Schriftliche Prüfung aus **Control Systems 1**
am 21.10. 2011

Name / Vorname(n):

Kennzahl / Matrikel-Nummer:

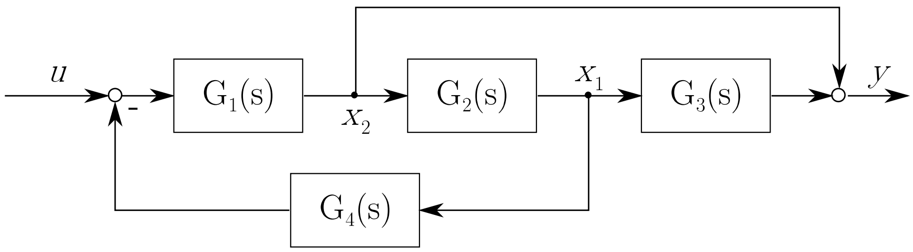
Prüfungsmodus: O VO+UE (TM) O VO (BM)

Bonuspunkte aus den MATLAB-Übungen: O ja O nein

	1	2	3	4	
erreichbare Punkte	7	4	4	4	
erreichte Punkte					

Aufgabe 1:

Gegeben sei folgendes Blockschaltbild mit der Eingangsgröße u und der Ausgangsgröße y:



a) Ermitteln Sie die Übertragungsfunktion $G(s) = \left.\frac{y(s)}{u(s)}\right|_{AW=0}$ in Abhängigkeit der Übertragungsfunktionen $G_1(s)$, $G_2(s)$, $G_3(s)$ und $G_4(s)$.

Es gilt nun für alle weiteren Aufgaben (a und b sind hierbei reelle Parameter):

$$G_1(s) = \frac{1}{s+a+b}, \quad G_2(s) = \frac{1}{s}, \quad G_3(s) = a, \quad G_4(s) = ab.$$

b) Zeigen Sie, dass $G(s)$ durch $G(s) = \frac{1}{s+b}$ gegeben ist.

c) Welches der beiden folgenden Zustandsraummodelle entspricht obigem Blockschaltbild? Berücksichtigen Sie dabei die Zuordnung $\mathbf{x}^T = [x_1, \quad x_2]$! (*Hinweis:* Beachten Sie insbesondere die Übertragungsfunktion von x_2 zu x_1!)

i) $$\frac{\mathrm{d}\mathbf{x}}{\mathrm{d}t} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -ab & -a-b \end{bmatrix}\mathbf{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}u \qquad y = \begin{bmatrix} a & 1 \end{bmatrix}\mathbf{x}$$

ii) $$\frac{\mathrm{d}\mathbf{x}}{\mathrm{d}t} = \begin{bmatrix} 0 & -ab \\ 1 & -a-b \end{bmatrix}\mathbf{x} + \begin{bmatrix} a \\ 1 \end{bmatrix}u \qquad y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix}\mathbf{x}$$

d) Ist das System **steuerbar** und / oder **beobachtbar**? (Begründen Sie Ihre Antwort).

e) Bestimmen Sie den größtmöglichen Wertebereich für die Parameter a und b, damit das obige System **asymptotisch stab**il ist.

f) Bestimmen Sie den größtmöglichen Wertebereich für die Parameter a und b, damit das obige System die **BIBO-Eigenschaft** aufweist.

Aufgabe 2:

Für die Übertragungsfunktionen zweier LZI-Systeme gilt:

$$\text{System 1:}\qquad G_1(s) = \left.\frac{y_1(s)}{u_1(s)}\right|_{AW=0} = \frac{3s-6}{s^3+2s^2+4s+5},$$

$$\text{System 2:}\qquad G_2(s) = \left.\frac{y_2(s)}{u_2(s)}\right|_{AW=0} = \frac{3}{s^4+s^3+2s^2+4s+5}.$$

Bestimmen Sie für hinreichend große Werte von t die *eingeschwungenen* Antworten $y_1(t)$ und $y_2(t)$ der beiden Systeme auf die Eingangsgrößen:

$$u_1(t) = u_2(t) = \frac{5}{6} + \frac{1}{2}\sin\left(2t + \frac{\pi}{4}\right)$$

Aufgabe 3:

Gegeben sei folgendes lineare zeitinvariante mathematische Modell mit der Eingangsgröße u:

$$\frac{\mathrm{d}\mathbf{x}}{\mathrm{d}t} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{b}u, \qquad \mathbf{x}^T = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \end{bmatrix}$$

Folgende Lösungen wurden unter unterschiedlichen Bedingungen ermittelt:

$$\begin{matrix} \mathbf{x}(t=0) = \mathbf{x}_0 \\ u(t) \equiv 0 \end{matrix} : \quad \mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} 2e^{-t} \\ 3e^{-3t} \end{bmatrix}, \qquad \qquad \begin{matrix} \mathbf{x}(t=0) = \mathbf{0} \\ u(t) = \sigma(t) \end{matrix} : \quad \mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} 2-2e^{-t} \\ 0 \end{bmatrix}$$

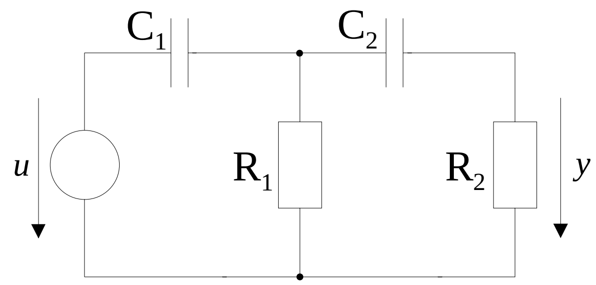
a) Ermitteln Sie die Dynamikmatrix **A** sowie den Eingangsvektor **b** des mathematischen Modells.
b) Skizzieren Sie den Verlauf der Trajektorien (mit Angabe des Richtungssinnes für wachsende Zeiten t) in der $x_1 - x_2$ - Ebene für folgende Anfangszustände:

$$\mathbf{x}_0^{(1)} = \begin{bmatrix} 3 \\ 1 \end{bmatrix}, \qquad \mathbf{x}_0^{(2)} = \begin{bmatrix} 1 \\ 3 \end{bmatrix}, \qquad \mathbf{x}_0^{(3)} = \begin{bmatrix} -2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

(hierbei muss der asymptotische Verlauf der Trajektorien ($t \to \infty$) erkennbar sein)

Aufgabe 4

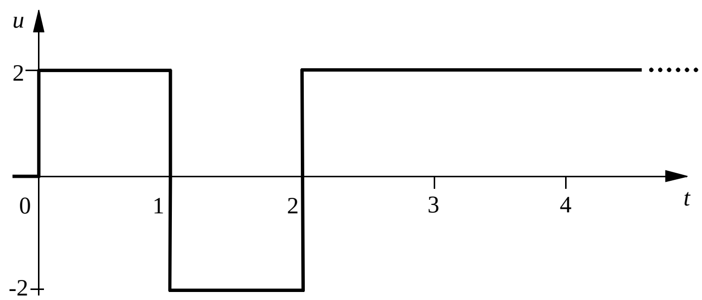
Betrachten Sie folgendes ideale elektrische Netzwerk, bestehend aus zwei Ohmschen Widerständen R_1 und R_2 sowie zwei Kapazitäten C_1 und C_2. Die von der Spannungsquelle gelieferte Spannung wird mit u symbolisiert. Mit y bezeichnen wir die Spannung am Widerstand R_2 (siehe Abbildung). Fassen Sie das Netzwerk als ein System mit der Eingangsgröße u und der Ausgangsgröße y auf.



Zur Vereinfachung der folgenden Betrachtungen soll für die Bauelemente gelten:
$R_1=R_2=R$ und $C_1= C_2=C$.

a) Führen Sie einen geeigneten Zustandsvektor $\mathbf{x}$ ein und ermitteln Sie ein mathematisches Modell der Form $\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{A}\,\mathbf{x} + \mathbf{b}\,u \qquad y = \mathbf{c}^T\mathbf{x} + d\,u$.

b) Ermitteln Sie die Grenzwerte $\mathbf{x}_\infty := \lim_{t\to\infty} \mathbf{x}(t)$ und $y_\infty := \lim_{t\to\infty} y(t)$ für folgenden Spannungsverlauf $u(t)$:



Schriftliche Prüfung aus **Control Systems 1** am 26.01. 2012

Name / Vorname(n):

Kennzahl / Matrikel-Nummer:

Prüfungsmodus: O VO+UE (TM) O VO (BM)

Bonuspunkte aus den MATLAB-Übungen: O ja O nein

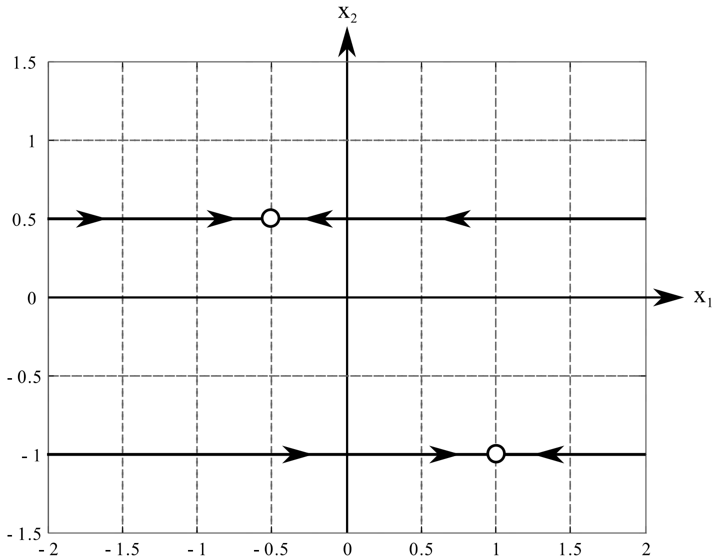
	1	2	3	4
erreichbare Punkte	7	4	4	4
erreichte Punkte				

Aufgabe 1:

Gegeben sei folgendes lineare zeitinvariante mathematische Modell mit der Eingangsgröße u, der Ausgangsgröße y und dem Zustandsvektor $\mathbf{x}$:

$$\frac{\mathrm{d}\mathbf{x}}{\mathrm{d}t} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{b}u, \quad \mathbf{x}^T := \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \end{bmatrix}$$
$$y = \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix}^T \mathbf{x}$$
.

Folgendes Trajektorienbild in der $x_1 - x_2$ - Ebene ergibt sich für verschiedene Anfangszustände $\mathbf{x}(t=0) =: \mathbf{x}_0$ und verschwindenden Eingang $u(t) \equiv 0$:



a) Ermitteln Sie zwei linear unabhängige Rechtseigenvektoren $\mathbf{p}_1$ und $\mathbf{p}_2$.

b) Ist das System beobachtbar? Begründen Sie Ihre Antwort mathematisch.

Vier Übertragungsfunktionen $G(s) = \left.\frac{y(s)}{u(s)}\right|_{AW=0}$ stehen zur Auswahl:

$$G_1(s) = \frac{2}{s(s+1)}, \quad G_2(s) = \frac{2}{s+1}, \quad G_3(s) = \frac{3}{s(s-1)}, \quad G_4(s) = \frac{5}{s-1}.$$

c) Welche der vier Übertragungsfunktionen $G(s)$ beschreibt das Eingangs-/Ausgangsverhalten obigen Systems? Begründen Sie Ihre Wahl!

d) Geben Sie eine Matrix $\mathbf{A}$ und einen Vektor $\mathbf{b}$ an, die zu der ermittelten Übertragungsfunktion $G(s)$ führen.

Aufgabe 2:

Ein lineares und zeitinvariantes System der Form

$$\frac{\mathrm{d}\mathbf{x}}{\mathrm{d}t} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u, \qquad y = \begin{bmatrix} -4 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{x}$$

wird mit einem harmonischen Signal $u(t) = U \sin(\omega t + \varphi)$ angeregt. Die Parameter U, ω und φ sind hierbei reellwertig. Nach hinreichend langer Zeit t (d.h. im *stationären* Zustand) misst man am Ausgang folgendes Signal: $y(t) = 10 \sin(2t)$.

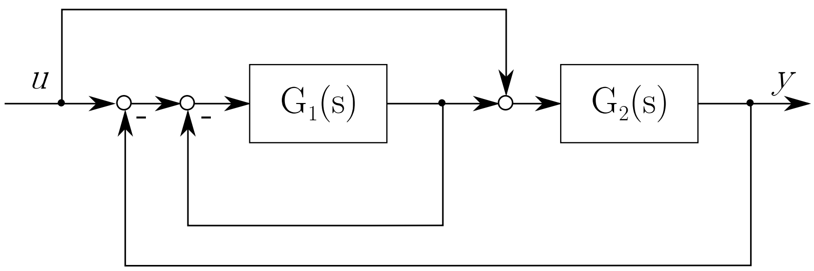
a) Welche der folgenden Systemmatrizen beschreibt obiges Verhalten? Begründen Sie Ihre Antwort.

$$\text{(i)}\ \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \qquad \text{(ii)}\ \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & -2 \\ 2 & 0 \end{bmatrix}, \qquad \text{(iii)}\ \mathbf{A} = \begin{bmatrix} -4 & 1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

b) Bestimmen Sie die Parameter U, ω und φ mit Hilfe der in a) gewählten Systemmatrix.

Aufgabe 3:

Gegeben sei folgendes Blockschaltbild mit der Eingangsgröße u und der Ausgangsgröße y:



Hierbei gilt:

$$G_1(s) = -2 \quad \text{und} \quad G_2(s) = \frac{3}{2}\frac{s+3}{s-1}.$$

a) Ermitteln Sie die Übertragungsfunktion $G(s) = \left.\frac{y(s)}{u(s)}\right|_{AW=0}$ in Abhängigkeit der Übertragungsfunktionen $G_1(s)$ und $G_2(s)$.

b) Besitzt die Übertragungsfunktion $G(s)$ die BIBO-Eigenschaft?

Aufgabe 4:

Betrachten Sie das mathematische Modell

$$\frac{\mathrm{d}\mathbf{x}}{\mathrm{d}t} = \mathbf{A}\mathbf{x} = \begin{bmatrix} -4 & 2 & -2 \\ 1 & -3 & -1 \\ -1 & 1 & -5 \end{bmatrix}\mathbf{x} \qquad \mathbf{x}(t=0) = \mathbf{x}_0 = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 3 \end{bmatrix}.$$

Folgende drei Eigenvektoren der Systemmatrix $\mathbf{A}$ sind vorgegeben:

$$\mathbf{p}_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad \mathbf{p}_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \qquad \mathbf{p}_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

a) Berechnen Sie die zugehörigen Eigenwerte s_1, s_2 und s_3 der Systemmatrix $\mathbf{A}$.

b) Berechnen Sie die Lösung $\mathbf{x}(t)$ für obigen Anfangswert $\mathbf{x}_0$.

Schriftliche Prüfung aus **Control Systems 1** am 21.03. 2012

Name / Vorname(n):

Kennzahl / Matrikel-Nummer:

Prüfungsmodus: O VO+UE (TM) O VO (BM)

Bonuspunkte aus den MATLAB-Übungen: O ja O nein

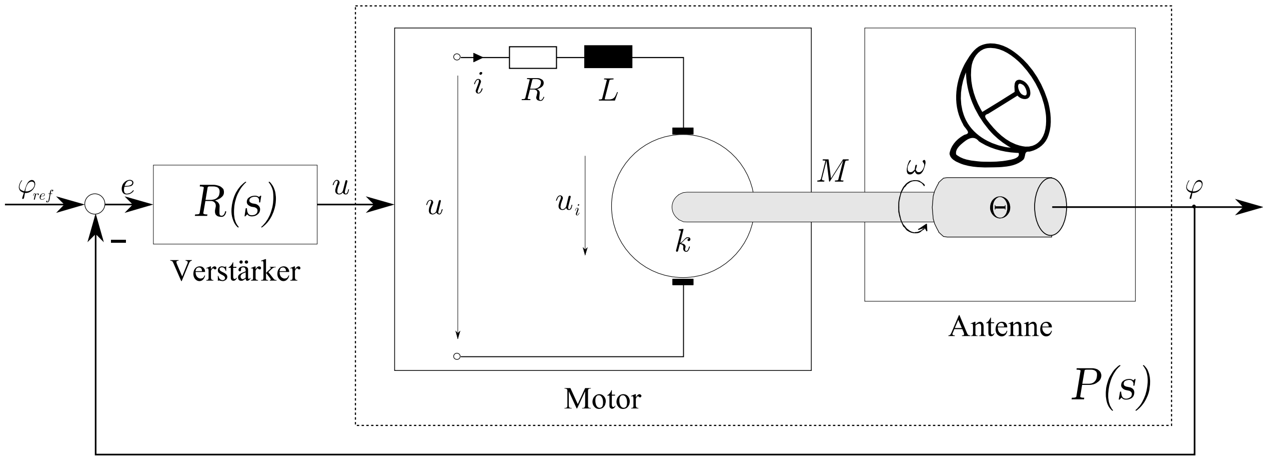
	1	2	3	
erreichbare Punkte	8	4	7	
erreichte Punkte				

Aufgabe 1:

Der Winkel φ einer Parabolantenne soll geregelt werden. Als Antrieb wird hierzu ein Gleichstrommotor verwendet, welcher durch einen idealen Ohmschen Widerstand R sowie eine ideale Induktivität L näherungsweise beschrieben wird. Als Eingangsgröße des Motors wirkt die Spannung u, welche einen Strom i durch den Anker hervorruft. Das erzeugte Moment M (Ausgangsgröße des Motors) ist proportional zum Strom: $M = k \cdot i$ (k ist hierbei die positive, reelle Motorkonstante). Es hat eine Drehung der Antenne um den Winkel φ mit der Winkelgeschwindigkeit $\omega = \mathrm{d}\varphi / \mathrm{d}t$ zur Folge. Durch diese Drehung wird wiederum eine Spannung u_i induziert, welche der treibenden Spannung u entgegenwirkt: $u_i = k \cdot \omega$.

Die Rotationsbewegung der Antenne wird in erster Näherung durch $\Theta \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} = M$ beschrieben (Θ entspricht dabei dem Trägheitsmoment der Antenne).

Der Winkel φ der Antenne wird ideal gemessen und mit dem Referenzwinkel φ_{ref} verglichen. Ein Verstärker mit der Übertragungsfunktion $R(s) = V$ (V ist hierbei ein reeller Parameter) erzeugt schließlich aus dem Regelfehler $e = \varphi_{ref} - \varphi$ die Spannung u.



Betrachten Sie zunächst nur das markierte Teilsystem bestehend aus dem Motor und der Antenne.

a) Entwerfen Sie ein lineares, zeitinvariantes mathematisches Modell der Form

$$\frac{\mathrm{d}\mathbf{x}}{\mathrm{d}t} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{b}u, \quad \mathbf{x}^T := [i, \quad \varphi, \quad \omega]$$
$$y = \mathbf{c}^T \mathbf{x}$$

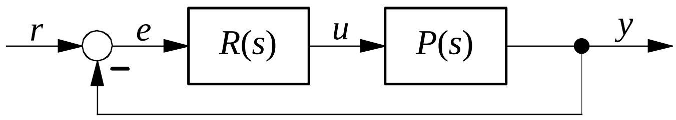
mit der Spannung u als Eingangsgröße und dem Winkel φ als Ausgangsgröße y.

b) Zeigen Sie, dass die Übertragungsfunktion $P(s) = \left.\frac{\varphi(s)}{u(s)}\right|_{AW=0}$ durch

$$P(s) = \frac{1}{s} \cdot \frac{\frac{k}{L\Theta}}{s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{k^2}{L\Theta}} \qquad \text{mit} \quad k > 0, \quad \Theta > 0$$

gegeben ist (Hinweis: Es handelt sich um eine Serienschaltung).

(Einstiegspunkt) Betrachten Sie nun den Regelkreis mit dem Verstärker $R(s) = V$ und der Übertragungsfunktion der Strecke $P(s)$ gemäß Punkt b):



c) Bestimmen Sie den größtmöglichen Wertebereich des reellen Verstärkungsfaktors V, damit die Übertragungsfunktion des Regelkreises $T(s) = \left.\dfrac{\varphi(s)}{\varphi_{ref}(s)}\right|_{AW=0}$ die BIBO-Eigenschaft besitzt.

d) Für die Parameter gilt nun:

$$R = 1, \qquad L = 1, \qquad \Theta = 1, \qquad k = 2.$$

Welchen Verlauf hat der Winkel $\varphi(t)$ im eingeschwungenen Zustand (also nach hinreichend langer Zeit t), wenn als Referenz die Funktion $\varphi_{ref}(t) = \pi + \sin(2t)$ aufgeschaltet wird und die Verstärkung mit

$$\text{i) } V = \frac{7}{4} \qquad \text{ii) } V = \frac{9}{4}$$

gewählt wird?

Aufgabe 2:

Gegeben sei ein **nicht steuerbares** System 2. Ordnung mit der Eingangsgröße u, dem Zustandsvektor $\mathbf{x}$ und der Ausgangsgröße y:

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} u, \qquad y = \begin{bmatrix} 1 & -2 \end{bmatrix} \mathbf{x}$$

Das System besitze zwei *verschiedene* Eigenwerte s_1 und s_2. Weiters sei ein Links-Eigenvektor $\rho_1^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}$ mit dem zugehörigen Eigenwert $s_1 = -1$ bekannt.

a) Bestimmen Sie für den zweiten Eigenwert einen Links-Eigenvektor ρ_2 des obigen Systems.

b) Ist das System beobachtbar? (*Geben Sie eine mathematische Begründung an!*)

c) Skizzieren Sie in der Zustandsebene die Trajektorien für den Anfangszustand $\mathbf{x}_0^T = \begin{bmatrix} 1 & -1 \end{bmatrix}$, wenn für den zweiten Eigenwert s_2 gilt:

$$\text{i) } s_2 = -2, \qquad \text{ii) } s_2 = 0, \qquad \text{iii) } s_2 = 1$$

(Hierbei muss der asymptotische Verlauf der Trajektorien ($t \to \infty$) erkennbar sein sowie der Richtungssinn für wachsende Werte der Zeit t angegeben werden.)

Aufgabe 3:

Das Modell eines Systems mit dem Zustandsvektor $\mathbf{x}$, der Eingangsgröße u und der Ausgangsgröße y liegt vor:

$$\frac{\mathrm{d}\mathbf{x}}{\mathrm{d}t} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -3 \end{bmatrix} \mathbf{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{x}$$

a) Untersuchen Sie das Stabilitätsverhalten des freien Systems.

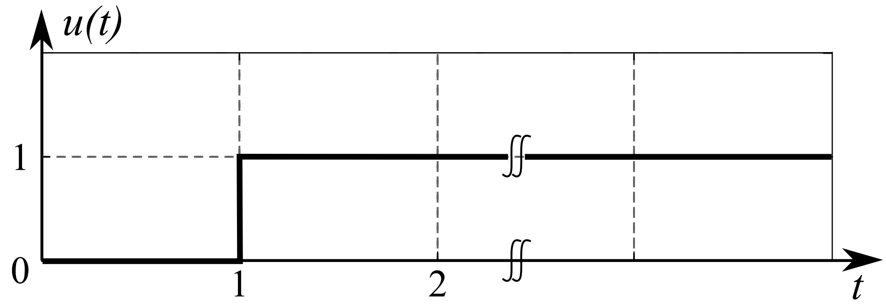
b) Ist das System steuerbar und / oder beobachtbar?

c) Besitzt das System die BIBO-Eigenschaft?

(*Begründen Sie Ihre Antworten jeweils mathematisch!)*

d) Ermitteln Sie die Transitionsmatrix $\mathbf{\Phi}(t)$ sowie die Übertragungsfunktion $P(s)$ des Systems.

Als Eingang wird nun folgender Verlauf $u(t)$ aufgeschaltet:



e) Berechnen Sie den Verlauf von $y(t)$ für den Anfangszustand $\mathbf{x}(t=0) = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}^T$.

Schriftliche Prüfung aus **Control Systems 1**
am 06.07. 2012

Name / Vorname(n):

Kennzahl / Matrikel-Nummer:

Prüfungsmodus: O VO+UE (TM) O VO (BM)

Bonuspunkte aus den MATLAB-Übungen: O ja O nein

	1	2	3	4
erreichbare Punkte	4	6	5	4
erreichte Punkte				

Aufgabe 1:

Von einem autonomen linearen, zeitinvarianten System der Form

$$\frac{\mathrm{d}\mathbf{x}}{\mathrm{d}t} = \mathbf{A}\mathbf{x}, \qquad \mathbf{x}_0 := \mathbf{x}(t=0)$$

kennt man einen Teil der Transitionsmatrix $\mathbf{\Phi}(t)$ sowie eine spezielle Lösung $\mathbf{x}(t) = \mathbf{\Phi}(t)\mathbf{x}_0$:

$$\mathbf{\Phi}(t) = \begin{bmatrix} ? & e^{-t} - e^{-3t} \\ ? & e^{-3t} \end{bmatrix}, \qquad \mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} e^{-3t}.$$

a) Bestimmen Sie die fehlenden Einträge der Transitionsmatrix $\mathbf{\Phi}(t)$, sowie die Systemmatrix $\mathbf{A}$. *(Hinweis: Beachten Sie die Deutung der Spalten von* $\mathbf{\Phi}(t)$ *!)*

b) Skizzieren Sie den Verlauf der Trajektorien (mit Angabe des Richtungssinnes für wachsende Zeiten t) in der $x_1 - x_2$ - Ebene für folgende Anfangszustände:

$$\mathbf{x}_0^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \qquad \mathbf{x}_0^{(2)} = \begin{bmatrix} 2 \\ -2 \end{bmatrix}, \qquad \mathbf{x}_0^{(3)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}$$

(hierbei muss der asymptotische Verlauf der Trajektorien ($t \to \infty$) erkennbar sein).

Aufgabe 2:

Gegeben sei ein System 2. Ordnung mit der Eingangsgröße u, dem Zustandsvektor $\mathbf{x}$ und der Ausgangsgröße y:

$$\frac{\mathrm{d}\mathbf{x}}{\mathrm{d}t} = \begin{bmatrix} -1 & -3 \\ 2 & -6 \end{bmatrix} \mathbf{x} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u, \qquad y = \begin{bmatrix} 1 & \gamma \end{bmatrix} \mathbf{x}$$

(dabei ist γ ein reeller Parameter). Die Übertragungsfunktion $G(s)$ des Systems hat folgende Form (mit den reellen Parametern n_1, s_1 und s_2):

$$G(s) = \frac{s - n_1}{(s - s_1)(s - s_2)}.$$

Bei einem Experiment wird die Eingangsgröße $u(t) = e^{-2t}$ auf das System geschaltet. Zur Überraschung aller kann aber kein Signal am Ausgang entdeckt werden: $y(t) \equiv 0$.

a) Bestimmen Sie die Werte der Null- und Polstellen der Übertragungsfunktion $G(s)$.

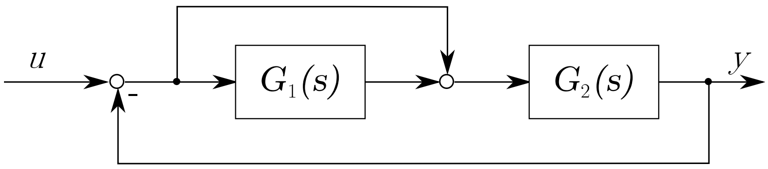
b) Ist das System steuerbar und / oder beobachtbar? *Begründen Sie Ihre Antwort* ohne *Berechnungen durchzuführen!*

c) Berechnen Sie den Parameter γ.

d) Bestimmen Sie den Anfangswert $\mathbf{x}_0 := \mathbf{x}(t=0)$, der bei dem Experiment vorgelegen hat.

Aufgabe 3:

Gegeben sei folgendes Blockschaltbild eines Systems mit der Eingangsgröße *u* und der Ausgangsgröße *y*:



Hierbei gilt:

$$G_1(s) = -\frac{2}{s+a} \quad \text{und} \quad G_2(s) = \frac{1}{s-2}.$$

a) Zeigen Sie, dass die Übertragungsfunktion $G(s) = \left.\frac{y(s)}{u(s)}\right|_{AW=0}$ durch

$$G(s) = \frac{s+(a-2)}{s^2+(a-1)s-(a+2)}$$

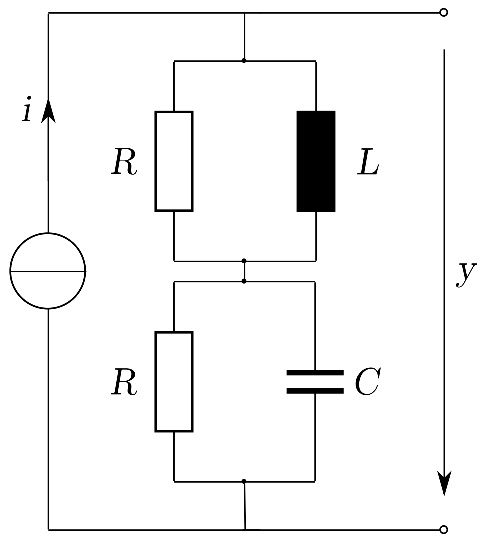
gegeben ist. *(Hinweis: Berechnen Sie $G(s)$ zunächst allgemein als Funktion von $G_1(s)$ und $G_2(s)$.)*

b) Als Eingang wird nun $u(t) = 3+\sqrt{2}\sin(t+2)$ gewählt. Bestimmen Sie für hinreichend große Werte von t die *eingeschwungene* Antwort $y(t)$ für

(i) $a=1$ (ii) $a=0$.

Aufgabe 4:

Betrachten Sie folgendes ideale elektrische Netzwerk, bestehend aus zwei Ohmschen Widerständen R sowie je einer Kapazität C und einer Induktivität L. Der von der Stromquelle gelieferte Strom wird mit i symbolisiert. Mit *y* bezeichnen wir die gesamte abfallende Spannung (siehe Abbildung). Fassen Sie das Netzwerk als ein System mit der Eingangsgröße i und der Ausgangsgröße *y* auf.



a) Führen Sie einen geeigneten Zustandsvektor **x** ein und ermitteln Sie ein mathematisches Modell der Form:

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{A}\,\mathbf{x} + \mathbf{b}\,i, \qquad y = \mathbf{c}^T\mathbf{x} + d\,i.$$

b) Bestimmen Sie die Relation zwischen R, C und L, für die das System die Steuerbarkeit verliert.

c) Ermitteln Sie die Grenzwerte $\mathbf{x}_\infty := \lim_{t\to\infty}\mathbf{x}(t)$ und $y_\infty := \lim_{t\to\infty} y(t)$ für folgenden Stromverlauf:

$$i(t) = \sigma(t) - 3\sigma(t-1).$$