SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA**

ZAVRŠNI RAD br. 446

**SIMULACIJA MEHANIČKOG CRTAČA MATEMATIČKIH FUNKCIJA REALIZIRANOG ZUPČANICIMA**

Valentino Vukelić

Zagreb, svibanj 2022.

Sadržaj

[Uvod 2](#_Toc103115430)

[1. Mehaničke komponente matematičkih operacija 3](#_Toc103115431)

[1.1. Diferencijal 3](#_Toc103115432)

[1.1.1. Način rada diferencijala 4](#_Toc103115433)

[1.2. Množitelj 4](#_Toc103115434)

[1.2.1. Način rada množitelja 5](#_Toc103115435)

[Zaključak 7](#_Toc103115436)

[Literatura 8](#_Toc103115437)

[Sažetak 9](#_Toc103115438)

[Summary 10](#_Toc103115439)

# Uvod

Poglavlje **Uvod** treba dati kratak uvod (cca 1 stranica, max. 2) u završni rad.

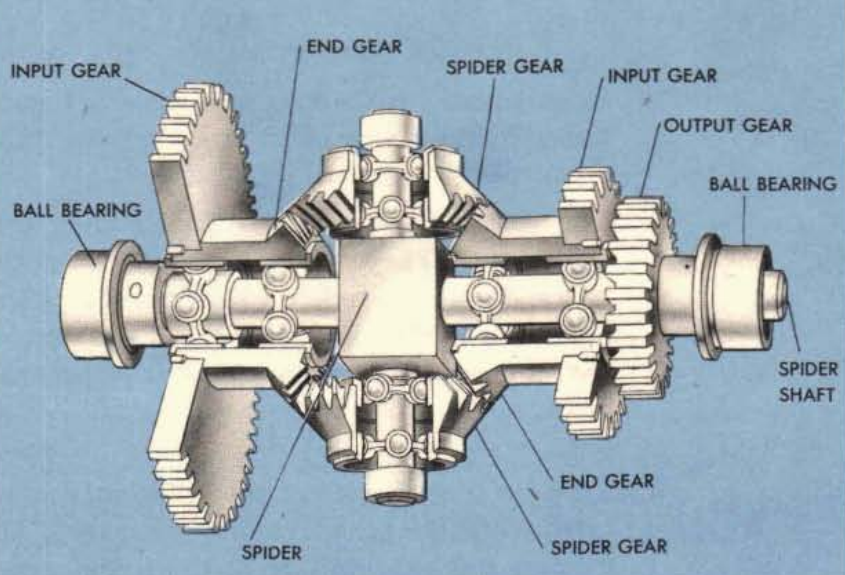
Napomena: na naslov **Uvod** primijenite stil Heading 1, a zatim ručno maknite brojčanu oznaku.

# Mehaničke komponente matematičkih operacija

Postoji više načina za kodiranje vrijednosti u zupčanicima. Za potrebe ovog rada vrijednost se kodira kao broj okretaja zupčanika od početne rotacije. Za modeliranje i izračun racionalnih funkcija, potrebno je mehanički realizirati pet matematičkih operacija. To su zbrajanje, oduzimanje, množenje, dijeljenje i potenciranje. Sve mehaničke komponente iskorištene su iz [1]. Operaciju zbrajanja moguće realizirati diferencijalom. Istu mehaničku komponentu se može iskoristiti za oduzimanje ako se desni pribrojnik pomnoži s minus jedan. Za množenje i dijeljenje iskorišteni su mehanički množitelji (engl. *multiplier*). Pošto su racionalne sastavljene od polinoma, a polinomi imaju samo cjelobrojne potencije varijable *x*, onda se potenciranje može predstaviti nizom množenja.

## Diferencijal

Diferencijal se koristi za zbrajanje rotacije dva zupčanika, pa tako i za zbrajanje dvije vrijednosti. Sastoji se od: (Slika 1) dva ulazna zupčanika (engl. *input gear*), izlaznog zupčanika (engl. *ouput gear*), dva prijenosna zupčanika (engl. *end gears*), dva planetarna konična zupčanika (engl. *spider gears*) i osovine oblika križa (engl. *spider shaft*).



Slika 1 Dijagram diferencijala [1]

*Input* zupčanici su čvrsto povezani s njihovim *end* zupčanicima, odnosno okretanjem *input* zupčanika direktno se okreče i *end* zupčanik. Planetarni *spider* zupčanici su zaduženi za okretanje *spider* osovine, odnosno planetarnim okretanjem *spider* zupčanika okreće se i *spider* osovina. *Output* zupčanik čvrsto je povezan sa *spider* osovinom, odnosno okretanjem *spider* osovine, direktno se okreće i *output* zupčanik.

### Način rada diferencijala

Rad diferencijala lakše je shvatiti pojednostavljenjima. Ako su se oba ulaza okrenula isti broj puta (okreću se istom brzinom), *spider* zupčanici se neće okretati oko svojih osi, odnosno neće se kotrljati po *end* zupčanicima nego će biti zaključani za njih i okretati se planetarno oko *spidera*, istom brzinom kao i ulazni zupčanici. Tako će se *spider* osovina, pa i *output* zupčanik okrenuti isti broj puta kao i ulazni zupčanici. Važno je primijetiti da se *output* zupčanik okrene duplo manje puta nego zbroj koji se traži, pa je na njega potrebno dodati još jedan zupčanik s duplo manje zuba da se dobije točan zbroj.

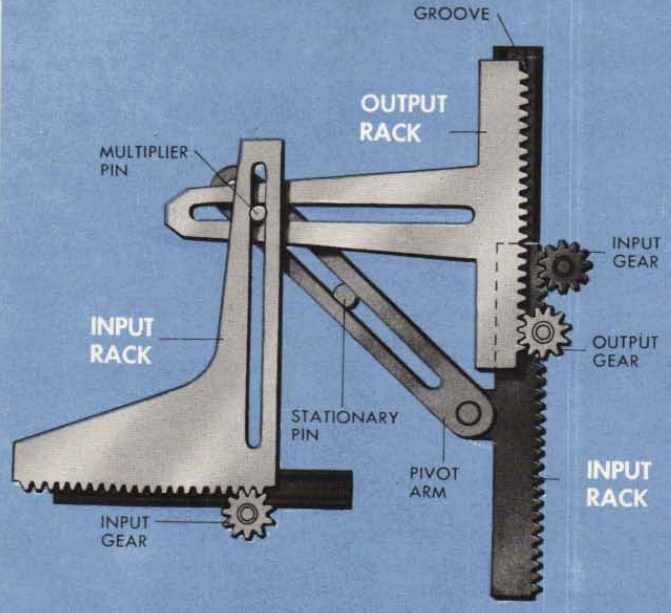
U slučaju da se oba ulaza okreću istom brzinom ali u suprotnim smjerovima, *spider* zupčanici će se okretati oko svojih osi, ali će planetarno stajati na mjestu, odnosno neće okretati *spider* osovinu, pa će rezultat biti nula.

Vidljivo je sada kako okretanjem jednog ulaza brže ili sporije od drugog okreće *spider* zupčanike i oko svoje osi, i oko planetarne osi, te se tako dobije točan zbroj na izlaznom zupčaniku.

## Množitelj

Množitelj se koristi za računanje operacije množenja i dijeljenja. Sastoji se od (Slika 2): dvije ulazne zupčaste letve (engl. *input racks*), izlazne zupčaste letve (engl. *output rack*), stacionarnog *pina* (engl. *stationary pin*), zakretne ruke(engl. *pivot arm*) i *pina* za množenje (engl. *multiplier pin*).

*Pivot arm* se slobodno može okretati i pomicati oko *stationary pina*, a povezan je s desnim *input rackom* koji mu kontrolira rotaciju. *Multiplier* *pin* prolazi kroz sva tri utora, dva na *rackovima* i jedan na *pivot armu*. Bit *multiplier pina* je da pomiče *output rack* kako se pomiču dva *input racka*.



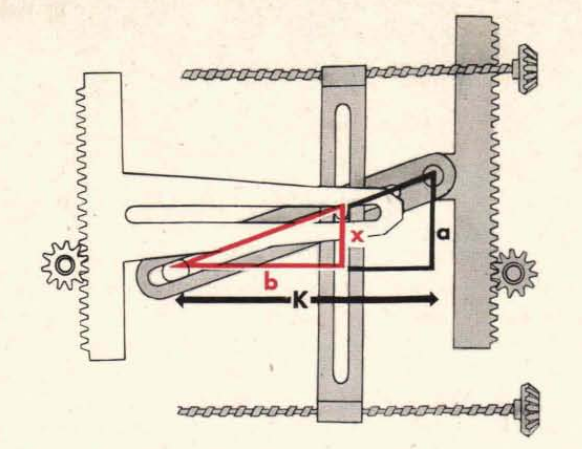
Slika 2 Dijagram množitelja [1]

### Način rada množitelja

Množitelj računa operaciju množenja uz pomoć sličnih trokuta. Trokuti su pravokutni trokuti između *stationary pina* i stožera *pivot arma* kao što je prikazano na dijagramu (Slika 1). Duljina donje katete manjeg trokuta je pomak donjeg *input racka* od *stationary* *pina*, a duljina desne katete je pomak *output racka* od *stationary pina*. Duljina donje katete većeg trokuta je konstanta, odnosno udaljenost *stationary pina* i stožera *pivot arma*, a duljina desne katete je pomak bočnog *input racka* od *stationary pina*. Sada se po poučku proporcionalnosti stranica sličnih trokuta dobiva formula (1).

(1)

Vidi se da je rezultat (pomak *output racka* - *x*) umnožak ulaza (pomak *input rackova* - *a* i *b*), ali je podijeljen s konstantom *K*, tako da je potrebno na *output rack* staviti zupčanik određene veličine da se izlazna vrijednost smanji za faktor *K*.



Slika 3 Dijagram načina rada množitelja [1]

Također je važno primijetiti da množitelj ima fizička ograničenja na veličinu vrijednosti ulaza jer je ograničen dužinom *rackova*, za razliku od diferencijala, a rješenje tog problema objašnjeno je kasnije.

Dijeljenje je postignuto tako da se zamjene jedan ulazni *rack* i izlazni *rack*. S tim da je zbog jednostavnosti prvo izračunata recipročna vrijednost djelitelja, pa je zatim rezultat toga pomnožen s djeljenikom. Dijeljenje odnosno računanje recipročne vrijednosti ima još veća fizička ograničenja, osim aposlutnog gornjeg limita ima i apsolutni donji limit, te nije moguće dijeliti s nulom, odnosno proći kroz nju tijekom mijenjanja predznaka.

# Zaključak

Na kraju rada piše se kratak zaključak, duljine do najviše jedne stranice.

# Literatura

1. Navy Department Bureau of Ordnance. *Basic Fire Control Mechanisms*. Washington, D.C.: rujan 1944.

# Sažetak

Naslov, sažetak, ključne riječi (na hrvatskom jeziku)

Sažetak opisuje sadržaj rada, prepričan u stotinjak riječi.

# Summary

Title, summary, keywords (na engleskom jeziku)