

UNIVERZITET U BEOGRADU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET



Naslov ođe
Diplomski rad

Mentor:
Dr Radivoje Đurić, profesor

Kandidat:
David Milovanović, 2016/0274

Beograd, Septembar 2022.

Sadržaj

1	Uvod	2
1.1	Podnaslov, očigledno	2
2	DC Motor	2
2.1	Model DC motora	2
2.2	Enkoder jednosmernog DC motora	2
2.3	Negativna povratna sprega	3
2.4	NF filter	3
3	Aparatura i merenja	3
3.1	Aparatura korišćena za merenje	3
3.2	Merenja	3
3.2.1	Merenje odziva jednosmernog motora iz stanja mirovanja	3
3.3	Konvertor frekvencije u napon	6

Spisak slika

1	Principijalna šema jednosmernog motora.	2
2	Šema za merenje odziva jednosmernog motora.	4
3	Modelovanje krive odziva jednosmernog motora na stepeničastu pobudu iz tačke mirovanja.	4
4	Modelovanje odziva jednosmernog motora prema merenjima sa osciloskopa.	5
5	Modelovanje odziva jednosmernog motora prema merenjima sa arduino pločice.	5
6	Modelovanje odziva jednosmernog motora prema merenjima sa osciloskopa.	6
7	Modelovanje odziva jednosmernog motora prema merenjima sa arduino pločice.	6
8	Primer modelovanja odziva jednosmernog motora prema merenjima sa osciloskopa na oko 2 kHz.	7
9	Tri primera za različite učestanosti signala na izlazu enkodera jednosmernog motora.	7
10	Vremenski oblik signala na izlazu enkodera jednosmernog motora.	8
11	Konvertor frekvencije u napon.	8
12	Prenosna karakteristika konvertora frekvencije u napon.	9

13	Vremenski dijagram signala na izlazu konvertora frekvencije u napon bez i sa filtrom na izlazu.	9
14	Modifikovana šema upravljanja jednosmernog motora uz pomoć povratne sprege.	10

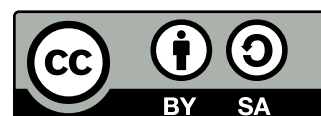
Sažetak

Analizator mreža je jedan od osnovnih mernih instrumenata za rad u mikrotalasnom području učestanosti. U ovom radu su uvedeni i objašnjeni osnovni principi funkcije tog instrumenta. Realizovana su dva instrumenta radi ilustracije određenih teorijskih rezultata.

Rad je organizovan u pet odeljaka. U uvodu su uvedeni opšti pojmovi koji se odnose na Mikrotalasnu tehniku i merenja. U odeljku „Karakterizacija mreža na mikrotalasnim učestanostima“ uveden je i definisan pojam parametara rasejanja, kao i principi merenja. U odeljku „Analizator mreža“ je definisana osnovna struktura instrumenta i njegove komponente, kao i parametri koji ih definišu. U istom poglavlju su navedeni dobijeni rezultati za kalibraciju senzora nivoa snage koji se koriste u ovom radu i opisana je arhitektura mernog sistema sa strane upravljanja. U odeljku „Rezultati i diskusija“ su navedeni rezultati četiri ogleda koji imaju za cilj demonstraciju rada projektovanog sistema kao i ilustraciju ranije izvedenih teorijskih relacija.

Premisa rada je da je moguće, imajući precizan referentni instrument, odgovarajućim postupkom kalibracije replicirati njegove ključne performanse na značajno pristupačnijem hardveru. U radu je opisana metodologija odabira komponenti koja se može proširiti i na drugačije radne zahteve. Implementirana je i biblioteka u programskom jeziku Python koja komunicira sa uređajima u postavci, čime je korisniku ponuđen jednostavan programski interfejs.

This work is licensed under a Creative Commons
“Attribution-ShareAlike 4.0 International” license.



Za slaganje najvećeg broja slika u ovom radu korišćena je `Xcircuit` biblioteka dostupna na <http://tnt.etf.rs/~dgrujic/xcircuit/>, izmenjena i proširena za potrebe rada.

Online repozitorijum sa izvornim kodom dosupan je na <https://github.com/djokicd/ArduinoSNA>.

1 Uvod

1.1 Podnaslov, ocigledno

Ovde nesto, nym jos

2 DC Motor

2.1 Model DC motora

Jednosmerni motor je ^{електрична} ~~mašina~~ ^{на основу чега} koja pretvara električnu energiju u mehaničku, uz korišćenje jednosmerne struje, ~~isamim tim~~ se svrstava u pretvarače elektro-mehaničke energije. Motor za jednosmernu struju se sastoji iz dva dela, statora i rotora. Stator obezbeđuje konstantno magnetsko polje, dok kroz rotor protiče jednosmerna struja koja indukuje elektromagnetno polje, ~~i pri proticanju struje rotora kroz konstantno polje~~ ^{прикључен} ~~javlja se~~ ^{чиме се} ~~povezan~~ ^{i тако} pokretački moment koji okreće rotor. Rotor je ~~povezan~~ ^{чиме се} na izvor napajanja preko više odvojenih kontakata uz pomoć četkica, ~~i тако~~ održava smer struje konstantnim u odnosu na magnetsko polje statora. ~~Za potrebe ovog rada nije potrebno ulaziti detaljnije u opis rada motora, već će fokus biti na principijalnoj šemi koja je prikazana na slici 1.~~

Преформулисати, реченица треба да објасни да су сви ефекти који ће бити релевантни за пројектовање и анализу система аутоматског управљања бити покривени поједностављеним моделом



Slika 1: Principijalna šema jednosmernog motora.

Реченица која носи тачно 0 bit корисне информације.

Šema sa slike 1 se naziva principijalna šema jer se na osnovu nje mogu videti principi rada jednosmernog motora. Ono što je ~~namo~~ ^{нама} od interesa jeste povezanost između ugaone brzine motora $\omega_m(t)$ i napona na rotoru $u_r(t)$, tj. prenosna funkcija $G(s)$ koja se može aproksimirati na sistem prvog reda kao:

Или друга слика, или да се појасни који је смисао датих параметара.

$$G(s) = \frac{K_m}{T_m s + 1} \quad (1)$$

Konstanta K_m predstavlja statičko pojačanje, dok konstanta T_m predstavlja vremensku konstantu jednosmernog motora upravljanog strujom u rotoru.

Овде можеш и описати како се полазећи од модела првог реда $G(s)$ добија теоријски облик одскочног одзива и да га нацрташ - на то се треба позвати када се описује идентификација система.

2.2 Enkoder jednosmernog DC motora

Енкодер није део мотора. Ротациони енкодер је компонента за себе, коју описујемо независно у овом делу.

Uloga enkodera je da obezbeđuje informaciju o poziciji, tj. smeru kretanja osovine motora. Enkoder je u obliku diska ~~prikačen~~ ^{нали бољу реч} за osovinu rotora jednosmernog motora, i na sebi ima proreze kroz kojih može da prodje svetlost. S jedne strane je optički uređaj koji emituje svetlosne zrake, dok je s druge strane optički uređaj koji prima svetlosne zrake.

За овакав опис много би помогла слика.

За та два сигнала се каже да су "у фази" и "у квадратури"

За есеј добра реченица, за технички извештај и не баш

појаснити подобије, може и принципска шема, исто као и за мотор.

Ako se taj svetlosni signal prevede u električni, imaće oblik povorke pravougaonih impulsa. Dodatno, ako enkoder ima opciju da daje informaciju o smeru, to je implementirano tako što se ispod postojećih proreza nalazi još jedan set proreza koji je srazmeran gornjem setu proreza, ali celokupno zarotiran za mali ugao ϕ u odnosu na osu rotora jednosmernog motora. Na taj način dobijamo dva signala od kojih je jedan fazno pomeren u vremenu. U odnosu na ugao ϕ i to koji je od signala stigao prvi, ^{писати у пасиву} ~~можемо~~ једнозначно имати информацију о смеру кретања мотора. Коначно, ако и знамо физичке димензије енкодера можемо знати и тачну угаону брзину мотора ω_m .

Додати барем једну слику. Принципка структура рот. енкодера, облик сигнала

Ради једноставности, у овом раду разматра се управљање брзине мотора без промене смера окретања, на основу чега се користи само једна од фази сигнала. Особину »самоконтроле« показати полазећи од блок дијаграма повратне спреге појачање β , показати $W(s) = A/(1 + \beta A)$

2.3 Negativna povratna sprega

Negativna povratna sprega je princip po kome funkcionišu mnogo stvari u prirodi i ona predstavlja princip „samokontrole“ sistema. Naime, u slučaju kontrolisanja brzine jednosmernog motora uz pomoć povratne sprege, ona je zadužena za izjednačavanje kontrolnog napona sa naponom motora, i u slučaju povećanja otpora na osovini motora, negativna povratna sprega će tu informaciju preneti do ulaz kako bi se povećao kontrolisani napon i samim tim brzina održala konstantnom. Конкретизовати. Већ си увео појам преносне функције мотора и дао њен облик, пре овога треба да опишеш и конвретор учестаности у напон (односно сензор), и затим треба да у овој тачки опишеш како то све заједно ради у повратној спрези.

2.4 NF филтар

Najprostiji analogni NF филтар се састоји од отпорника и кондензатора. Иако му карактеристике нису најбоље може вршити грубо филтрирање што ће нам у наставку и бити потребно. Пошто се бавимо аналогним signalima, а не digitalnim, није нам толико битна прецизност јер немамо уске зоне одлучивања. Прочитај ову реченицу још једном - полако!

Мало је нејасно какве везе има НФ филтар са било чим овде, треба да додаш и детектор учестаности и да опишеш зашто је потребно додати НФ филтар на њега, није потребно посветити посебну секцију самом филтру,

3 Aparatura i merenja

3.1 Aparatura korišćena za merenje

- Generator signala Ово носи нула информација, нити модели инструмената нити, како се изводе аутоматска мерења и сл.
- Napajanje
- Osciloskop
- Arduino MEGA
- Računar povezan sa osciloskopom

sta umesto toga, kako da opisem aparaturu da li da opisujem aparaturu_

3.2 Merenja

3.2.1 Merenje odziva jednosmernog motora iz stanja mirovanja

Šema koja je korišćena za merenje odziva jednosmernog motora je data na slici 2. Uz pomoć osciloskopa i računara povezanog sa osciloskopom je izmerena karakteristika jednosmernog motora na stepeničastu pobudu. - како? шта ради генератор, где је напајање где је осцилоскоп?

Na slici 3 je uz pomoć metode najmanjih kvadrata odrađeno modelovanje krive funkcijom oblika $A(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$. Merenje je izvršeno uz pomoć osciloskopa za male učestanosti izlaznog signala enkodera jednosmernog motora. Није јасно шта си хтео да кажеш.

Одређивање оптималне криве обављено је помоћу библиотеке ... у програмском језику Python, а изворни код ставити у прилогу.

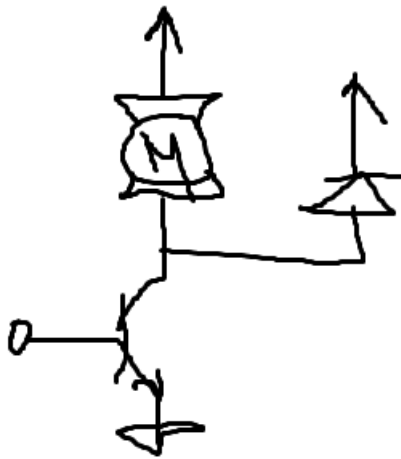
Ако си испратио видео који сам ти послао, видео си да ово представља Gray box идентификацију система, у контексту тога преформулисати написано.

u smislu generator osc. ili nesto drugo

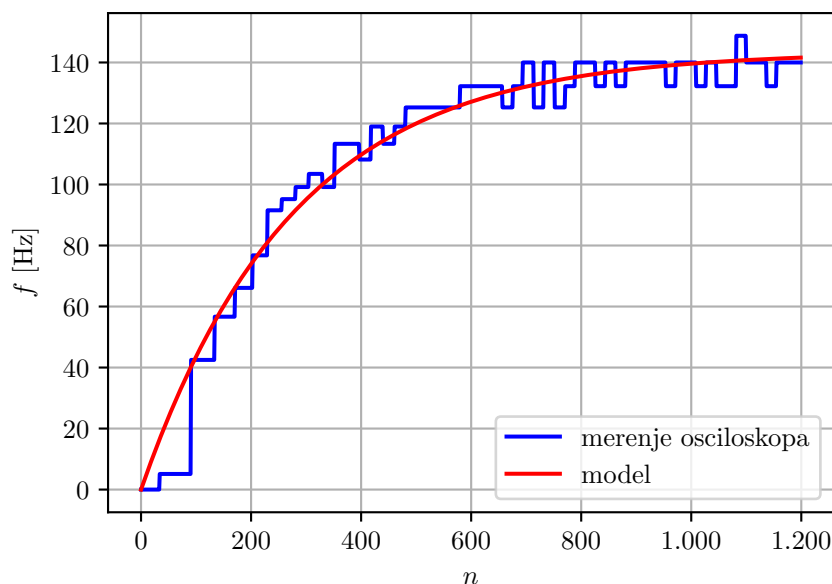
Шема треба да буде комплетнија

to do

Позвати се на извођење одскочног одзива у одељку о Једносмерном мотору.



Slika 2: Šema za merenje odziva jednosmernog motora.



Slika 3: Modelovanje krive odziva jednosmernog motora na stepeničastu pobudu iz tačke mirovanja.

Radi dobijanja preciznijih rezultata na većim učestanostima vršena su merenja i uz pomoć osciloskopa i uz pomoć arduino pločice. ^{Зашто то побољшава мерења?} ^{квантификовати} Може се приметити да се на слици 4 јављају доста велика одступања i da je teže izmeriti tačnu učestanost, dok se na slici 5 može mnogo lakše očitati vrednost u ustaljenom stanju.

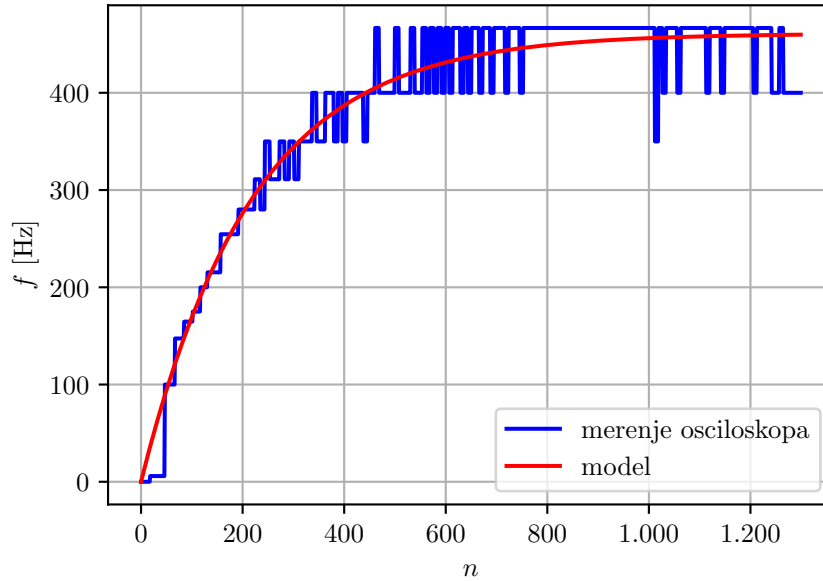
Zbog toga su korišćena dva instrumenta za merenje. Sledeći primer pokazuje da se sa povećanjem učestanosti signala otežava tačno očitavanje frekvencije signala. ^{Како то побољшава ствар?} ^{Зашто баш ту. Јел можемо да дамо неку процену резолуције учестности у функцији учестности?}

Na učestanostima preko 1 kHz očitavanja postaju još teža. Kao što se može videti sa slike 8, preskoci su veoma veliki tako da utiču na modelovanje sistema i onda se moraju primenjivati druge metode. ^{Већ овде увести појам "шум", треба објаснити и узроке тог шума, у одељку о обради резултата мерења}

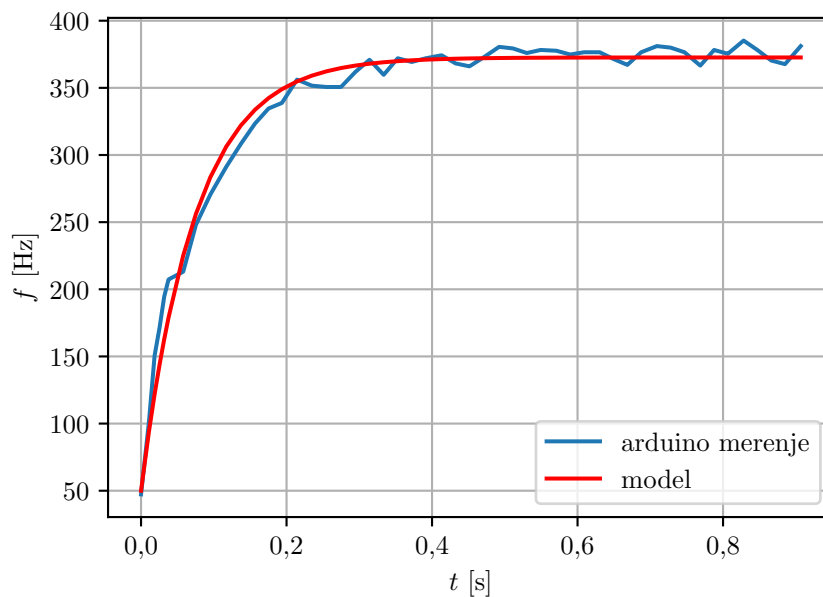
Na slici 9 se može videti fenomen povećanja šuma sa frekvencijom signala.

^{Зашто је тај шум већи са повећањем фреквенције сигнала?}

✓
Конструкције облика "са слике се види", "може се приметити" избегавати



Slika 4: Modelovanje odziva jednosmernog motora prema merenjima sa osciloskopa.



Slika 5: Modelovanje odziva jednosmernog motora prema merenjima sa arduino pločice.

"Претходни" заменити бројевима слика

ocem al da vidim sta prvo da izbacim

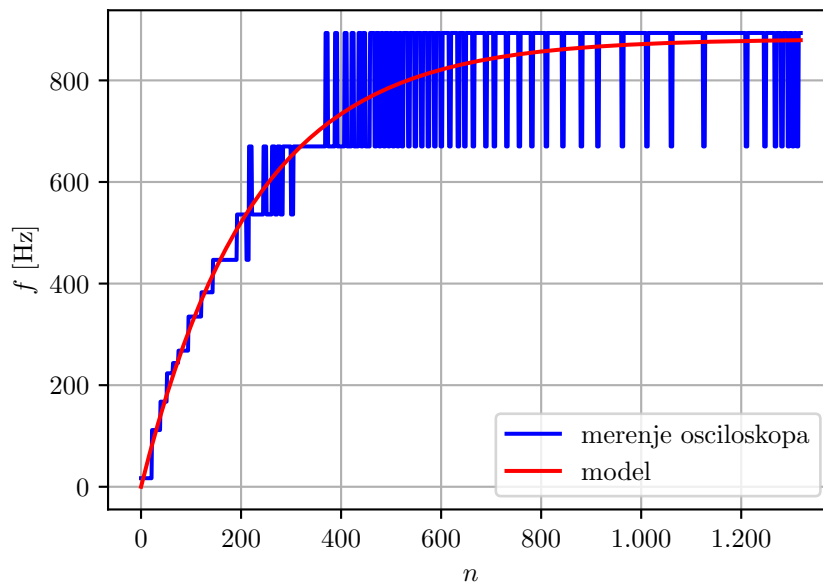
Signal koji se posmatrao na prethodnim graficima je izlazni signal enkodera motora koji je oblika povorke pravougaonih impulsa sa promenljivom frekvencijom koja je srazmerna brzini okretanja osovine jednosmernog motora. "на основу израза"... позовеш се на израз где описујеш како ради енкодер

nemam ga
jos al ocem

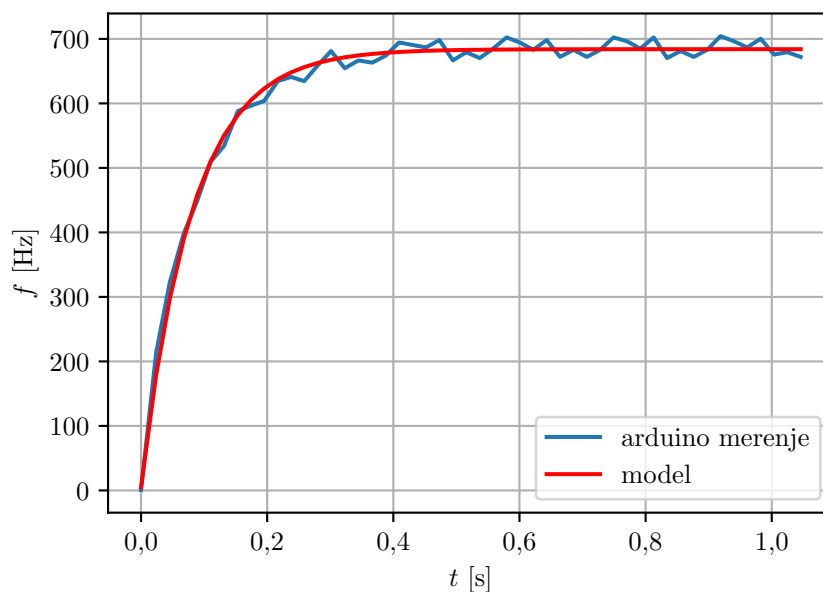
За ово може
и посебан
\subsection
о обради
резултата
мерења

Od signala sa slike 10 su dobijeni ostali već pomenuti signali pomoću Python skripte koja radi na sledeći način. Pošto su podaci koji stižu binarni, ili 5 V ili 0 V obrada signala je podrazumevala brojanje perioda koje je bilo realizovano tako što su se brojali podaci koji su 5 V počevši od prvog, zatim svi naredni podaci koji su nule sve do prvog sledećeg koji je opet 5 V. Na taj način imamo broj odbiraka signala u jednoj periodi, postupak se ponavlja za svaku narednu periodu. Učestanost periode se meri tako što se broj odbiraka umanjnjen za jedan, pomnoži sa periodom odabiranja osciloskopa T_s i nađe se reciproč-

Ово је
много лакше
рећи једним
математичким
изразом.



Slika 6: Modelovanje odziva jednosmernog motora prema merenjima sa osciloskopa.



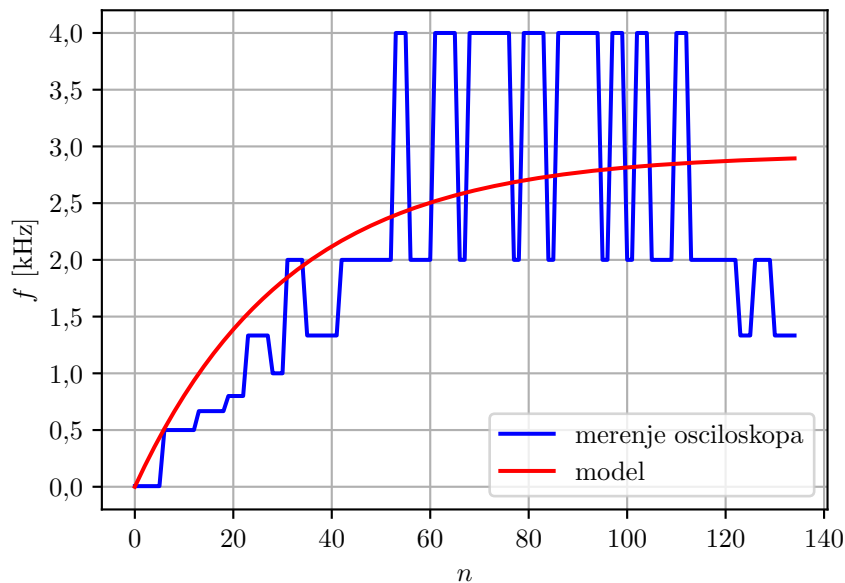
Slika 7: Modelovanje odziva jednosmernog motora prema merenjima sa arduino pločice.

na vrednost. Dobijeni broj predstavlja učestanost obrađene periode i predstavlja jednu tačku na grafiku zavisnosti periode od vremena. Postupak se ponavlja za sve periode u prikupljenim podacima.

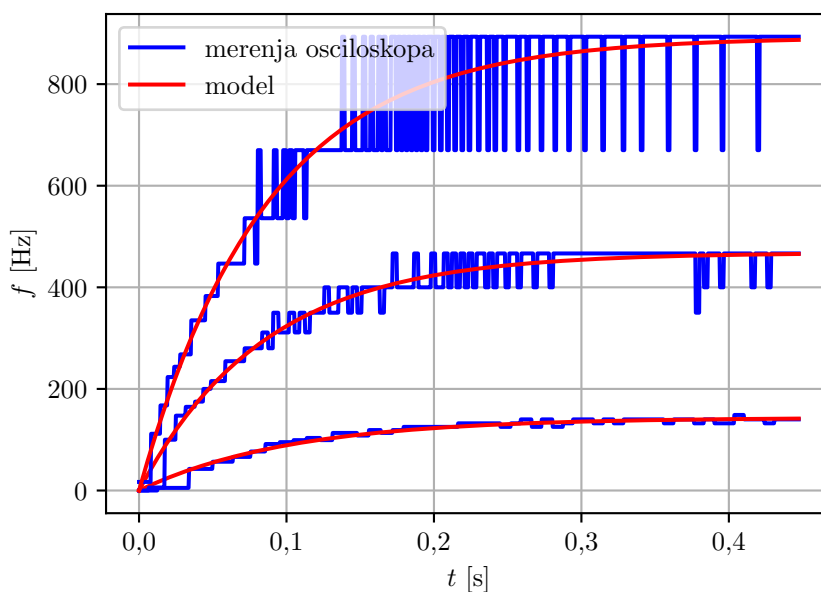
3.3 Konvertor frekvencije u napon

Kako bi signal sa izlaza motora mogao da se vrati na ulaz preko povratne sprege i na taj način kontrolisao jednosmerni motor, potrebno je obraditi signal sa izlaza enkodera. To se može obaviti uz pomoć konvertora frekvencije u napon koji je dat na slici 11, dok se prenosna karakteristika konvertora može videti na slici 12.

Konverter je sam po sebi veoma brz u poređenju sa odzivom motora i može se smatrati



Slika 8: Primer modelovanja odziva jednosmernog motora prema merenjima sa osciloskopa na oko 2 kHz.



Слика носи
веома много шенона
Одлично!

На месту где се представљају
резултати са ове слике
треба дати и табелу, колики
су параметри K_m , T_m
добijени моделовањем за
сваку од ових кривих
и дискутовати добијене
резултате

ocem

Slika 9: Tri primera za različite učestanosti signala na izlazu enkodera jednosmernog motora.

"Одређивање оптималног модела мотора на основу мереног одскочног одзива"
тако нешто

да је његов прелазни режим занемарујући у односу на динамiku jednosmernog motora. Testiranje konvertora se može odraditi kao periodična promena kontrolnog signala i posmatranje izlaza konvertora. **Пrenosna karakteristika** takvog sistema je prikazana na slici 13 označena plavom bojom. Може се видети да има доста шума који се уз помоћ филтра пропусника niskih učestanosti може **donekle** isfiltrirati uz održanje brzine ivica koje su posledice velikog signala. Napon na izlazu dodatog filtra se takođe može videti na slici 13, i on je oyna;en crvenom bojom.

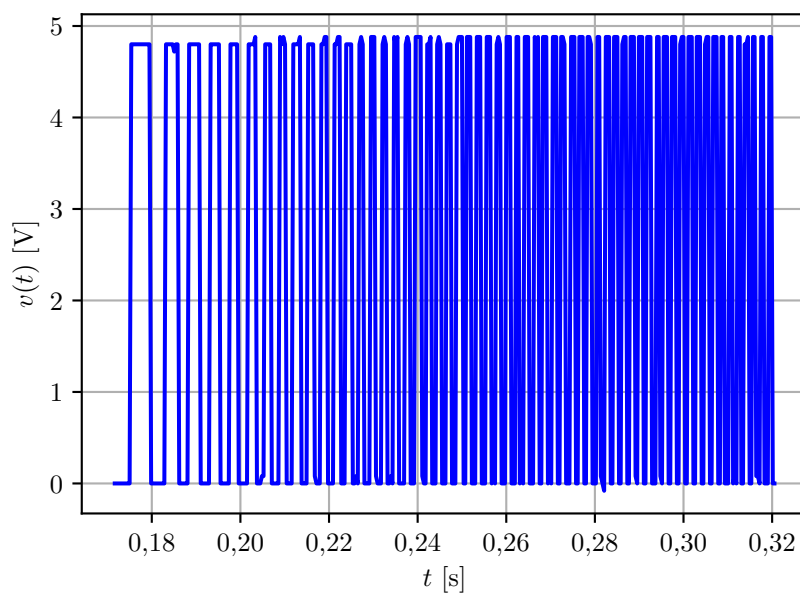
квантификовати!

То није
пrenosna
karakteristika

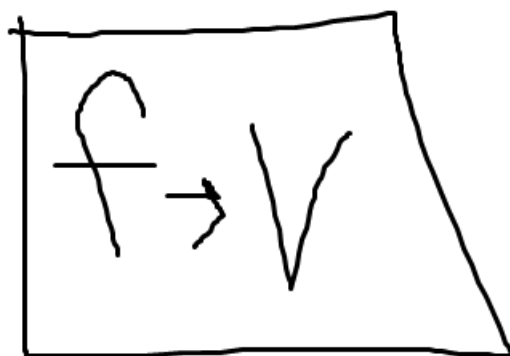
Шема, са и без транзистора једна поред друге, да се опише шта транзистор ради

Pošto se za kontrolni signal dovodi izlaz generatora signala koji predstavlja pozitivnu

ocem



Slika 10: Vremenski oblik signala na izlazu enkodera jednosmernog motora.

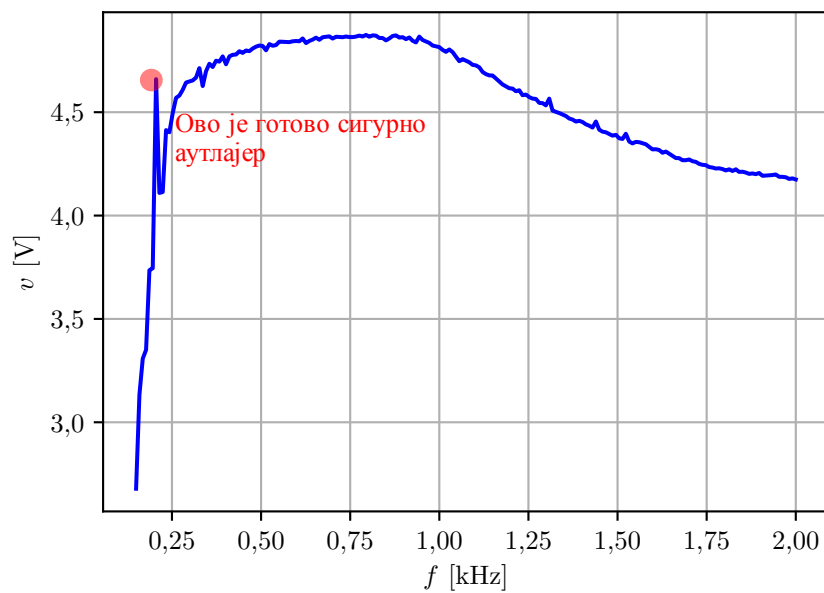


Slika 11: Konvertor frekvencije u napon.

unipolarnu povorku pravougaonih impulsa, motor **sam po sebi ne bi mogao da isprati tu dinamiku**. Rešenje tog problema je povratna sprega i mala modifikacija kola koja se može videti na slici 14.

Да ли бисмо уопште желели да мотор прати ту динамику?
Преформулисати.



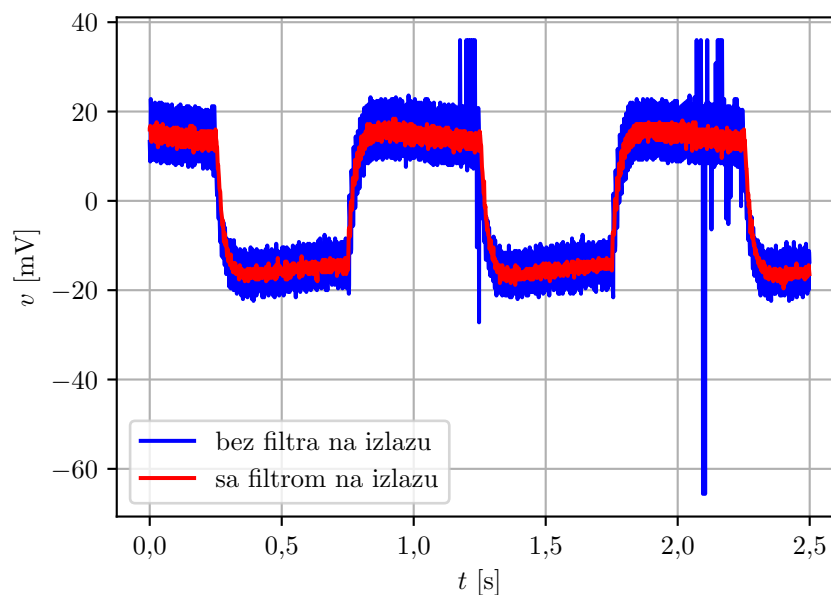


Како су добијена ова мерења?

Шта видимо из њих?

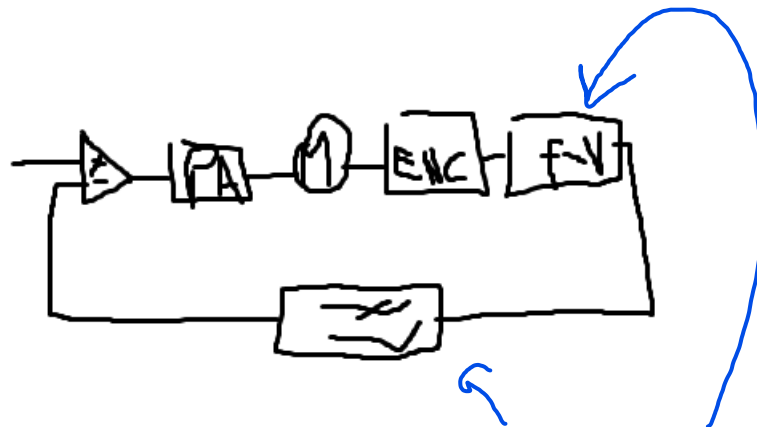
Да ли можда можемо да дискутујемо на основу шеме зашто постоји ова немонотоност?

Slika 12: Prenosna karakteristika konvertora frekvencije u napon.



Снага, или амплитуда шума?
Колико пута слабије?
Квантификација?

Slika 13: Vremenski dijagram signala na izlazu konvertora frekvencije u napon bez i sa filtrom na izlazu.



Шта је тачно модификација овде? Где је уведена немодификована шема?

Slika 14: Modifikovana šema upravljanja jednosmernog motora uz pomoć povratne sprege.