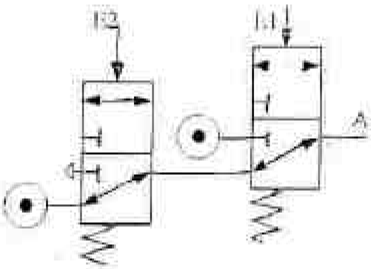
FH München Fakultät 03 Maschinenbau	**Diplomprüfung** Regelungs- und Steuerungstechnik WS 2006/07 Montag, 29.1.2007	Prof. Dr. J. Höcht Prof. R. Göhl Prof. Dr. Englberger
Zugelassene Hilfsmittel: Alle eigenen **Dauer der Prüfung:** 90 Minuten	**Name:** **Vorname:** **Sem.:** **Unterschrift:** **Hörsaal:** **Platz-Nr.:** MUSTERLÖSUNG	

1 Steuerungstechnik Grundlagen

1.1 Kombinatorische Logik und Schaltalgebra

Gegeben ist der folgende Pneumatikplan einer Verknüpfungssteuerung.



1.1.1 Schaltalgebra

1.1.1.1 Vervollständigen Sie die Wahrheitstabelle. (2P)

E1	E2	A
0	0	1
0	1	0
1	0	1
1	1	1

1.1.1.2 Vervollständigen Sie das zugehörige Karnaugh-Diagramm (2P)

E2 \ E1	0	1
0	1	1
1	0	1

1.1.1.3 Zeichnen Sie in das Karnaugh-Diagramm möglichst große Schleifen zur Minimierung ein und geben Sie die minimierte Funktion an. (2P)

A = $E1 \vee \overline{E2}$

1.1.1.4 Wie heißt diese logische Grundfunktion? (1P)

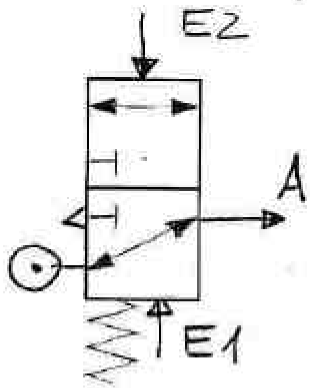
Name: IMPLIKATION

1.1.2 Technische Realisierung

1.1.2.1 Begründen Sie, ob es sich um eine passive oder aktive Schaltung handelt. (1P)

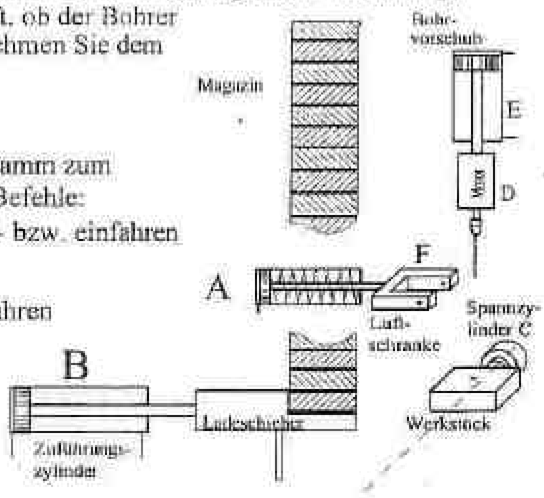
AKTIVE SCHALTUNG, DA DAS AUSGANGSSIGNAL A=1 IN JEDEM FALL DURCH DEN VERSORGUNGSDRUCK GEBILDET WIRD!

1.1.2.2 Die obige Pneumatikschaltung läßt sich auch mit einem einzigen 3/2-Wegeventil realisieren. Ergänzen Sie das nebenstehende Pneumatiksymbol durch die Signale E1, E2 und A sowie durch die Druckluft und die Entlüftung. (3P)



2 Projektierung der Steuerung für eine Bohrvorrichtung

Gegeben sei die Ihnen aus dem Praktikum bekannte Bohrvorrichtung (siehe Abbildung). Bei dieser Anlage wird vor dem Bohren geprüft, ob der Bohrer noch vorhanden ist. Weitere Einzelheiten entnehmen Sie dem unten abgebildeten Weg-Schritt-Diagramm.



2.1 Funktionsdiagramm

Vervollständigen Sie dieses Weg-Schritt-Diagramm zum **Funktionsdiagramm**. Dabei gibt es folgende Befehle:

- a_+, a_- Prüfzylinder A mit Luftschranke aus- bzw. einfahren
- f_+ Luftschranke bläst
- b_+, b_- Ladeschieberzylinder aus- bzw. einfahren
- c_+, c_- Spannzylinder aus- bzw. einfahren
- d_+, d_- Motor ein- bzw. ausschalten
- e_+, e_- Bohrvorschubzylinder aus- bzw. einfahren.

Die zugehörigen Rückmeldungen haben die Bezeichnungen a_1, a_0, f_1, f_0, b_1, b_0, c_1, c_0, d_1, d_0, e_1, e_0.

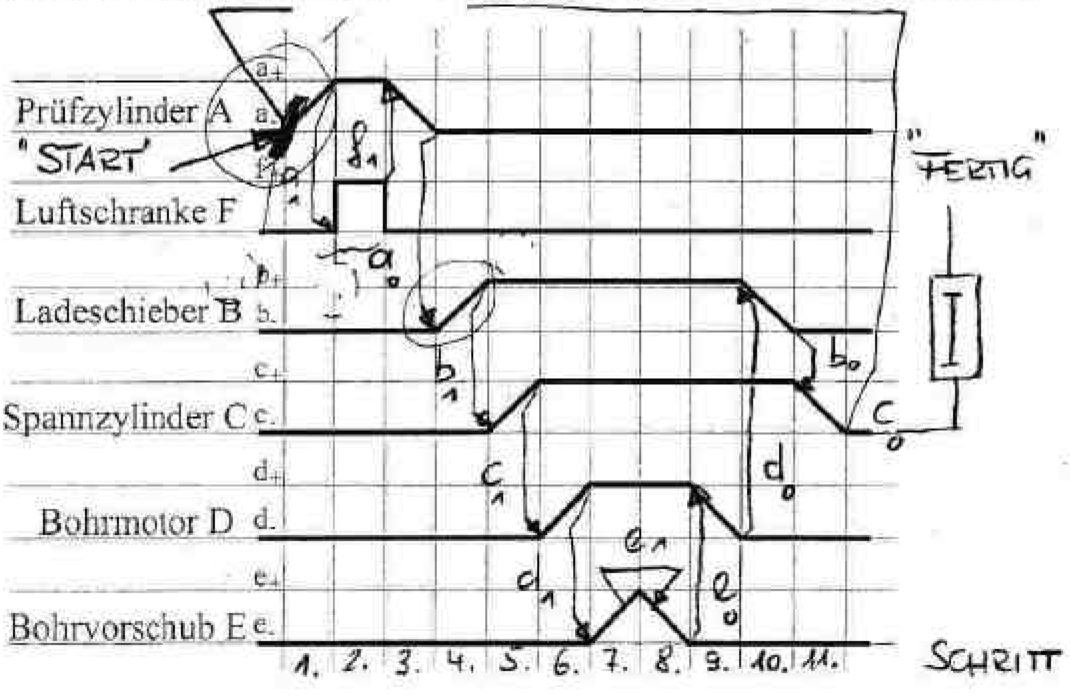
f_1 meldet „Bohrspitze vorhanden", f_0 meldet Bohrspitze abgebrochen.

Der Zyklus soll beginnen, wenn

- von einem übergeordneten Prozess das pneumatische Signal „Start" eintrifft und
- der vorhergehende Bohrzyklus über das Signal „Fertig" meldet, daß er ein Werkstück zu Ende bearbeitet hat.

Im Anschluß an die Durchführung des letzten Befehls der Bearbeitung soll nach einer **kurzen Pause** dieses pneumatische Signal „Fertig" auch an eine übergeordnete Steuerung geleitet werden.

Tragen Sie alle Signallinien, Signalbezeichnungen und benötigten Logikverknüpfungen ein. (7P)



$a_+\ f_+\ a_-\ b_+\ c_+\ d_+\ e_+\ e_-\ d_-\ b_-\ c_-$

2.2 Entwicklung einer Steuerlogik für die Bohrvorrichtung

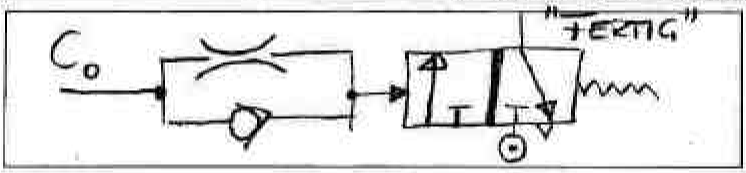
Die gesamte **Ablaufsteuerung** soll mit Taktstufen so konzipiert werden, daß nicht für jeden Schritt ein eigener Speicher verwendet wird. Im folgenden sollen Sie die Steuerung bis zum Befehl „Zuführungszylinder ausfahren b_+" als Logikplan realisieren sowie eine **Anstiegsverzögerung** mit Pneumatikelementen aufbauen.

2.2.1 Nach dem letzten Schritt der Ablaufsteuerung wird das Signal „Fertig" über eine Anstiegsverzögerung (siehe 2.1) an eine übergeordnete Steuerung geleitet.

2.2.1.1 Aus welchen Pneumatik-Elementen kann man eine Anstiegsverzögerung aufbauen? (2P)

DROSSEL-RÜCKSCHLAGVENTIL + 3/2 WEGE-VENTIL MIT FEDER-RÜCKSTELLUNG !

2.2.1.2 Zeichnen Sie ein Schaltbild aus diesen Bauelementen, das diese Anstiegsverzögerung realisiert (2P)



2.2.2 Entwickeln Sie nun einen Logik-Plan für die Steuerung bis hin zum Befehl b_+. Ergänzen Sie in den folgenden Schritten den unten gezeichneten Logikplan nach folgender Anleitung :

2.2.2.1 Der erste Speicher wird gesetzt entsprechend dem Funktionsdiagramm aus 2.1. Dessen Ausgangssignal bildet den Ausfahrbefehl für den Prüfzylinder A.

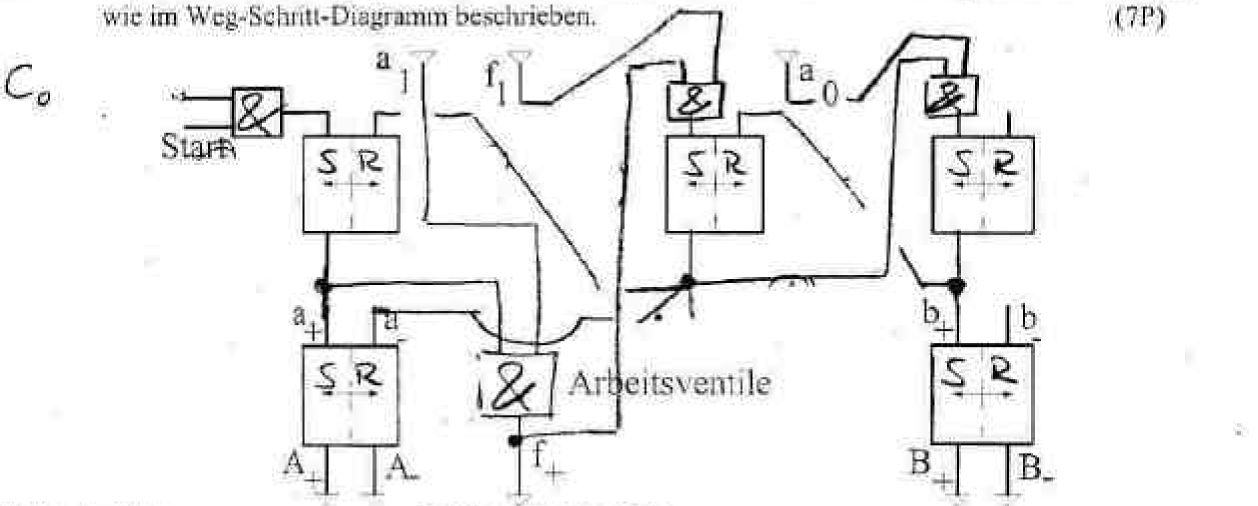
Wie müssen der Befehl a_+ und die Rückmeldung a_1 verknüpft werden, um die Luftschranke mit dem Befehl f_+ zu bedienen? Geben Sie die schaltalgebraische Gleichung an und tragen Sie das entsprechende Logiksymbol in den Schaltplan ein. (1P)

$f_+ = a_+ \wedge a_1$ BEFEHL a_+ ANGEFORDERT UND TATSÄCHLICH AUSGEFÜHRT (RÜCKMELDUNG a_1)

2.2.2.2 In gleicher Weise muß der Befehl f_+ mit der Rückmeldung f_1 für einen vorhandenen Bohrer verknüpft werden. Warum kann man mit dem Verknüpfungsergebnis nicht direkt das Arbeitsventil des Zylinders A ansteuern, um dessen Einfahren zu veranlassen? (2P)

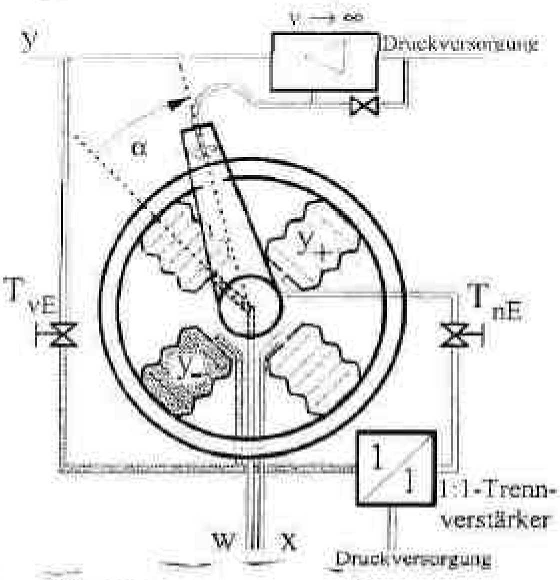
ARBEITSSPEICHER FÜR A_+ MIT HAFTVERHALTEN HAT ALS EINGANGSSIGNAL (SETZEN) IMMER NOCH $a_+ = 1$

2.2.2.3 Ergänzen Sie den Logikplan bis zum Befehl b_+ so, daß die Ablaufsteuerung sicher weiterläuft, wie im Weg-Schritt-Diagramm beschrieben. (7P)



3 Modellierung eines pneumatischen PID-Reglers

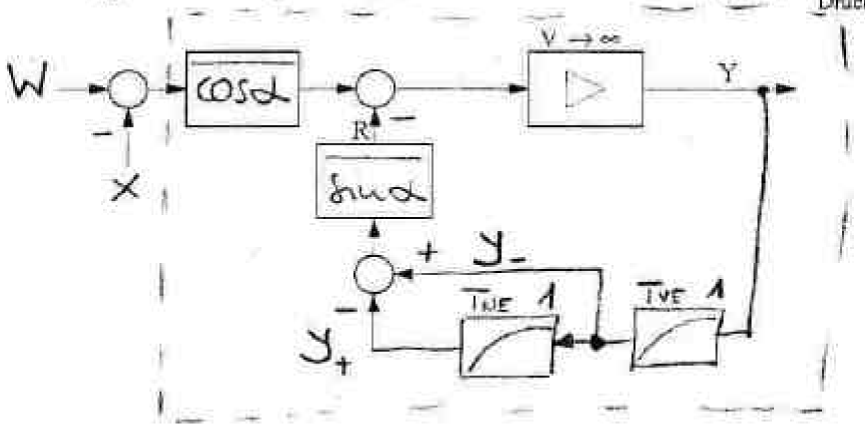
Bei einem Kreuzbalgregler wird zwischen dem Gegenkopplungsbalgen Y_- und der Drossel T_{nE} ein 1:1-Verstärker eingebaut, so daß Druckänderungen im Mitkopplungsbalgen Y_+ keine Rückwirkung auf den Gegenkopplungsbalgen Y_- haben.



3.1 Blockschaltbild des Reglers

3.1.1 Tragen Sie in das untenstehende Blockschaltbild des Kreuzbalgsystems alle Signale und in die Blöcke die Sprungantwort und den zugehörigen Parameter ein. (3P)

3.1.2 Ergänzen Sie nun das Blockschaltbild noch durch die beiden dynamischen Systeme aus der Drossel T_{vE} mit dem Balgen Y_- sowie der Drossel T_{nE} und dem Balgen Y_+ (3P)



3.2 Mathematische Beschreibung des Reglers

3.2.1 Stellen Sie die Übertragungsfunktion der Rückführung von Y nach R auf. (4P)

$$G_{rück} = \frac{R(s)}{Y(s)} = \sin\alpha \left[1 - \frac{1}{T_{NE} \cdot s + 1}\right] \cdot \frac{1}{T_{VE} \cdot s + 1} =$$

$$= \sin\alpha \cdot \frac{T_{NE} s + \cancel{1} - \cancel{1}}{T_{NE} \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{T_{VE} \cdot s + 1} =$$

$$= \sin\alpha \cdot \frac{T_{NE} \cdot s}{T_{NE} \cdot T_{VE} \cdot s^2 + (T_{NE} + T_{VE}) \cdot s + 1}$$

3.2.2 Entwickeln Sie nun mit Hilfe von 3.2.1 die Übertragungsfunktion des Reglers. Formen Sie so um, daß die nach DIN19226 festgelegte Form $G_R(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = \frac{K_R \cdot \left(1 + \frac{1}{s \cdot T_N} + s \cdot T_v\right)}{1}$ entsteht. (8P)

$$G_R(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = \cos\alpha \cdot \frac{1}{\underbrace{\frac{1}{G_{VOR}}}_{\approx 0} + G_{RÜCK}}$$

$$= \cos\alpha \cdot \frac{1}{G_{RÜCK}} = \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha} \cdot \frac{\left[T_{NE} \cdot T_{VE} \cdot s^2 + (T_{NE} + T_{VE}) \cdot s + 1\right]}{T_{NE} \cdot s}$$

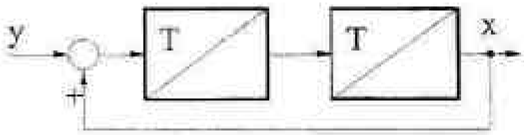
$$= \underbrace{\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}}_{K_{RE}} \left[\underbrace{\frac{T_{NE} + T_{VE}}{T_{NE}}}_{A} + \frac{1 \cdot A}{T_{NE} \cdot A} \cdot \frac{1}{s} + T_{VE} \cdot \frac{A}{A} \cdot s \right]$$

$$= \underbrace{K_{RE} \cdot A}_{K_R} \left[1 + \frac{1}{\underbrace{T_{NE} \cdot A}_{T_N}} \cdot \frac{1}{s} + \underbrace{\frac{T_{VE}}{A}}_{T_V} \cdot s \right]$$

$$A = \left(1 + \frac{T_{VE}}{T_{NE}}\right)$$

4 Reibungsfreie magnetische Positionierung

Ein ferromagnetisches Metallstück soll durch einen Elektromagneten in der Schwebe gehalten werden. Regelgröße ist die vertikale Ortskoordinate x, Stellgröße die vom Magneten ausgeübte Kraft y. Nach einer Linearisierung und weiteren Vereinfachungen ergibt sich das nebenstehende Blockschaltbild der Regel**strecke**.



4.1 Dynamische Eigenschaften der Strecke

4.1.1 Stellen Sie die Übertragungsfunktion $G_S(s)$ der Regelstrecke auf. (2P)

$$G_S(s) = \frac{X(s)}{Y(s)} = \frac{1}{\frac{1}{G_{VOR}} - G_{RÜCK}} = \frac{1}{T^2 s^2 - 1}$$

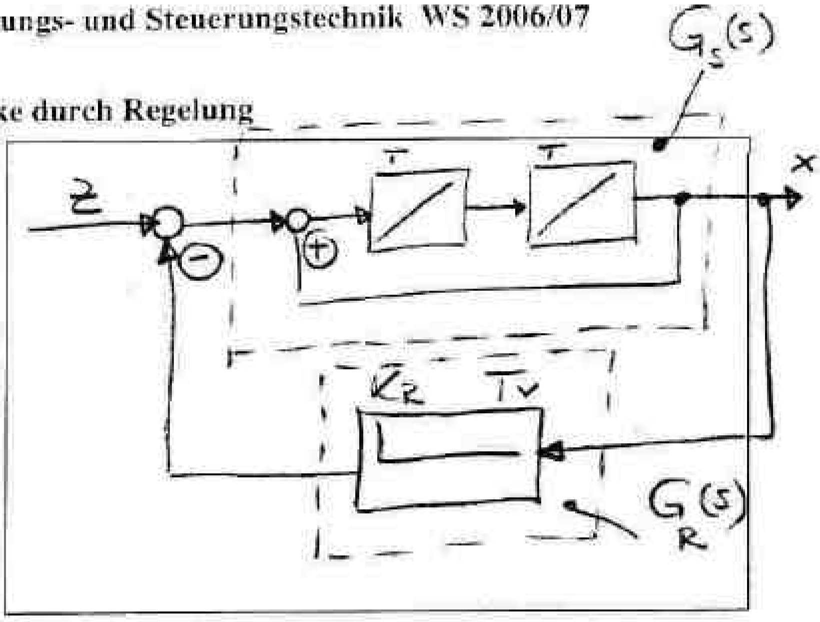
4.1.2 An welchen zwei Merkmalen erkennt man sofort, daß dieses System instabil ist? (2P)

SYSTEM 2. ORDNUNG DÄMPFUNGSANTEIL FEHLT!

NULLSTELLEN DES CHARAKT. POLYNOMS $S_{1,2}$ POS. REALTEIL

4.2 Stabilisierung der Strecke durch Regelung

4.2.1.1 Abweichungen aus der Soll-Lage durch eine sprungförmige Störung z sollen mit Hilfe eines PD-Reglers möglichst gut ausgeregelt werden. Zeichnen Sie das Blockschaltbild des **gesamten** Regel**kreises**. Tragen Sie in die Blöcke die Sprungantworten ein und kennzeichnen Sie die Leitungen mit den zugehörigen Signalen. (4P)



4.2.2 Stellen Sie die Übertragungsfunktion $G_z(s)$ des Regelkreises auf und formen Sie so um, daß das konstante Glied des Nennerpolynoms zu 1 wird. (5P)

$$G_Z(s) = \frac{X(s)}{Z(s)} = \frac{1}{\frac{1}{G_S(s)} + G_R(s)} = \frac{1}{T^2 s^2 - 1 + K_R + K_R \cdot T_V \cdot s}$$

$$= \frac{1}{T^2 s^2 + K_R \cdot T_V \cdot s + (K_R - 1)} \begin{array}{l} :(K_R - 1) \\ = \\ :(K_R - 1) \end{array}$$

$$= \frac{\frac{1}{K_R - 1}}{\frac{T^2}{K_R - 1} s^2 + \frac{K_R \cdot T_V}{K_R - 1} \cdot s + 1}$$

4.2.3 Geben Sie die zugehörige Differentialgleichung an. (2P)

$$\frac{T^2}{K_R - 1} \ddot{x}(t) + \frac{K_R \cdot T_V}{K_R - 1} \dot{x}(t) + x(t) = \frac{1}{K_R - 1} z(t)$$

4.2.4 Welche bleibende Regelgröße x_∞ stellt sich ein, wenn z von 0 auf z_0 springt? (1P)

$$x(t \to \infty) = \frac{1}{K_R - 1} \cdot z_0$$

$\ddot{x}(t) = \dot{x}(t) = 0$ für $t \to \infty$

für $x(t \to \infty) = \text{const.}$

4.2.5 Die Zeitkonstante der Strecke sei $T = 3\,\text{sec}$. Die Reglerparameter sind eingestellt auf $K_R = 2$ und $T_v = 1\,\text{sec}$. Im folgenden soll möglichst genau die dynamische und stationäre Reaktion der Regelgröße x auf einen Sprung der Störgröße z ermittelt werden.

4.2.5.1 Berechnen Sie mit 4.2.4 den Zahlenwert des stationären Endwerts x_∞, wenn $z_0 = 1$ ist. Was fällt Ihnen dabei auf? Was ist hier vorwiegend der Zweck der Regelung? (2P)

$x(t \to \infty) = 1$ STÖRUNG WIRD NICHT AUSGEREGELT!
SYSTEM ABER ZUNÄCHST STABILISIERT!

4.2.5.2 Berechnen Sie nun die Pole der Übertragungsfunktion $G_z(s)$ mit der Zeitkonstanten der Strecke (T = 3 sec), aber den noch variablen Koeffizienten des PD-Reglers. (4P)

CHARAKTERISTISCHES POLYNOM = 0

$$9s^2 + K_R T_v \cdot s + (K_R - 1) = 0$$

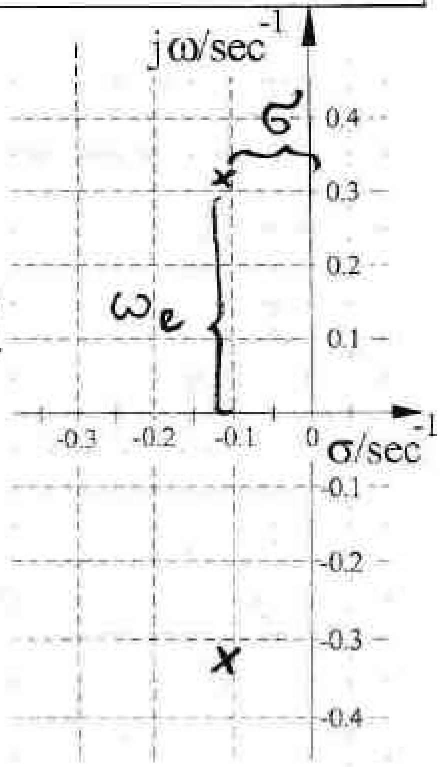
$$s_{1/2} = \frac{-K_R T_v \pm \sqrt{K_R^2 T_v^2 - 36(K_R - 1)}}{18};$$

4.2.5.3 Welche konkreten Werte nehmen die Pole für die Reglereinstellung aus 4.2.5 an? Tragen Sie die Pole in das nebenstehende Diagramm ein. (4P)

$$s_{1/2} = \frac{-2 \pm \sqrt{4 - 36}}{18}$$

$$= \frac{-2 \pm \sqrt{-32}}{18} = \frac{-2 \pm j \cdot 4\sqrt{2}}{18}$$

$$= \underbrace{-0.11}_{\sigma} \pm \underbrace{j\,0.314}_{j\omega_e}$$



4.2.5.4 Mit welchem dynamischen Verhalten reagiert der Regelkreis also auf einen Sprung der Störgröße? (1P)

SYSTEM SCHWINGT GEDÄMPFT!
$0 < D < 1$

4.2.5.5 Ermitteln Sie aus den Polen der Übertragungsfunktion die **Frequenz** (Achtung! Faktor $2 \cdot \pi$ nicht übersehen!), mit der die Regelgröße auf ihren stationären Wert einschwingt. (3P)

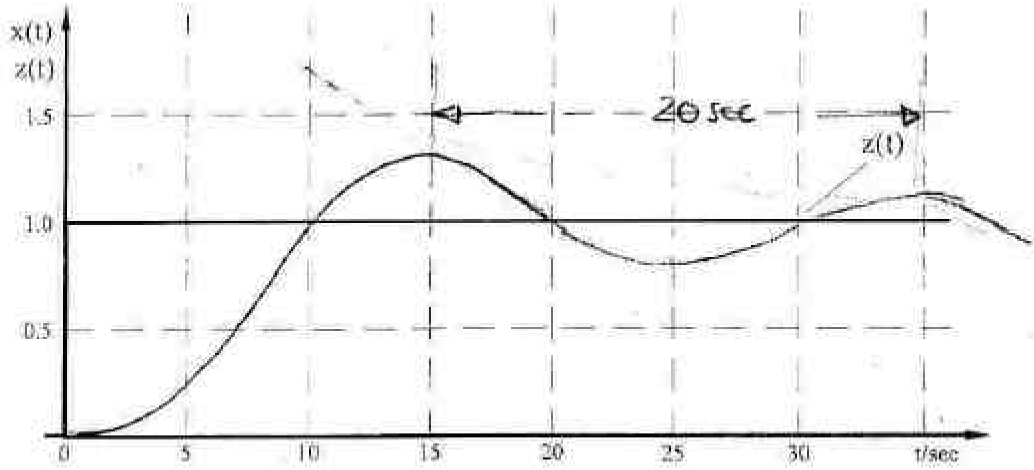
$\omega_e = 0.314 = 2\pi \cdot f$; $f = \frac{\omega_e}{2\pi} = 0{,}05$ Hz

PERIODENDAUER = 20 SEC

4.2.5.6 Welchen Wert hat die Zeitkonstante, mit der die Regelgröße sich dem stationären Wert annähert? (2P)

$T_{ABKL.} = \frac{1}{\sigma} \approx 9$ sec

4.2.5.7 Zeichen Sie mit den bisher berechneten Werten möglichst genau die Reaktion der Regelgröße in das untenstehende Diagramm ein. (4P)



4.2.5.8 Wie groß muß T_v, bei $K_R = 2$ werden (siehe 4.2.5.2), damit die Regelgröße aperiodisch auf den stationären Endwert einschwingt? (3P)

BEDINGUNG: D = 1, 2 GLEICHE NULLSTELLEN, REELL, NEG. REALTEIL

$\sqrt{4T_v^2 - 36} = 0 \quad T_v^2 = 9$

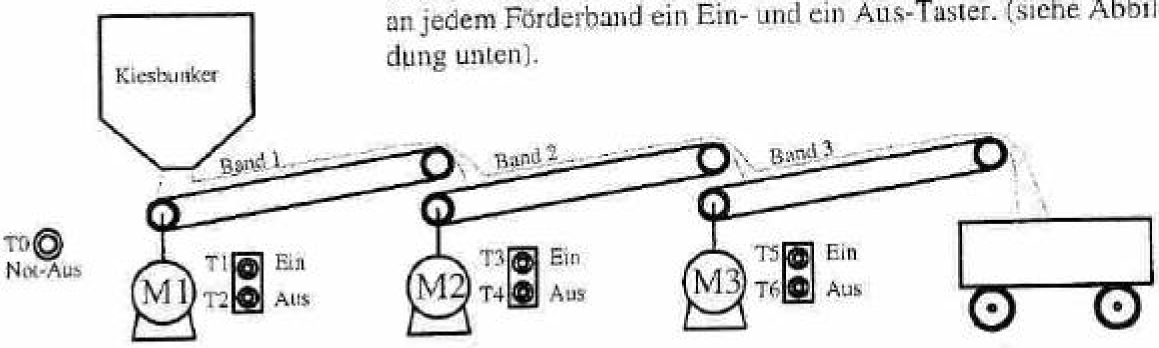
$T_v = 3$ sec

Viel Erfolg!

FH München Fakultät 03 Maschinenbau	**Diplomprüfung** Regelungs- und Steuerungstechnik SS 2007 Mittwoch, 18.7.2007	Prof. Dr. J. Höcht Prof. R. Göhl Prof. Dr. Englberger
Zugelassene Hilfsmittel: Alle eigenen **Dauer der Prüfung:** 90 Minuten	**Name:** MUSTERLÖSUNG **Vorname:** Höcht **Sem.:** **Unterschrift:** **Hörsaal:** **Platz-Nr.:**	

1 Steuerung einer Kiesförderanlage

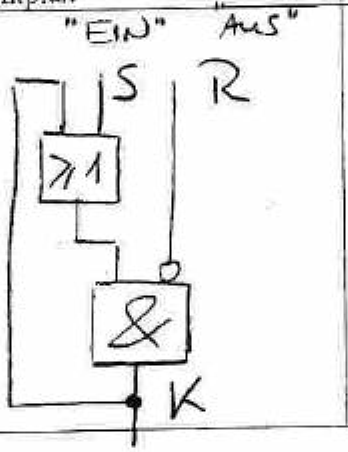
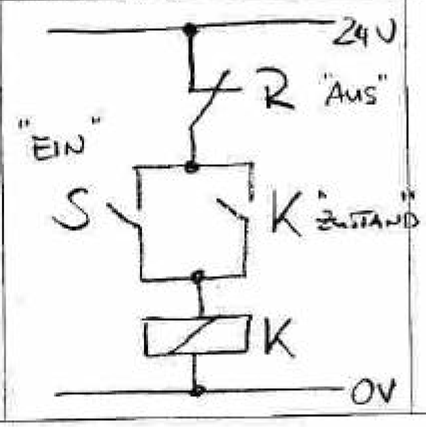
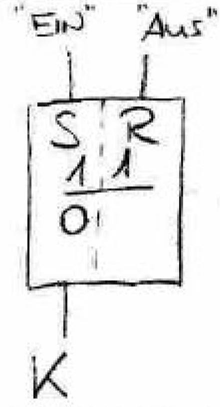
Eine Kiesförderanlage besteht aus drei Förderbändern, deren Antriebsmotoren M_1, M_2, M_3 einzeln ein- und ausgeschaltet werden können. Dazu befindet sich an jedem Förderband ein Ein- und ein Aus-Taster. (siehe Abbildung unten).



Eine geeignete **Ein**schalt- und **Aus**schalt-**Reihenfolge** soll verhindern, daß es zu Stauungen des Fördergutes auf Band 2 oder Band 3 kommen kann. Ein Not-Aus-Taster T_0 kann bei Betätigung sofort alle Bänder gleichzeitig ausschalten.

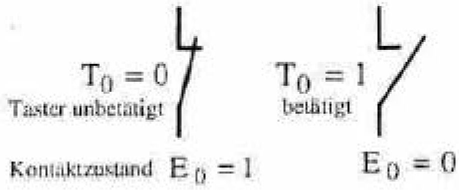
1.1 Darstellungsarten von Speicherfunktionen

Zur Ansteuerung der Antriebsmotoren M_1, M_2 und M_3 für die drei Bänder über Motorschütze werden Speicherfunktionen mit Rücksetzvorrang eingesetzt. Geben Sie dazu den Logik**plan**, den Stromlaufplan und das Logik**symbol** an und verwenden Sie dabei für die Eingangssignale die Bezeichnungen S und R sowie für den Ausgang K. (6P)

Logikplan	Stromlaufplan	Vollständiges Logik**symbol**
		

1.2 Zuordnung logischer Zustände zu den Betätigungen der Signal-Ein- und Ausgabegeräte

Die Zustände T der Signaleingabegeräte, z.B. des Notaus-Tasters T_0, wirken auf elektrische Kontakte E, bei denen es sich um Schließer oder Öffner handeln kann. Beispielsweise wirkt eine Betätigung des Notaus-Tasters $T_0 = 1$ auf einen Öffner E_0, so daß kein Strom mehr über den Kontakt fließen kann, also $E_0 = 0$ gilt (siehe nebenstehende Kontakte und zugehöriges Beispiel in der 2. Zeile der folgenden Tabelle).



In dieser Weise sollen Sie die folgende Zuordnungstabelle für die drei Bänder ergänzen durch Ankreuzen bzw. Eintragen des Kontaktzustandes 0 bzw. 1. **Jedes Motorschütz soll neben seinen Arbeitskontakten M über je einen Schließer und Öffner als Hilfskontakte K verfügen.** (6P)

Ein-/Ausgangs-Signal	Logischer Zustand Signalgerät	Kontaktart Öffner	Kontaktart Schließer	Kontaktbezeichnung	Kontaktzustand
Beispiel: Not-Aus-Taster	$T_0 = 1$	X		E_0	0
Band 1:					
Ein	T1= 1		X	E1	1
Aus	T2 = 1	X		E2	0
Motor läuft	M1 = 1	X	X	K1	"Öffn." 0 | "Schlies" 1
Band 2:					NEG. IDENT.
Ein	T3= 1		X	E3	1
Aus	T4 = 1	X		E4	0
Motor läuft	M2 = 1	X	X	K2	"Öffner" 0 | "Schlies" 1
Band 3:					
Ein	T5= 1		X	E5	1
Aus	T6 = 1	X		E6	0
Motor läuft	M3 = 1	X	X	K3	0 | 1

1.3 Reihenfolgeverriegelung

Eine Reihenfolgeverriegelung liegt vor, wenn Speicherfunktionen nur in einer ganz bestimmten festen Reihenfolge gesetzt bzw. gelöscht werden dürfen.

- Band 1 darf nur einschaltbar sein (= Speicher setzen), wenn Band 2 läuft.
- Band 2 darf nur einschaltbar sein, wenn Band 3 läuft.
- Band 3 darf nur ausschaltbar sein (= Speicher löschen), wenn Band 2 ausgeschaltet ist.
- Band 2 darf nur ausschaltbar sein, wenn Band1 ausgeschaltet ist.
- Eine Betätigung des Notaus-Tasters führt auf alle Fälle zur Abschaltung aller Bänder.

1.3.1 Geben Sie jeweils die beiden Bedingungen (schaltalgebraische Funktion) für das Setzen S sowie das Rücksetzen R der Motorschütze mit den Kontaktsätzen K1 bis K3 in Abhängigkeit von den Taster**kontakten** E0 (Not-Aus) und E1 bis E6 sowie den Hilfskontakten K1 bis K3 an. Achten Sie auch bei den Hilfskontakten darauf, ob es Öffner oder Schließer sind. (6P)

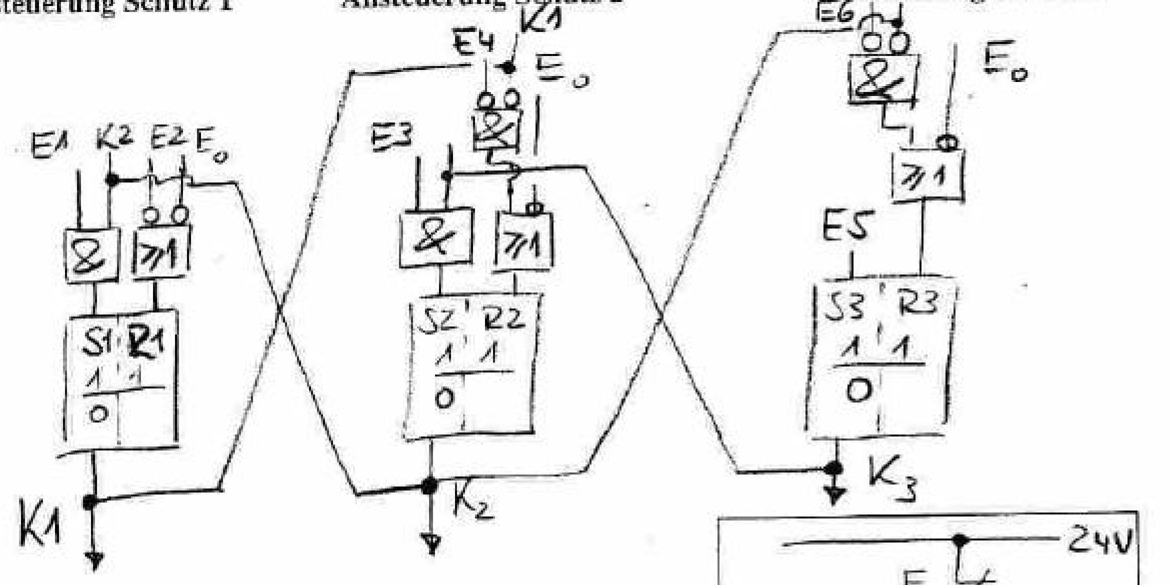
Motorschütz 1 Setzen: $S1 = E1 \wedge K2$ Rücksetzen: $R1 = \overline{E}2 \vee \overline{E}_0$

Motorschütz 2 Setzen: $S2 = E3 \wedge K3$ Rücksetzen: $R2 = (\overline{E}4 \wedge \overline{K}_1) \vee \overline{E}_0$

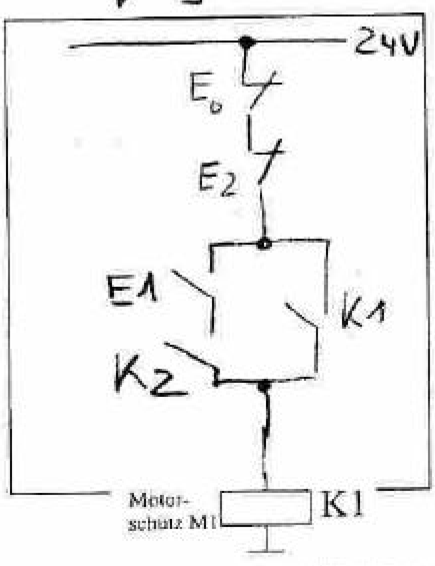
Motorschütz 3 Setzen: $S3 = E5$ Rücksetzen: $R3 = (\overline{E}6 \wedge \overline{K}_2) \vee \overline{E}_0$

1.3.2 Zeichnen Sie die Logik-Pläne der drei Speicher (hier die Logik-Symbole der Speicher verwenden!) mit ihren Ansteuerungen für das Setzen und Rücksetzen mit den Bedingungen aus 1.3.1. (8P)

Ansteuerung Schütz 1 **Ansteuerung Schütz 2** **Ansteuerung Schütz 3**



1.3.3 Zeichnen Sie rechts den Stromlaufplan für die Ansteuerung des Motorschützes 1. (5P)



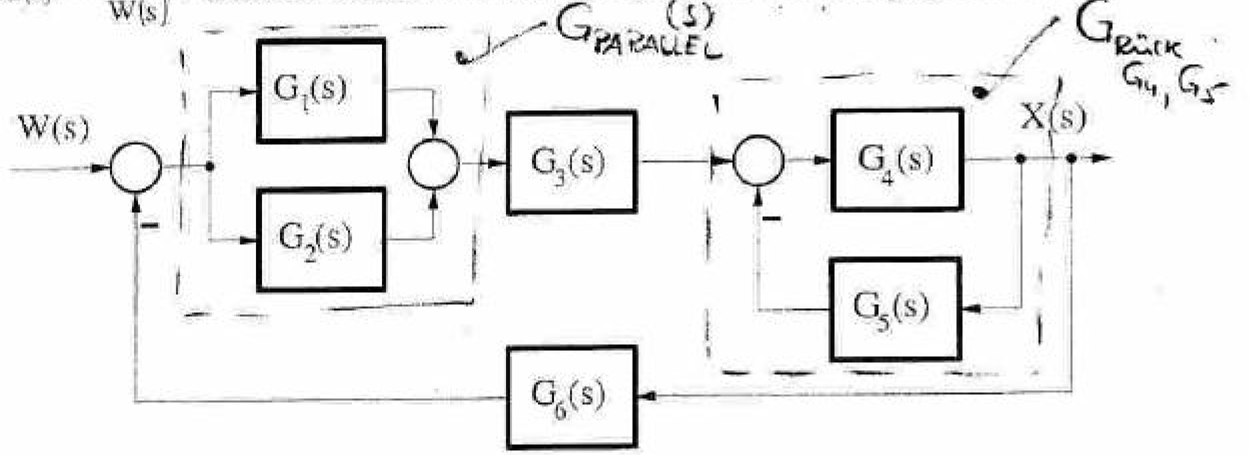
Diplomprüfung Regelungs- und Steuerungstechnik SS 2007

2 Grundlagen der Regelungstechnik

2.1 Rechnen mit Blockschaltbildern und Übertragungsfunktionen (6P)

Bestimmen Sie für das untenstehende Blockschaltbild die Gesamtübertragungsfunktion

$G(s) = \frac{X(s)}{W(s)}$. (Hinweis: Berechnen Sie zunächst geeignete Teilübertragungsfunktionen!)



$$G_{PARALLEL}(s) = G_1(s) + G_2(s)$$

$$G_{RÜCK\,G_4,G_5}(s) = \frac{1}{\frac{1}{G_4(s)} + G_5(s)} = \frac{G_4(s)}{1 + G_4(s) \cdot G_5(s)}$$

$$G_{VOR}(s) = \left[G_1(s) + G_2(s)\right] \cdot G_3(s) \cdot \frac{G_4(s)}{1 + G_4(s) \cdot G_5(s)}$$

$$\frac{1}{G_{VOR}(s)} = \frac{1 + G_4(s) \cdot G_5(s)}{(G_1(s) + G_2(s)) \cdot G_3(s) \cdot G_4(s)}$$

$$G_{ges}(s) = \frac{X(s)}{W(s)} = \frac{1}{\frac{1}{G_{VOR}(s)} + G_6(s)} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1 + G_4(s) \cdot G_5(s)}{\left[G_1(s) + G_2(s)\right] \cdot G_3(s) \cdot G_4(s)} + G_6(s)} =$$

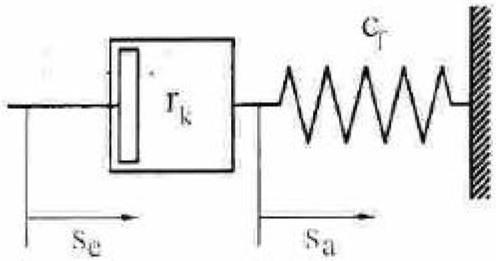
$$= \frac{\left[G_1(s) + G_2(s)\right] \cdot G_3(s) \cdot G_4(s)}{1 + G_4(s) \cdot G_5(s) + \left[G_1(s) + G_2(s)\right] \cdot G_3(s) \cdot G_4(s) \cdot G_6(s)}$$

2.2 Differentialgleichung, Übertragungsfunktion und Sprungantworten dynamischer Systeme

Nach der Modellierung eines Feder-Dämpfer-Elements (c_f = Federkonstante, r_k = Dämpfungskoeffizient) im Zeitbereich ergibt sich folgende Differentialgleichung:

$$\frac{r_k}{c_f} \cdot \dot{s}_a(t) + s_a(t) = \frac{r_k}{c_f} \cdot \dot{s}_e$$

mit $\frac{r_k}{c_f} = 8 \text{ sec}$.



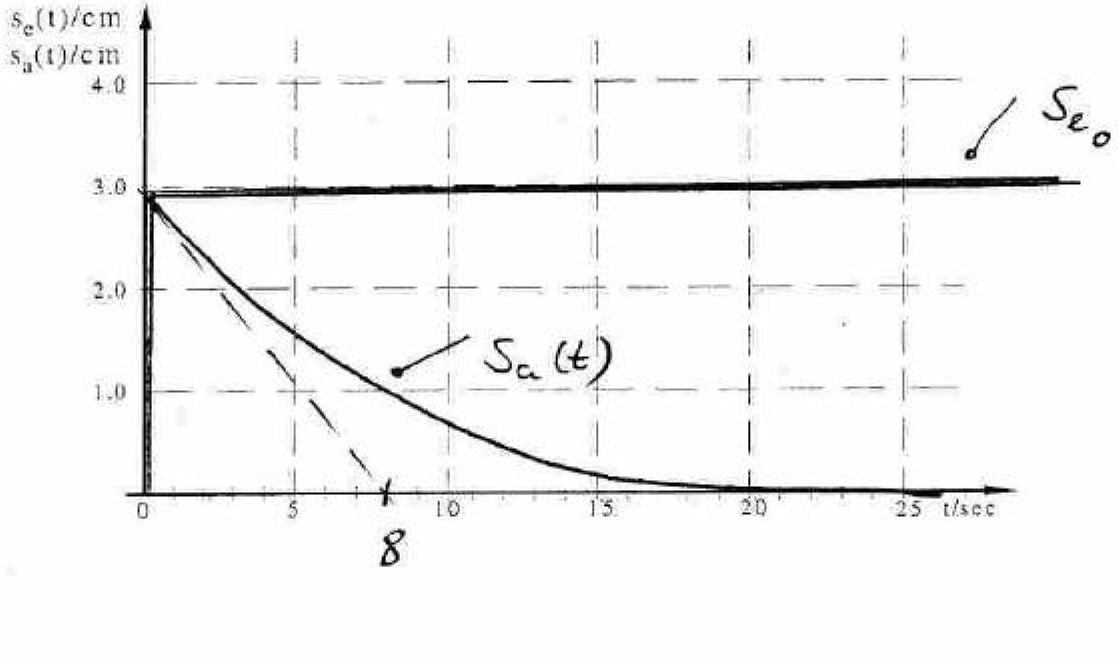
Durch Krafteinwirkung am Dämpferelement ergibt sich eine (näherungsweise) sprungförmige Wegänderung $s_e(t) = s_{e0} = 3\text{cm}$.

2.2.1 Geben Sie Übertragungsfunktion dieses dynamischen Systems an. (2P)

DT_1 - VERHALTEN

$$G(s) = \frac{S_a(s)}{S_e(s)} = \frac{\frac{r_k}{c_f} \cdot s}{\frac{r_k}{c_f} \cdot s + 1} = \frac{8 \cdot s}{8s + 1}$$

2.2.2 Zeichnen Sie in das Diagramm **maßstäblich** den **Eingangssprung** und die Sprung**antwort** des Systems ein. (4P)



2.3 Typ und Stabilität von Systemen

Geben Sie den Typ der nachfolgenden Systeme an und beurteilen Sie deren Stabilität. Begründen Sie, warum das betreffende System stabil bzw. instabil ist.

2.3.1 $G(s) = \dfrac{4 + 2\cdot s}{\underbrace{5}_{a_3}\cdot s^3 + \underbrace{1}_{a_2} s^2 + \underbrace{8}_{a_1}\cdot s + \underbrace{1}_{a_0}}$ (3P)

Systemtyp: PDT_3 -

Stabilität: SYSTEM 3. ORDNUNG $\Rightarrow$ HURWITZ-KRITERIUM

$a_3 = 5 > 0$; $a_2 = 1 > 0$; $a_1 = 8 > 0$; $a_0 = 1 > 0$

$a_2 \cdot a_1 - a_0 \cdot a_3 = 8 - 5 = 3 > 0$

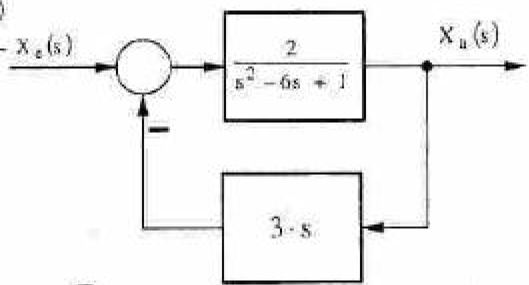
SYSTEM IST STABIL!

2.3.2 $5 \cdot \ddot{x}(t) + 3 \cdot \dot{x}(t) + x(t) = \frac{1}{2} \cdot \int y(t) dt$ (2P)

Systemtyp: IT_2 -

Stabilität: INSTABIL SYSTEM OHNE AUSGLEICH

2.3.3 Gegeben ist folgendes Blockschaltbild: (5P)



Stabilität:

$$\frac{X_a(s)}{X_e(s)} = \frac{1}{\frac{s^2-6s+1}{2} + 3s} = \frac{2}{s^2-6s+1+6s} = \frac{2}{s^2+1};$$

SYSTEM SCHWINGT UNGEDÄMPFT!

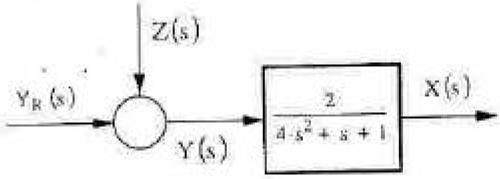
Systemtyp: FORMAL PT_2 -

3 Regelung einer PT2-Strecke mit einem PD- bzw. einem PID-Regler

Im folgenden soll die Wirkung des P-, D- und I-Anteils eines **Reglers** auf das **stationäre** und **dynamische** Verhalten des gesamten Regelkreises untersucht werden.

Die Regel**strecke**, ein Feder-Masse-Dämpfer-System, hat folgende Übertragungsfunktion:

$$G_S(s) = \frac{X(s)}{Y_R(s) + Z(s)} = \frac{X(s)}{Y(s)} = \frac{2}{\underbrace{4}_{T_2^2} s^2 + \underbrace{1}_{T_1} s + 1}$$



3.1 Kenngrößen der Regel<u>strecke</u>

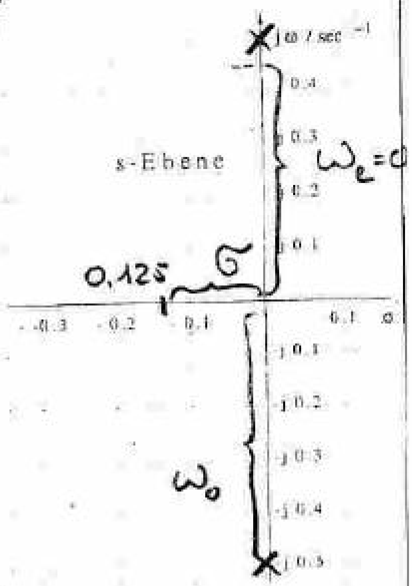
Ermitteln Sie aus der Übertragungsfunktion die Kenngrößen K_P, D, σ, ω_0 und ω_e, der **<u>Strecke</u>** und stellen Sie σ, ω_0 und ω_e in der komplexen s-Ebene dar. (8P)

TYP: $\dfrac{K_P}{\frac{1}{\omega_0^2} s^2 + \frac{2D}{\omega_0} \cdot s + 1}$ $K_P = 2$

$D = \dfrac{T_1}{2\sqrt{T_2^2}} = \dfrac{1}{4}$; $\dfrac{1}{\omega_0^2} = 4$; $\omega_0 = \dfrac{1}{2}$;

$\sigma = D \cdot \omega_0 = \dfrac{1}{8}$; $\omega_e = \omega_0 \sqrt{1 - D^2}$
$= \dfrac{1}{2}\sqrt{1 - \dfrac{1}{16}}$
≈ 0.48;

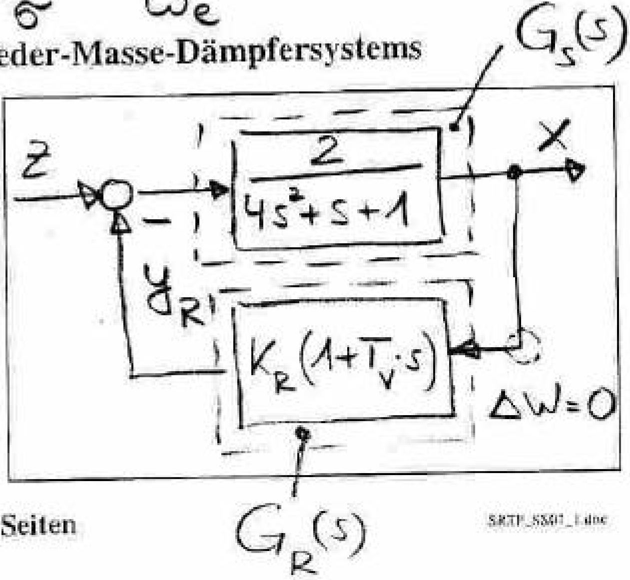
ODER:
NULLSTELLEN DES CHARAKT. POLYNOMS:
$4s^2 + s + 1 = 0$
$s_{1/2} = \dfrac{-1 \pm \sqrt{1-16}}{8} = \underbrace{-\dfrac{1}{8}}_{\sigma} \pm j\,\underbrace{0.48}_{\omega_e}$



3.2 Regelung der Lage x der Masse des Feder-Masse-Dämpfersystems

Eine **Störung z** versucht **die Lage x** des Feder-Masse-Dämpfer-Systems zu verändern. Die Wirkung dieser Störung soll in einem ersten Schritt mit einem **PD-Regler** ausgeregelt werden.

3.2.1 Zeichnen Sie das Blockschaltbild des Regelkreises mit allen dazu nötigen Beschriftungen und tragen Sie in die Blöcke die Übertragungsfunktionen der Systeme ein. (2P)



3.2.2 Die Reglerverstärkung wird auf $K_R = 4$ eingestellt. Die Vorhaltzeit T_v soll einstellbar sein. Berechnen Sie die Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises (siehe 3.2.1). (4P)

$$G_z(s) = \frac{X(s)}{Z(s)} = \frac{1}{\frac{1}{G_s(s)} + G_R(s)} = \frac{1}{\frac{4s^2+1s+1}{2} + 4 + 4T_v \cdot s}$$

$$= \frac{2}{4s^2+s+1+8+8T_v \cdot s} = \frac{2}{4s^2+(8T_v+1)\cdot s+9}$$

$$= \frac{\frac{2}{9}}{\underbrace{\frac{4}{9}}_{T_2^2} s^2 + \overbrace{\frac{8T_v+1}{9}}^{T_1} \cdot s + 1} = \frac{X(s)}{Z(s)}$$

3.2.3 Beurteilen Sie nun das **stationäre** und das **dynamische** Verhalten des Regelkreises in Abhängigkeit vom differentiellen Anteils des Reglers. Setzen Sie dazu für die Vorhaltzeit folgende normierten Werte ein: $T_v = 0$, $T_v = 1$ $T_v = 10$ (6P)

STATIONÄRES VERHALTEN:

$X(t \to \infty) = 0.22\ z(t)$

$e(t \to \infty) = W_\infty - X_\infty = -0.22\ z(t)$

Bleibende Regeldifferenz $\Rightarrow$ System nicht stationär genau, unabhängig von T_v!

DYNAMISCHES VERHALTEN:

$$D = \frac{T_1}{2\sqrt{T_2^2}} = \frac{\frac{1+8\cdot T_v}{9}}{2\cdot\sqrt{\frac{4}{9}}} = \frac{1+8T_v}{18\cdot\frac{2}{3}} = \frac{1+8T_v}{12};$$

$D(T_v=0) = \frac{1}{12} = 0.08$ sehr klein
P-REGLER
hohe Schwingungsneigung

$D(T_v=1) = \frac{3}{4}$; $\approx$ "SCHÖN" GEDÄMPFT

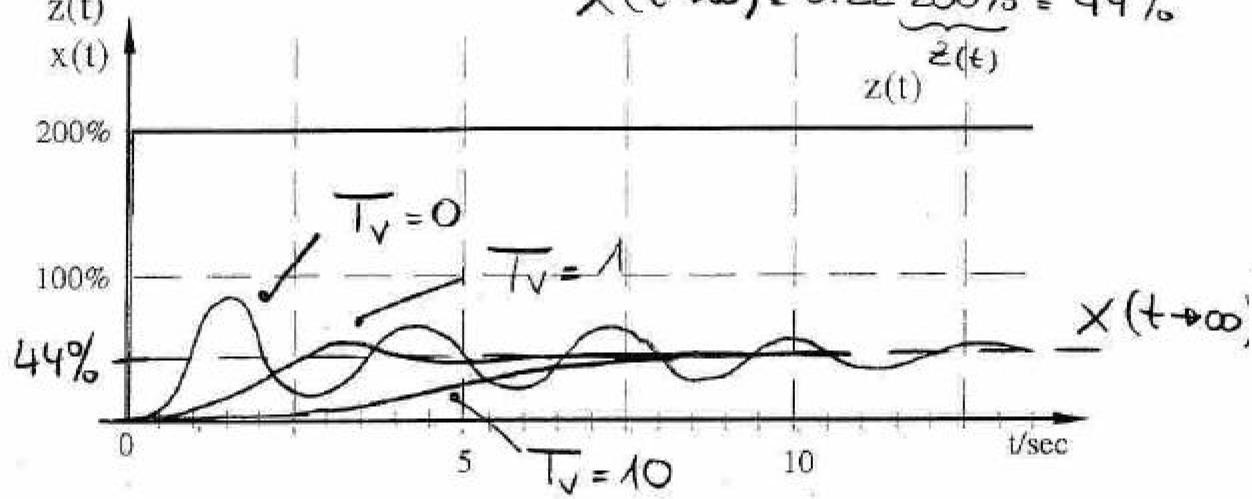
$D(T_v=10) = \frac{81}{12} = 6.75$

KRIECHVERHALTEN!

3.3 Reaktion der Massenlage x auf einen Sprung der Störgröße z

Zeichnen Sie mit den Ergebnissen aus 3.2.2 und 3.2.3 möglichst genau die Reaktionen der Lage auf einen Sprung der Störgröße von $z = 0$ auf $z = z_0 = 200\%$ für die drei verschiedenen Einstellungen von T_v in das untenstehende Diagramm und kennzeichnen Sie die Kurvenverläufe mit dem zugehörigen T_v . (5P)

$$x(t\to\infty) = 0.22 \cdot \underbrace{200\%}_{z(t)} = 44\%$$

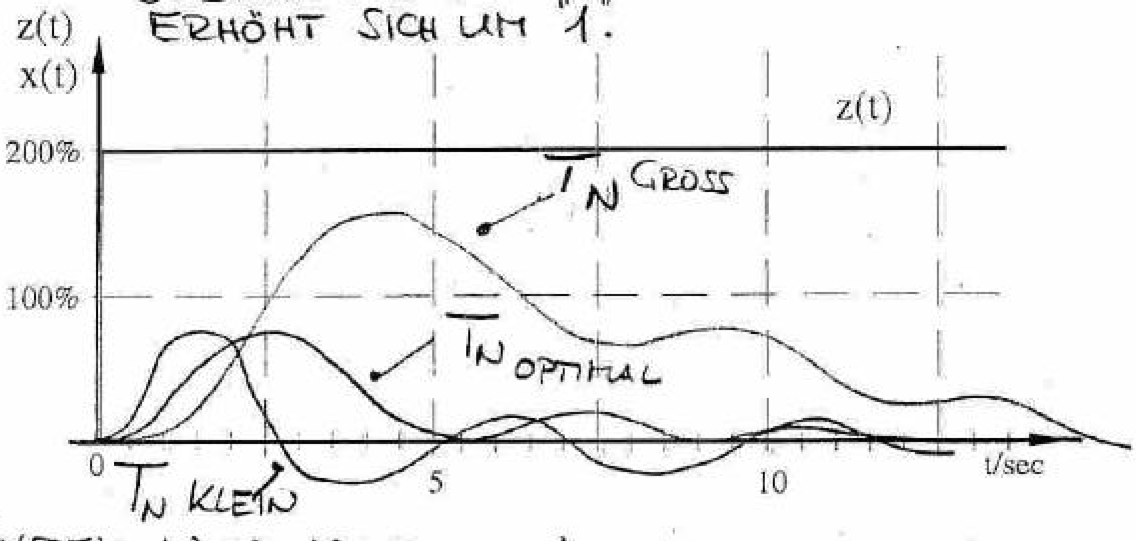


3.4 Hinzunahme eines I-Anteils zum PD-Regler

Wie ändert sich das stationäre und das dynamische Verhalten bei Hinzunahme eines I-Anteils zum Regler? Zeichnen Sie **ohne weitere Rechnung qualitativ** die Reaktion der Lagekoordinate der Masse in das untenstehende Diagramm für die drei Einstellungen der Nachstellzeit T_n :

T_n groß, T_n „optimal", T_n klein (4P)

ORDNUNG DES GESAMTSYSTEMS "REGELKREIS" ERHÖHT SICH UM "1".



SYSTEM WIRD KOMPLETT AUSGEREGELT, I-ANTEIL IM REGLER BESEITIGT BLEIBENDE REGELDIFFERENZ

Viel Erfolg! ⇒ SYSTEM STATIONÄR GENAU

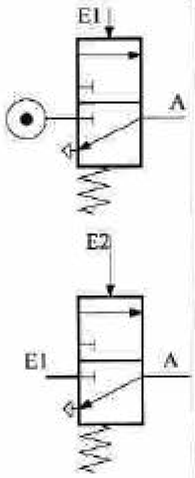
Hochschule München Fakultät 03 Maschinenbau	**Diplomprüfung** **Regelungs- und Steuerungstechnik** **WS 2007/08 Dienstag 29.1.2008**	Prof. Dr. J. Höcht Prof. R. Göhl Prof. Dr. Englberger
Zugelassene Hilfsmittel: Alle eigenen **Dauer der Prüfung:** **90 Minuten**	**Name:** Musterlösung **Vorname:** **Sem.:** **Unterschrift:** **Hörsaal:** **Platz-Nr.:**	

1 Logische Grundschaltungen mit Pneumatikventilen

Die beiden nebenstehenden 3/2-Wegeventile werden in unterschiedlicher Weise eingesetzt.

1.1 Welche logische Grundfunktion realisiert das obere Ventil? Geben Sie den Namen, die schaltalgebraische Gleichung und das Logiksymbol an. **Punkte nur bei vollständiger Beschriftung!** (1P)

1.2 Beantworten Sie die obigen Fragen auch für das untere Ventil. (2P)



Name der Funktion: Identität

Schaltalgebr. Gleichung: $A = E1$

Logiksymbol: E1 — 1 — A

Name der Funktion: UND

Schaltalgebr. Gleichung: $A = E1 \wedge E2$

Logiksymbol: E1, E2 — & — A

2 Steuerung eines doppeltwirkenden Zylinders

Ein Kolben soll durch einen kurzen Tastendruck T1 bis zum Anschlag **langsam** ausfahren (Tastendruck kürzer oder länger als Ausfahrzeit des Kolbens). Erst wenn der Kolben die Endlage erreicht hat, soll er sofort **schnell** wieder einfahren, falls der Taster losgelassen ist.

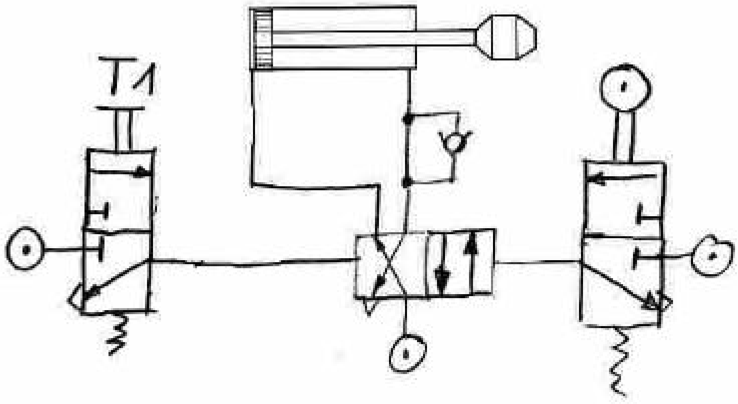
2.1 Welche Art Ventil zur Ansteuerung eines doppeltwirkenden Zylinders ist zu verwenden, wenn der Ausfahrbefehl auch nach kurzem Drücken des Tasters erhalten bleiben soll? Geben Sie den Namen dieses Ventils an. (1P)

4/2-Wege-Impulsventil

2.2 Durch welches pneumatische Schaltelement können Sie die Ausfahrgeschwindigkeit des Kolbens verringern und die Einfahrgeschwindigkeit maximal halten? (2P)

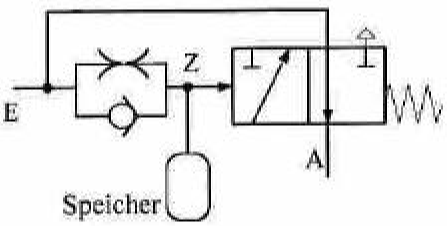
Drossel-Rückschlag-Ventil

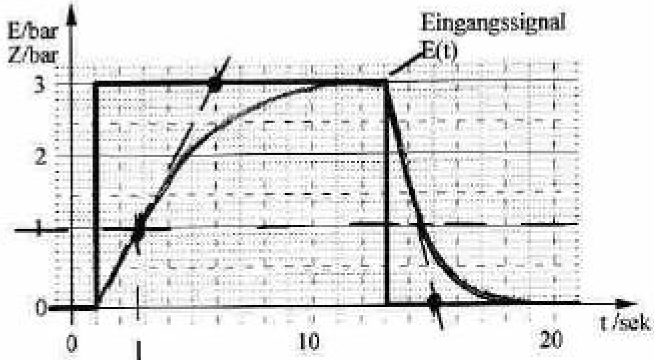
2.3 Ergänzen Sie den doppeltwirkenden Zylinder durch die nötigen Schaltelemente und Signalleitungen, um die in 2.1 und 2.2 entwickelte Steuerung zu realisieren. (5P)

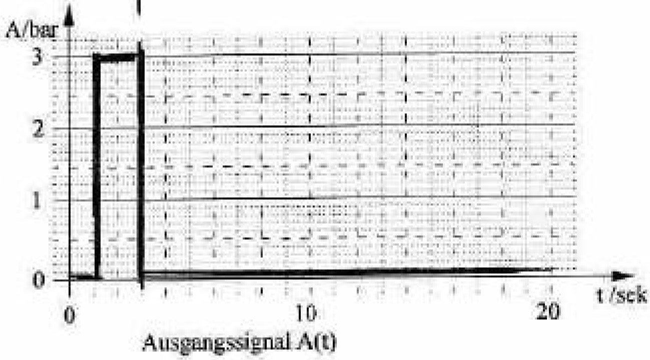


3 Zeitglieder

Gegeben sei das nachfolgende pneumatische Schaltelement und der nebenstehende Verlauf des Eingangssignals E.







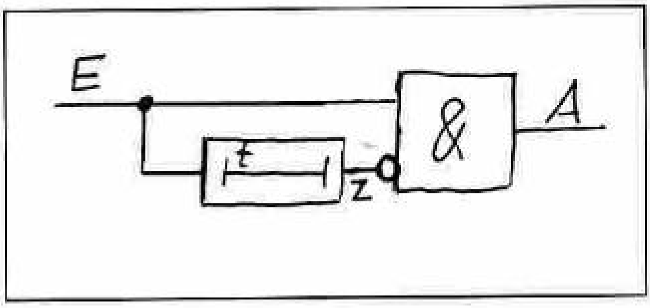
3.1 Die Zeitkonstante der Drossel zusammen mit dem Druckspeicher beträgt $T_1 = 5\,\text{sek}$, die Zeitkonstante des Rückschlagventils zusammen mit dem Druckspeicher $T_2 = 2\,\text{sek}$.

3.1.1 Tragen Sie die **Anfangstangenten** und den **zeitlichen Verlauf Z(t)** des Drucksignals im Speicher in das **obere** Diagramm ein. (3P)

3.1.2 Die Schaltschwelle des 3/2-Wege-Ventils beträgt 1.0 bar. Zeichnen Sie in das **untere** Diagramm den zeitlichen Verlauf des **Ausgangssignals A(t)** ein. (3P)

3.2 Logikplan des Zeitglieds

Der Logikplan dieser Pneumatikschaltung besteht aus zwei Elementen, eines für das Drossel-Rückschlag-Ventil mit Druckkessel und ein weiteres für das 3/2-Wegeventil. Zeichnen Sie den Logikplan für die obige Pneumatikschaltung. (3P)



4 Umsteuern „Rechts/Links-Lauf" eines Drehstrommotors – Schaltungsanalyse

Ein Drehstrommotor soll durch die drei Taster „R" für Rechtslauf, „L" für Linkslauf und „0" für „Motor aus" geschaltet werden (siehe Schaltplan Seite 3 oben). Zusätzlich sorgt ein thermischer Überstromauslöser „F" dafür, daß der Motor bei Überlastung unabhängig von den drei Tastern stillgesetzt wird. Diese Aufgabe erfüllt die Schaltung auf der folgenden Seite. Zum besseren Verständnis ist auch der Leistungsteil links dazugezeichnet.

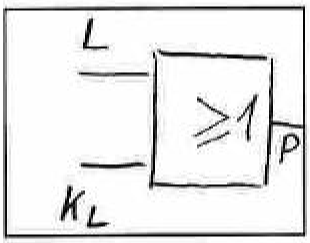
4.1 Welche Vereinfachung zur Einsparung von Kontakten könnte man beim Aus-Taster und beim thermischen Überstromauslöser machen? **Zeichnen Sie diese Vereinfachung rechts neben den Schaltplan auf der folgenden Seite.** (1P)

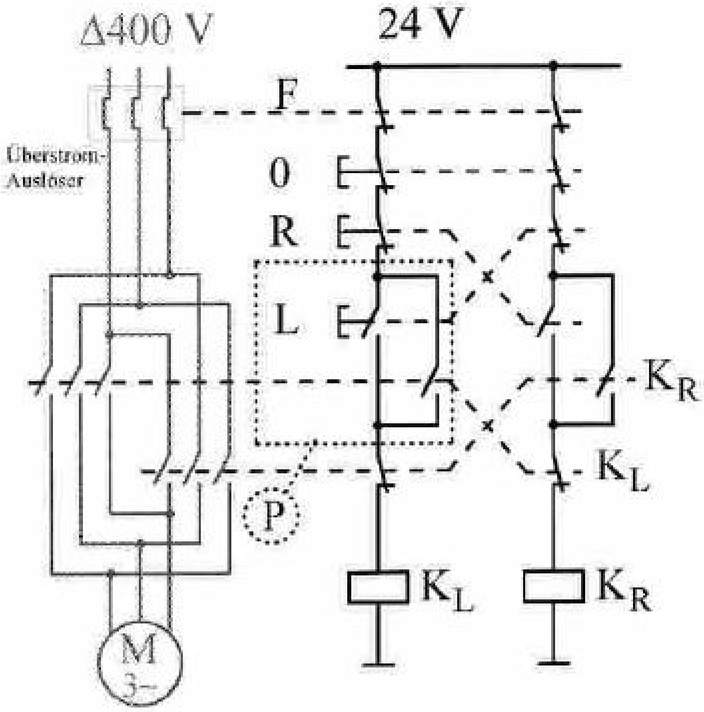
4.2 Betrachten Sie nun die gepunktet eingerahmte Schaltung P.

4.2.1 Diese Schaltung stellt eine logische Grundfunktion dar. Wie heißt diese Funktion? (1P)

ODER

4.2.2 Zeichnen Sie das Logiksymbol der eingerahmten Schaltung mit den Eingängen L und K_L sowie dem Ausgang P. (1P)



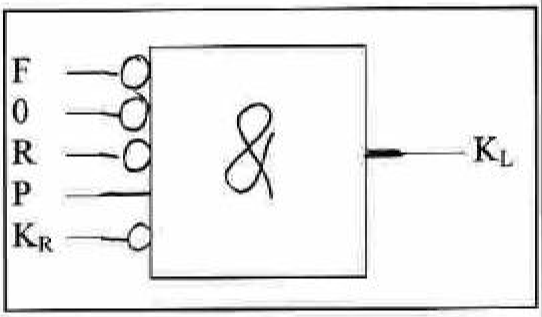


4.3 Betrachten Sie nun die Serienschaltung aus F, 0, R, P und K_R.

4.3.1 Welcher logischen Grundfunktion entspricht diese Anordnung? (1P)

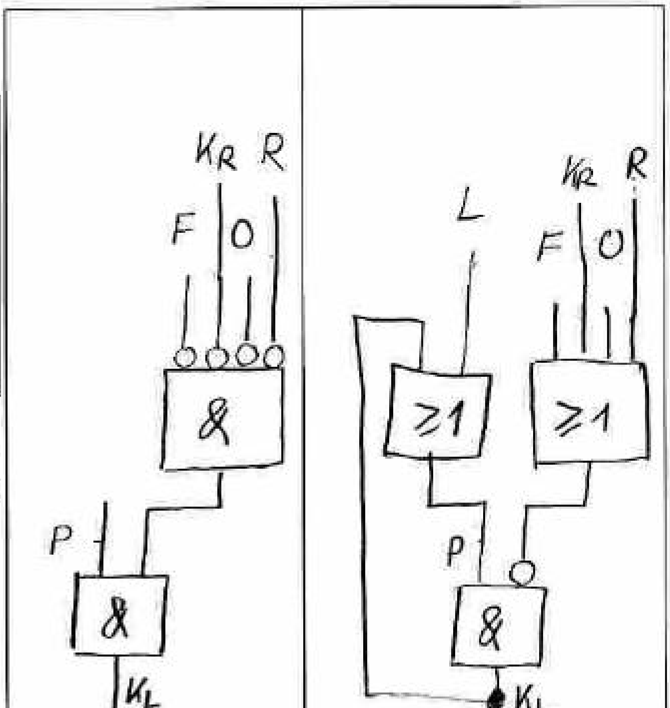
UND

4.3.2 Zeichnen Sie das Logiksymbol mit diesen Eingängen und dem Ausgang K_L. (2P)



4.3.3 Spalten Sie diesen Baustein auf in zwei Gatter des selben Typs. Dabei sollen die Signale F, 0, R und K_R zum Eingang des ersten Bausteins, dessen Ausgang und P als Eingang des zweiten zusammengefaßt werden. (4P)

4.3.4 Formen Sie das Gatter mit den 4 Eingängen mit Hife der Theoreme von de Morgan in einen dazu äquivalenten Baustein um. Die entstehende Negation am Ausgang soll auf den Eingang des zweiten Gatters verschoben werden. (3P)



4.3.3 | 4.3.4 und 4.3.5

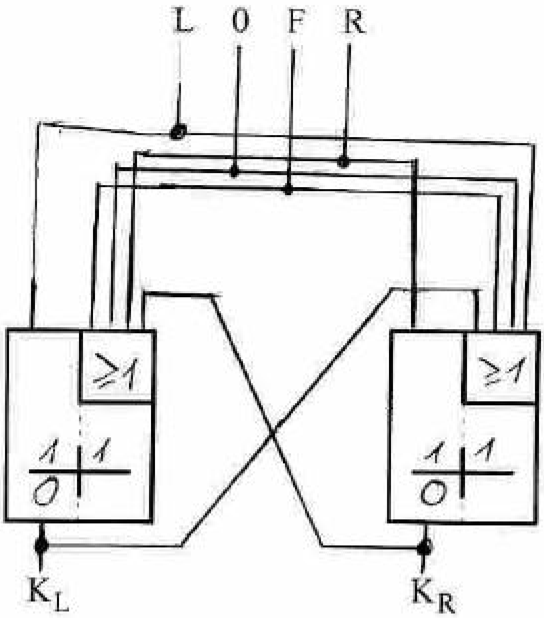
4.3.5 Der Eingang P dieser Schaltung wird nach 4.2.2 aus einem weiteren Logikbaustein gebildet mit den Eingängen L und K_L. Vervollständigen Sie nun die Schaltung von 4.3.4. (2P)

4.3.6 Die in 4.3.5 fertiggestellte Schaltung ist ein Speicher. Hat dieser Speicher Setz- oder Rücksetzvorrang? (1P)

Rücksetzvorrang

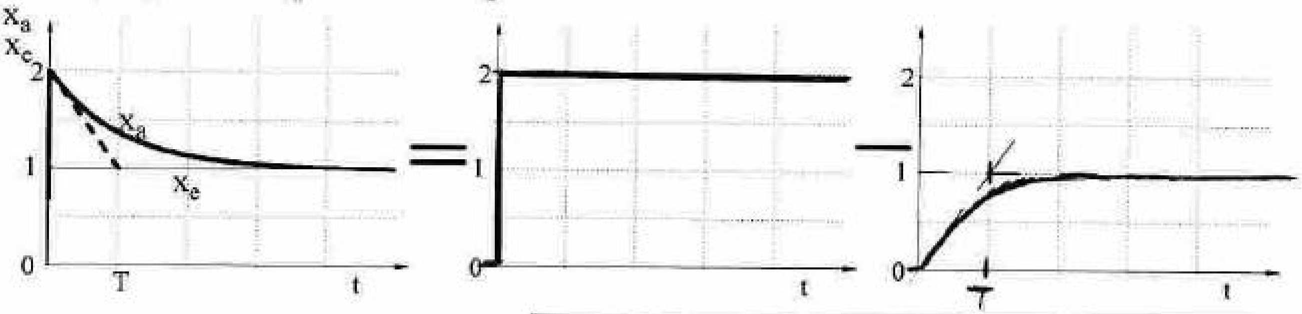
4.3.7 Vervollständigen Sie das linke der nebenstehenden Logiksymbole für diesen Speicher. Tragen Sie die Bezeichnungen für das **Vorrang**verhalten sowie die Vor**zugs**lage ein und verbinden Sie die Eingänge mit den Signalen F, 0, R, L, K_R. (3P)

4.4 Die gesamte Steuerung ist völlig symmetrisch aufgebaut. Ergänzen Sie abschließend auch das rechte Logiksymbol, verschalten Sie beide Speicher miteinander und verbinden Sie die Schaltung mit den 4 obenstehenden Signalquellen L, 0, F und R. (3P)



5 Ermittlung einer Übertragungsfunktion aus den Sprungantworten

Gegeben sei ein dynamisches System mit dem Eingangssprung x_e und der zugehörigen Sprungantwort x_a im linken Diagramm.

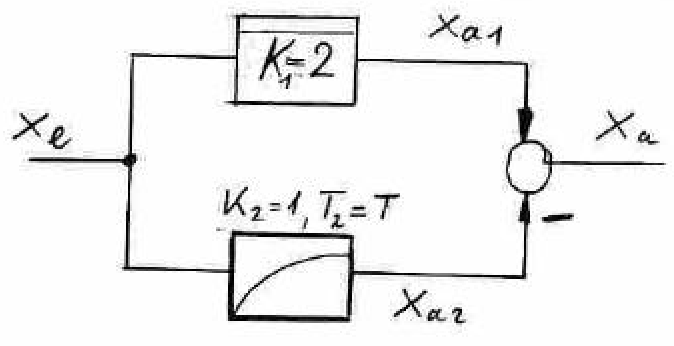


5.1 Aus welchen beiden Sprungantworten Ihnen bekannter Systeme läßt sich die obige Funktion als Differenz zusammensetzen? (2P)
Zeichnen Sie diese beiden Funktionen in das mittlere und das rechte Diagramm ein. (3P)

System 1:

System 2:

5.2 Zeichnen Sie das Blockschaltbild dieses dynamischen Systems. (2P)



5.3 Geben Sie die Übertragungsfunktionen $G_1(s)$ und $G_2(s)$ der beiden Teilsysteme an. (2P)

$G_1(s) = K_1 = 2$ $\qquad$ $G_2(s) = \frac{1}{sT+1}$

5.4 Geben Sie die Gesamtübertragungsfunktion $G_{ges}(s)$ des Systems an. (3P)

$$G_{ges}(s) = 2 - \frac{1}{sT+1} = \frac{2sT+1}{sT+1}$$

6 Regler aus der Hintereinanderschaltung zweier dynamischer Systeme

6.1 Gegeben sei das dynamische System $G_{R1}(s)$ mit der Übertragungsfunktion

$$G_{R1}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{2 \cdot s \cdot T + 1}{s \cdot T + 1}$$

6.1.1 Wie lautet die Differentialgleichung dieses Systems? (1P)

$$\dot{e}T + e = \dot{u}\,2T + u$$

6.1.2 Welchen Namen hat dieses System? (2P)

PDT_1 - System

6.2 Diesem dynamischen System wird ein PI-Regler mit den einstellbaren Parametern K_{RE} und T_{nE} **nachgeschaltet**.

6.2.1 Geben Sie die Übertragungsfunktion G_{R2} dieses PI-Reglers an. (1P)

$$G_{R2} = \frac{Y(s)}{U(s)} = K_{RE} \cdot \left(1 + \frac{1}{sT_{nE}}\right)$$

6.2.2 Berechnen Sie die Gesamtübertragungsfunktion $G_R(s)$ dieser Schaltung. Dabei soll wie üblich im **Nenner** ein Polynom in s stehen, dessen **konstantes Glied 1** ist. Klammern Sie darüber **hinaus im Zähler** so aus, daß das konstante Glied des Polynoms in der Klammer ebenfalls eine 1 ist. (8P)

$$G_R(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = \frac{2sT+1}{sT+1} \cdot K_{RE} \cdot \left(1 + \frac{1}{sT_{nE}}\right) =$$

$$= \frac{2sT+1}{sT+1} \cdot \frac{K_{RE} \cdot \left(1 + \frac{1}{sT_{nE}}\right)}{1} =$$

$$= \frac{K_{RE}\left(2sT + \left(1 + 2\frac{T}{T_{nE}}\right) + \frac{1}{sT_{nE}}\right)}{sT+1}$$

$$= \frac{K_{RE} \cdot \frac{T_{nE}+2T}{T_{nE}}\left[1 + \frac{1}{s \cdot (T_{nE}+2T)} + s \cdot \frac{2T\,T_{nE}}{T_{nE}+2T}\right]}{sT+1}$$

6.2.3 Geben Sie die Differentialgleichung des Gesamtsystems an. (2P)

$$\dot{y}T + y = K_{RE} \cdot \frac{T_{nE}+2T}{T_{nE}} \left[e + \frac{1}{T_{nE}+2T} \int e\,dt + \frac{2TT_{nE}}{T_{nE}+2T} \dot{e} \right]$$

6.2.4 Geben Sie die **vollständige** Bezeichung dieses Reglers an. (2P)

$PIDT_1$ - Regler

6.2.5 In den Einstellregeln von Ziegler und Nichols muß das Verhältnis $T_n/T_V = 4$ betragen. Läßt sich dieses Verhältnis mit dem vorliegenden Regler einstellen? Falls ja, welche Parameter müssen in welchem Verhältnis zueinander eingestellt werden? Falls nein, warum läßt es sich nicht einstellen? (6P)

$$T_n = T_{nE} + 2T \qquad T_V = \frac{2TT_{nE}}{T_{nE}+2T}$$

$$\frac{T_n}{T_V} = 4 = \frac{(T_{nE}+2T)^2}{2TT_{nE}}$$

$$T_{nE}^2 + 4TT_{nE} + 4T^2 = 8TT_{nE}$$

$$T_{nE}^2 - 4TT_{nE} + 4T^2 = 0$$

$$(T_{nE} - 2T)^2 = 0 \implies T_{nE} - 2T = 0$$

$$\underline{\underline{\frac{T_{nE}}{T} = 2}}$$

7 Reglerauswahl für eine Wasserstandsregelstrecke

Zur Füllstandsregelung eines Trinkwasserbehälters stehen ein P- und ein PD-Regler zur Auswahl. Im folgenden soll untersucht werden, welcher der beiden Regler für die Ausregelung einer **Störung** geeignet ist.

7.1 Die Gleichung der Regelstrecke im Zeitbereich hat die Form $x(t) = \frac{1}{T_I} \cdot \int y(t) \cdot dt$. Geben Sie die Übertragungsfunktion dieser Strecke an. (1P)

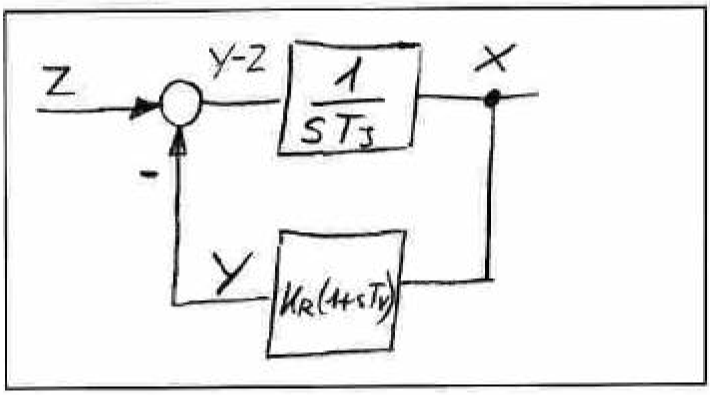
$$G_S(s) = \frac{X(s)}{Y(s)} = \frac{1}{T_I \cdot s}$$

7.2 Wie lauten die Übertragungsfunktionen $G_P(s)$ und $G_{PD}(s)$ von P- und PD-Regler? (2P)

$G_P(s) = K_R$ $\qquad$ $G_{PD}(s) = K_R(1 + sT_V)$

7.3 Beurteilung der Brauchbarkeit der beiden Regler aus dem Einschwingverhalten für t > 0
Im folgenden soll für beide Regler das Einschwingverhalten auf den stationären Endwert bei einem Sprung der Störgröße z am Eingang der Strecke untersucht werden.

7.3.1 Zeichnen Sie das Blockschaltbild für den Regelkreis zur Untersuchung des Störverhaltens. Tragen Sie alle Signale an die Signalleitungen und die Übertragungsfunktion eines der beiden Regler und der Strecke in die Blöcke ein. (2P)



7.3.2 Berechnen Sie die Übertragungsfunktionen $G_{z_{PD}}$ und G_{z_P} des gesamten Regelkreises zur Untersuchung des Störverhaltens. (5P)

$$G_{z_{PD}} = \frac{1}{\frac{1}{G_{vor}} + G_{rück}} = \frac{1}{s \cdot T_J + K_R(1+sT_V)}$$

$$= \frac{1}{s(T_J + K_R T_V) + K_R} = \frac{1/K_R}{s\left(\frac{T_J}{K_R} + T_V\right) + 1}$$

$$G_{z_P} = \frac{1/K_R}{s \cdot \frac{T_J}{K_R} + 1} \quad \text{wegen } T_V = 0$$

7.3.3 Ziel dieser Regelung ist es, eine Störung z möglichst schnell auszuregeln. Begründen Sie, welcher der beiden Regler diese Aufgabe im vorliegenden Fall besser schafft. (2P)

P - Regler, da Zeitkonst. des PT_1 - Systems kleiner als mit PD - Regler

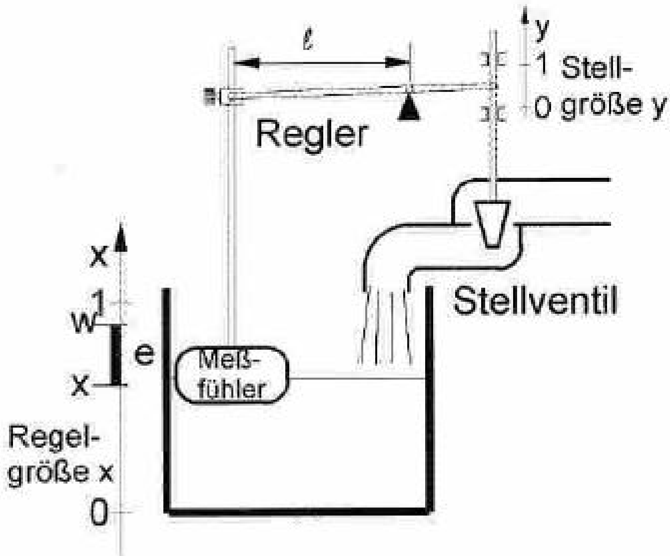
$\frac{T_J}{K_R} < \frac{T_J}{K_R} + T_V$!

7.3.4 Wie groß ist die stationäre Endwert x_∞ der Regelgröße bei einem Sprung der Störgröße $z(t) = z_0 \cdot \sigma(t)$? (1P)

$$G_z(s=0) = \frac{X(0)}{Z(0)} = \frac{1}{K_R} \qquad Z(0) = z(t\to\infty) = z_0 \Rightarrow$$
$$x_\infty = X(0) = G_z(0) \cdot Z(0) = \frac{z_0}{K_R}$$

7.4 Einsatz eines mechanischen Reglers

Für die Füllstandsregelung soll ein einfacher mechanischer P-Regler eingesetzt werden. Der Schwimmer ist mit dem Stellventil über ein Gestänge verbunden. Das Stellventil hat einen Hub von 20mm. Es füllt den 80 cm tiefen Behälter in 40 Sekunden, wenn es ganz geöffnet ist.



7.4.1 Wenn sich der Wasserstand x_h im Behälter um 16cm ändert, durchfährt das Stellventil den vollen Hub $y_h = 20\text{mm}$, also $y = 100\%$.

7.4.1.1 Wieviel Prozent e des maximalen Füllstands entspricht diese Änderung x_h? (1P)

$$e = \frac{16\,\text{cm}}{80\,\text{cm}} = 20\%$$

7.4.1.2 Wie groß ist die Reglerverstärkung K_R dieses Reglers? (2P)

$$K_R = \frac{y}{e} = \frac{100\%}{20\%} = 5$$

7.4.1.3 Der gesamte Hebel hat eine Länge von 90cm. Wie groß muß der Hebelarm ℓ gewählt werden? (3P)

$$\frac{\ell}{16\,\text{cm}} = \frac{90\,\text{cm} - \ell}{2.0\,\text{cm}} \Rightarrow \ell = 8 \cdot (90\,\text{cm} - \ell)$$

$$9 \cdot \ell = 90\,\text{cm} \cdot 8$$

$$\ell = 80\,\text{cm}$$

7.4.2 Wie groß ist die Integrationszeitkonstante T_I der Füllstands**strecke?** (1P)

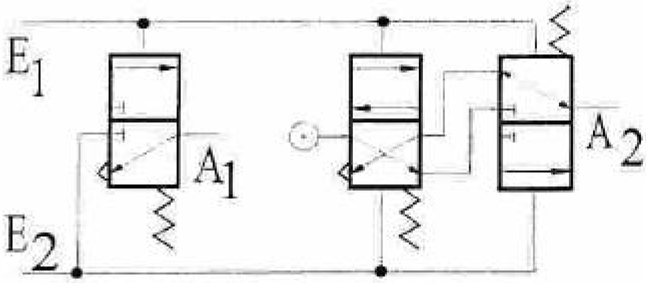
$T_I =$ 40 sec laut Angabe

Viel Erfolg!

Hochschule München Fakultät 03 Maschinenbau	**Diplomprüfung** **Regelungs- und Steuerungstechnik** **SS 2008 Mittwoch 16.7.2008**	Prof. R. Göhl Prof. Dr. J. Höcht Prof. Dr. Englberger
Zugelassene Hilfsmittel: Alle eigenen **Dauer der Prüfung:** **90 Minuten**	**Name:** **Vorname:** **Sem.:** MUSTERLÖSUNG **Unterschrift:** **Hörsaal:** **Platz-Nr.:**	

1 Pneumatische Logikschaltung

Gegeben sei die nebenstehende Pneumatikschaltung mit den beiden Eingängen E_1 und E_2 sowie den Ausgängen A_1 und A_2.



1.1 Füllen Sie die Wahrheitstabelle für die beiden Ausgangssignale A_1 und A_2 in Abhängigkeit von den Eingangssignalen E_1 und E_2 aus! (4P)

E1	E2	A1	A2
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

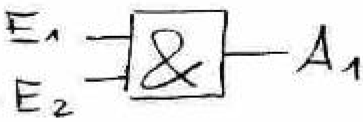
1.2 Wie lauten die schaltalgebraischen Gleichungen für die Ausgangsfunktionen A_1 und A_2? (2P)

$$A_1 = E_1 \wedge E_2$$

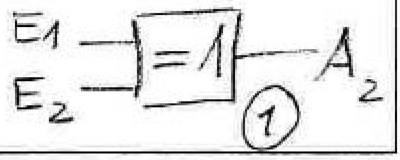
$$A_2 = (\overline{E1} \wedge E_2) \vee (E_1 \wedge \overline{E}_2)$$

1.3 Nennen Sie die Namen der Logikfunktionen und zeichnen Sie deren Logiksymbole! (3P)

Name von A_1: UND-FKT. - 1 - Logiksymbol:



Name von A_2: ANTIVALENZ 1 Logiksymbol:



1.4 Welchen **arithmetischen** Funktionsbaustein stellt die Gesamtschaltung dar und welche **arithmetische** Funktion erfüllen die beiden Ausgänge A_1 und A_2? (2P)

Name des arithmetischen Funktionsbausteins:

HALBADDIERER $(E_1 + E_2) = S$ MIT Ü

Funktion des Ausgangs A_1: ÜBERTRAG Ü

Funktion des Ausgangs A_2: SUMME S

2 Entwicklung einer Speicherschaltung

Es ist eine Speicherschaltung mit folgenden Vorgaben zu entwerfen und in verschiedenen Technologien zu realisieren:

Das Ausgangssignal Q des Speichers wird durch das Signal „EIN = 1" **gesetzt** und durch das Signal „Aus = 1" **zurück**gesetzt. Haben beide Signale „Ein" und „Aus" den **gleichen** logischen Zustand 1, dann soll der Speicher denjenigen Zustand beibehalten, den er vor Aktivierung des zweiten Eingangssignals hatte.

Ein S	Aus R	akt. Zust. Q_n	neuer Zust. Q_{n+1}
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

2.1 Setzen Sie diese Vorgaben in die nebenstehende Wertetabelle um. (3P)

2.2 Stellen Sie die Speicherschaltung als schaltalgebraische Gleichung in disjunktiver Normalform dar. (2P)

$$Q_{n+1} = (\overline{Ein} \wedge \overline{Aus} \wedge Q_n) \vee (Ein \wedge \overline{Aus} \wedge \overline{Q}_n) \vee (Ein \wedge \overline{Aus} \wedge Q_n) \vee (Ein \wedge Aus \wedge Q_n)$$

$$(\overline{S} \wedge \overline{R} \wedge Q_n) \vee (S \wedge \overline{R} \wedge \overline{Q}) \vee (S \wedge \overline{R} \wedge Q_n) \vee (S \wedge R \wedge Q_n)$$

2.3 Diese schaltalgebraische Gleichung soll mit möglichst wenig Schaltelementen realisiert werden.

2.3.1 Stellen Sie das Karnaugh-Diagramm der Speicherschaltung auf und entwickeln Sie daraus die minimierte Schaltfunktion (3P)

Q_n \ Ein Aus	00	01	11	10
0	0	0	0	1
1	1	0	1	1

$$Q_{n+1} = (Ein \wedge \overline{Aus}) \vee (Ein \wedge Q_n) \vee (\overline{Aus} \wedge Q_n)$$

SIE KÖNNEN AUCH MIT DEN SIGNALEN EIN $\hat{=}$ S, AUS $\hat{=}$ R ARBEITEN!

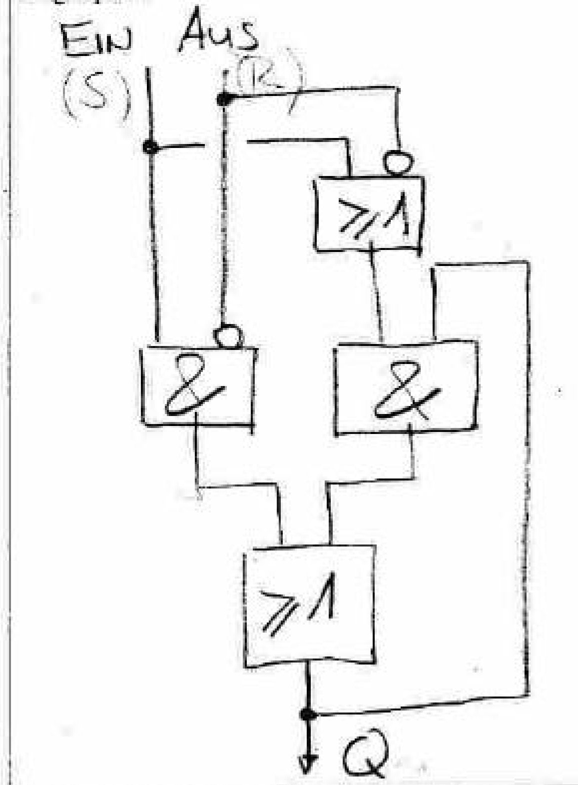
2.3.2 Klammern Sie nach der Minimierung mit dem Karnaugh-Diagramm zur weiteren Vereinfachung die Ausgangsvariable Q_n aus. 2P

$$Q_{n+1} = (EIN \wedge \overline{AUS}) \vee [Q_n \wedge (EIN \vee \overline{AUS}]$$

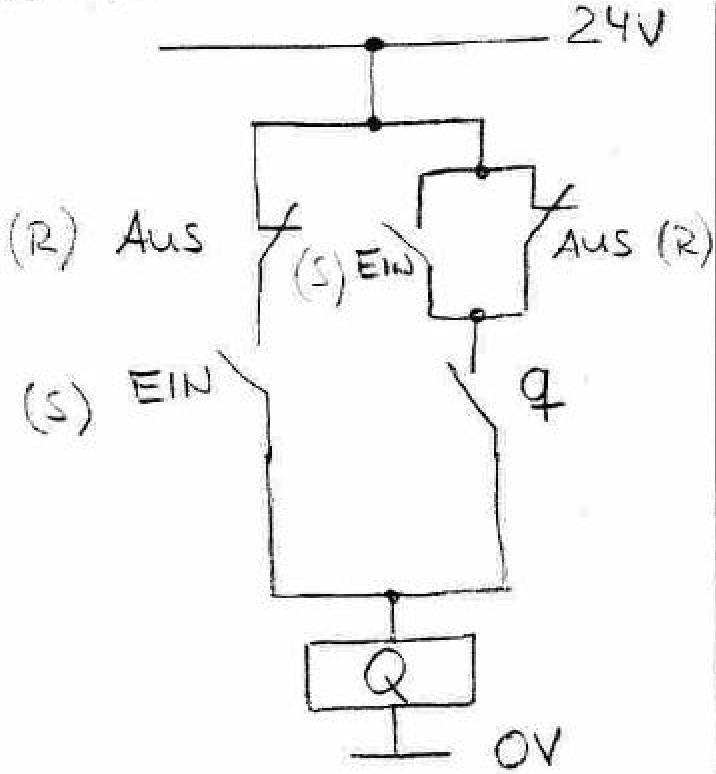
2.4 Zeichnen Sie den Logikplan für die von Ihnen in 2.3.2 vereinfachte Gleichung.(3P)

2.5 Zeichnen Sie für die Schaltung den Stromlaufplan, wenn dieser Speicher als Schützschaltung realisiert wird. (4P)

Logikplan:

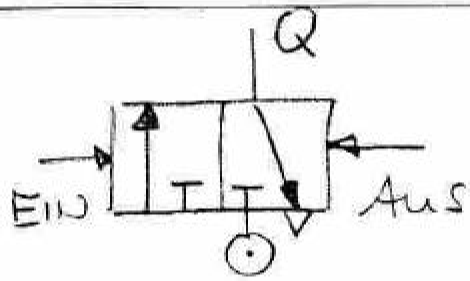


Stromlaufplan:



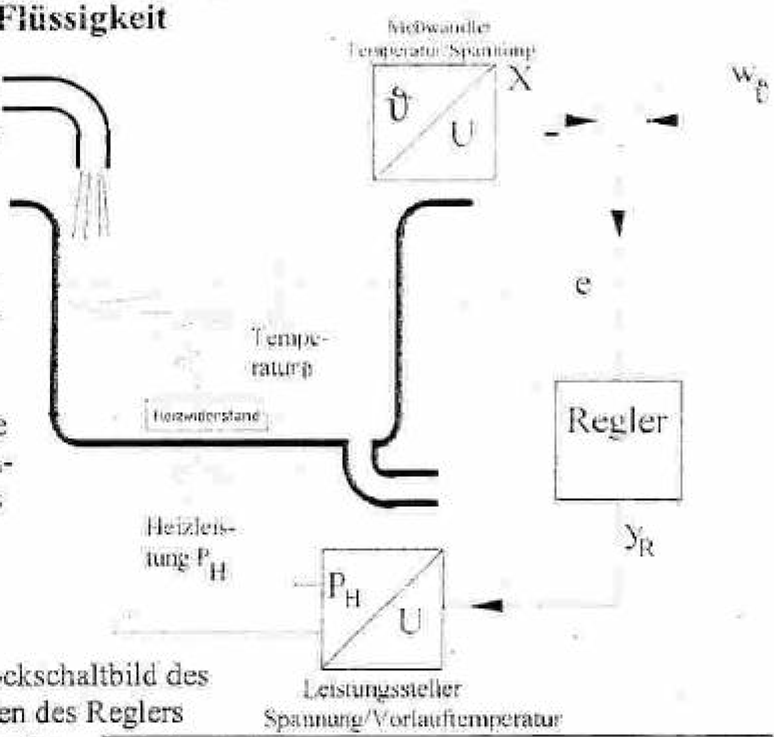
2.6 Welches **pneumatische** Schaltelement hat die gleiche Wirkung wie Ihre in 2.4 und 2.5 entwickelte Schaltung? Geben Sie auch das **Pneumatiksymbol** an. (3P)

3/2-WEGE-IMPULS-VENTIL MIT HAFTVERHALTEN!



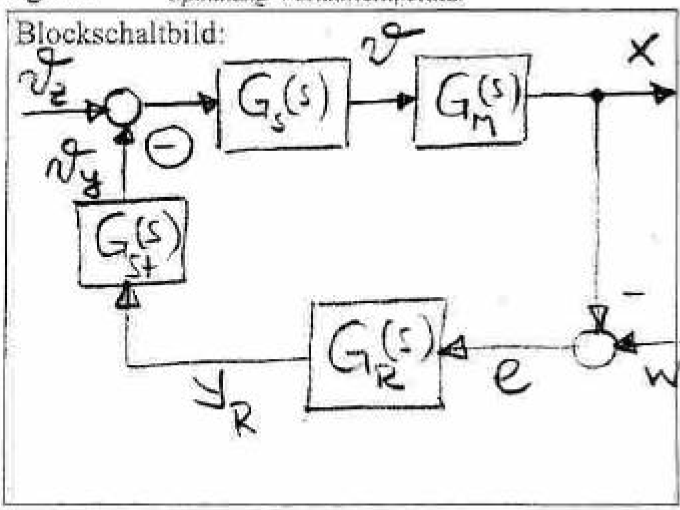
3 Regelung der Temperatur einer Flüssigkeit

Eine zähe Flüssigkeit muß zur Einstellung einer bestimmten Viskosität vor der Verwendung sehr genau auf eine höhere Temperatur gebracht werden. Dies geschieht mit Hilfe einer Heizung in einem Vorratsbehälter, in den laufend Flüssigkeit mit niederer Temperatur einfließt und die erwärmte entnommen wird. Die Temperatur ϑ wird mit einem Meßfühler erfaßt und mit einem Meßwandler in die normierte Regelgröße x umgewandelt. Die niedrigere Temperatur der zufließenden Flüssigkeit wirkt als Störung ϑ_z.



3.1 Blockschaltbild des Regelkreises

Zeichnen Sie zunächst allgemein das Blockschaltbild des Regelkreises mit den Übertragungsblöcken des Reglers $G_R(s)$, der Stelleinrichtung $G_{St}(s)$, der Strecke $G_S(s)$ und der Meßeinrichtung $G_M(s)$. Tragen Sie auch die üblichen Bezeichnungen, y_R, ϑ_y, ϑ, ϑ_z, e, x und w bei den zugehörigen Signalleitungen ein. (3P)

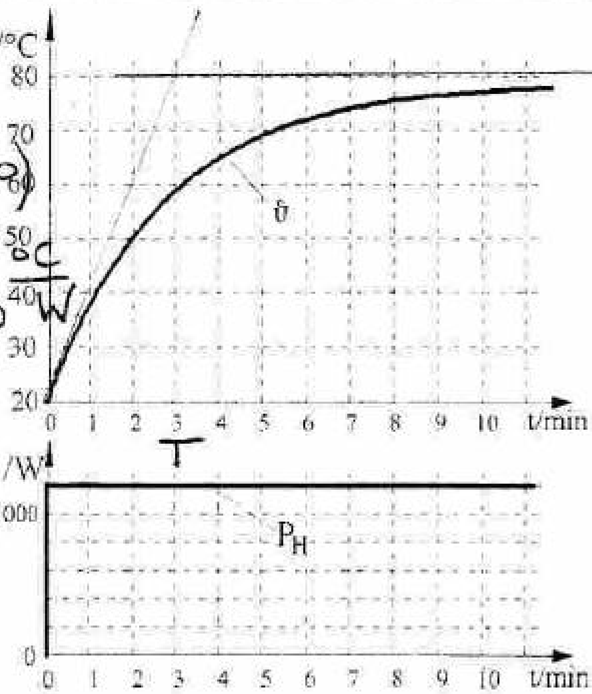


3.2 Temperaturregelstrecke mit Heizwiderstand als Stellglied

Beim Einschalten der vollen Heizleistung $P_H = P_{H,max} = 1200W$ ergab sich der Verlauf der Temperatur ϑ im Diagramm unten rechts. Geben Sie den Systemtyp, die beschreibenden Parameter sowie Übertragungsfunktion und Differentialgleichung einschließlich der physikalischen Dimensionen an. (6P)

Typ: PT_1-VERHALTEN

Parameter: $T = 3\,\mathrm{min}$ $\quad K = \frac{\Delta\vartheta}{\Delta P_H}(t\to\infty) = \frac{60\,°C}{1200\,W} = \frac{1}{20}\frac{°C}{W}$ ②



$$G_S(s) = \frac{\vartheta(s)}{P_H(s)} = \frac{\frac{1}{20}\frac{°C}{W}}{3\,\mathrm{min}\cdot s + 1}$$

Differentialgleichung:

$$3\,\mathrm{min}\cdot\dot{\vartheta}(t) + \vartheta(t) = \frac{1}{20}P_H(t)$$

3.3 Reglerentwurf

Die Temperaturregelstrecke soll so geregelt werden, daß **keine** bleibende Regeldifferenz auftritt.

3.3.1 Welches ist der einfachste Regler, der diese Anforderung erfüllt? Geben Sie auch die Übertragungsfunktion an. (1P)

$\boxed{\begin{array}{l} \text{IT}_0\text{ - REGLER} \\ G_{R_I}(s) = \frac{1}{T_{IR}} \cdot \frac{1}{s} \cdot K_R \end{array}}$ / $\frac{W}{°C}$

3.3.2 In 3.2 haben Sie den Systemtyp der Regelstrecke und die Übertragungsfunktion bestimmt. Zeigen Sie, daß sich mit dem Systemtyp des Reglers aus 3.3.1 prinzipiell ein System 2. Ordnung für den geschlossenen Regelkreis ergibt. (4P)

ANNAHME: WANDLER $\boxed{u/P_H}$ FÜR STELLEINRICHTUNG UND $\boxed{\vartheta/u}$ FÜR REGELGRÖSSE PT_0 MIT $K=1$

$$G_z(s) = \frac{1}{\frac{1}{G_s(s)} + G_R(s)} = \frac{1}{\frac{W}{°C}\frac{20(3^{min}s+1)}{1} + \frac{1}{T_{IR}} \cdot \frac{1}{s}}$$

$$= \frac{T_{IR} \cdot s}{\underbrace{60 \cdot T_{IR}}_{T_2^2} s^2 + \underbrace{20 \cdot T_{IR}}_{T_1} s + 1}$$

ALLE KOEFFIZIENTEN BEI $s^2, s^1, s^0 > 0$

3.3.3 Nun soll die Temperatur den stationären Endwert ohne Überschwingen, jedoch so schnell als möglich erreichen.. Dimensionieren Sie den Regler so, daß der stationäre Endwert gerade noch ohne Überschwinger erreicht wird (5P)

BEDINGUNG: DÄMPFUNGSGRAD DES GESAMTSYSTEMS REGELKREIS $D = 1$ MUSS GELTEN!

AUS CHARAKTERISTISCHEM POLYNOM:

$T_2^2 = 60 T_{IR}$

$T_1 = 20 T_{IR}$

UND $D = \frac{T_1}{2\sqrt{T_2^2}} = \frac{20 T_{IR}}{2 \cdot \sqrt{60 T_{IR}}} = 1$

$$\frac{400 T_{IR}^{\cancel{2}}}{4 \cdot 60 \cdot \cancel{T_{IR}}} = 1; \quad T_{IR} = \frac{240}{400} = 0.6 \text{ min}$$

3.3.4 Mit dem obigen einfachen Regler dauert es sehr lange, bis die Regelgröße den stationären Endwert erreicht. Durch welche Modifikation am Regler läßt sich das dynamische Verhalten des Regelkreises verbessern? (2P)

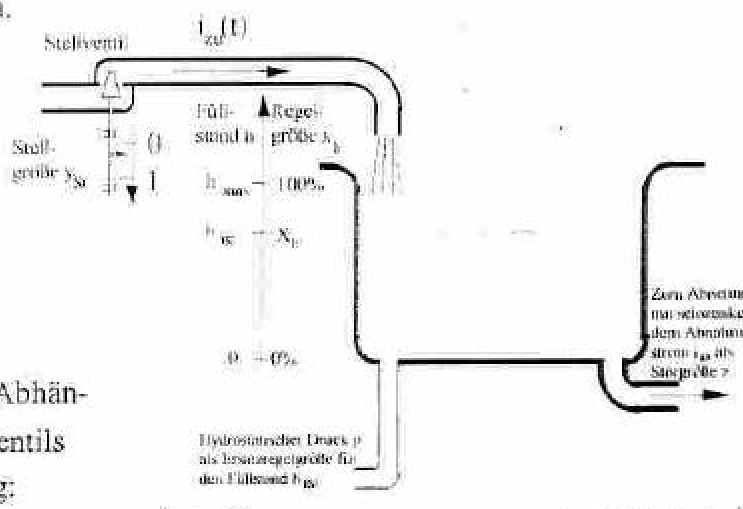
HINZUNAHME EINES P-ANTEILS

4 Regelung des Füllstands in einem Flüssigkeits-Reservoir

Wegen der stark schwankenden Entnahme durch den Abnehmer der Flüssigkeit muß der Füllstand in einem Vorratsbehälter geregelt werden. Außerdem soll abhängig von der Tageszeit ein unterschiedliches Füllstandsniveau eingestellt werden.
In den folgenden Abschnitten soll schrittweise die Anlage konzipiert und analysiert sowie auf prinzipielle Machbarkeit überprüft werden.

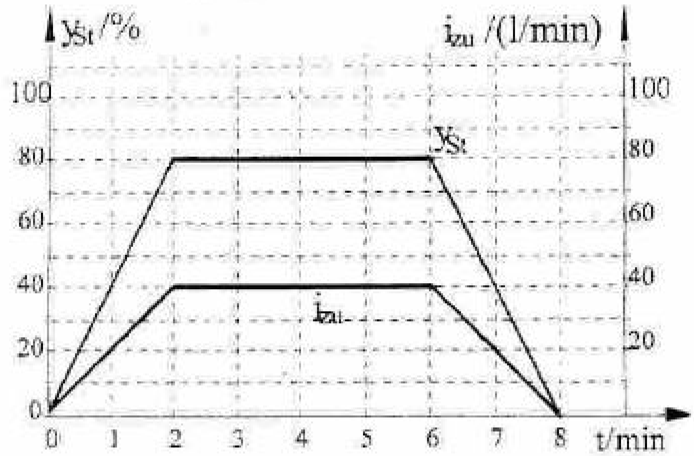
4.1 Füllstandsregelstrecke

Die nebenstehende Abbildung zeigt die Füllstandsregelstrecke vom Stellventil bis zum Meßort. Der Entnahmestrom i_{ab} der temperierten Flüssigkeit stellt für den Füllstandsregelkreis die Störgröße z dar.



4.1.1 Analyse des Stellventils

Eine Messung des Durchflusses $i_{zu}(t)$ in Abhängigkeit von der Stellung $y_{St}(t)$ des Stellventils ergab folgenden zeitlichen Zusammenhang:



Um welches dynamische System handelt es sich? **Unterstreichen** Sie die **richtige Antwort**! (1P)

<u>PT_0-System mit Parameter K_S.</u>
PT_1-System mit Parametern K_S und T_S
IT_0-System mit Parameter T_I
IT_1-System mit Parametern T_I und T_S
PI-System mit Parametern K_S und T_I
PID-System mit K_S, T_I und T_D

Geben Sie den Zusammenhang zwischen $i_{zu}(t)$ und $y_{St}(t)$ allgemein **und** mit Zahlenwerten an. (3P)

$$i_z(t) = K_s \cdot y_{St}(t) \; ; \; K_s = \frac{\Delta i_{zu}}{\Delta y_{St}} = \frac{40\ l/min}{80\%} = 0.5 \frac{l/min}{\%}$$

$$i_{zu}(t) = 0.5 \frac{l/min}{\%} \cdot y_{St} \text{ in } \%$$

4.1.2 Modellierung der gesamten Strecke

4.1.2.1 Die dimensionsbehaftete Füllstandshöhe h soll in die normierte Größe x_h von 0 bis 100% umgewandelt werden. Geben Sie allgemein den Zusammenhang zur Berechnung von x_h an. (3P)

$$x_h = \frac{h}{h_{max}} \cdot 100\%$$

4.1.2.2 Der Behälter hat ein Fassungsvermögen von 400 Liter. Wie lange dauert es, bis er bei voll geöffnetem Stellventil gefüllt ist, wenn er vorher leer war und der Verbraucher keine Flüssigkeit entnimmt? (2P)

VOLL GEÖFFNET $y_{ST} = 100\% \;\hat{=}\; 50 \frac{l}{min}$

$\Rightarrow T = 8 min$

4.1.2.3 Geben Sie den Zusammenhang zwischen dem normierten Füllstand $x_h(t)$ und der Stellung des Stellventils $y_{St}(t)$ allgemein **und** mit Zahlenwerten an.

Um welchen Systemtyp handelt es sich? (3P)

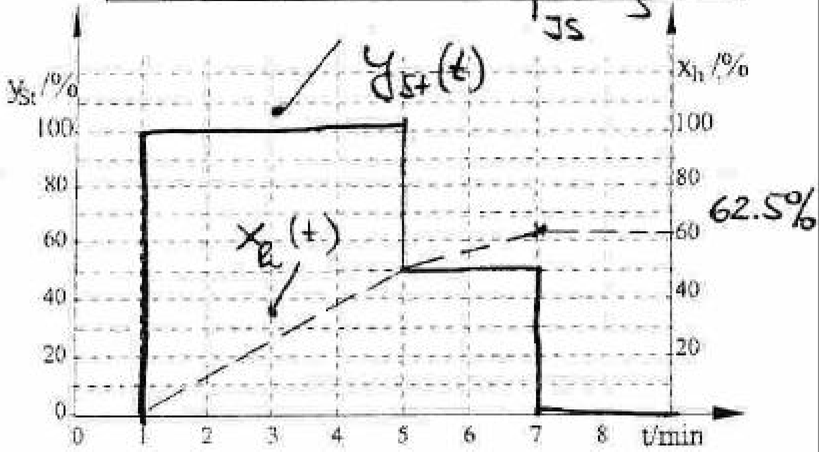
$$x_h(t) = \frac{1}{T_{JS}} \int y_{St}(t)\,dt = \frac{1}{8\,min} \int y_{St}(t)\,dt$$

JT_0 - VERHALTEN

4.1.2.4 Geben Sie auch die Übertragungsfunktion $G_S(s)$ der Strecke mit Eingangssignal $Y_{St}(s)$ und den normierten Füllstand $X_h(s)$ allgemein und mit Zahlenwerten an. (1P)

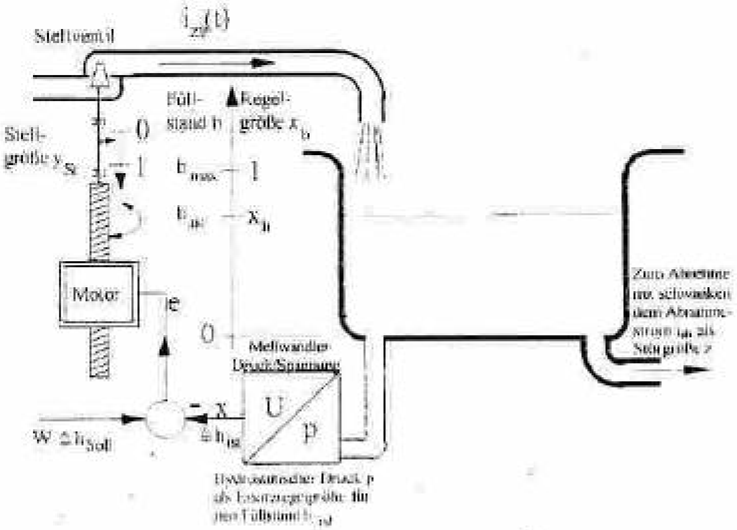
$$G_S(s) = \frac{X_h(s)}{Y_{St}(s)} = \frac{1}{8\,min} \cdot \frac{1}{s} = \frac{1}{T_{JS}} \cdot \frac{1}{s}$$

4.1.2.5 Das Stellventil werde zum Zeitpunkt t = 1min voll geöffnet, zum Zeitpunkt t = 5 min wieder halb geschlossen und zum Zeitpunkt 7 min völlig geschlossen. Zeichnen Sie in das nebenstehende Diagramm den Verlauf der Stellgröße y_{St} und des normierten Füllstandes x_h in % ein, wenn der Behälter bis zum Zeitpunkt t = 1 min leer ist und keine Entnahme durch den Verbraucher erfolgt. (4P)

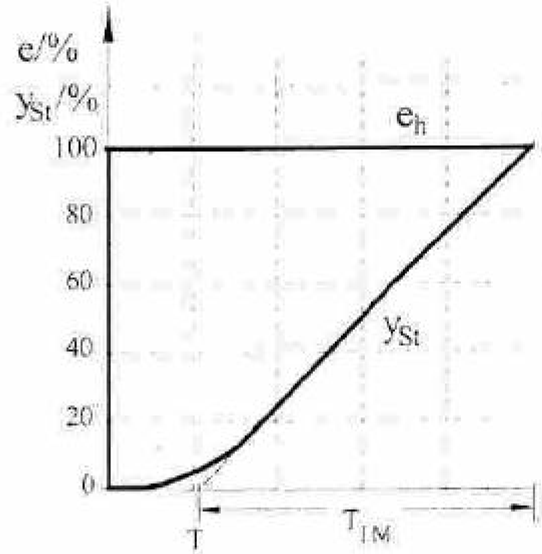


4.2 Regelung des Füllstands

Die nebenstehende Abbildung zeigt den vollständigen Füllstandsregelkreis. Der Füllstand h_{ist} wird mit Hilfe eines Drucksensors in das dazu proportionale elektrische Signal x umgewandelt. Den Sollwert des Füllstandes h_{Soll} repräsentiert die elektrische Führungsgröße w.



4.2.1 Das Stellventil wird von einem Elektromotor angetrieben. Bei vollem Eingangssignal e = 100% bewegt sich die Koordinate y_{St} des Stellantriebs nach der folgenden Zeitfunktion:

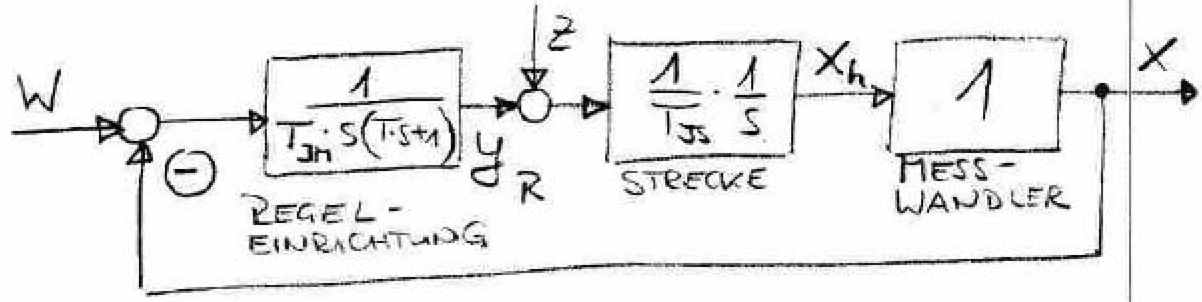


Welcher Systemtyp liegt vor und wie lautet die Übertragungsfunktion $G_R(s) = \frac{Y_{St}(s)}{E(s)}$ dieser Regeleinrichtung **allgemein** in Abhängigkeit von T und T_{IM}? (3P)

JT_1 - VERHALTEN

$$G_R(s) = \frac{\frac{1}{T_{JM}} \cdot \frac{1}{s}}{T \cdot s + 1} = \frac{1}{T_{JM} \cdot T \cdot s^2 + T_{JM} \cdot s}$$

4.2.2 Der Meßwandler gibt ein zum normierten Füllstand x_h proportionales Signal x aus mit Proportionalitätsfaktor $K_M = 1$. Der Regelkreis hat die Aufgabe, den Füllstand trotz kurzfristig schwankender Entnahme durch den Verbraucher auf dem konstanten Wert w zu halten und über den Tag hinweg langfristig diesen Sollfüllstand w betrieblichen Erfordernissen anzupassen.. Zeichnen Sie das Blockschaltbild des gesamten Regelkreises und tragen Sie in die Blöcke die Übertragungsfunktionen ein. Beschriften Sie auch die Signalleitungen. (3P)



4.2.3 Beurteilen Sie das **stationäre und dynamische** Verhalten dieses Regelkreises durch geeignete Rechnung. (5P)

TEILÜBERTRAGUNGSFUNKTIONEN:

$$G_S(s) = \frac{1}{T_{Js}} \cdot \frac{1}{s}; \quad G_R(s) = \frac{1}{T_{Jn} \cdot s(T \cdot s+1)}$$

$$G_Z(s) = \frac{1}{T_{Js} s + \frac{1}{T_{Jn} T s^2 + T_{Jn} \cdot s}} = \frac{T_{Jn} \cdot T \cdot s^2 + T_{Jn} \cdot s}{T_{Js} \cdot T_{Jn} \cdot T \cdot s^3 + T_{Jn} \cdot T_{Js} \cdot s^2 + 1}$$

SYSTEM INSTABIL NACH HURWITZ: KOEFF. BEI $s^1 = 0$

$$G_W(s) = \frac{1}{\frac{1}{G_S(s)} \cdot \frac{1}{G_R(s)} + 1} = \frac{1}{T_{Js} \cdot s\left(T_{Jn} \cdot T \cdot s^2 + T_{Jn} \cdot s\right) + 1}$$

$$= \frac{1}{T_{Js} T_{Jn} \cdot T \cdot s^3 + T_{Jn} T_{Js} s^2 + 1}$$

THEORETISCH STATIONÄR GENAU: FÜR $t \to \infty$

$X_{W\infty} = W$

BZW. $X_{Z\infty} = 0$

SYSTEM INSTABIL NACH HURWITZ: KOEFF. BEI $s^1 = 0$

Viel Erfolg