SI/STI2D





FORMATION MODELISATION MULTI-PHYSIQUE

# Le moteur à courant continu Ajuster les paramètres du modèle acausal à partir des mesures

### Table des matières

1. Création du signal d'entrée du modèle acausal	2
2. Modèle acausal du motoréducteur pour recherche des paramètres	
3.Recherche des paramètres	

## 1. Création du signal d'entrée du modèle acausal

Les résultats d'une simulation ne sont pas ne concordent pas en général avec les mesures car les paramètres du modèle utilisé n'ont pas les bonnes valeurs. Ceci en supposant bien sur que le montage expérimental soit le plus correct possible et que les erreurs de mesures ne soient que de type aléatoire et non pas provoquées par des erreurs de manipulation !

Matlab permet d'ajuster les paramètres d'un modèle en faisant des simulations successives et en variant petit à petit ses paramètres jusqu'à ce que la différence entre le résultat obtenu et les mesures soit inférieure à une certaine valeur imposée par l'utilisateur.

Un modèle causal comme celui utilisé dans le « TP Modélisation acausale d'un motoréducteur » doit être légèrement modifié :

- Le modèle doit recevoir les signaux initiaux sous la forme des vecteurs présents dans le Workspace :
  - $\circ$   $\:$  la tension aux bornes du moteur en fonction du temps
  - o la vitesse de rotation mesurée en fonction de temps
- Les paramètres à rechercher doivent avoir un nom et une valeur initiale

La tension appliquée aux bornes du moteurs est associée à deux vecteurs :

- Un vecteur contenant les instants de temps des mesures : time\_IN=[0.01 0.02 0.03....3.00]
- Un vecteur contenant la tension appliquée aux bornes du moteur : Signal\_IN=[4.5 4.5 ....4.5]

Le modèle Matlab ( « Signal\_IN.slx ») qui crée ces vecteurs est présenté dans la figure ci-dessous :



Nom du bloc et rôle	Bloc Matlab	Bibliothèque
« Constant »		Simulink/Commonly Used
Fournit la valeur de la		Blocks
tension appliquée aux	Constant	
bornes du moteur et inscrite		
dans le vecteur yInSignal		
« Out1 »	$\mathbf{v}_{1}$	Simulink/Commonly Used
Crée dans le workspace		Blocks
tInSignal et yInSignal	Out1	

#### • Paramétrisation du bloc « Constant »

	Bl	ock Param	eters: Cons	tant	8
Constan	t				
Output 'Consta on, tre with th	the constant sp ant value' is a ve at the constant v e same dimensio	ecified by th ctor and 'In value as a 1 ons as the c	he 'Constant terpret vect -D array. Ot onstant valu	t value' parame or parameters herwise, outpu ue.	eter. If as 1-D' is t a matrix
Main	Signal Attribute	es			
Constar	nt value:				
4.5					:
✓ Inter	pret vector parar	neters as 1	-D		
Sample	time:				
inf					:
0		<u>о</u> к	<u>C</u> ancel	<u>H</u> elp	Apply

#### • Paramétrisation du bloc « Out1 »

Block Parameters: Out1 8
Outport
Provide an output port for a subsystem or model. The 'Output when disabled' and 'Initial output' parameters only apply to conditionally executed subsystems. When a conditionally executed subsystem is disabled, the output is either held at its last value or set to the 'Initial output'.
Main Signal Attributes
Minimum: Maximum:
Data type: double ->>
Lock output data type setting against changes by the fixed-point tools
Unit (e.g., m, m/s^2, N*m): <u>SI, English,</u>
inherit
Port dimensions (-1 for inherited):
-1
Variable-size signal: Inherit
Sample time (-1 for inherited):
0.01
Signal type: auto 👻
OK         Cancel         Help         Apply

Le pas de temps doit être égal à 0,01s car le pas d'échantillonnage des mesures est égal à 0,01s.

Les vecteurs time\_IN et Signal\_IN doivent être définis dans le « Model Configuration Parameters » :

	Configuration Paran	neters: Signal_IN/Configuration	(Active)	● 🛛 😣
<b>Q</b> Search				
Solver Data Import/Export Math and Data Types Diagnostics Hardware Implementation Model Referencing Simulation Target Code Generation	Load from workspace	Connect Input		
	Time:     States:     Output:     Final states:     Signal logging:     Data stores:     Log Dataset data to file:     Single simulation output:	Format: Array	▼ State in final state .og	
	Simulation Data Inspector Record logged workspace Additional parameters	data in Simulation Data Inspector		
			OK Cancel	Help Apply

Le temps de simulation doit être égale à 3s afin de correspondre aux mesures du fichier « mesures.mat".

On lance ce modèle et dans le Workspace on doit obtenir :

Workspace		$\odot$
Name ∠	Value	
🗄 Signal_IN	301x1 double	
🕂 time_IN	301x1 double	

#### La vitesse de rotation mesurée en fonction de temps est associée à deux vecteurs:

- Un vecteur contenant les instants de temps des mesures : time\_OUT=[0.01 0.02 0.03....3.00]
- Un vecteur contenant la vitesse de rotation mesurée toutes les 10 ms: Signal\_OUT.

Le modèle Matlab ( « Signal\_OUT.slx ») qui crée ces vecteurs est présenté dans la figure cidessous :

	Signal_OUT * - Simulink primary and secondary school use 🛛 🔿 🔿 😣																	
<u>F</u> ile	<u>E</u> dit	<u>V</u> iew	<u>D</u> isplay	Dia <u>gr</u> ar	n <u>S</u> imulati	on <u>A</u> nal	ysis <u>C</u>	ode	Tool	s <u>H</u> e	elp							
2	• 🔄	• 8	\$		<b>0</b> <b>0</b> <b>0</b>	• 📰 •	ø	-				<u> </u>	- 3		»	$\oslash$	- (	<b>.</b>
Sig	nal_OU	г																
۲	🎦 Sigr	nal_OUT																•
Đ,																		
K N K																		
⇒																		
AE																		
$\sim$		Γ	mesu	res filti	e											•	1	
		Ľ															-	
0																		
>>																		
Read	ły									2	00%				Varia	ableSte	epAu	ito

Nom du bloc et rôle	Bloc Matlab	Bibliothèque
« From File »	untilled mat	Simulink/Sources
Lit les valeurs de vitesse de	untried.mat	
rotation mesurées du fichier	From File	
correspondant		
(« MCC_mesures.mat »)		
« Out1 »	$\sqrt{1}$	Simulink/Commonly Used
Crée dans le workspace		Blocks
time_OUT et Signal_OUT	Out1	

#### • Paramétrisation du bloc « From File »

Block Parameters: From File 😣						
From File						
Read data values from a variable in the specified MAT-file.						
The data values may be specified in MATLAB timeseries or matrix format.						
MATLAB timeseries may be used for any data type, complexity, or dimensions. To load the bus signal, use a MATLAB structure that matches the bus hierarchy. Each leaf of the structure must be a MATLAB timeseries object.						
Matrix format can be used only for vector, double, noncomplex signals. Each column of the matrix must have a time stamp in the first row and a vector containing the corresponding data sample in the subsequent rows.						
Simulink incrementally reads data from MAT-files of version 7.3.						
The MATLAB timeseries and structures of timeseries must be saved in MAT-files of version 7.3.						
Parameters						
File name: MCC_mesures_filtre.mat						
Output data type: double ->>						
Sample time (-1 for inherited):						
0.01						
Data extrapolation before first data point: Linear extrapolation						
Data interpolation within time range: Linear interpolation						
Data extrapolation after last data point: Linear extrapolation						
Enable zero-crossing detection						
OK         Cancel         Help         Apply						

• Paramétrisation du bloc « Out1 »

	Block Parameters: Out1 🛛 😵									
Outport										
Provide disable execute disable output	e an o d' an ed su d, the	utput por d 'Initial d bsystems e output i	t for a output . Whe s eithe	a subsyste d' paramet en a condi er held at	em or n ters onl tionally its last	nodel. y apply v execu : value	The 'O / to cor ted su or set	utput nditio bsyst to the	t when onally em is e 'Initial	
Main	Sigr	nal Attrib	utes							
Minimur	n:				Maxim	um:				
[]				:	[]					:
Data typ	Data type: double  >>									
LOCK	outpi	it data ty	pe set	tting agai	nst cha	nges b	y the f	ixea-	point too	IS
Unit (e.g	g., m,	m/s^2, i	v*m):					<u>SI,</u>	English,	
Inherit										
Port dim	nensi	ons (-1 fo	r inhe	rited):						
-1										
Variable	-size	signal:	nherit	t						•
Sample time (-1 for inherited):										
0.01										
Signal ty	ype:	auto								•
0			<u>(</u>	<u>o</u> k	<u>C</u> ance	el 🗌	<u>H</u> elp		<u>A</u> pply	

Le pas de temps doit être égal à 0,01s car le pas d'échantillonnage des mesures est égal à 0,01s.

Les vecteurs time\_OUT et Signal\_OUT doivent être définis dans le « Model Configuration Parameters » :

	Configuration Param	eters: Signal_OUT/Configuratio	on (Active)		
<b>Q</b> Search					
Q Search Solver Data Import/Export Math and Data Types Diagnostics Hardware Implementation Model Referencing Simulation Target Code Generation	Load from workspace          Input:       [t, u]         Initial state:       xInitial         Save to workspace or file         Imitial state:       xInitial         Save to workspace or file         Imitial state:       xInitial         States:       Output:         Final states:       Signal logging:         Data stores:       Log Dataset data to file:         Single simulation output:       Simulation Data Inspector         Record logged workspace       Additional parameters	time_OUT xout Signal_OUT xFinal logsout dsmout out.mat out e data in Simulation Data Inspector	Format: Save Configu	Array complete SimS ure Signals to Lu intervals: [-inf,	Connect Input tate in final state og
			<u>о</u> к	<u>C</u> ancel	Help Apply

Le temps de simulation doit être égale à 3s afin de correspondre aux mesures du fichier « MCC\_mesures\_filtre.mat".

On lance ce modèle et dans le Workspace on doit obtenir :

Workspace	$\overline{\mathbf{v}}$	
Name ∠	Value	
Signal_OUT	1x1x301 double 301x1 double	

### 2. Modèle acausal du motoréducteur pour recherche des paramètres

Le modèle acausal à utiliser est présenté dans la figure ci-dessous :



Nom et rôle du bloc	Bloc Matlab	Bibliothèque
« In1 » Signal d'entrée lu du Workspace		Simulink/Commonly Used Blocks
« Controlled Voltage Source » Source de tension controlée	Controlled Voltage Source	Simscape/Foundation Library/Electrical/Electrical sources
« Voltage Sensor » Voltmètre	Voltage Sensor	Simscape/Foundation Library/Electrical/Electrical Sensors
« DC Motor » Bloc moteur à courant continu		Simscape/Electrical/Electron ics and Mechatronics/Actuators & Drivers/Rotational Actuators
« Elecrtical Reference » Référence électrique (masse)	Electrical Reference	Simscape/Foundation Library/Electrical/Electrical
« Mechanical Rotational Reference » Référence mécanique	Mechanical Rotational Reference	Simscape/Foundation Library/Mechanical/Rotatio nal Elements

« Solver Configuration » Choix de schéma numérique de la dérivée Obligatoire pour tout modèle Simscape	f(x) = 0 Solver Configuration	Simscape/Utilities
« Ideal Rotational Motion Sensor » Capteur de vitesse de rotation	Ideal Rotational Motion Sensor	Simscape/Foundation Library/Mechanical/Mechan ical Sensors
« From File » Le fichier qui contient les mesures	From File	Simulink/Sources
« Out 1 » Crée la variable « Out1 » dans le Workspace	X1 Out1	Simulink/Commonly Used Blocks
« Scope » Oscilloscope	Scope	Simulink/Commonly Used Blocks

• **Paramètres du bloc « In1 »** Les paramètres par défaut du bloc

• Paramètres du bloc « Out1 » Les paramètres par défaut du bloc

• Paramètres du bloc « From File »

Block Parameters: From File 🛛 😣						
From File						
Read data values from a variable in the specified MAT-file.						
The data values may be specified in MATLAB timeseries or matrix format.						
MATLAB timeseries may be used for any data type, complexity, or dimensions. To load the bus signal, use a MATLAB structure that matches the bus hierarchy. Each leaf of the structure must be a MATLAB timeseries object.						
Matrix format can be used only for vector, double, noncomplex signals. Each column of the matrix must have a time stamp in the first row and a vector containing the corresponding data sample in the subsequent rows.						
Simulink incrementally reads data from MAT-files of version 7.3.						
The MATLAB timeseries and structures of timeseries must be saved in MAT-files of version 7.3.						
Parameters						
File name: MCC_mesures_filtre.mat						
Output data type: double ->>						
Sample time (-1 for inherited):						
0.01						
Data extrapolation before first data point: Linear extrapolation						
Data interpolation within time range: Linear interpolation						
Data extrapolation after last data point: Linear extrapolation						
Enable zero-crossing detection						
OK         Cancel         Help         Apply						

• Paramètres du bloc « Controlled Voltage Source » Les paramètres par défaut du bloc

Paramètres du bloc « Voltage Sensor »
Les paramètres par défaut du bloc

Paramètres du bloc « Elecrtical Reference »
Les paramètres par défaut du bloc

• Paramètres du bloc « Mechanical Rotational Reference » Les paramètres par défaut du bloc

• Paramètres du bloc « Solver Configuration » Les paramètres par défaut du bloc

#### • Paramètres du bloc « Ideal Rotational Motion Sensor »

Les paramètres par défaut du bloc

#### • Paramètres du bloc « DC Motor »

La partie électrique :

Block Parameters: DC Motor1			×		
DC Motor			^		
This block represents the electrical a	nd torque characteristics of a DC motor.				
The block assumes that no electrom same numerical value when in SI un speed and stall torque. If no information small non-zero value. When a positive current flows from t ports. Motor torque direction can be	agnetic energy is lost, and hence the back-emf and tor its. Motor parameters can either be specified directly, ation is available on armature inductance, this paramet the electrical + to - ports, a positive torque acts from t changed by altering the sign of the back-emf or torqu	que constants have the or derived from no-load er can be set to some he mechanical C to R e constants.			
Settings					
Electrical Torque Mechanical					
Model parameterization:	By stall torque & no-load speed				
Armature inductance:	L	H ~			
Stall torque:	0.36	N*m ~			
No-load speed:	300	rpm ~			
Rated DC supply voltage:	6	V ~			
Rotor damping parameterization:	By no-load current	•			
No-load current:	0.1	A ~			
DC supply voltage when measuring no-load current:	6	V ~			
	OK Cancel	Help App	oly -		

Les valeurs de « No-load current » et « Rated DC supply voltage » sont celles spécifiées dans la fiche technique du moteur. Dans cette fiche on trouve aussi « Stall torque » égal à 3,6 kg.cm ce qui donne 0.36 N.m.

La partie mécanique :

Block Parameters: DC Motor1			×
DC Motor			^
This block represents the electrical a	nd torque characteristics of a DC motor.		
The block assumes that no electrom same numerical value when in SI ur speed and stall torque. If no informa small non-zero value.	agnetic energy is lost, and hence the back- its. Motor parameters can either be specifie ation is available on armature inductance, th	emf and torque constants have the d directly, or derived from no-load is parameter can be set to some	
When a positive current flows from ports. Motor torque direction can be	the electrical + to - ports, a positive torque changed by altering the sign of the back-er	acts from the mechanical C to R nf or torque constants.	
Settings			
Electrical Torque Mechanical			
Rotor inertia:	J	g*cm^2 ∽	
Initial rotor speed:	0	rpm ~	
	12	10 - 20 00 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	
			~
	OK	Cancel Help Anni	V
	OR	Concer Theip App	1

Dans le Workspace on crée la variable L et on lui donne la valeur 0.1 H : Workspace/New

On obtient :

Workspace	$\overline{\mathbf{O}}$
Name 🛆	Value
금 Signal_IN	301x1 double
Η Signal_OUT	301x1 double
🗄 time_IN	301x1 double
Η time_OUT	301x1 double
unnamed	0

On remplace « unnamed » par « L » :

Workspace	$\odot$
Name 🛆	Value
🕂 L	0
Η Signal_IN	301x1 double
🕂 Signal_OUT	301x1 double
🕂 time_IN	301x1 double
🕂 time_OUT	301x1 double

Pour donner la valeur souhaitée à L, on clique sur sa valeur, ensuite « Clique gauche » sur la souris, suivie de « Edit value ». Dans le champs correspondant on écrit la valeur de L :

#### « 0.1 » + « ENTER »

#### Le résultat est::

Workspace		$\odot$
Name 🛆	Value	
🕂 L	0.1000	
Η Signal_IN	301x1 double	
🕂 Signal_OUT	301x1 double	
🕂 time_IN	301x1 double	
Η time_OUT	301x1 double	

#### Le Workspace sera :

Workspace		$\odot$
Name 🔺	Value	
<u>н</u> ј	10000	
H L	0.1000	
🗄 Signal_IN	301x1 double	
🗄 Signal_OUT	301x1 double	
🛨 time_IN	301x1 double	
🛨 time_OUT	301x1 double	

On peut sauvegarder ce workspace dans un fichier pour des simulations ultérieures. On peut ainsi sauter les étapes de création des signaux time\_IN, Signal\_IN, time\_OUT, Signal\_OUT ainsi que l'étape de déclaration des paramètres L et J :

Save As	8
Enregistrer <u>d</u> ans : 🗀 Paramètres_ModèleAcausal 💌 🖆 🏠 📴 📴	
<ul> <li>slprj</li> <li>MCC_mesures_filtre.mat</li> <li>Workspace_Simscape_final.mat</li> <li>Workspace_Simscape_v0.mat</li> </ul>	
Nom du fichier : Workspace_Simscape_initial.mat	]
Type de fichier : MAT-files (*.mat)	-
Enregistrer Annuler	

Les paramètres du modèle sont :

	Configuration Parameters: P	arametres_ModeleCausal/Conf	iguration (Active)	0 🛛 😣		
<b>Q</b> Search						
Solver Data Import/Export Math and Data Types	Load from workspace	Connect Input				
Hardware Implementation Model Referencing Simulation Target	Save to workspace or file					
<ul> <li>Code Generation</li> </ul>	Time:	time1 xout	Format: Array	-		
	<ul> <li>Output:</li> <li>Final states:</li> </ul>	yout xFinal	Save complete Sin	nState in final state		
	Signal logging:	logsout	Configure Signals to	Log		
	Log Dataset data to file:	out.mat				
	Single simulation output: out Logging intervals: [-inf, inf]					
	Record logged workspace	data in Simulation Data Inspector				
	<ul> <li>Additional parameters</li> </ul>					
			<u>O</u> K <u>C</u> ancel	<u>H</u> elp <u>A</u> pply		

### 3.Recherche des paramètres

Pour lancer l'algorithme censé à déterminer L,J et f on sélectionne : Analysis/Parameter Estimation/ On obtient la fenêtre :

		_		Paramete	r Estimati	on - mot	eurHelice	_Simscape			
PARAMI	ETER ESTIMA	TION	VALIDATION	VIEW				ALL D. L.		-	0 9 0
Open	Save	New	Select	Select	Sensitivity	Add Plot	Plot Model	Cost Function:	Sum Squared Error 🕶	Estimate	
Session •	Session •	Experiment	Experiments	Parameters	Analysis 👻	•	Response	0		*	-
FI	LE	EXPER	IMENTS	PARAMI	ETERS	PI	LOTS		OPTIONS	ESTIMATE	~
Data Bro	wser										
• • or diffec											
			_								
<ul> <li>Experime</li> </ul>	ents		_								
▼ Results											
- Provine	x		_								
+ FIEVIEW			_								

Dans cette fenêtre il faudra configurer les blocs : « New Experiment », « Select Parameters » et « Add Plot ».

Un clic sur « New Experiment » ouvre la fenêtre :

Parameter Estimation * - moteurHelice_Simscape 🛛 🔵 🕮 😪									
PARAMETER ESTIMA	TION	VALIDATION	VIEV					lintor	0 🕄 🔁
				<b>E</b>			Cost Function: Sum Squared E	rror 👻 📐	
Session • Session •	Experiment	Experiments	Parameters	Analysis -	Add Plot	Response	O More Options ▼	Estimate	
FILE	Edit Expe	riment: Exp				×	OPTIONS	ESTIMATE	
Data Browser	Output	S							
▼ Parameters	Specify measured output signals for this experiment. /PS-Simulink Converter2:1 (Out1) <1x1 Signal, 1 points>								
						×			
	Select Measured Output Signals								
	Inputs								
_	= moteurHe	elice_Simscape/	<u>n1:1 (In1)</u>	experiment.					
✓ Experiments	<li><lxl sig<="" td=""><td>nal, 1 points&gt;</td><td></td><td></td><td>- 🖶 🕹</td><td>×</td><td></td><td></td><td></td></lxl></li>	nal, 1 points>			- 🖶 🕹	×			
Exp	Selec	t Inputs							
<b>D</b>	Initial States Optionally define initial states for this experiment. There are currently no initial states defined for this experiment.								
✓ Results	Parame Optionally There are Select	ters define paramet currently no pa t Parameters	ers for this ex rameters defi	xperiment. ned for this e	experiment				
✓ Preview		Plot a	& Simulate	😡 Plot 🖌	ок 🥐	Help			

Dans cette fenêtre on spécifiera les champs « Outputs » et « Inputs ». « Inputs » représente le signal d'entrée [time\_IN, Signal\_IN], « Outputs » le signal de sortie, c'est-à-dire, le signal des mesures [time\_OUT, Signal\_OUT].

Pour la partie « Outputs » on introduit [time\_OUT, Signal\_OUT] :

Edit Experiment: Exp ×						
Outputs Specify measured output signals for this experiment. Vitesse de rotation mesurée:1 (Out1)						
[[time_OUT,Signal_OUT] 👻 🖶 🗶						
Select Measured Output Signals						
Inputs         Optionally specify input signals for this experiment.         Parametres_ModeleCausal/in1:1 (in1)         <1x1_Signal_1_points>						
Select Inputs						
Optionally define initial states for this experiment.						
There are currently no initial states defined for this experiment.						
Parameters Optionally define parameters for this experiment.						
There are currently no parameters defined for this experiment.						
📴 Plot & Simulate 🛛 Plot 🛛 🔗 K 🕜 Help						

Ensuite « Enter » :

Dans la fenêtre, à la place de [time\_OUT,Signal\_OUT], on obtient :



Une fois les deux signaux introduits on aura :

Outputs         Specify measured output signals for this experiment.        /Vitesse de rotation mesurée:1 (Out1)         <1x1 Signal, 301 points>					
<1x1 Signal, 301 points> 🔹 🖶 🕹 🗶					
<1x1 Signal. 301 points>					
Select Measured Output Signals					
Inputs         Optionally specify input signals for this experiment.         Parametres_ModeleCausal/In1:1 (In1)         <1x1 Signal, 301 points>					
Select Inputs					
Optionally define initial states for this experiment.					
There are currently no initial states defined for this experiment.					
Parameters Optionally define parameters for this experiment.					
There are currently no parameters defined for this experiment.					
Belect Parameters					
🙀 Plot & Simulate 🛛 🛛 Plot 🛛 🖉 OK 🔇 Help					

On peut confirmer les signaux : « OK ».

Dans le bloc « Select Parameters » on sélectionne L, J et f (on fait le choix de garder la valeur fournie par la fiche technique pour S):

Se	lect parameters	6	commutor.		
elect	model variab	les			
ilter	by variable n	ame			Q
•	Variable	Current va	Used By		
$\checkmark$	J	10000	Parametres ModeleAcausal/DC Motor1		
$\checkmark$	L	0.1	Parametres ModeleAcausal/DC Motor1		
	Signal_IN	[4.5;4.5;4.5			
	time_IN	[0;0.01;0.0			
Spe	cify expression	on indexing <mark>i</mark> f	necessary (e.g., a(3) or s.x ) OK X Cancel	(?)	He

Ces paramètres vont apparaître dans l'onglet « Parameters » :



Dans la fenêtre « Add Plot » on sélectionne « Parameter Trajectory » :



On obtient :



On peut maintenant lancer la simulation avec « Estimate » :



Le modèle sera lancé plusieurs fois avec des valeurs L,S et J différentes. Ci-dessous, les réponses indicielles initiale et finale (à la fin de l'algorithme) :



#### Réponses indicielle initiale et mesurée.



Réponses indicielle finale (après convergence de l'algorithme) et mesurée.

Dans le Workspace on obtient les valeurs finales des paramètres L et J recherchés :

Workspace		۲	
Name 🔺	Value		
- J	2.3184e+04		
	0.1475		
🗄 Signal_IN	301x1 double		
🛨 Signal_OUT	301x1 double		
time_IN	301x1 double		
time_OUT	301x1 double		