ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET	OSIJEK Električni strojevi
Vježba br. 5:	
Student:	MATLAB – Simulink: Modeliranje i simulacija 2
Grupa:	

#### 5.1. CILJ VJEŽBE

Na primjeru simulacije sustava prvog reda (RC krug) kao i na primjeru kvazistatičkog ponašanja istosmjernog porednog motora bit će prikazan princip grupiranja i maskiranja modela u Simulinku. Na kraju ove vježbe studenti će biti u stanju primijeniti postupke grupiranja i maskiranja na konkretne primjere iz električnih strojeva.

#### 5.2. Modeliranje RC kruga

Modeliranje sustava prvog reda započinje kreiranjem nadomjesne sheme sustava koji se sastoji od idealnog kapaciteta C i otpornika R kako je prikazano na slici 1.



Slika 5.1. Sustav prvog reda

Za jednu petlju i jedan čvor se prema I. i II. Kirchhoffovu zakonu mogu napisati sljedeće jednadžbe:

$$u_C = u_R$$

$$i_C = -i_R = i$$
(5 - 1)

Sređivanjem jednadžbe (5-1) dobivamo diferencijalnu jednadžbu sustava prvog reda:

$$\frac{q}{RC} + \frac{dq}{dt} = 0 \tag{5-2}$$

Ulazna varijabla je početna vrijednost naboja na kondenzatoru  $q_0$  a varijablu stanja nam predstavlja količina naboja q.

Odaberemo li za izlaz sustava napon na otporniku  $u_R$  kao konačno rješenje diferencijalne jednadžbe dobivamo:

$$u_R = \frac{q}{C} \cdot e^{\frac{-l}{RC}(t-t_0)} \tag{5-3}$$

Promotrimo li diferencijalnu jednadžbu (5-2) vidimo da je derivacija naboja proporcionalna naboju. Ako bi izlaz iz integratora bio naboj na kapacitetu *C*, ulaz u integrator tada mora biti derivacija naboja koja je proporcionalna s tim istim nabojem. Također vidimo da je potrebno vratiti izlaz iz integratora uz odgovarajuće pojačanje. Time smo dobili blok – shemu sustava koju odmah možemo unijeti u Simulink (slika 5.2).



Slika 5.2. Simulink blok - shema RC kruga

U ovom modelu simulirat će se dinamički odziv RC sustava za sljedeće parametre sustava: R =4  $\Omega$ , C = 0,5  $\mu$ F te q<sub>0</sub> =5 C. Vrijednosti parametara RC kruga direktno su unesene u model. Početna vrijednost naboja na kondenzatoru odabire se u bloku za integriranje. Pri tome treba paziti da blok za integriranje nosi oznaku *1/s* a ne oznaku integrala zbog veze s Laplaceovom transformacijom.

Simulacijom smo dobili vrijednost odziva od trenutka t=0s do trenutka t =10s. Za metodu integracije odabire se *ode45* pošto se radi o kontinuiranom sustavu. Ostale parametre simulacije podešavamo u dijalog boksu parametara simulacije.

Da bi se mogli vidjeti rezultati simulacije potrebno je aktivirati blok *Scope* dvostrukim klikom. Korištenjem gumba koji predstavlja automatski odabir skale dobiva se optimalni prikaz signala (slika 5.3.)



Slika 5.3. Oblik napona na otporniku

U prozoru vidimo da je odziv sustava eksponencijalna funkcija koja trne kako vrijeme teži ka beskonačnosti.

Dvije značajne osobine Simulinka su *grupiranje* (tvorba podsustava) i *maskiranje* blokova. *Grupiranje* je vizualna zamjena grupe blokova jednim blokom tipa Subsystem. Postiže se na način da se mišem odaberu blokovi koji se žele grupirati te nalogom *Edit/Create Subsystem* stvara se podsustav. Time se postiže vizualno pojednostavljenje kompleksnih (složenih) modela. U jednom modelu može biti više Subsystem blokova, a grupiranje može biti i na više nivoa.



Slika 5.4. Kreirani podsustav

*Maskiranje* omogućava kreiranje *dijalog izbornika* koji zamjenjuje grupu *Subsystem* blokova. U tom dijalog izborniku unesu se svi potrebni parametri koji su potrebni za modelirajući sustav. Također je moguće kreirati i izgled novog bloka.

Prilikom *maskiranja* potrebno je kliknuti mišem dva puta na blok koji se maskira (otvaramo podsustav), a potom u svakom bloku podsustava potrebno je upisati ime varijable na mjestu veličine koja se mijenja.

– Gain – Element-wise gain (y = K.ºu) or matrix gain (y = K.ºu or y = u°K).	
Main   Signal Data Types   Parameter Data Types   Gain: Tel	Maini     Signal Data Types     Parameter Data Types       Gain:     Tm
Multiplication: Element-wise(K.*u)	Multiplication: Element-wise(K.*u)
Sample time (-1 for inherited):	Sample time (-1 for inherited):
[ <sup>1</sup>	1.

Slika 5.5. Upis varijable za pojedine blokove podsustava

Nakon upisa varijabli zatvorimo podsustav. Napravimo jedan klik mišem na podsustav a potom idemo na opciju *Edit/ Mask Subsystem* nakon čega se otvara dijaloški izbornik (Mask Editor) kao na slici 5.6.

Icon options	Drawing com	nands			
Frame					
Visible 💌					
Transparency					
Transparent 💌					
Rotation					
Rotates 💌	ř.				
, <u> </u>					
Normalized V	6				
14011101200					
Examples of drav	ing commands				
Command nort	label (label	snecific 1	orts)	<b>*</b>	-
command   por c	_raber (raber	Specific j	,01.00)		×y
Suntay	elContout' 1 'vv')				

Slika 5.6. Dijaloški izbornik (Mask Editor)

Primjer popunjavanja dijaloškog izbornika za RC sustav dan je na slici 5.7:

Con options rane rane plot ([10 6 2], [0 2 4]) plot ([10 6 2], [0	on Parameters Initialization	Documentation	lcor	Parameters   Initialization   D	Documentation		
rane vtable vtable vta	con options Drawing	commands		Dialog parameters			
Visible       Im       Odd       Im       Odd       Im       Im       Odd       Im	rame plot(f	10 6 2],[0 2 4])		Prompt	Variable	Type	Evaluate Tunabl
ransparency Opeque T totation Freed T hts Scamples of drawing commands command port_label (label specific ports) yrmax port_label(volquit,1, 'xy) Jamaek OK Cancel Help Apply	Visible 💌		>	Pojacanje 2	Tm	edit 👻	ম ম
Conque ving commands texter	ranenaraneu		1	1			
Opdate totation to							
tetion Fixed  ints							
Fixed The second description Documentation Mask description Mask description Mask description Set the help for the block	otation						
nts xamples of drawing commands port_label (label specific ports) ythax port_label(output', 1, xy') hmask OK Cancel Help Apply Examples of drawing commands OK Cancel Help Apply Examples of drawing commands Ummask OK Cancel Help Apply Examples of drawing commands OK Cancel Help Apply Examples of drawing commands Mask description Prazmierral initialization Documentation Mask help Sustav prvog reda Set the help for the block	Fixed 💌						
xamples of drawing commands memory fort_label (label specific ports) treask OK Cancel Hep Apply	nits			Options for selected para	meter		
xampes of drawing commands command port_label (label specific ports) vy rflax port_label(loupu', 1, xy) hmask OK Cancel Help Apply Umask OK Cancel Help Apply Wask editor: RC sustav I con   Parameters   Initialization Documentation   Mask type RC sustav Mask help Sustav prvog reda Set the help for the block				Popups (one per line): Ir	n dialog: 📙 Show paran	neter 🗖 En	able parameter
ormand port_label (label specific ports)	xamples of drawing commands						
rrfax       port_label('output', 1, 'xy')	ommand port_label (la	bel specific ports) 💌		C	Dialog		
Immask       OK       Cancel       Help       Apply         Icon       Parameters       Initialization       Documentation         Mask type       Icon       Parameters       Initialization       Documentation         Mask description       Prazyjenje kondenzatora       Immask       Immask       Immask         Mask help       Immask       Set the help for the block       Immask       Immask	/ntax port label/'output'. 1. '	(Y)	хур	c	allback		
Immask       OK       Cancel       Help       Apply         Ummask       OK       Cancel       Help       Apply	the second secon	L L					
Jimmask       OK       Cancel       Help       Apply         Ummask       OK       Cancel       Help       Apply         Immask       Color       Parameters       Initialization       Documentation         Mask type       RC       sustav       Mask description       Prisznierije kondenzatora         Mask help       Sustav prvog reda       Set the help for the block       Set the help for the block				l.	1		
25       Mask editor : RC sustav         Icon   Parameters   initialization Documentation           Mask type         RC sustav         Mask description         Preznjerije kondenzatora         Mask help         Sustav prvog reda         Set the help for the block	1	1 1 1			1		
Ison   Parameters   Initialization Documentation         Mask type       RC austav       Mask description       Praznjenje Kondenzatora       Mask help       Sustav prvog reda       Set the help for the block	Inmask	OK Cancel Help	Apply	ımask		DK Cancel	Help Ap
22     Mask celtor: RC sustav       Icon   Parameters   Initialization   Documentation         Mask type       RC sustav       Mask description       Praznjenje kondenzatora       Mask help:       Sustav prvog reda       Sustav prvog reda	Jnmask	OK Cancel Help	Apply	imask		DK Cancel	Help Ap
Icon Parameters Initialization Documentation Mask type RC sustav Mask description Prazrierije kondenzatora  Mask help Sustav prvog reda  Sustav prvog reda  Set the help for the block	Inmask	OK Cancel Help	Apply	mask		DK Cancel	Help Ap
Mask type RC sustav Mask description Praznjenje kondenzatora Mask help Sustav prvog reda Set the help for the block	hmask	OK Cancel Help 25 Mask editor : RC sustav	Apply	mask	× ]	OK Cancel	Help Ap
RC sustav         Mask description         Praznjenje kondenzatora         Mask help         Sustav prvog reda         Set the help for the block	hmask	OK Cancel Help	Apply U	mask		OK Cancel	Help Ap
Mask description Praznjenje kondenzatora Mask help Sustav prvog reda Set the help for the block	hmask	OK Cancel Hep	Apply	mask		OK Cancel	Help Ap
Praznjenje kondenzatora Mask help Sustav prvog reda Set the help for the block	hmask	CK Help	Apply	mask	×	OK Cancel	Help Ap
Mask help Sustav prvog reda Set the help for the block	Inmask	OK Cancel Help	Apply	mask	×	OK Cancel	Help Ap
Mask help Sustav prvog reda Set the help for the block	hmask	OK Cancel Help 25 Mask editor : RC sustav Icon   Parameters   initialization Docum Mask type [RC sustav Mask description Prast description Prast indenzetora	Apply	mask		OK Cancel	Help Ap
Mask help Sustav prvog reda Set the help for the block	Inmask	OK Cancel Hep	Apply	mask		Cancel	Help Ap
Mack help Sustav prvog reda Set the help for the block	Inmask	OK Cancel Help 25 Mask editor : RC sustav Icon Parameters Initialization Docum Mask type RC sustav Mask description Praznjenje kondenzatora	Apply	mask	× 1	K Cancel	Help Ap
Sustav prvog reda Set the help for the block	Inmask	OK Cancel Help	Apply	mask		XK Cancel	Help Ap
Set the help for the block	Inmask	OK Cancel Help	Apply	mask		OK Cancel	Help Ap
Set the help for the block	Inmask	OK     Cancel     Help       25     Mask editor : RC sustav       Icon   Parameters   initialization     Docum       Mask type     RC sustav       Mask description     Praznjenje kondenzatora       Mask help     Sustav prvno reda	Apply	mask		Cancel	Help Ap
	Inmask	OK Cancel Help	Apply	mask		OK Cancel	Help Ap
	Inmask	OK     Cancel     Help       22     Mask editor : RC sustav       Icon     Parameters     Initialization       Mask type     RC sustav       Mask description       Praznjenje kondenzetora       Mask help       Sustav prvog reda	entation	mask		Cancel	Help Ap

Slika 5.7. Primjer popunjavanja pod opcija Mask Editora

Unutar dijaloškog izbornika nalaze se 4 podizbornika gdje postoje različite mogućnosti podešavanja u svezi maskiranog objekta. Neka od podešenja su izgled (prikaz) maskirane ikone, oznake parametara maskiranog sustava, naziv i opis maskiranog objekta itd. Moguće je i kreiranje "izgleda" novog objekta na način da se unutar podizbornika Icon, pod kartice Drawing commands unese nalog kao što je prikazan na slici 5.7. Primjeri unosa naloga dani su unutar podizbornika *Icon*, unutar podkartice *Examples of drawing commands*.

RC sustav (mas	k)	
Praznjenje kon	denzatora preko otpora	
arameters		
Pojacanje 1		
2		
Pojacanje 2		
5		

		1.0				
ļ	RC sustav	PRAZNIEN	IE KONDENZ	Scope		24
		ĸ	Aut Cresimir Miklo	tor osevic, dipl.i	ng.	

Slika 5.8. Maskirani RC sustav

Jednostavnost izmjene vrijednosti parametara sustava kao i mogućnost korištenja istog simulink modela za analizu utjecaja promjene pojedinih parametara sustava samo su neke od prednosti korištenja postupka grupiranja i maskiranja sustava.

Pridodani opisi služe za dokumentiranje ponašanja cjelokupnog sustava. Na kraju ćemo to pohraniti pod izabranim nazivom u jednoj mdl - datoteci.

# 5.3. Zadaci za vježbu

## 5.3.1. Simuliranje kvazistatičkog ponašanja istosmjernog porednog motora

Programirajte u Simulinku blok dijagram kao u lijevom dijelu slike 5.9. i provedite simulaciju tako da dobijete dijagram n=f(M) kao u manjoj umetnutoj slici desno. Provedite postupak grupiranja i maskiranja blokova na istosmjernom porednom motoru.

### Napomena:

Modeliranje istosmjernog porednog motora počiva na njegovoj nadomjesnoj shemi motora, nazivnim podacima (natpisna pločica), parametrima motora (izmjereni, izračunati), uspostavom diferencijalnih jednadžbi i primjenom Laplaceove transformacije.



Slika 5.9. Blok dijagram istosmjernog porednog motora (dobivanje mehaničke karakteristike)

U gornjem dijelu blok dijagrama nalazi se dinamički sustav koji proizvodi skokovitu promjenu opterećenja (slika 5.10.) na osovini elektromotora i koji se može koristiti pri simulaciji njegova kvazistatičkog ponašanja.

Blokovi *Skok od nule na 2 Nm* i *Usporedba* se parametriraju kao u slici 5.11., a ostale blokove ostavimo na predpodešenjima. Upoznajte se s njima preko njihove Help funkcije, kako biste razumjeli parametriranje. Blok *Skok od nule na 2 Nm* će pokrenuti opterećivanje i ono će se u skokovima od 2 Nm povećavati sve do dostignuća najvećeg iznosa od 30 Nm. Taj će podatak pokazati displej označen s *M*. Klikom na blok M=f(t) *i* n=f(t) otvorit će se grafovi obavljene simulacije kao u slici 5.10.



Slika 5.10. Skokovito opterećenje motora realizirano blokom Step

Pomoću bloka n=f(M) direktno dobivamo izgled mehaničke karakteristike istosmjernog porednog motora.

itep			
Output a step.			
arameters			
Step time:			
1			
Initial value:			
0			
Final value:			
2			
Sample time:			
1			
🔽 Interpret vect	or parameters as 1	-D	
	and the states of the second		

-Relatio Applie (or left	nal Operator- s the selecter ) input corresp	d relational oper ponds to the firs	rator to the inputs a st operand.	nd outputs the re	sult. The top
Main	Signal Data	a Types			
Relation	nal operator:	<=			
🔽 Ena	ble zero cross	ing detection			
Sample	time (-1 for in	herited):			
-1					
		οr	Consel	11-1-	Annhu

Slika5.11. Parametriranje blokova *Step* i *Relation Operator* 

U donjem dijelu prikaza nalazi se dio dinamičkog sustava jednog istosmjernog porednog motora koji za ulazne vrijednosti okretnog momenta u Nm proizvodi na izlazu pripadajuće brzine vrtnje u min<sup>-1</sup>.

Želi li se promatrati ujecaj promjene otpora motora na promjenu nagiba karakteristike n=f(M) tada je potrebno samo u bloku *Slide Gain* promijeniti vrijednost otpora. Srednje polje prikazuje trenutnu vrijednost otpora.



Slika 5.12. Izgled bloka Slide Gain

Na kraju je još potrebno dokumentirati simulaciju. Potrebno je navesti datum izrade modela, datoteku, autora i sve to pohraniti pod izabranim nazivom u jednoj mdl. datoteci.

#### 5.3.2. Modeliranje RLC kruga (nagradni zadatak)

Na primjeru sustava drugog reda (slika 5.13.) programirajte u Simulinku blok dijagram i provedite simulaciju tako da dobijete sljedeće valne oblike:

- Struju izvora i
- Struju induktiviteta  $i_L$
- Napon na kondenzatoru  $u_C$



Slika 5.13. RLC krug

Vrijednosti parametara RLC kruga postavite na R=50 $\Omega$ , L = 0,1 H i C=1000 $\mu$ F i unesite ih u svaki blok posebno kao numeričke vrijednosti. Amplitudu napona izvora podesite na 100 V. Početne vrijednosti struje induktiviteta i napona na kondenzatora su jednake nuli. Napon izvora narinuti u trenutku t=0,05s, a vrijeme trajanja simulacije je 0,5 s. U parametrima simulacije odabire se metoda integracije *ode45*, za početno vrijeme (*Start time*) postavite 0 s, a za konačno vrijeme (*Stop time*) utipkajte 0,5 s. Za *min step size* odabire se 0,1ms, *max step size* 1ms, *relativna tolerancija* je 1e-5. Na kraju je potrebno izlazne valne oblike pohraniti unutar *Workspace*.