Hochschule RheinMain
FB ING. SB Maschinenbau
Prof. Dipl.-Ing. X. Wang

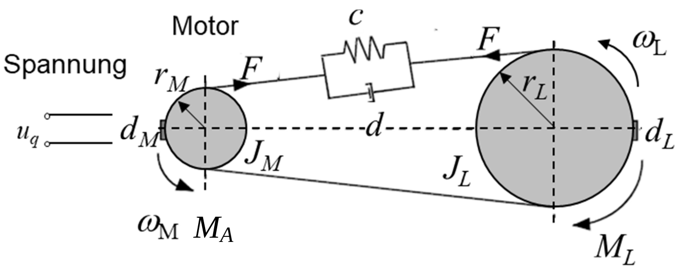
Mechatronische Systeme
KIS WS 2019/20
Klausur am 06. Feb. 2020

Name:________________

Matrikel-Nr:______________

Bildschirmtest (90 min)

Das Bild zeigt den schematischen Aufbau eines Riemengetriebes. Dieser besteht aus einer Antriebsseite (von einem permanenterregten Synchronmotor (PSM) angetriebene Riemenscheibe) und einer Lastseite (Riemenscheibe und damit verbundene Last). Dabei wird angenommen, dass der Riemen elastisch ist.



$u_q =$ Spannung
$i_q =$ Strom
$\omega_M =$ Motorwinkelgeschwindigkeit
$\omega_L =$ Lastwinkelgeschwindigkeit
$F =$ Elastische Kraft
$M_L =$ Lastmoment
$M_A = \Phi_M \, i_q$ Antriebsmoment

$J_M = 0.125\text{e-}5$	(kgm^2) Trägheitsmoment Antriebsseite	$J_L = 2\text{e-}5$	(kgm^2) Trägheitsmoment Lastseite
$d_M = 1.0\text{e-}5$	(Ns/m) visk. Dämpfung Antriebsseite	$c = 50.0$	(N/m) Steifigkeit Riemen
$r_M = 25.0$	(mm) Radius Riemenscheibe Antrieb	$d = 0.05$	(Ns/m) visk. Dämpfung Riemen
$R_M = 1.5$	(Ω) Widerstand PSM	$d_L = 5\text{e-}6$	(Ns/m) visk. Dämpfung Lastseite
$L_M = 1.0\text{e-}3$	(H) Induktivität PSM	$r_L = 50.0$	(mm) Radius Riemenscheibe Last
$\Phi_M = 0.1125$	(Wb) Permanentmagnetischer Fluss	$M_L = 0.25$	(Nm) Konstantes Lastmoment
$\Phi_i = 2.6\text{e-}2$	(Wb) Permanentmagnetischer Fluss	$U_{q0} = 24$	(Volt) Spannung

Musterlösung

Systemgleichungen:

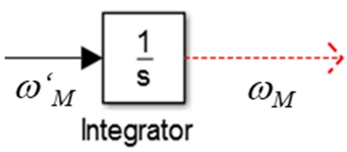
$$(1): \quad J_M \cdot \dot{\omega}_M + d_M \cdot \omega_M + r_M \cdot F = M_A$$

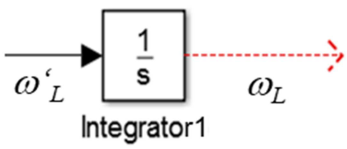
$$(2): \quad J_L \cdot \dot{\omega}_L + d_L \cdot \omega_L - r_L \cdot F = -M_L$$

$$(3): \quad \dot{F} - c \cdot r_M \omega_M + c \cdot r_L \omega_L + d \cdot \left(\frac{r_M^2}{J_M} + \frac{r_L^2}{J_L} \right) \cdot F = \frac{d \cdot r_M}{J_M} M_A - \frac{d \cdot r_L}{J_L} M_L$$

$$(4): \quad L_M \cdot \dot{i}_q + R_M \cdot i_q + \Phi_i \cdot \omega_M = u_q$$

1. Eingabedaten in m-file mit Ihrem Nachname. Erstellen Sie nach den Systemgleichungen ein Modell mit Simulink im Zeitbereich, (beginnend vom unten angegebenen Bild):





Die Anfangsbedingungen der Zustandsgrößen sollen gleich Null angenommen werden.

Das Lastmoment M_L und die Motorspannung u_q sind jeweils als sprungförmiges Eingangssignale mit
Step time = 0.1, Final value = M_L bzw. U_{q0} angenommen.

Ausgänge in Scope:

1) die Differenz der Winkelgeschwindigkeit $\omega_M - \omega_L$ in Drehzahl Δn (1/min)
2) Elastische Kraft F.
3) Antriebsmoment $M_A = \Phi_M \, i_q$

Simulation time 1 sec mit 0.001 Fixed-step.

2. Leiten Sie anhand der Systemgleichungen einen formelmäßigen Ausdruck in A, B, C, D Matrizen her. Systemeingänge: M_L , u_q, ; Ausgänge:

   1) Differenz der Winkelgeschwindigkeit ω_M - ω_L in Drehzahl Δn (1/min)
   2) Elastische Kraft F.
   3) Antriebsmoment $M_A = \Phi_M\ i_q$.

   Zustandsgrößen: $\begin{bmatrix}\omega_M & \omega_L & F & i_q\end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix}x_1 & x_2 & x_3 & x_4\end{bmatrix}^T$

$A = \begin{bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix}$ $B = \begin{bmatrix} \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \end{bmatrix}$ $C = \begin{bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix}$ D= Nullmatrix?

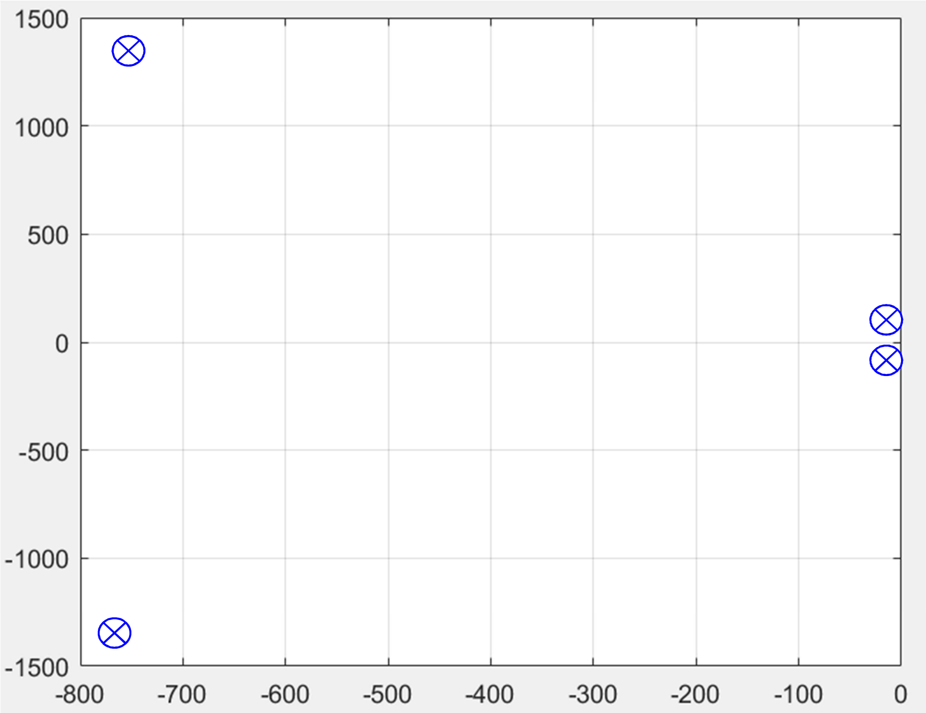
$$A = \begin{pmatrix} -\frac{\mathrm{dM}}{\mathrm{JM}} & 0 & -\frac{\mathrm{rM}}{\mathrm{JM}} & \frac{\mathrm{PHIM}}{\mathrm{JM}} \\ 0 & -\frac{\mathrm{dL}}{\mathrm{JL}} & \frac{\mathrm{rL}}{\mathrm{JL}} & 0 \\ c\,\mathrm{rM} & -c\,\mathrm{rL} & -d\left(\frac{\mathrm{rL}^2}{\mathrm{JL}}+\frac{\mathrm{rM}^2}{\mathrm{JM}}\right) & \frac{\mathrm{PHIM}\ d\,\mathrm{rM}}{\mathrm{JM}} \\ -\frac{\mathrm{PHIi}}{\mathrm{LM}} & 0 & 0 & -\frac{\mathrm{RM}}{\mathrm{LM}} \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -\frac{1}{\mathrm{JL}} & 0 \\ -\frac{d\,\mathrm{rL}}{\mathrm{JL}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\mathrm{LM}} \end{pmatrix} \qquad C = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mathrm{PHIM} \end{pmatrix} \qquad D = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

3. Verwenden Sie dazu ein m-file, in das Sie die gegebenen Variablen eingegeben und ihre Matrizen A, B, C, D mit den Variablen erstellt haben. Berechnen Sie die Eigenwerte des Systems.

-11.12	±	77.65 j
-758.63	±	134.73 j

Tragen Sie die Eigenwerte des Systems in die komplexe Ebene ein.



Ist das System stabil? Begründung!

Das System ist stabil, weil sich alle Eigenwerte in der linken Ebene befinden.

Berechnen Sie die ungedämpfte, gedämpfte Eigenfrequenzen und Dämpfungsgrad:

Ungedämpfte f_0 (Hz)	gedämpfte f_d (Hz)	Dämpfungsgrad ξ
12.4852	12.3591	0.1418
246.0912	214.4365	0.4906

4. Polten Sie die Übertragungsfunktion $\left|\frac{M_A}{U_q}\right|$ und Phasenwinkel bis $\omega = 2\pi\times 400$ rad/s in einer Figure (Bodediagramm) mit dem Titel „Übertragungsfunktion $|M_A / U_q|$".

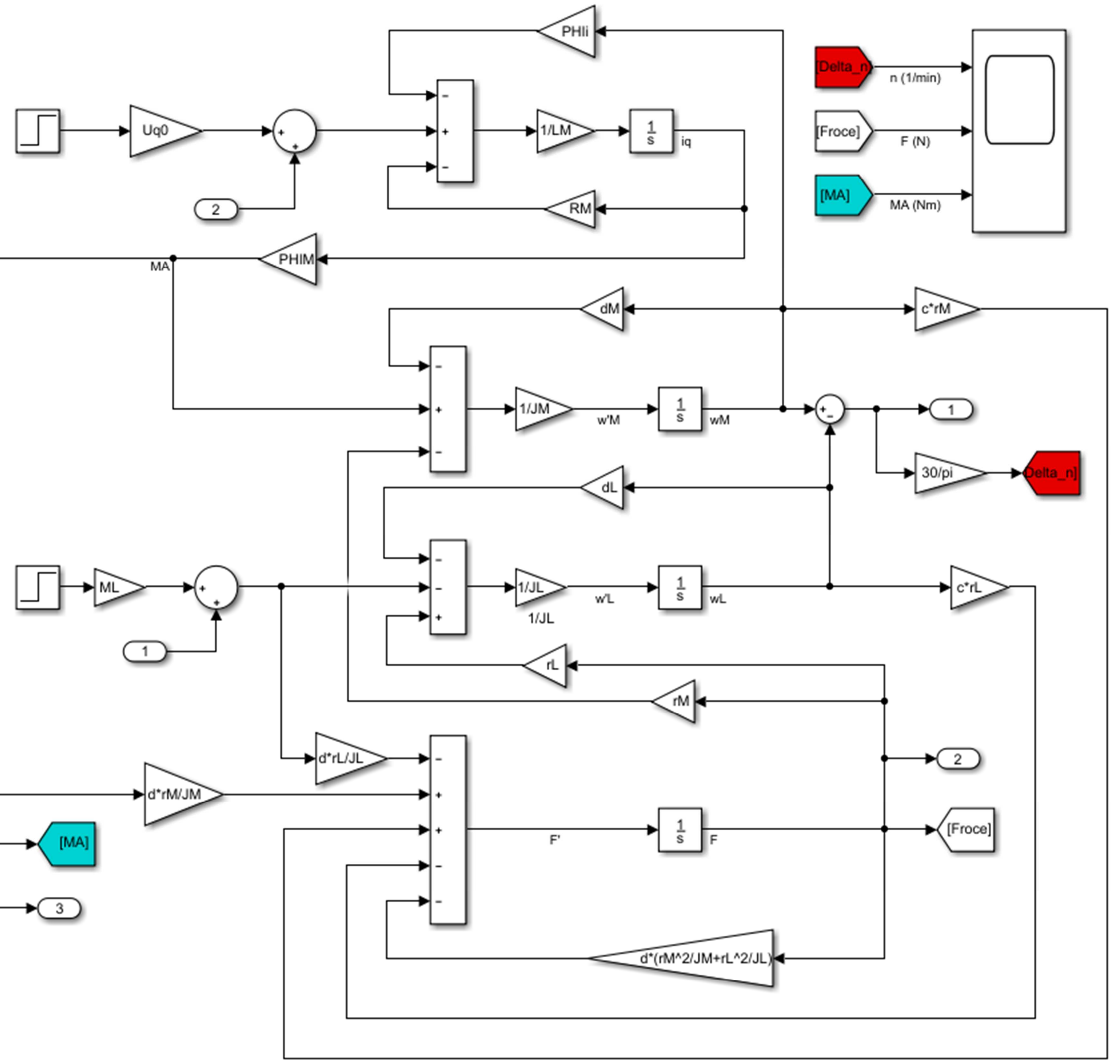
5. Speichern Sie m-File und mdl-File mit Ihrem Nachnamen plus Aufgabennummer ab!
(Beispiel: wang_mfile.m und wang_modell.mdl)

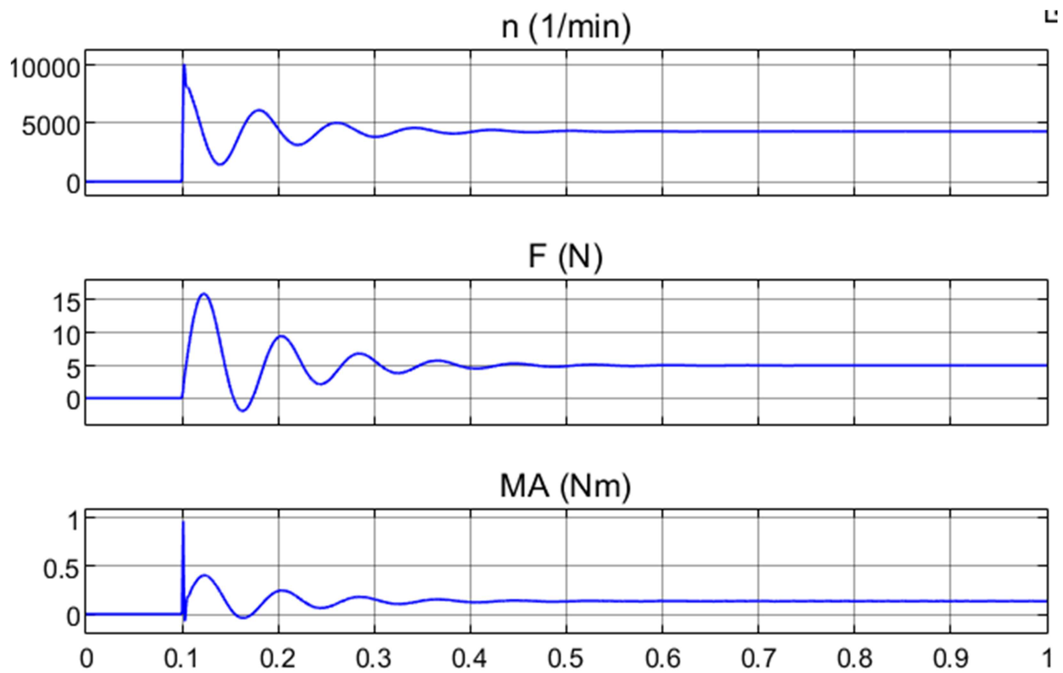
<u>Anmerkung:</u> Senden Sie die Dateien per Email an: xiaofeng.wang@hs-rm.de

Viel Erfolg!

Musterlösungen:

1. Simulinkmoell:





m-file:

```
clc; clear;
JM = 0.125e-5; %Trägheitsmoment Motor
dM = 1e-5;     %viskose Dämpfung Motor
rM = 25/1000;  %Radius Riemenscheibe Motor
RM = 1.5;      %Widerstand PSM
LM = 1.0e-3;   %Induktivität PSM
PHIi = 2.6e-2; %Fluss Permanentmagnet PSM
PHIM = 0.1125; %Fluss Permanentmagnet PSM
JL = 2e-5;     %Trägheitsmoment Last
c  = 50;       %lineare Steifigkeit Riemen
d  = 0.05;     %visk. Dämpfung Riemen
dL = 0.5e-5;   %visk. Dämpfung Last
rL = 50/1000;  %Radius Riemenscheibe Last
ML = 0.25;     %Konstantes Lastmoment
Uq0 = 24;      %Spannung
% A2
[Am Bm Cm Dm]=linmod('BTa_WS1920_am06Feb2020_MLsg');
%eigs(Am)/2/pi
 Eigenwerte = eigs(Am);
 Eigenfrqcplx=eigs(Am)/(2*pi); % in Hz
 ungedampfq=abs(Eigenfrqcplx)
 gedampfq=imag(Eigenfrqcplx);
 dampgrad=abs(real(Eigenfrqcplx)./ungedampfq);
% Das System ist stabil, weil sich alle Eigenwerte in
der linken s-Halbebene befinden.
% A5
AE=[-dM/JM  0      -rM/JM  PHIM/JM;
    0       -dL/JL  rL/JL  0;
    c*rM    -c*rL   -d*(rM^2/JM+rL^2/JL) d*PHIM*rM/JM;
    -PHIi/LM 0       0                   -RM/LM];
BE=[0        0;
    -1/JL    0;
    -d*rL/JL 0;
    0        1/LM];
CE=[1 -1 0 0;
    0  0 1 0;
    0  0 0 PHIM]; DE=[0 0; 0 0; 0 0];
plot(eigs(AE),'*'); grid;
% A5: Plot der Übertragungsfunktion
[Zaehler,Nenner]=ss2tf(AE,BE,CE,DE,2);
fhz=0:0.1:400*2*pi; % input frequenz
figure(2)
bode(Zaehler(3,:),Nenner,fhz);grid; % Bode Diagramm
title('Übertragungsfunktion |MA/Uq|');
```