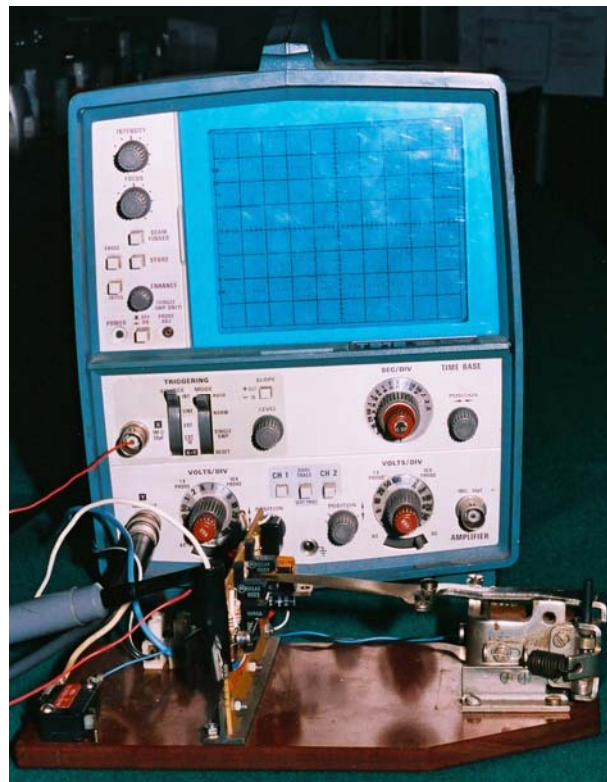


## OPRUGE KAO POGONSKI ELEMENTI

### LABORATORIJSKA VEŽBA

#### PROVERA DINAMIKE KRETANJA REALIZOVANOG CILINDRIČNOM ZAVOJNOM OPRUGOM KAO POGONSKIM ELEMENTOM



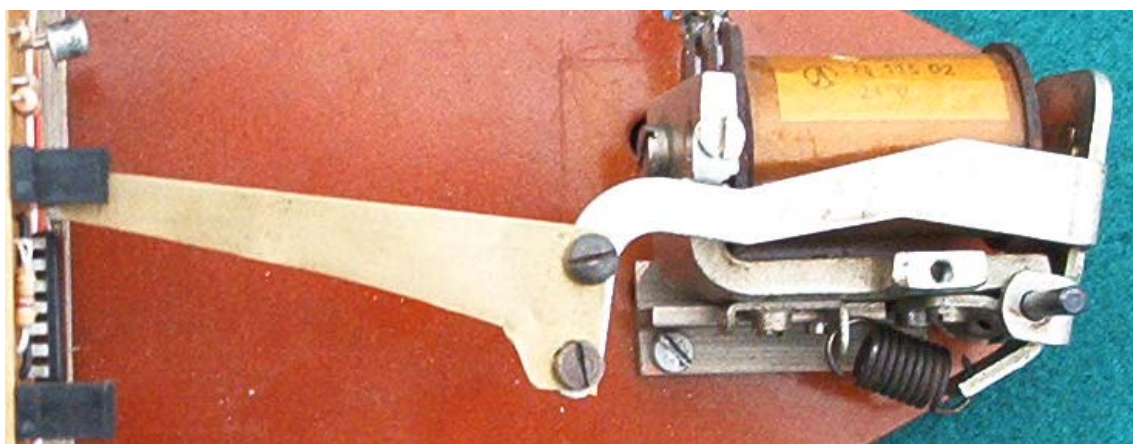
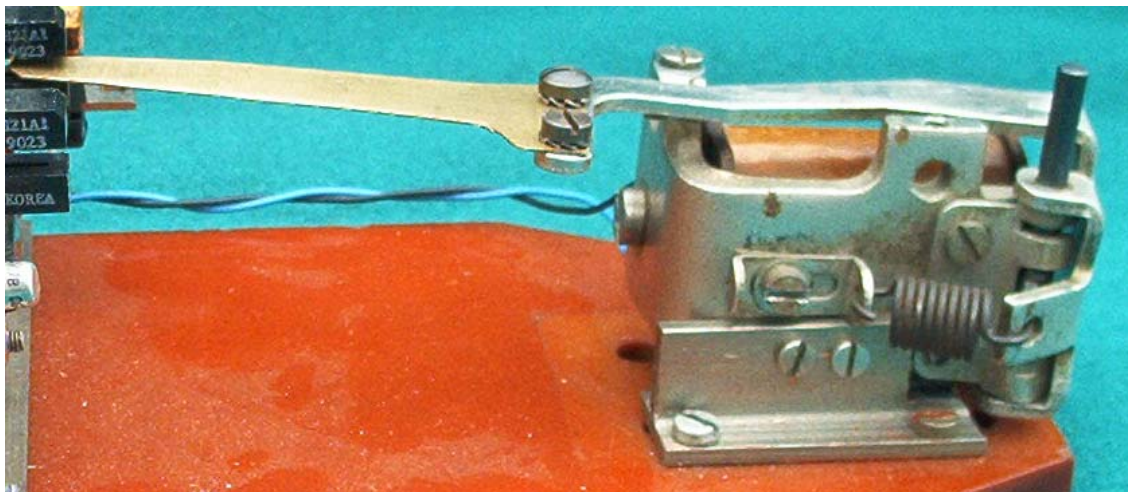
#### Cilj laboratorijske vežbe

Cilj laboratorijske vežbe je upoznavanje s:

- jednim praktičnim primerom primene cilindrične zavojne opruge kao pogonskog elementa i
- uređajima i metodama za merenje veoma brzih pomeranja mehaničkih elemenata kao i eksperimentalna provera postupka dimenzionisanja cilindrične zavojne opruge kao pogonskog elementa, izloženog u navedenoj literaturi [1].

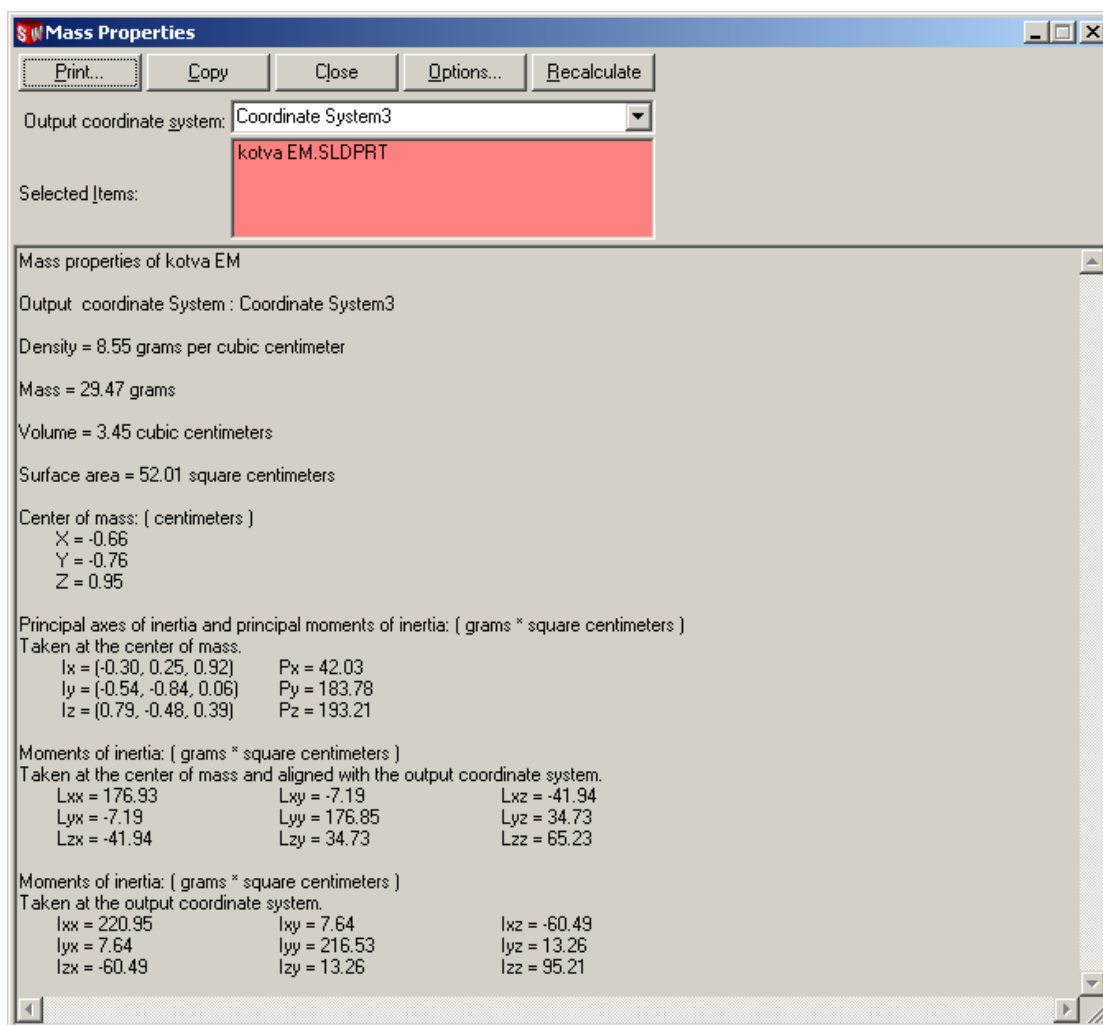
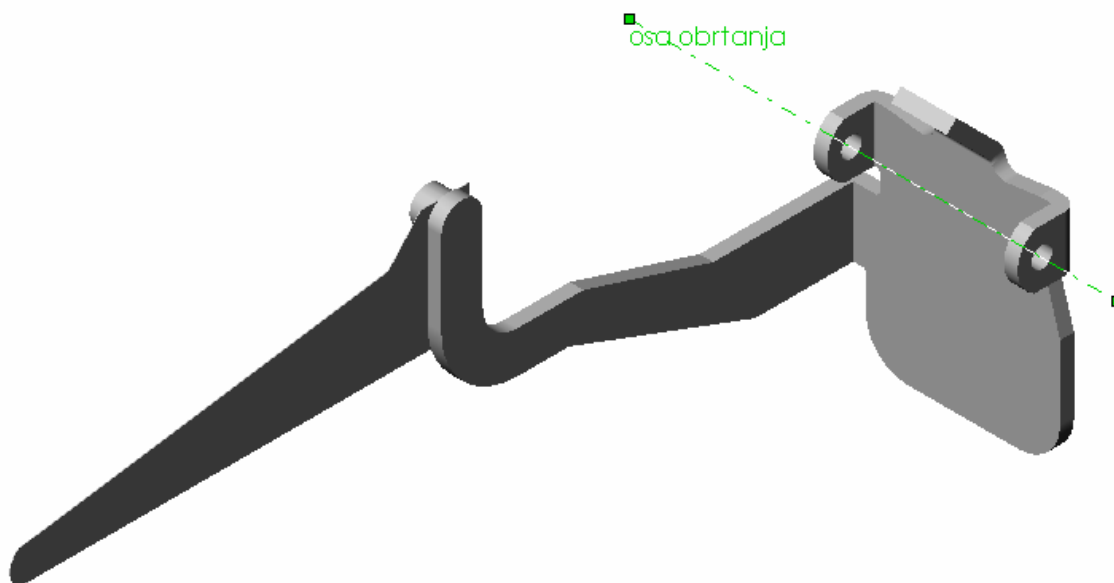
## Uvodne napomene

Radni hod kotve elektromagneta realizuje se dejstvom elektromagneta, a povratni dejstvom opruge (sl.1). Potrebno je dimenzionisati cilindričnu zavojnu, zateznu oprugu koja treba da vrati kotvu u početni položaj za  $t_k = 7,52$  ms pri čemu završna brzina pokretnog kraja opruge ne sme biti veća od  $v_k = 1 \text{ ms}^{-1}$ , kako bi radni vek elektromagneta bio što duži. Nepokretni i pokretni kraj opruge su locirani tako da osa opruge tokom pogonskog procesa vrlo malo menja svoj položaj; pomeranje pokretnog kraja opruge može se smatrati približno pravolinijskim pošto je reč o hodu od samo  $s_k = 1,9$  mm. Veličina ugradnog prostora ograničava dopuštene vrednosti ugradne dužine  $l_u = 20,3 \div 23,5$  mm i spoljašnjeg prečnika opruge  $D_s < 8,6$  mm.



sl.1. Pogon kotve elektromagneta

Zbog složenosti oblika kotve teško je matematički odrediti njen moment inercije za osu oko koje se kotva zakreće pa bi ga trebalo odrediti nekom od metoda za eksperimentalno određivanje momenta inercije (metoda fizičkog klatna, metoda bifilarnog vešanja, metoda energije). Ukoliko pokretni sklop projektujemo nekim od CAD-programa na računaru, ovi programi nude i informaciju o masi projektovanog elementa, njegovom težištu i momentu inercije za bilo koju osu. Projektovanjem kotve elektromagneta u SOLID WORKS-u (sl.2) dobijene se vrednosti za masu ( $m = 29,47$  g) i moment inercije za osu zakretanja kotve ( $J_{A_0} = 22,1 \text{ kg}\cdot\text{mm}^2$ ).



sl.2. 3D-model kotve elektromagneta

Polazeći od pretpostavke da osa opruge tokom pogonskog procesa ne menja svoj položaj i da se uticaj sopstvene mase opruge ne može zanemariti, postupkom za dimenzionisanje cilindrične zavojne, zatezne opruge kao pogonskog elementa, izloženim u navedenoj literaturi [1], dobijena je kao rešenje, za  $G = 81400 \text{ N/mm}^2$ ,  $\rho = 8,5 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$  i  $\tau_{pt} = 400 \text{ N/mm}^2$ , opruga dimenzija:

- prečnik žice  $d = 1 \text{ mm}$ ,
- spoljašnji prečnik opruge  $D_s = 8,4 \text{ mm}$ ,
- broj zavojaka opruge  $n = 7,5$
- početno izduženje opruge  $f_p = 4,2 \text{ mm}$
- radna dužina opruge pri početnom izduženju  $l_u = 21,94 \text{ mm}$ .

## Eksperimentalna provera

### Zadatak

Izmeriti vremenski interval u kome opruga prethodno navedenih dimenzija vraća kotvu u početni položaj.

### Konfiguracija mernog mesta i postupak merenja

Odredjivanje vremenskog intervala zasniva se na registrovanju trenutka kada opruga započinje povlačenje kotve, privučene uz jezgro elektromagneta, i trenutka kada kotva pri povratnom kretanju dospe u početni položaj. Ovi trenuci bi mogli da se registruju uz pomoć optičkih davača (optokaplera), davača Hol(Hall)-generatora ili davača koji rade na principu uspostavljanja električnog kontakta u krajnjim položajima kotve. Zbog pouzdanosti rada i suviše kratkog vremenskog intervala koji treba izmeriti, izabrano je rešenje sa registrovanjem krajnjih položaja kotve uz pomoć optokaplera.

Merno mesto (sl.3) sastoji se iz: elektromagneta (1), kotve elektromagneta (2), optokaplerâ (3a i 3b), električnog kola (4) i prekidača (5). Rezultati merenja se očitavaju na osciloskopu.

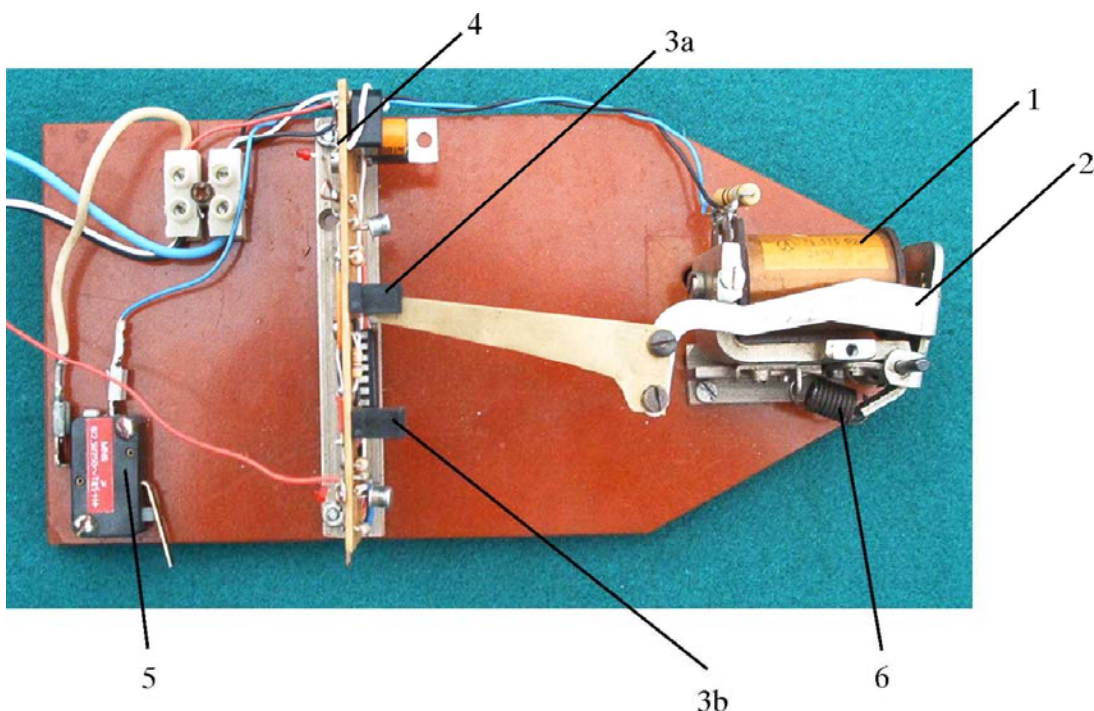
Elektromagnet (1) dobija napajanje od izvora jednosmerne struje (24V). Uključivanjem prekidača (5) zatvara se električno kolo i kotva (2) biva privučena uz jezgro elektromagneta (1) uz izduživanje cilindrične zavojne opruge (6). U ovom položaju kotve se vrh kotve nalazi u prorezu optokaplera (3b). Isključivanjem prekidača dolazi do prekida napajanja elektromagneta (1) i cilindrična zavojna opruga (6) vraća kotvu elektromagneta (2) u početni položaj (sl.3); u ovom položaju kotve se vrh kotve nalazi u prorezu optokaplera (3a).

Optokapleri (3a i 3b), zajedno sa električnim kolom (4), imaju zadatak da generišu odgovarajuće električne impulse. Električno kolo (4) dobija napajanje od izvora jednosmerne struje (24V). Kada se vrh kotve elektromagneta nalazi u prorezu optokaplera i sprečava prolazak svetlosti kroz optokapler, generiše se napon od približno 0V. Kada se vrh kotve elektromagneta nalazi van proreza optokaplera, odn. svetlost nesmetano prolazi kroz optokapler, električno kolo generiše napon od približno 24V.

Generisani električni impulsi se vode u osciloskop i na njemu se očitavaju rezultati merenja vremenskog intervala u kome cilindrična zavojna opruga (6) vraća kotvu elektromagneta (2) u početni položaj.

Eksperimentalna provera je pokazala da opruga prethodno navedenih dimenzija realizuje zahtevano pomeranje za  $t_k = 8,4 \text{ ms}$ .





sl.3. Konfiguracija mernog mesta

### Analiza rezultata merenja

Izmerena vrednost vremenskog intervala u kome opruga realizuje zahtevano pomeranje kotve odstupa od teorijski dobijene vrednosti. Do ove "greške" vremenskog intervala dolazi pre svega zbog zanemarivanja sile trenja u ležištima kotve u diferencijalnoj jednačini kretanja koja predstavlja polaznu osnovu za dimenzionisanje opruge, ali i zbog odstupanja dimenzija realne opruge (u granicama tolerancije mera) kao i odstupanja karakteristika materijala opruge u odnosu na usvojene vrednosti. Relativna greška vremenskog intervala, potrebnog da se realizuje zahtevano pomeranje, od  $\Delta t_k \approx 11,7\%$  dopušta nam da zaključimo da prezentirani postupak za dimenzionisanje cilindrične zavojne opruge nudi rešenja koja sa zadovoljavajućom tačnošću realizuju postavljene zahteve.

Ukoliko bi opruga trebalo da vrati kotvu u početni položaj za  $t_k = 8,4$  ms, postupkom za dimenzionisanje cilindrične zavojne, zatezne opruge kao pogonskog elementa dobila bi se kao rešenje ista opruga ( $d = 1$  mm,  $D_s = 8,4$  mm,  $n = 7,5$ ), ali bi početno izduženje opruge trebalo da iznosi  $f_p = 3,44$  mm ( $l_u = 21,18$  mm). Kao što se iz rezultata merenja vidi, ova opruga može, i pored prethodno navedenih ograničenja postupka za dimenzionisanje opruge, da realizuje pomeranje kotve u zahtevanom vremenskom intervalu, ali nešto većim početnim izduženjem opruge ( $f_p = 4,2$  mm), pri kome je radna dužina opruge ( $l_u = 21,94$  mm) u granicama zadate ugradne dužine.

### Pitanja za odbranu laboratorijske vežbe

1. Dimenzionisanje cilindrične zavojne opruge; pomeranje sklopa oprugom koje karakteriše nelinearna diferencijalna jednačina kretanja
2. Granice ostvarljivosti dinamičkih i konstruktivnih zahteva

### Literatura

1. Pavlović, N., Opruge kao pogonski elementi (monografija), Mašinski fakultet Niš, 1996.