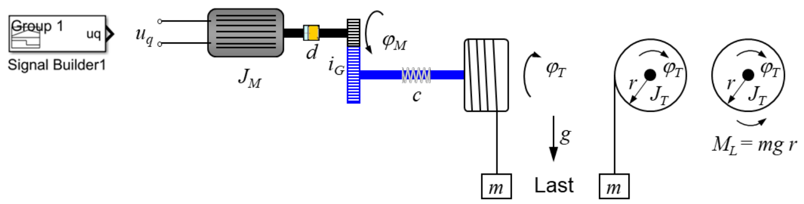
Das Bild zeigt das Hubwerk eines Krans. Die Welle des Asynchronmotors ist mit einem einstufigen Getriebe verbunden. Die Getriebeausgangswelle treibt eine Seiltrommel an, an der eine Last hängt. Durch Einschalten des Motors wird diese Last angehoben.



$u_q =$ Spannung
$i_q =$ Strom
$\varphi_M =$ Motordrehwinkel
$\varphi_T =$ Trommeldrehwinkel
$M_A = \Phi_M\, i_q$ Antriebsmoment
$M_L = mg\,r$ Kons. Lastmoment

$J_M = 0{,}5$	(kgm^2) Trägheitsmoment des Motors	g	$= 9{,}81$	(m/s^2) Erdbeschleunigung
$J_{Tm} = 5$	(kgm^2) Trägheitsmoment der Trommelseite	L_M	$= 0{,}1$	(H) Induktivität
$m = 40$	(kg) Masse der Last	R_M	$= 1{,}0$	(Ω) Widerstand
$r = 250$	(mm) Trommelradius	Φ_M	$= 0{,}9$	(Wb) Fluss Permanentmagnet
$i_G = 10$	(–) Getriebeübersetzung	Φ_i	$= 2{,}0$	(Wb) Fluss Permanentmagnet
$c = 5000$	(Nm/rad) Torsionssteifigkeit	$U_{q,\,\max}$	$= 240$	(Volt) Spannung
$d = 4$	(Nm/rad) visk. Torsionsdämpfung			

Mechanische Systemgleichungen:

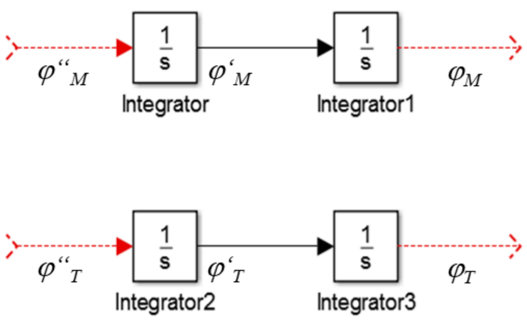
$$J_M \cdot \ddot{\varphi}_M + d \cdot \dot{\varphi}_M - \frac{c}{i_G} \cdot \left(\varphi_T - \frac{1}{i_G}\varphi_M\right) = M_A \qquad (1)$$

$$J_{Tm} \cdot \ddot{\varphi}_T + c \cdot \left(\varphi_T - \frac{1}{i_G}\varphi_M\right) = -M_L \qquad (2)$$

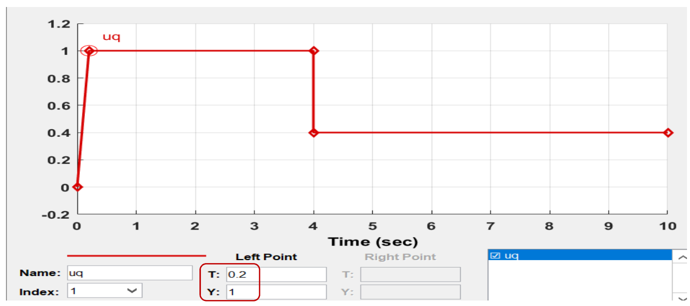
$$L_M \cdot \frac{di_q}{dt} + R_M \cdot i_q + \Phi_i \cdot \dot{\varphi}_M = u_q \qquad (3)$$

Musterlösung

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



Einheitliche Anregung der Motorspannung $u_q(t)$:



Die Anfangsbedingungen der Zustandsgrößen sollen gleich Null angenommen werden.

Die Motorspannung u_q ist als rampenförmiger Anstieg mit $U_{q,\max} = 240$ Volt angenommen.

Ausgänge in Scope: Die Differenz der Winkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}_M - \dot{\varphi}_T$ in Drehzahl n (1/min),

Antriebsmoment $M_A = \Phi_M\, i_q$ (Nm)

Simulation time 6 sec mit 0.01 Fixed-step.

2. Berechnen Sie die Eigenwerte des Systems. Ist das System stabil? Begründung!

0.0000	+	0.0000 j
-9.5434	±	5.7624 j
-0.4566	±	33.0769 j

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

Berechnen Sie die ungedämpfte, gedämpfte Eigenfrequenzen f_0, f_d (Hz) und Dämpfungsgrad ξ.

Ungedämpfte f_0 (Hz)	gedämpfte f_d (Hz)	Dämpfungsgrad ξ
5.2649	5,2644	0.0138
1.7743	0.9171	0.8561
0	0	0

[*Es gibt keine Punkte für den Trivialfall des Nulleigenwertes*]

3. Polten Sie die Übertragungsfunktion $\left|\frac{M_A}{U_q}\right|$ und Phasenwinkel bis $\omega = 2\pi\times 10$ rad/s in einer Figure (Bodediagramm) mit dem Titel „Übertragungsfunktion $|M_A / U_q|$“.

4. Leiten Sie anhand der Systemgleichungen einen formelmäßigen Ausdruck in A, B, C, D Matrizen her.

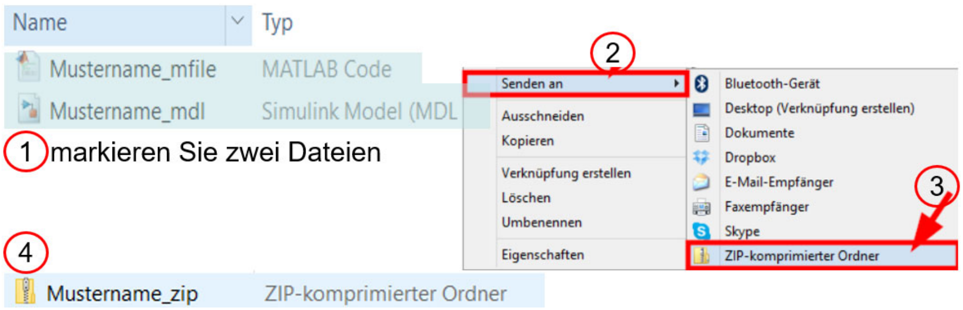
Systemeingänge: M_L , u_q, ; Ausgänge: $\dot{\varphi}_M - \dot{\varphi}_T$; Antriebsmoment $M_A = \Phi_M i_q$

Zustandsgrößen: $\begin{bmatrix} \varphi_M & \varphi_T & \dot{\varphi}_M & \dot{\varphi}_T & i_q \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 \end{bmatrix}^T$

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

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\frac{c}{\mathrm{JM\ iG}^2} & \frac{c}{\mathrm{JM\ iG}} & -\frac{d}{\mathrm{JM}} & 0 & \frac{\mathrm{PHIM}}{\mathrm{JM}} \\ \frac{c}{\mathrm{JTm\ iG}} & -\frac{c}{\mathrm{JTm}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{\mathrm{PHIi}}{\mathrm{LM}} & 0 & -\frac{\mathrm{RM}}{\mathrm{LM}} \end{pmatrix} \qquad B = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -\frac{m\,r}{\mathrm{JTm}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\mathrm{LM}} \end{pmatrix} \qquad C = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mathrm{PHIM} \end{pmatrix} \qquad D = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

5. Senden Sie m-File und mdl-File mit Ihrem Nachnamen zu eine ZIP Datei an!

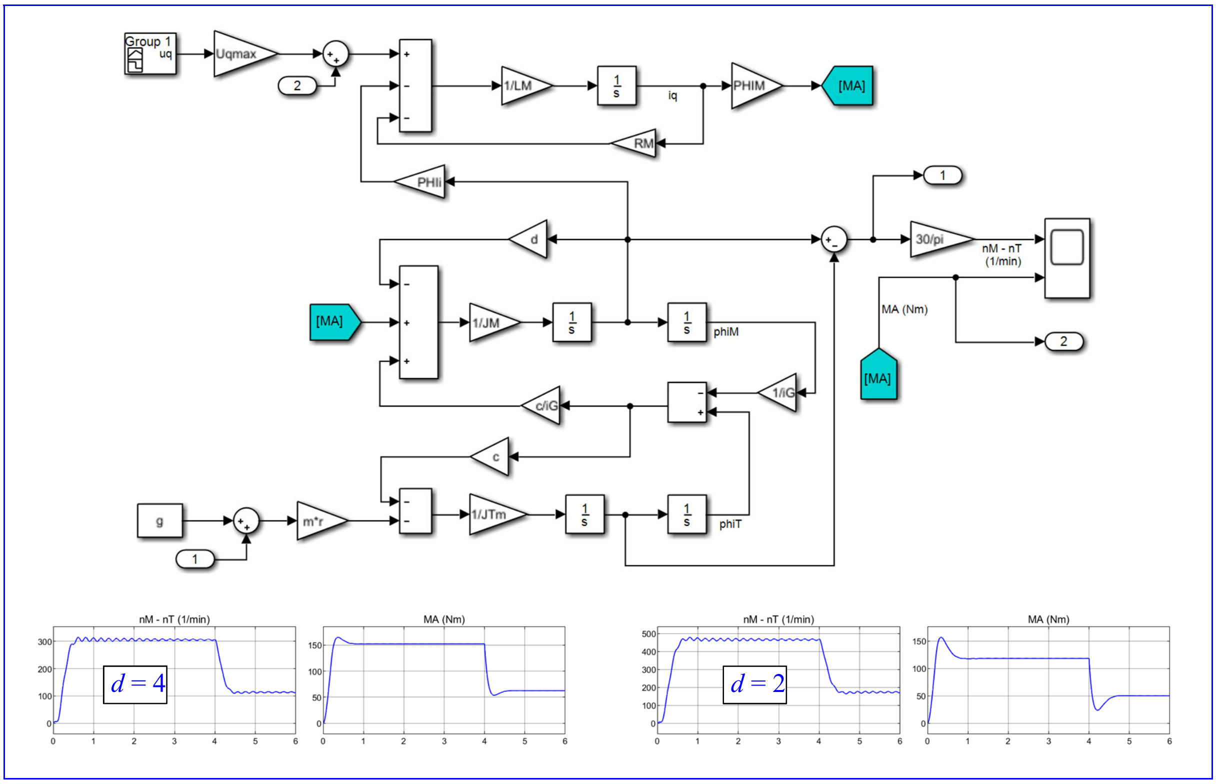


Die Datei Mustername.zip wird von Ihnen in STUD.IP hochladen!
Oder senden Sie die Dateien per Email an:

Viel Erfolg!

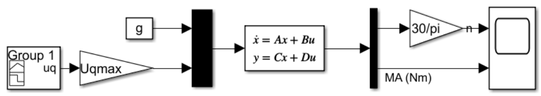
Musterlösungen:

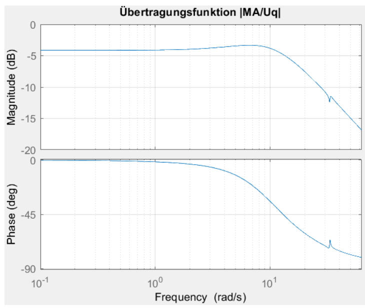
1. Simulinkmoell:



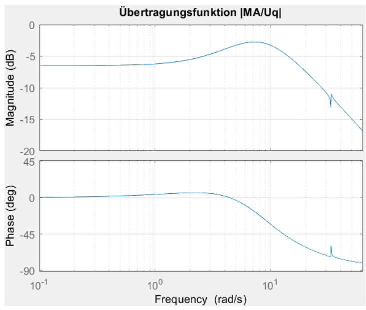
m-file:

```
clc;clear;
JM=0.5; JTm=5; m=40; r=250/1000; iG=10;
c=5*1000; d=4; g=9.81; % d = 2;
LM=0.1;RM=1.0;PHIM=0.9;PHIi=2.0; Uqmax=240;
%%A1 simulinkmodell und A2 Eigenwerte:
[Am,Bm,Cm,Dm]=lin-
mod('MS_BT_mdl_WS20_am18Feb2021_MLsg');
plot(eigs(Am),'*'); grid;
Eigenwerte=eigs(Am);
Eigenfrqcplx=eigs(Am)/(2*pi);
ungedampfq=abs(Eigenfrqcplx);
gedampfq=imag(Eigenfrqcplx);
dampgrad=abs(real(Eigenfrqcplx)./ungedampfq);
% A3:Plot der Übertragungsfunktion
[Zaehler,Nenner]=ss2tf(Am,Bm,Cm,Dm,2);
fhz=0:0.1:10*2*pi; % input frequenz
figure (2)
bode(Zaehler(2,:),Nenner,fhz);grid; % Bode Diagramm
title('Übertragungsfunktion |MA/Uq|')
% A4: Herleiten Sie anhand der Systemgleichungen
% einen formelmäßigen Ausdruck in A, B, C, D Matrizen:
A=[0, 0, 1, 0, 0;
   0, 0, 0, 1, 0;
   -c/(JM*iG^2), c/(JM*iG), -d/JM, 0, PHIM/JM;
    c/(iG*JTm), -c/JTm, 0, 0, 0;
    0, 0, -PHIi/LM, 0, -RM/LM];
plot(eig(A),'*'); grid;
B=[ 0, 0;
    0, 0;
    0, 0;
   -m*r/JTm, 0;
    0, 1/LM];
C=[0, 0, 1, -1   0;
   0, 0, 0,  0 PHIM];
D=[0,0;0,0];
```





d =4



d = 2