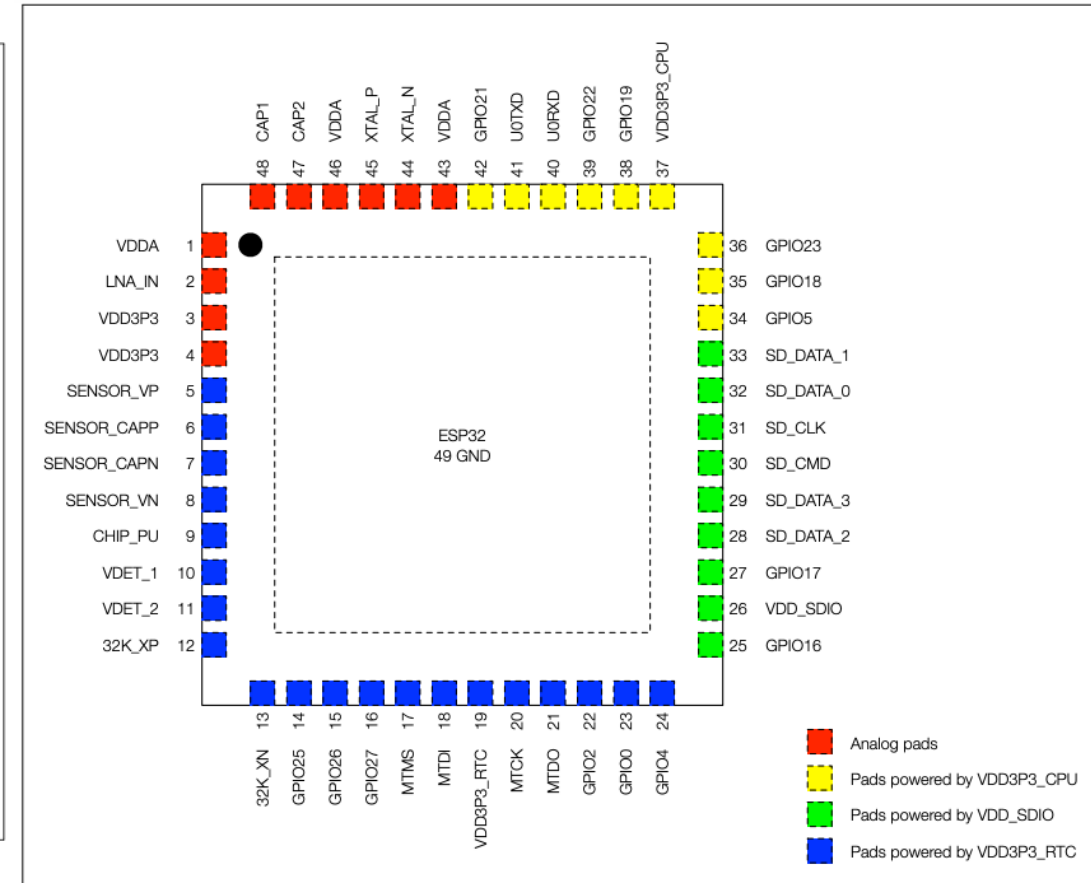
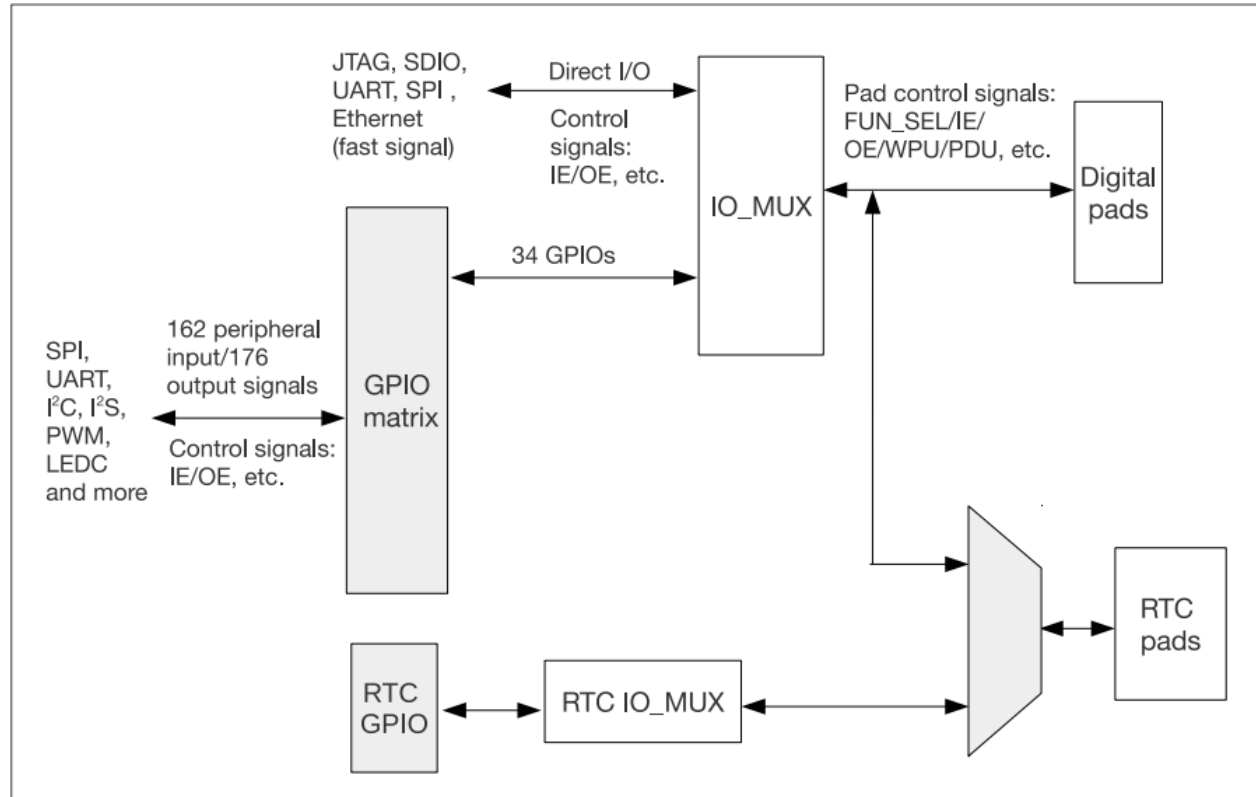
ulaz		izlaz
A	B	C
0	0	Z
0	1	0
1	0	Z
1	1	1

GPIO pinovi – ulazno/izlazni

- Primjer PIC18 GPIO pina
- Ograničenja:
 - 25mA po pinu
 - 125mA po GPIO portu



GPIO ESP32 - multipleksiranje



▪ Ograničenja:

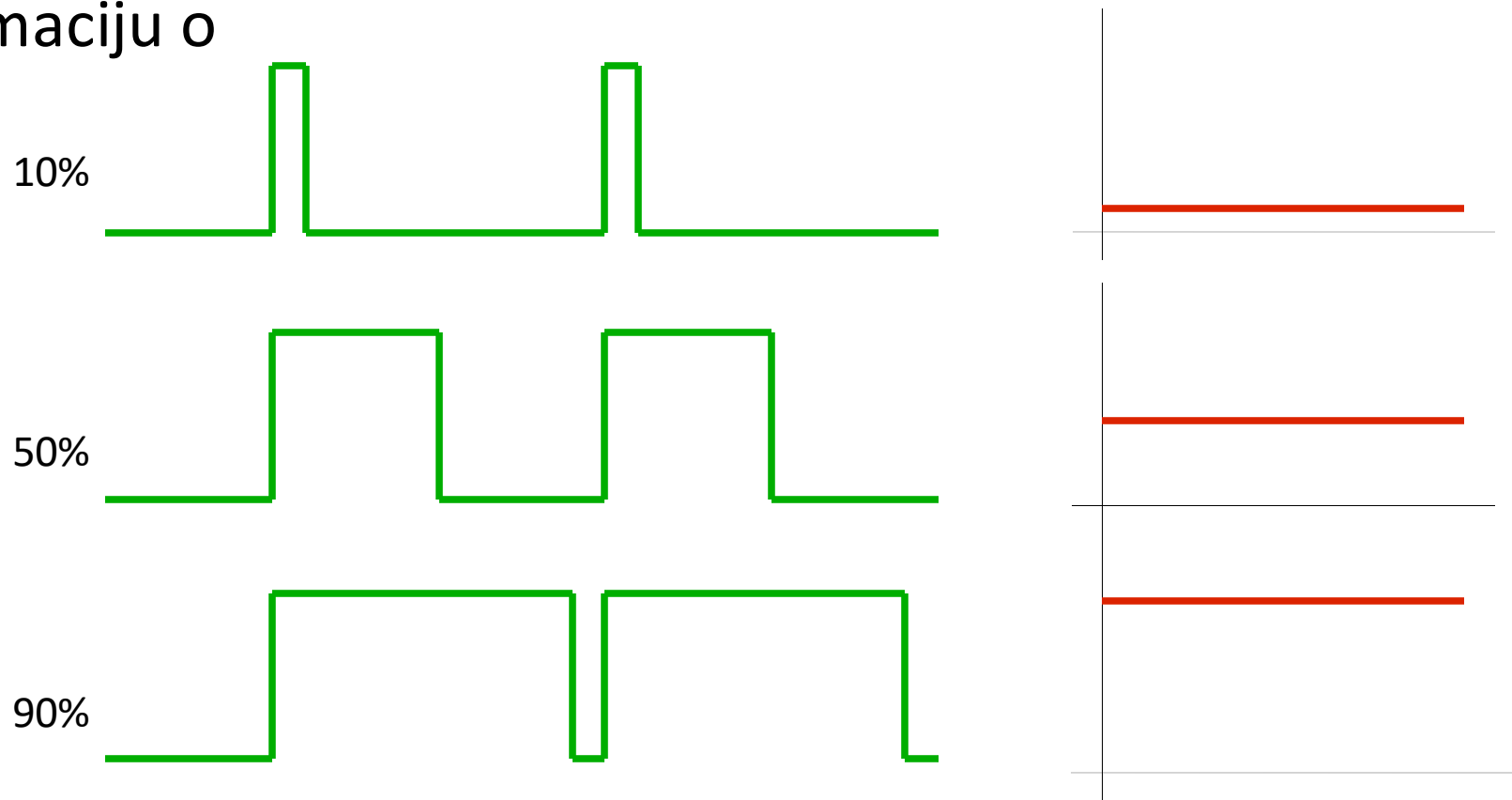
- 40mA izlazna po pinu (*source*)
- 28mA ulazna po pinu (*sink*)
- 1200mA za čitavi ESP32
- Uobičajeni napon: 3.3V



Pulsno-širinska modulacija

Pulsno-širinska modulacija (PŠM)

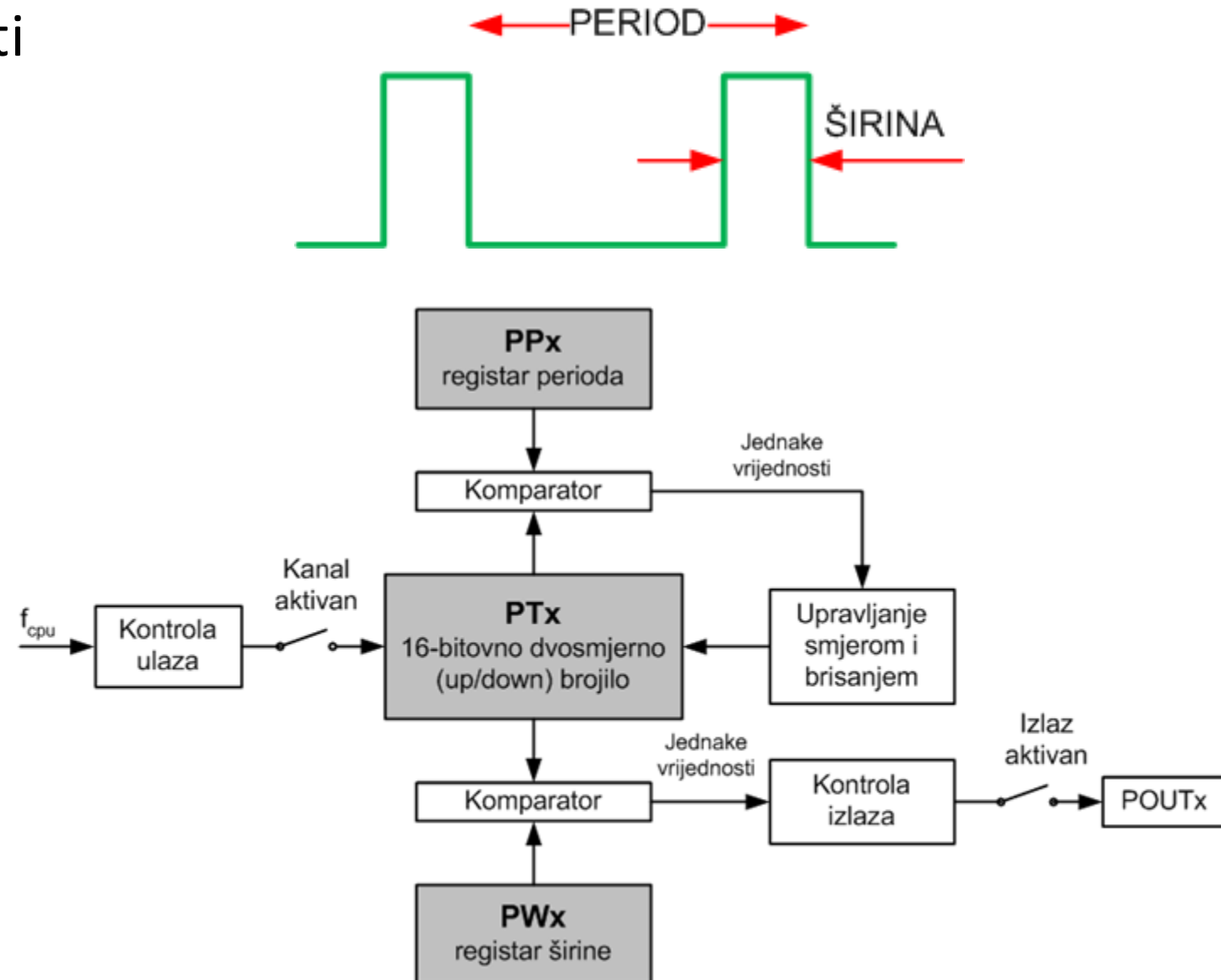
- Pulse Width Modulation (PWM)
- Širina impulsa sadrži informaciju o amplitudi izlaznog signala



Grada PWM-a

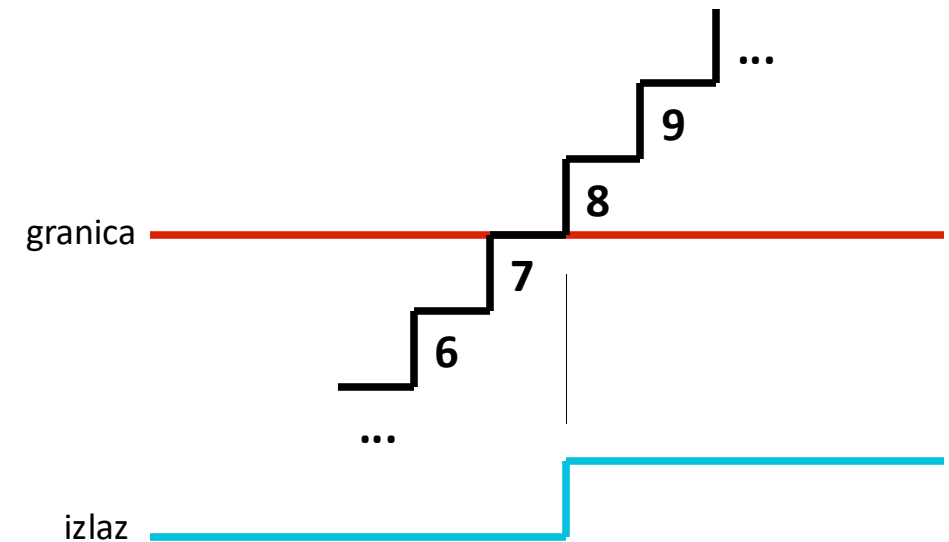
- Primjer: FRISC - osnovni elementi

- Brojilo
- Komparatori
- Registri
 - Period signala
 - Širina signala



Osnovni način rada PWM-a

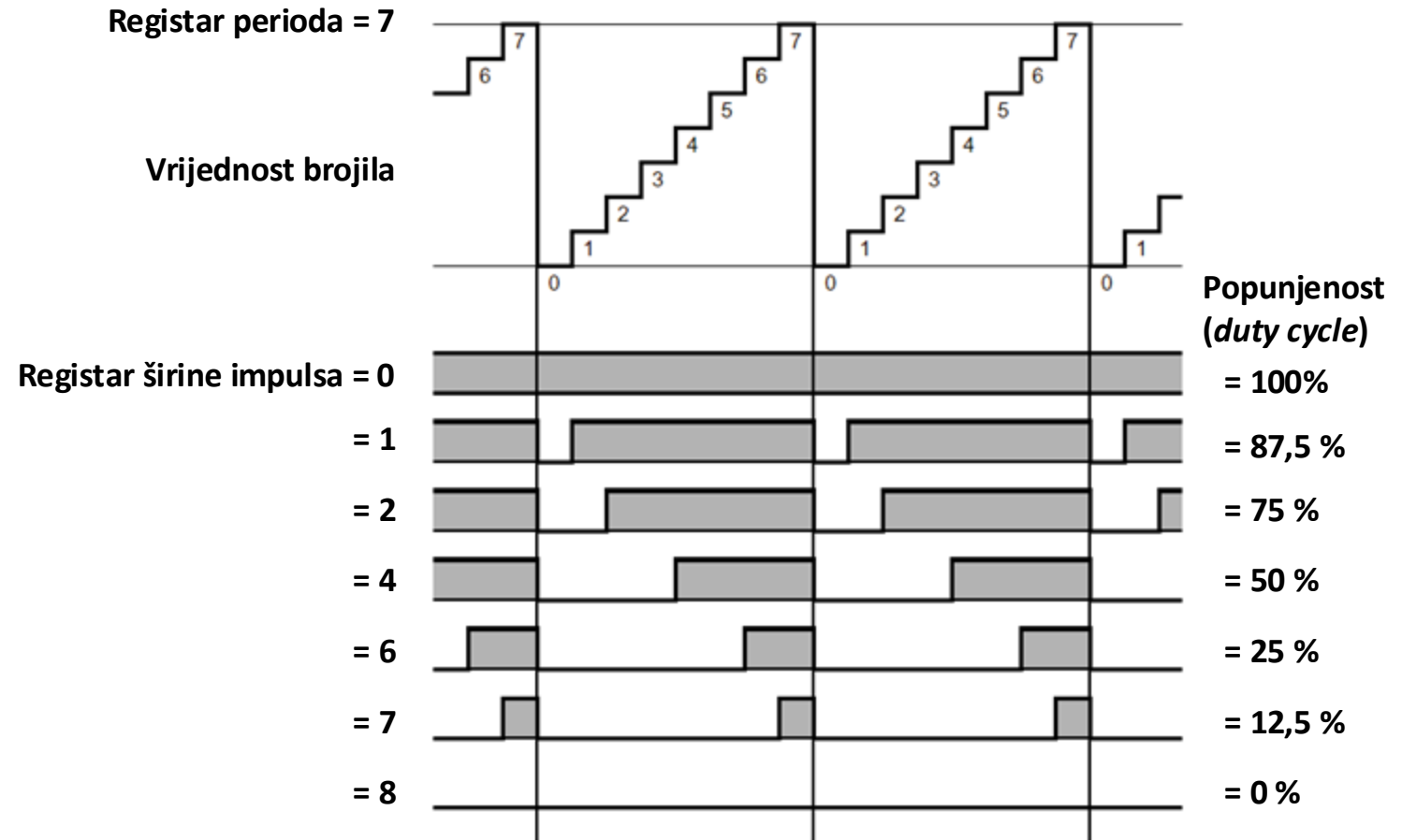
- Brojilo broji impulse prema gore ili dolje
- Komparator uspoređuje vrijednost brojila i vrijednost registra širine
 - Usporedba može biti $=$, \geq , $>$
- Komparator određuje treba li uključiti izlaz modulatora
- Vrijednost registra širine je granična vrijednost brojila koja uključuje izlaz



PWM signal - asimetričan

- Asimetrični signal

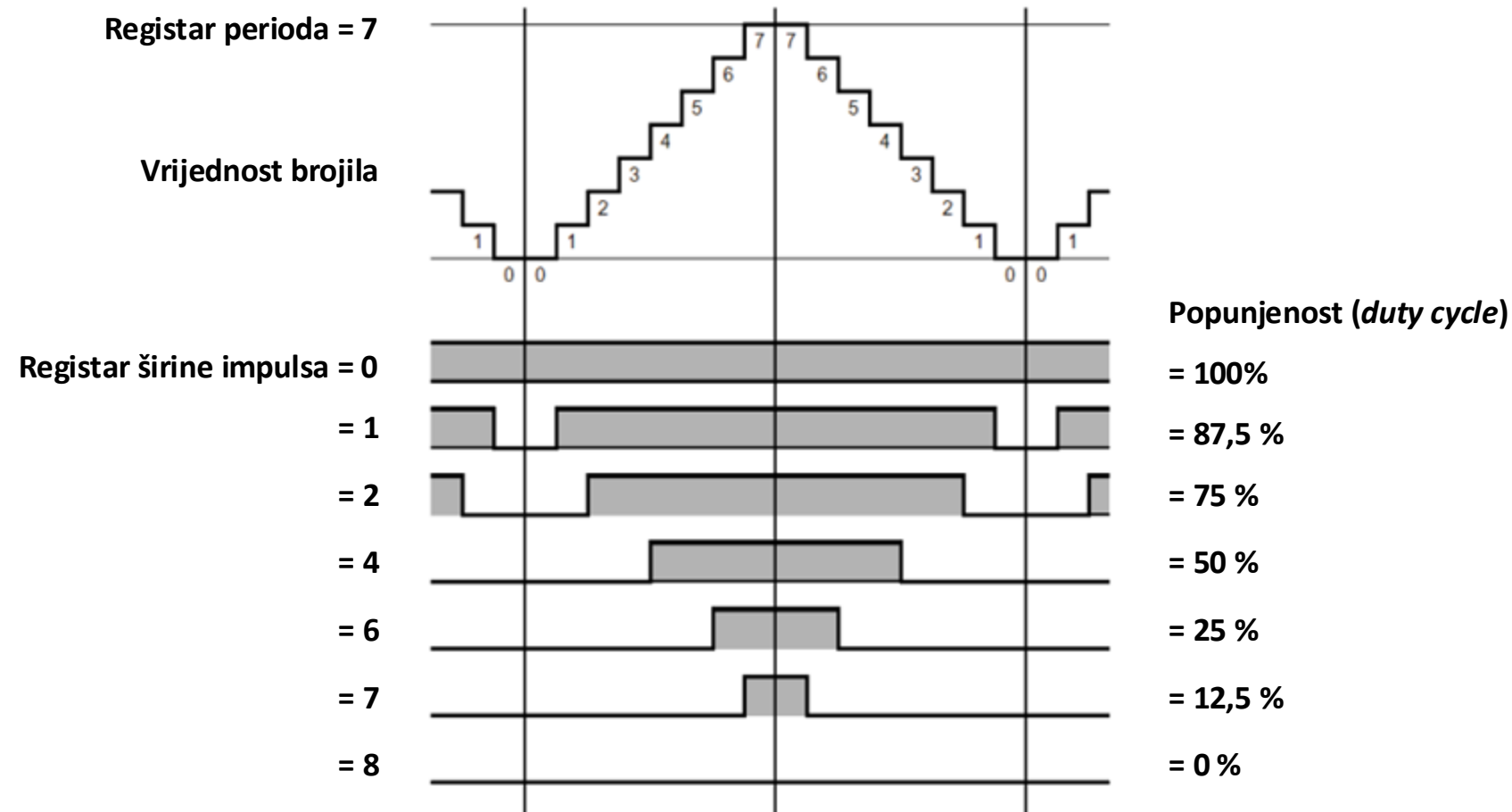
- Brojilo broji prema gore, kad izbroji, kreće od nule



PWM signal - simetričan

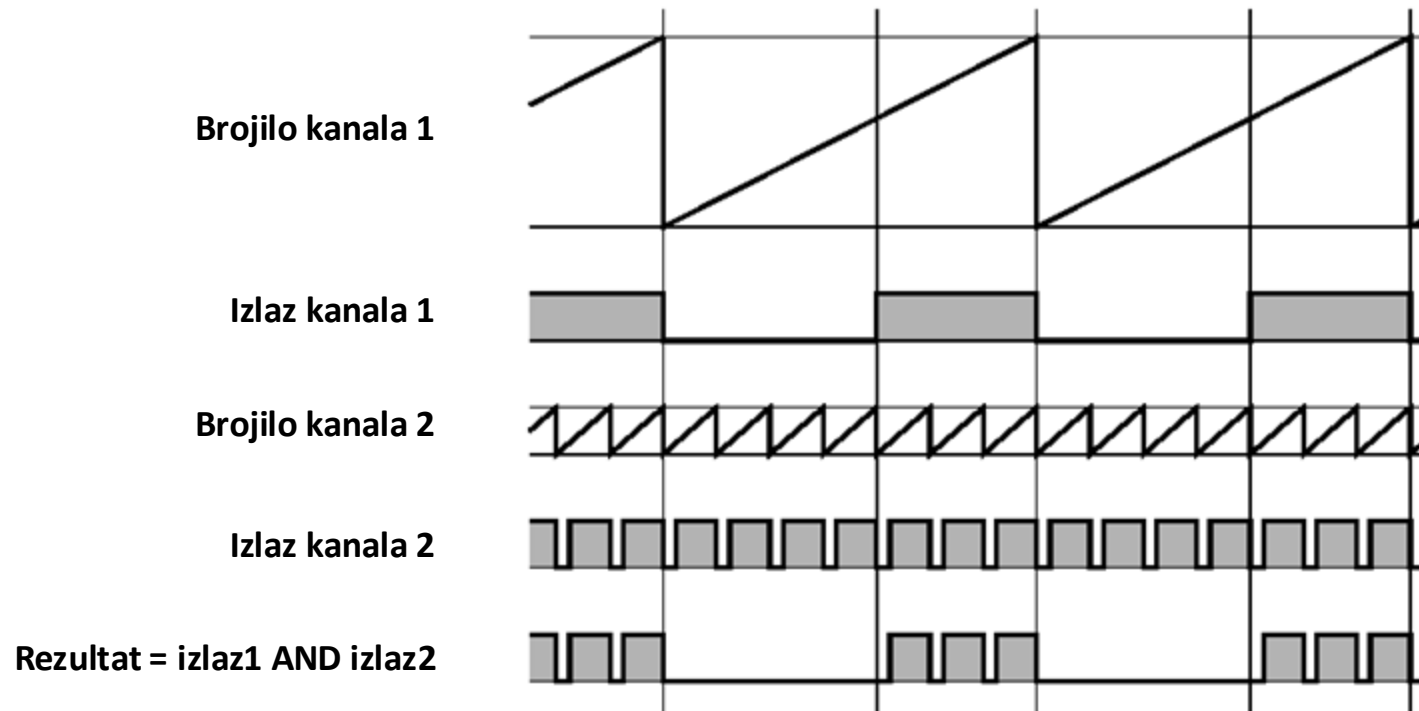
- Simetrični signal

- Brojilo broji prema gore, kad izbroji, nastavlja prema dolje (prema nuli)



PWM signal - kombinirani

- Neki uređaji imaju mogućnost kombinacije više PWM-signalala
- Kombiniranje najčešće logičkom operacijom I (AND)
 - Ekvivalentno *množenju* dvaju signala



Primjena PWM signala

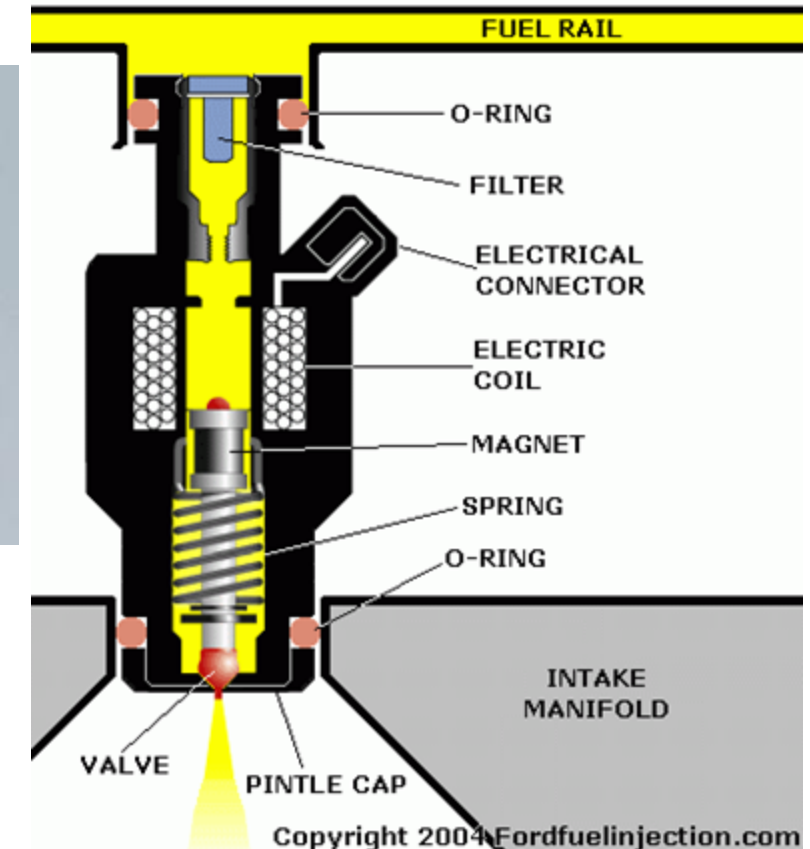
- Vrlo jednostavna izvedba D/A pretvornika
- Izlazni signal je pravokutni
 - Sadrži neparne harmonike

$$x(t) \simeq \sin(\omega t) + \sin(3\omega t) + \sin(5\omega t) + \dots$$

- Filtrima možemo dobiti odgovarajući harmonik
- Integriranjem izlaznog signala (kondenzator) dobijemo srednju vrijednost signala (snagu)
 - Izravno ovisi o faktoru popunjenosti (*duty cycle*)
 - Iskoristivo za upravljanje sustavima čiji učinak ovisi o srednjoj vrijednosti ulaza (snazi)
 - žarulje, dimmeri, istosmjerni motori, zvučnici, ...

Primjena PWM signala

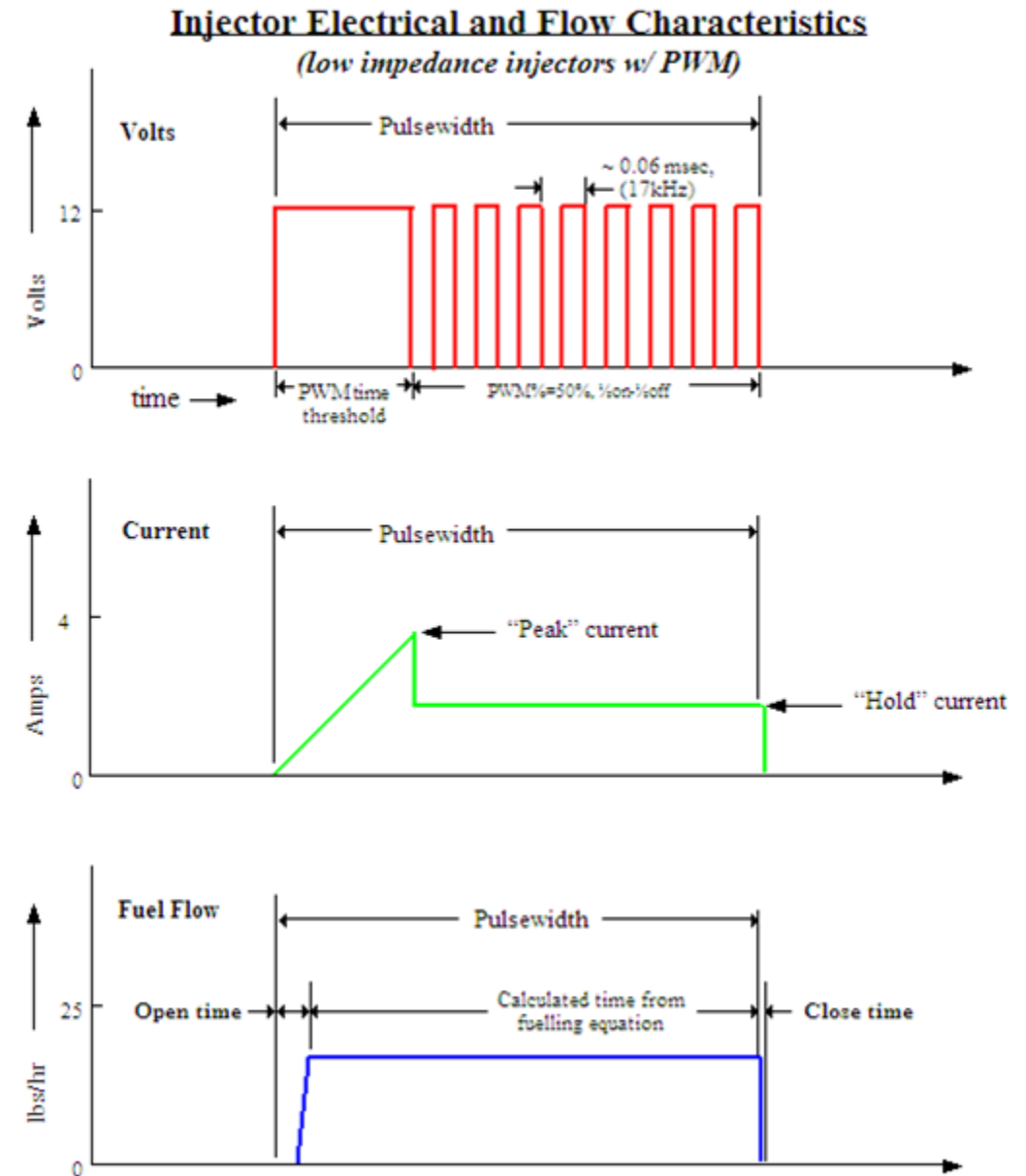
- npr. brizgaljka goriva (fuel injector) u motoru s unutarnjim sagorijevanjem
 - elektroventil
 - normalno zatvoren, u aktivnom stanju zavojnica povuče ventil i gorivo izlazi
- Svojstva:
 - regulacijom struje kroz zavojnicu regulira se stupanj otvorenosti – protok goriva
 - vrijeme otvaranja tipično 1 ms, otpor manji od 3 Ω
- Zahtjevi:
 - čim preciznija regulacija trajanja i stupnja otvorenosti
- Mane:
 - tromost (pogotovo pri otvaranju)
 - mali otpor \rightarrow potrebna velika struja za upravljanje \rightarrow zagrijavanje zavojnice brizgaljke i tranzistora koji upravljaju ventilom
- Koji D/A upotrijebiti?



Primjena PWM signala

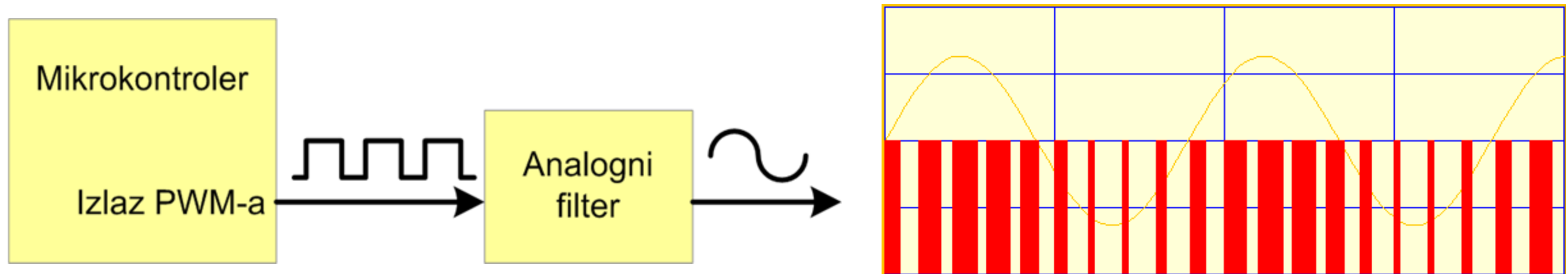
- Koji D/A? – Nijedan!
- Iskoristiti tromost ventila
 - pulsno širinska modulacija
 - "peak and hold"
 - maksimalna struja za čim brže otvaranje
 - regulacija otvorenosti popunjenošću PWM signala
- Prednosti:
 - manja potrošnja i zagrijavanje

Megamanual: Injectors and fuel system, <http://www.megamanual.com/v22manual/minj.htm>



D/A pretvorba pomoću PWM

- Pulsno-širinska modulacija (*pulse-width modulation*, PWM)
 - najjednostavniji način D/A pretvorbe
- PWM generira pravokutni signal stalne frekvencije i promjenjive popunjenosti
 - Ideja - ako generiramo prikladan PWM signal, i filtriramo neželjene frekvencije, možemo dobiti različite valne oblike

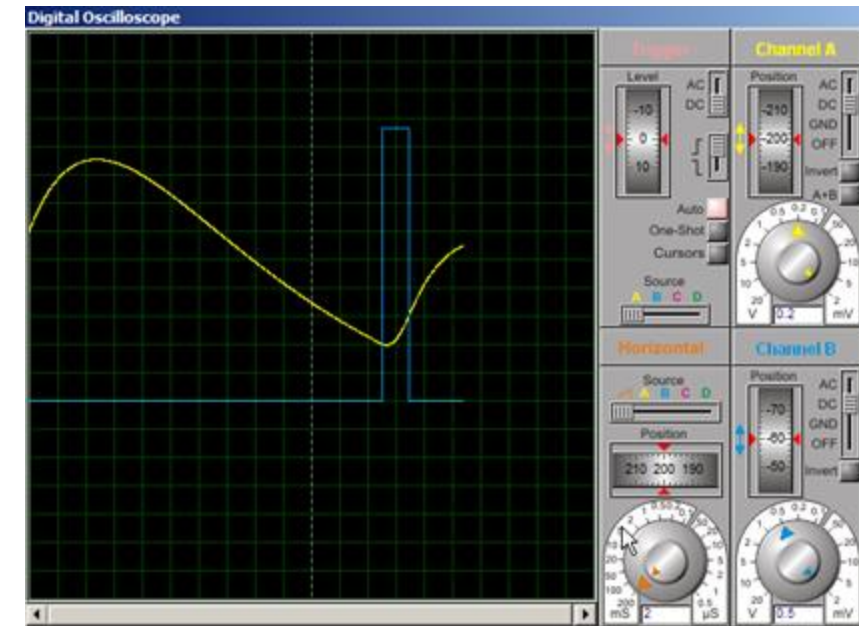
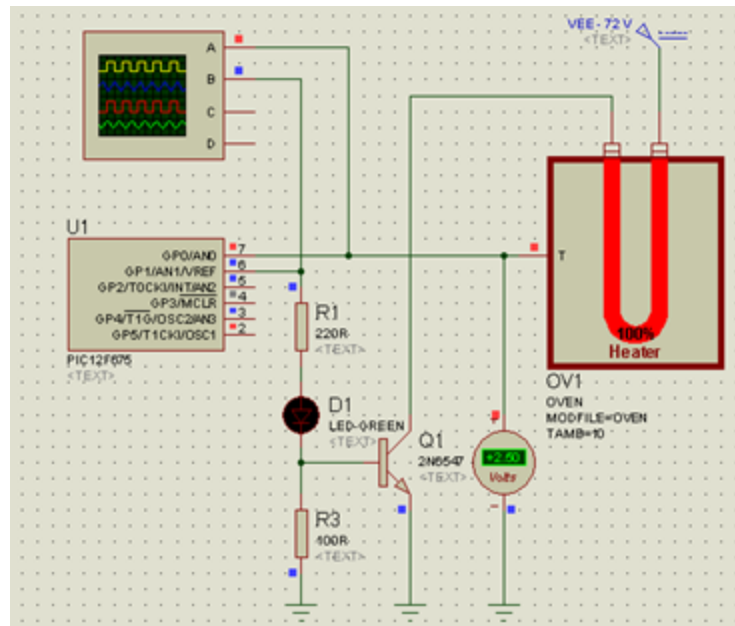
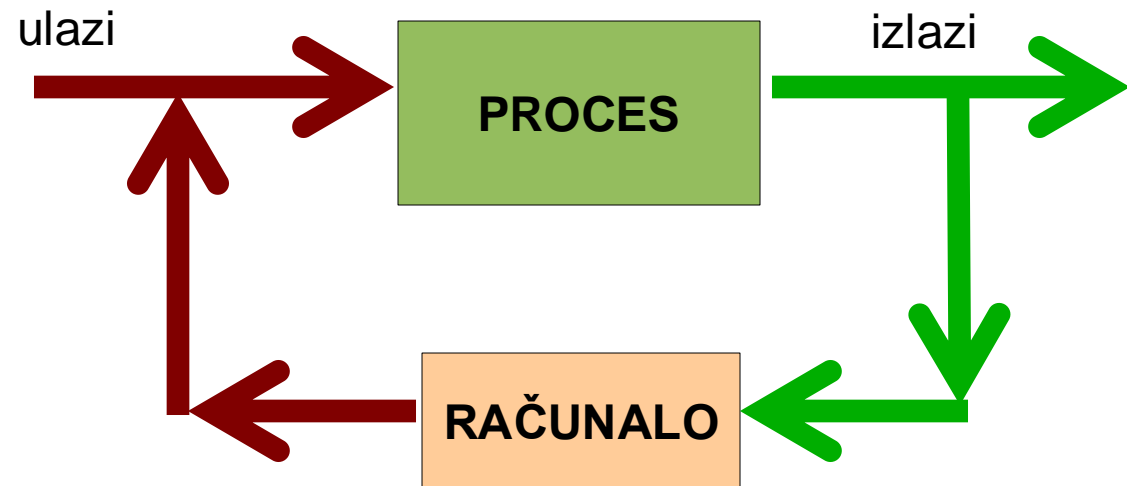




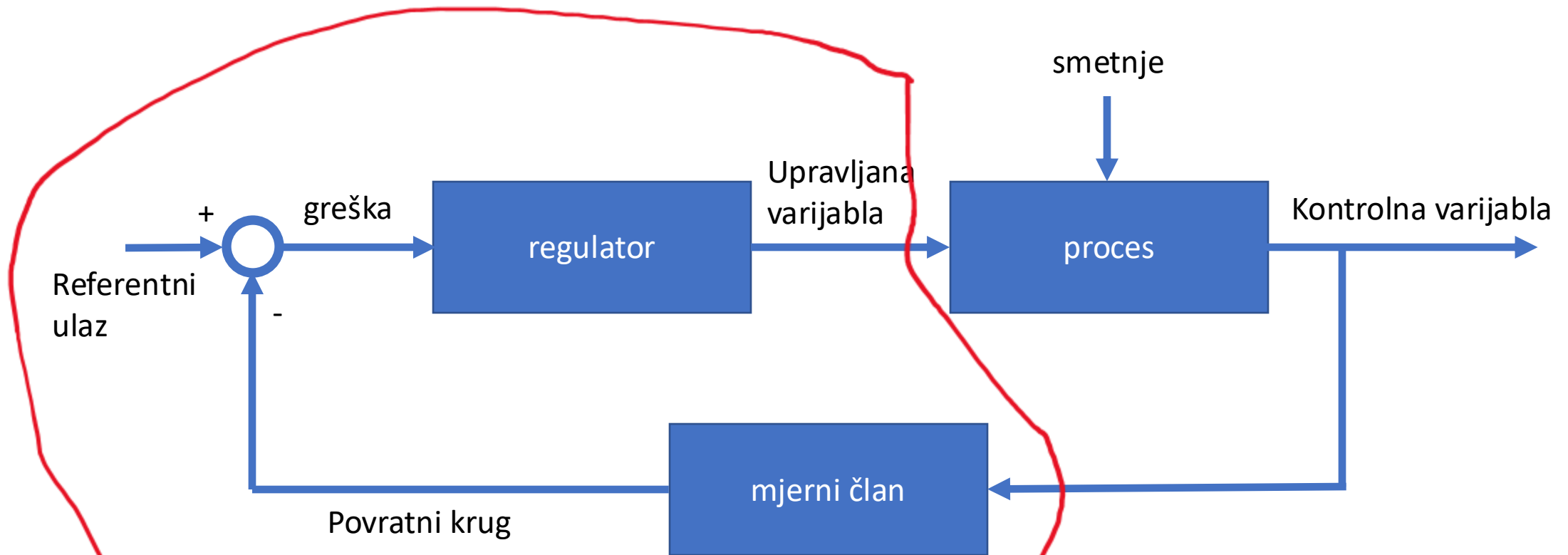
PID upravljač

Spori proces i upravljanje

- Izravno digitalno upravljanje
- Primjer 1: peć
 - Senzor ne reagira trenutno na promjenu mjerene veličine
 - unosi dodatno kašnjenje
 - Proces ne reagira trenutno na ulaz
 - npr. toplinski procesi su obično vrlo spori



Upravljanje u zatvorenom krugu

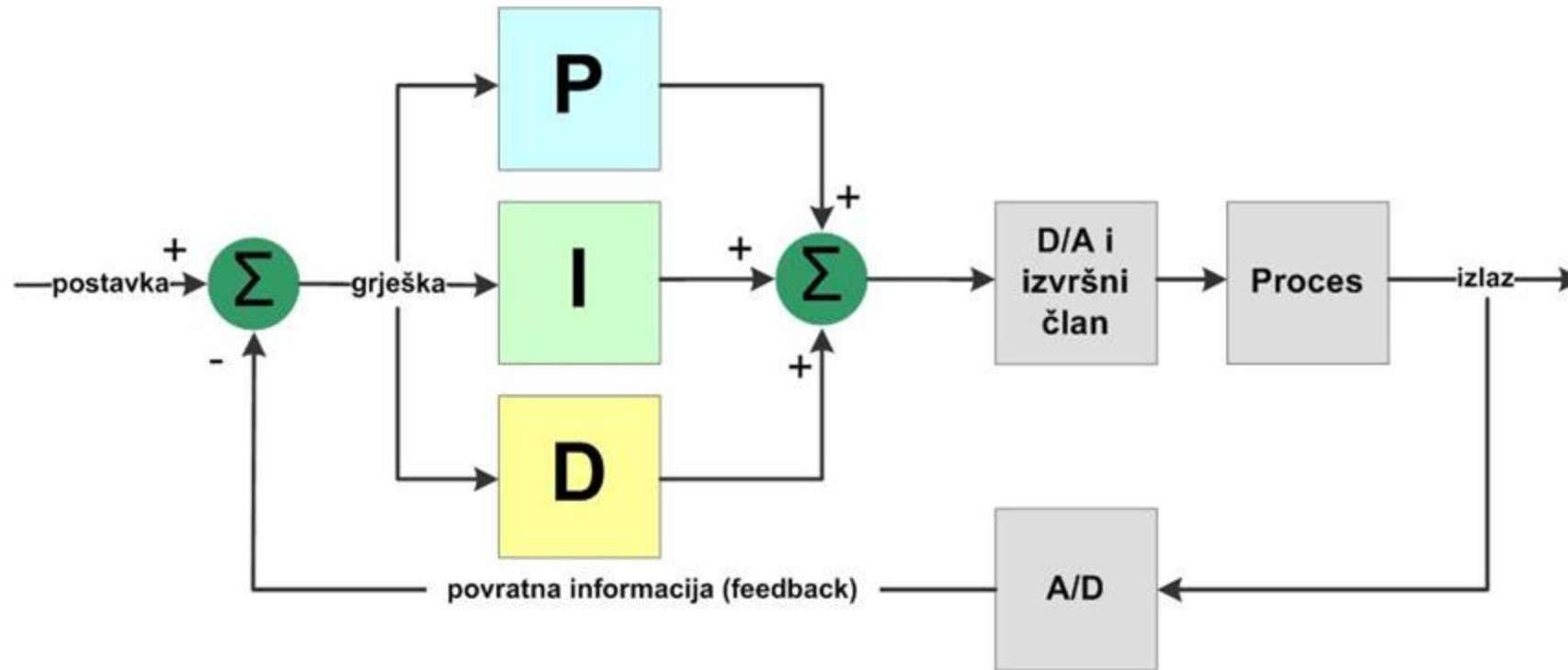


Računalo?

Primjer 2: tempomat u vozilu?

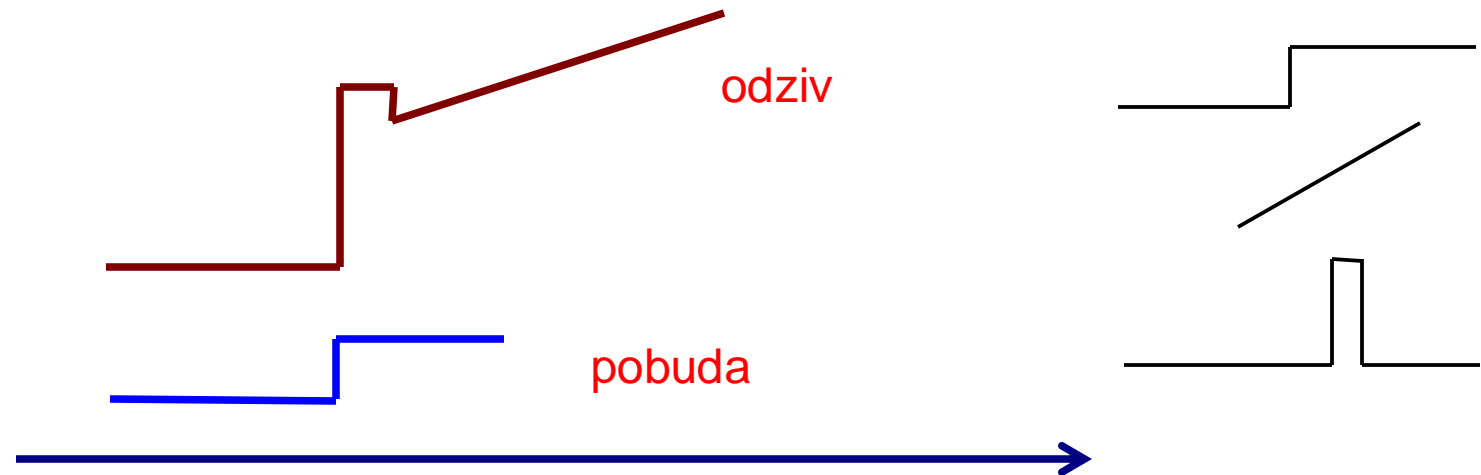
PID regulator

- Ulaz u regulator je signal pogreške - **razlika između postavljene (željene) i izmjerene vrijednosti** veličine koju reguliramo



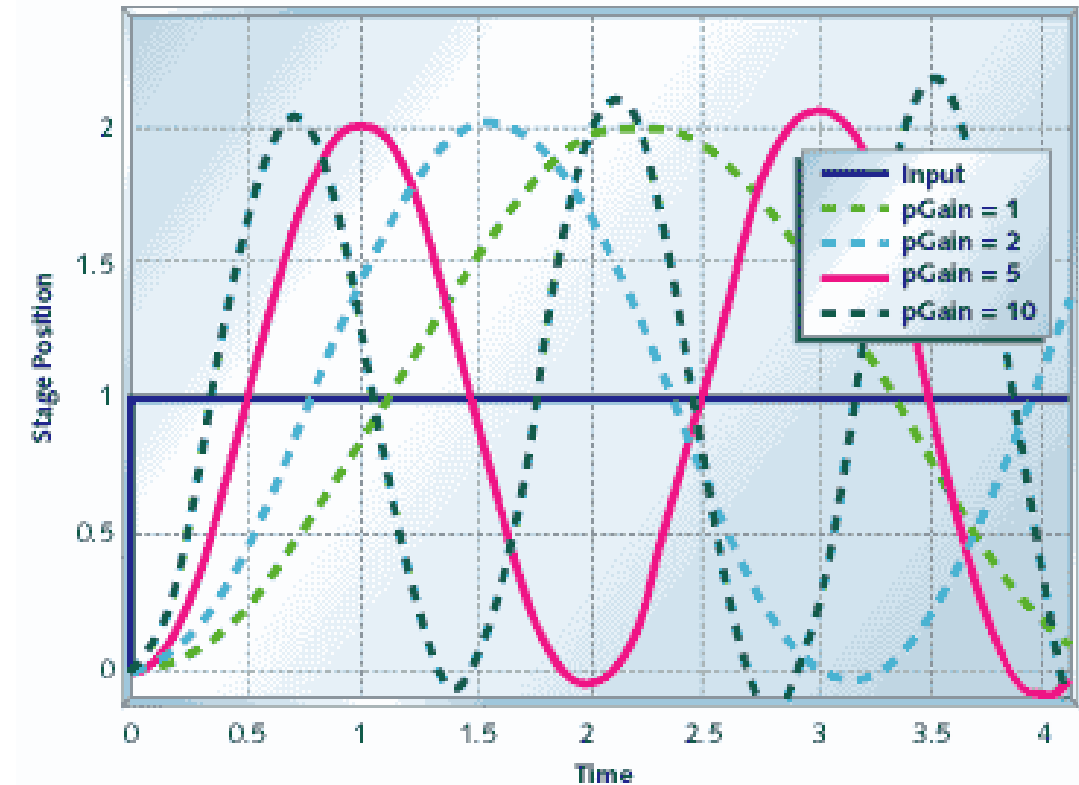
PID regulator

- **Proporcionalno, Integracijsko i Derivacijsko djelovanje**
- Regulator može imati samo jednu ili kombinaciju komponenata:
 - P
 - I
 - PI
 - PD
 - PID



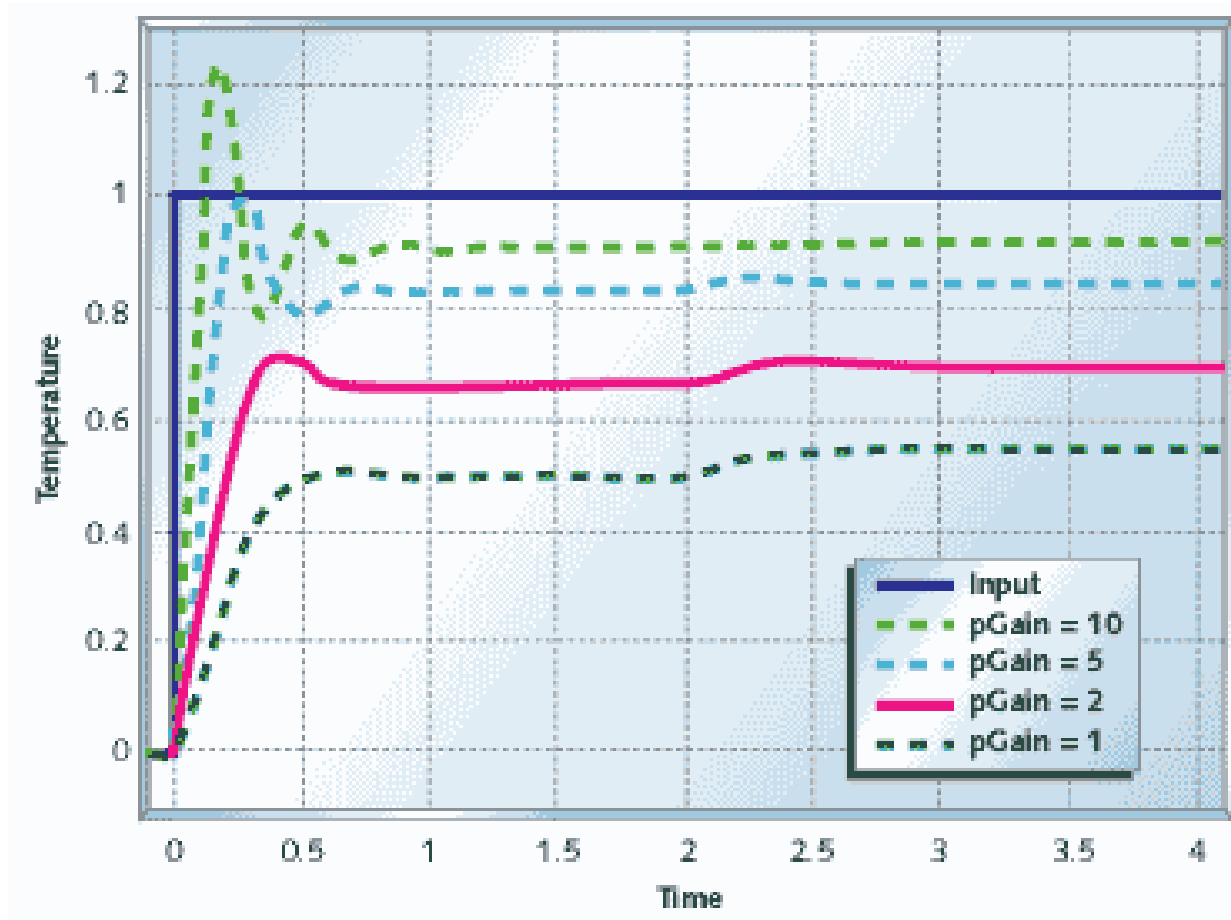
Proporcionalno djelovanje

- Utječe na brzinu odziva sustava
- Signal greške pomnožen konstantom:
$$P_dio = grješka * P_konstanta(pGain)$$
- proporcionalno djelovanje ispravlja trenutnu pogrešku
- brzi sustav (npr. naša simulirana peć) reguliran P regulatorom oscilira oko željene temperature



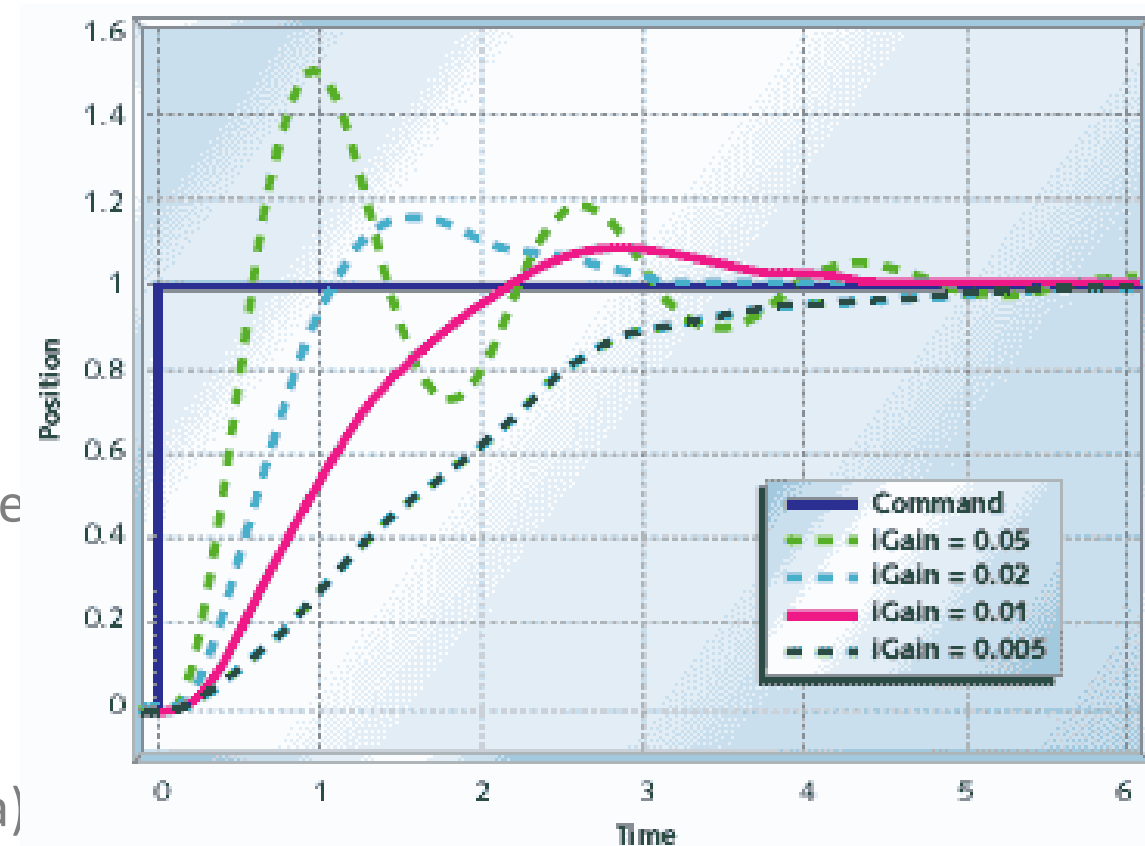
Proporcionalno djelovanje

- Spori sustav reguliran P regulatorom ne dostiže postavljenu vrijednost
- Povećanje konstante pomaže, ali uzrokuje i nadvišenje (overshoot)



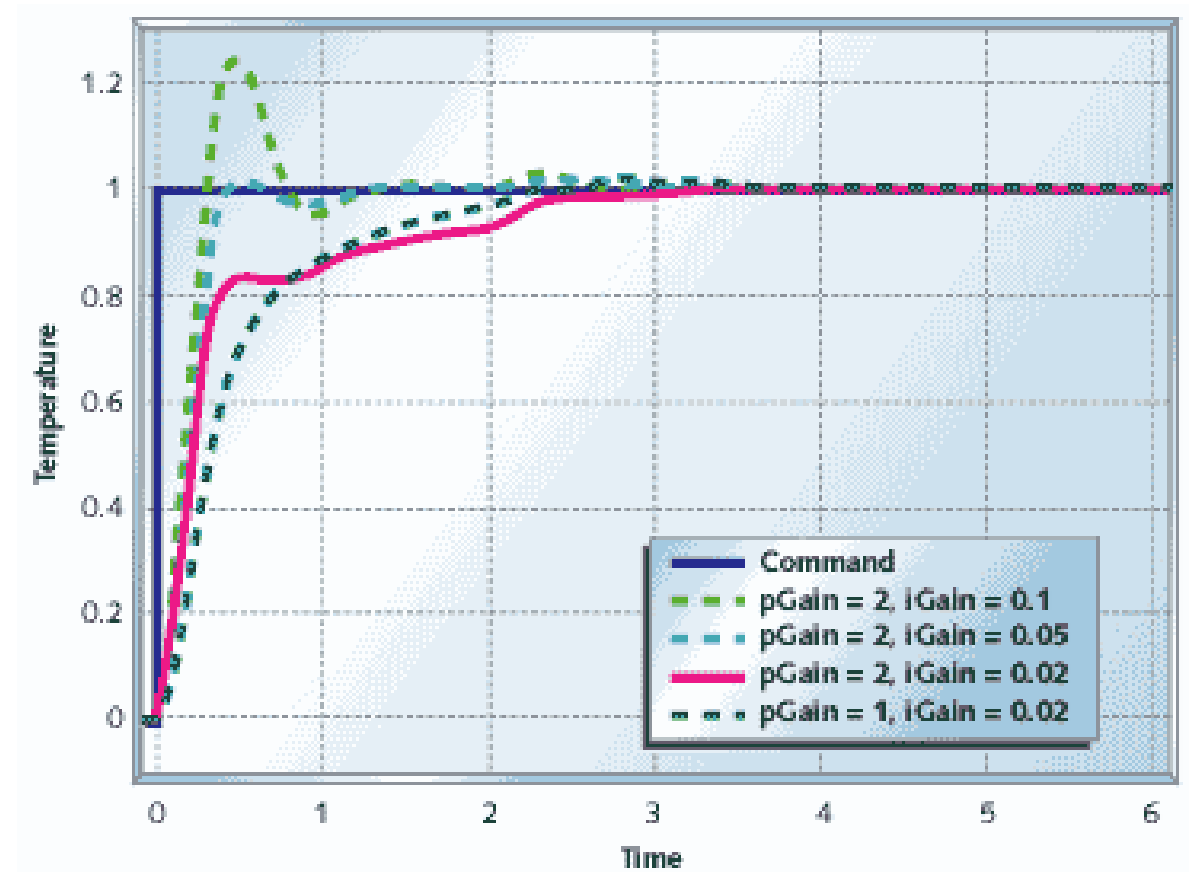
Integracijsko djelovanje

- Utječe na pogrešku u statičkom stanju
- Suma svih prethodnih pogrešaka
 - $I_suma += grješka$
 - $I_dio = I_suma * I_konstanta(iGain)$
- Donosi informaciju o prošlosti sustava
 - integracijsko djelovanje ispravlja pogrešku koja se dogodila prije
- Regulator pamti prethodno stanje sustava
 - dugotrajno odstupanje nije moguće (kao u prethodnom primjeru proporcionalnog djelovanja)
- Prijelazna pojava traje dulje nego kod P djelovanja, ali je stacionarno stanje točno



PI djelovanje

- Kombinacija proporcionalnog i integracijskog djelovanja
- Sustav dolazi u **točno** stacionarno stanje **brže** nego kod I djelovanja



Derivativno djelovanje

- Djeluje na kvalitetu prijelaznog procesa

- Koristi prošlo stanje sustava:

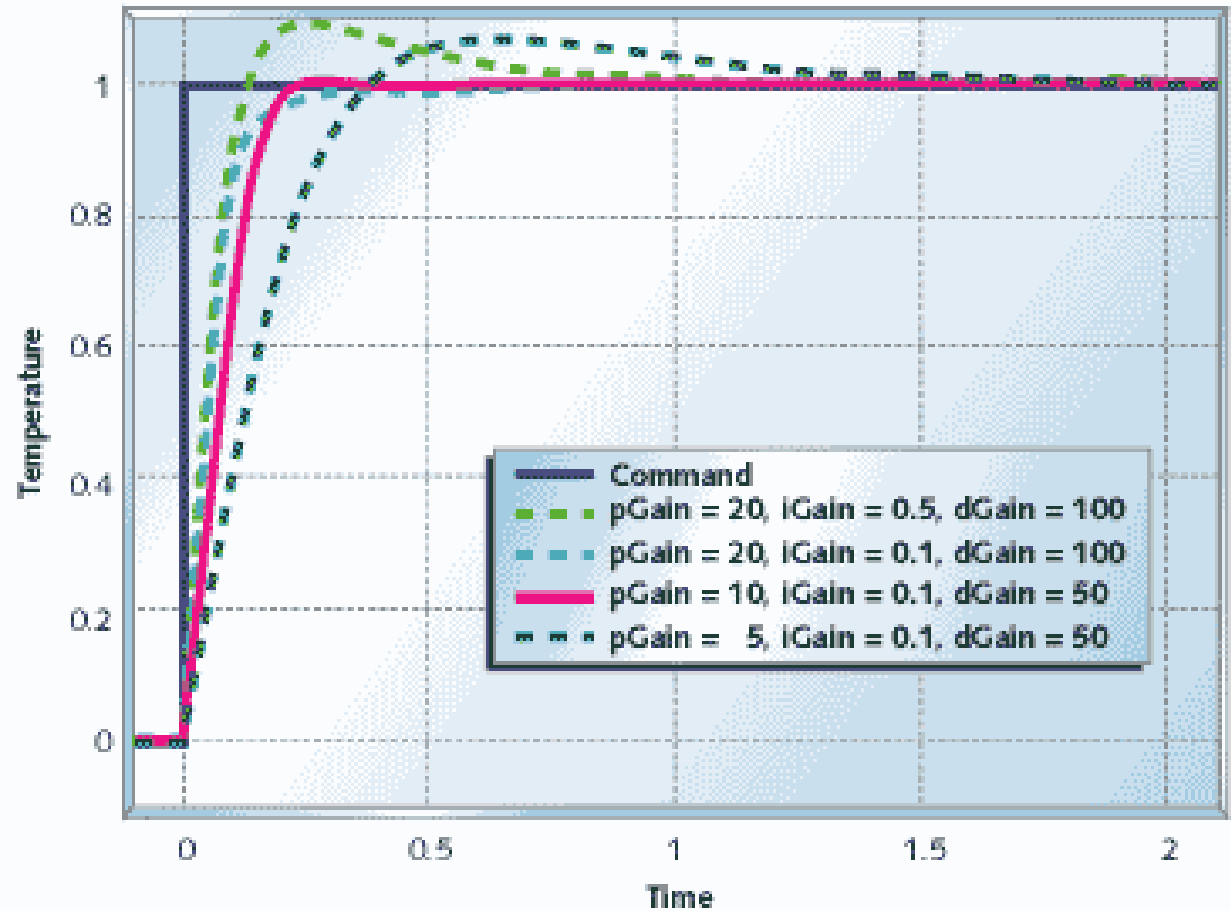
$$D_{dio} = (grješka - D_{stanje}) * D_{konstanta} (dGain)$$

$$D_{stanje} = grješka$$

- ... da bi se procijenila brzina promjene (promjena veličine/vrijeme) i time predvidjela nova vrijednost regulirane veličine

PID djelovanje

- Uz podešene parametre, kombiniranim PID djelovanjem sustav postiže željenu vrijednost brzo i bez nadvišenja (*overshoota*)
- D djelovanje skraćuje prelazno vrijeme smanjuje nadvišenje (*overshoot*)



PID algoritam

- Algoritam uključuje sva tri proračuna:

```
P_dio = grješka * P_konstanta(pGain)
```

```
I_suma += grješka
```

```
I_dio = I_suma * I_konstanta(iGain)
```

```
D_dio = (grješka - D_stanje) * D_konstanta(dGain)
```

```
D_stanje = grješka
```

- Izlaz:

```
izlaz = P_dio + I_dio + D_dio
```

- ... ukupno **4 operacije zbrajanja** i **3 množenja**

PID algoritam i vrijeme

- Ciklus upravljanja korištenjem mikroračunala uključuje:
 - A/D pretvorbu, formatiranje rezultata
 - računanje
 - deformatiranje i D/A pretvorbu
- Npr. za Z80 na 2MHz – 12 ms
 - dovoljno brzo za peć? A za Boeing?
- Na što sve treba paziti?
 - Vrijeme izvođenja pojedine operacije?
 - Vrijeme izvođenja čitavog ciklusa?
 - Rezolucija, točnost, ...