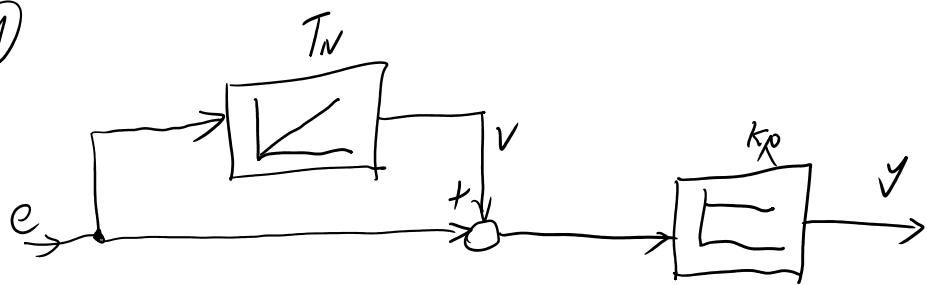


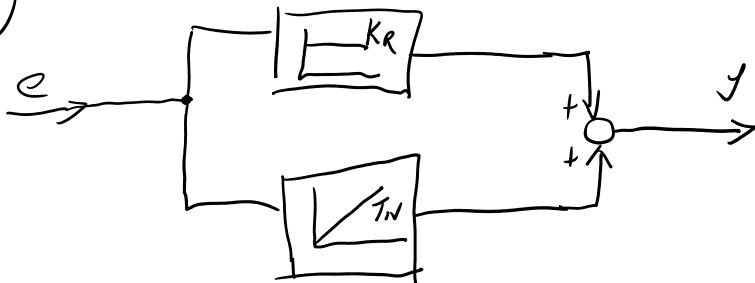
① PI-Regler-Schaltung Zeichnen und Z-Übertragungsfunktion (S162)

①



$$G_{\text{gesamt}} = \frac{v}{e} = k_R \cdot \left(1 + \frac{1}{T_N s} \right)$$

②



$$G_{\text{gesamt}} = \frac{v}{e} = k_R + \frac{1}{T_N s}$$

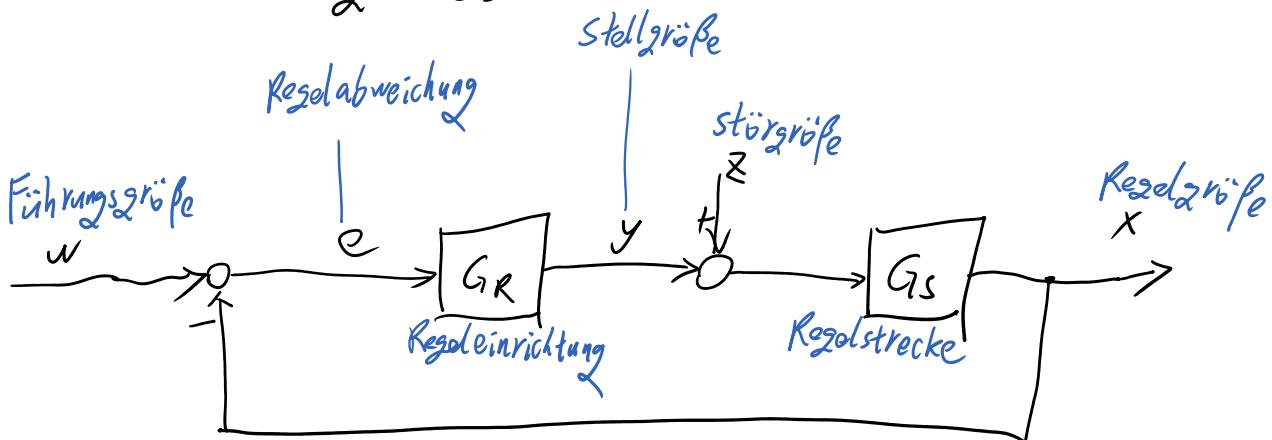
③ Was ist LTI-System? (S85)

Linear Zeitinvariantes System

线性时不变系统

③ Regelkreis zeichnen und Komponenten benennen (S143)

Standardregelkreis



④ Sprungantwort für Regelkreis mit VZ1-Strecke (S147)

Führungs frequenzgang = Gesamt übertragungsfunktion

Störfrequenzgang = $\frac{x}{z}$ = Übertragungsfunktion zwischen Ausgang und Stör

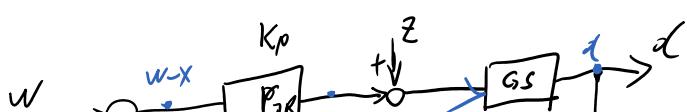
Bezogene Regelabweichung = $\frac{e}{w} = \frac{w-x}{w} = 1 - \frac{x}{w} = 1 - G_{\text{gesamt}}$

Beliebige Regelabweichung = $\lim_{t \rightarrow \infty} \left(\frac{e}{w} \right) = \lim_{s \rightarrow 0} (1 - G_{\text{gesamt}})$

Sprungantwort = Ausgang mit $\boxed{1}$ \Rightarrow Ausgang = $G_{\text{gesamt}} \cdot \frac{1}{s}$

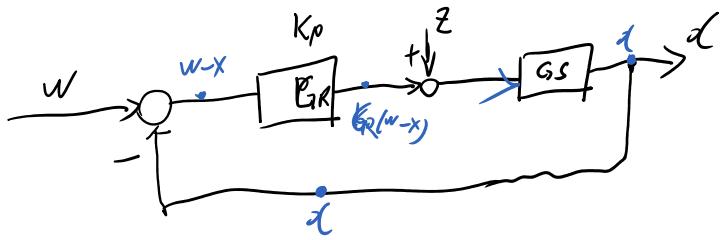
Sprungantwort mit $t \rightarrow \infty$ ($s \rightarrow 0$)

<1>. VZ1 mit P-Regler



$$\text{VZ1-Strecke: } G_s = \frac{K_s}{1 + T_s \cdot s}$$

$$G_R = K_R$$



$t = 1/s \cdot t$

$$G_R = K_R$$

$$G_R \cdot G_S = \frac{K_R \cdot K_S}{1 + T_s \cdot s}$$

总传递函数: $G_R \cdot (w-x) \cdot G_S = x$

$$G_R \cdot G_S \cdot w - G_R \cdot G_S \cdot x = x$$

$$G_R \cdot G_S \cdot w = (1 + G_R \cdot G_S) x$$

$$\frac{x}{w} = \frac{G_R \cdot G_S}{1 + G_R \cdot G_S} = \frac{K_R \cdot K_S}{(1 + T_s \cdot s) \cdot (1 + \frac{K_R \cdot K_S}{1 + T_s \cdot s})} = \frac{K_R \cdot K_S}{1 + T_s \cdot s + K_R \cdot K_S}$$

$x \rightarrow z$ 传递: $x(1 + G_R \cdot G_S) = w \cdot (G_R \cdot G_S) \Rightarrow x(1 + G_R \cdot G_S) = z \cdot G_S$

$$\frac{x}{z} = \frac{G_S}{1 + G_R \cdot G_S} = \frac{K_S}{(1 + T_s \cdot s) \cdot (1 + \frac{K_R \cdot K_S}{1 + T_s \cdot s})}$$

$$= \frac{K_S}{1 + T_s \cdot s + K_R \cdot K_S}$$

für P-Regler: Führungsfrequenzgang $\omega_1 = G_{2\text{esant}} = \frac{G_R \cdot G_S}{1 + G_R \cdot G_S} = \frac{K_R \cdot K_S}{1 + T_s \cdot s + K_R \cdot K_S}$

Störfrequenzgang $\omega_2 = \frac{G_S}{1 + G_R \cdot G_S}$

Bezogene Regelabweichung $= 1 - \frac{x}{w} = 1 - G_{2\text{esant}} = \frac{1}{1 + G_R \cdot G_S}$

Betreibende Regelabweichung $= \lim_{s \rightarrow 0} (1 - G_{2\text{esant}}) = \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{1}{1 + G_R \cdot G_S} \right)$

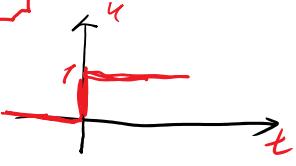
Sprungantwort $= X(s) = \frac{1}{s} \cdot G_{2\text{esant}}$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (x(t)) = \lim_{s \rightarrow 0} [s \cdot X(s)] = \lim_{s \rightarrow 0} \left(s \cdot \frac{1}{s} \cdot G_{2\text{esant}} \right) = G_{2\text{esant}}$$

<2> 同理

⑤ 常用的 Laplas-Transformation

<1> 阶跃函数: $u_{ct} = \begin{cases} 1, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$



$$\mathcal{L}[u_{ct}] = \frac{1}{s}$$

<2> 指数函数:

$$\mathcal{L}[e^{-at}] = \frac{1}{s+a}$$

<3> 三角函数:

$$\mathcal{L}[\sin(\omega t)] = \frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$$

$$\mathcal{L}[\cos(\omega t)] = \frac{s}{s^2 + \omega^2}$$

<4> 幂函数:

$$\mathcal{L}[t^n] = \frac{n!}{s^{n+1}}$$

($n!$ → n 的阶乘)

<5> 方程 La-Plas:

$$\mathcal{L}[L \cdot \ddot{e}_{ct}] = \mathcal{L}\left[L \cdot \frac{d^2 e_{ct}}{dt^2}\right] = L \cdot \left[s^2 E_{cs} - s \cdot e_{co} - \dot{e}_{co}\right]$$

$$L \cdot [s^2 F_{cs} - s \cdot f_{co} - \dot{f}_{co}]$$

$$\mathcal{L}[f''(t)] = s^2 F(s) - s \cdot f(0) - f'(0)$$

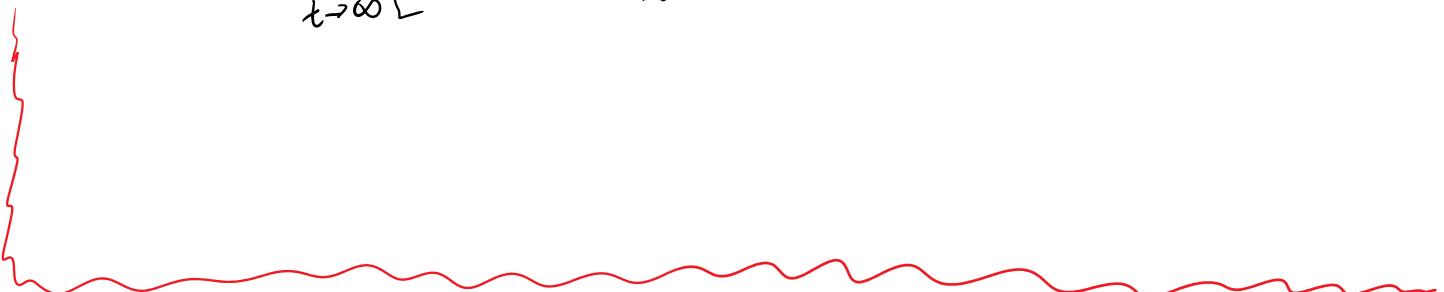
$$\mathcal{L}[f'(t)] = s \cdot F(s) - f(0)$$

$$\mathcal{L}\left[\int f(t) dt\right] = \frac{1}{s} \cdot F(s)$$

$$\mathcal{L}[f(t-\tau)] = e^{-s \cdot \tau} \cdot F(s)$$

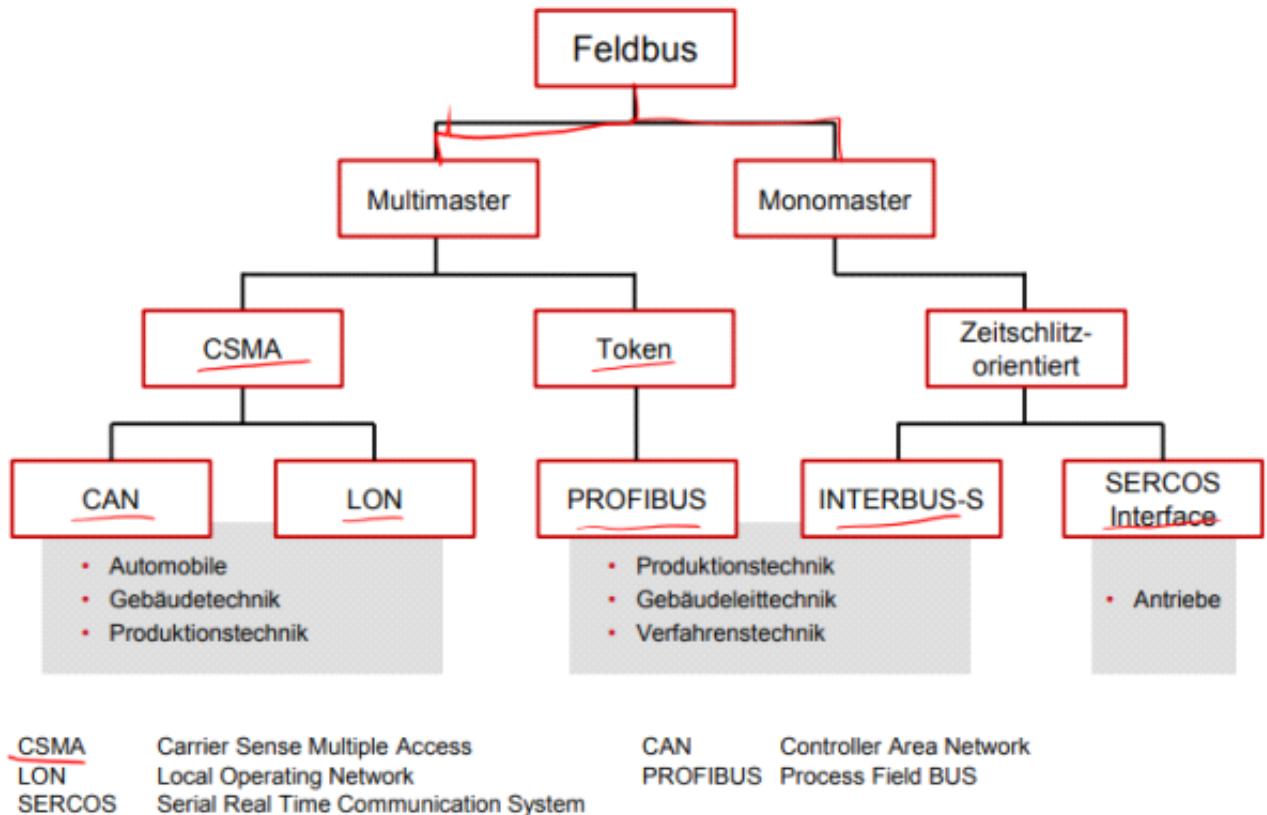
Endwertatz 終值定理:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} [f(t)] = \lim_{s \rightarrow 0} [s \cdot F(s)]$$



2. Bussystem(Klausur)

① Einteilung Feldbusystem (S.190)



② Stuff-Bits erklären : (S. 199)

Stuff-Bits

Die Übertragung auf dem CAN-Bus ist pegelbasiert
D.h. bei aufeinanderfolgender Übertragung gleicher Bits entsteht ein durchgängiger High- oder Lowpegel
Sog. Stuff-Bits zur Unterscheidung zw. „bus idle“ und einer Folge von mehr als vier gleichen Bits in einer Übertragung

um zu unterscheiden, ob gerade sehr oft hintereinander das gleiche Bit gesendet wird, oder der Bus in Ruhemodus gehen soll (Bus idle), werden nach 4 gleichen Bits die Flanken für ein Bit gewechselt

③ Gleichtaktunterdrückung erklären: (S.202)

symmetrische Datenübertragung

In die Leitung eingestreute Störungen wirken auf beide Leitungen in der gleichen Richtung. Da die beiden differentiellen Leitungen jedoch immer gegensinnige Pegel haben, bleibt die Differenz der Pegel auch bei Störungen weitgehend erhalten. Dies nennt man Gleichtaktunterdrückung, auf englisch „Common Mode Rejection Ratio“ (CMRR). Die Leitungen CAN-High und CAN-Low. enthalten das invertierte und das nicht invertierte serielle Datensignal.

④ Leitungslänge (LL) berechnen: (S205 ~ S207)

传播速度: Aufbreitungsgeschwindigkeit auf Kupferleitung

$$= \frac{2}{3} \times \text{Lichtgeschwindigkeit}$$

$$\text{光速} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{Leitungsverzögerung (LV)} = \underbrace{\frac{1}{\text{Aufbreitungsgeschwindigkeit}}}_{\text{ }} = \frac{1}{2 \times 10^8 \text{ m/s}} = 5 \text{ ns/m}$$

$$\text{Wandlerverzögerung (WZ)} = 300 \text{ ns}$$

$$\text{Bitzeit} = \frac{1}{\text{Datenrate}} = \frac{1}{500 \times 10^3 \text{ Bit}} = \frac{1}{500 \times 10^3} \text{ s} = 2 \times 10^{-6} \text{ s/bit} = 2000 \text{ ns/bit}$$

$$(\text{Datenrate} = \text{Übertragungsrate} = 500 \text{ KB/s})$$

(Datenrate = Übertragungsrate = 500 KB/s)

$$\text{Bitzeit} \geq 2 \cdot LL \cdot LV + \sqrt{z}$$

1s = 1000ms

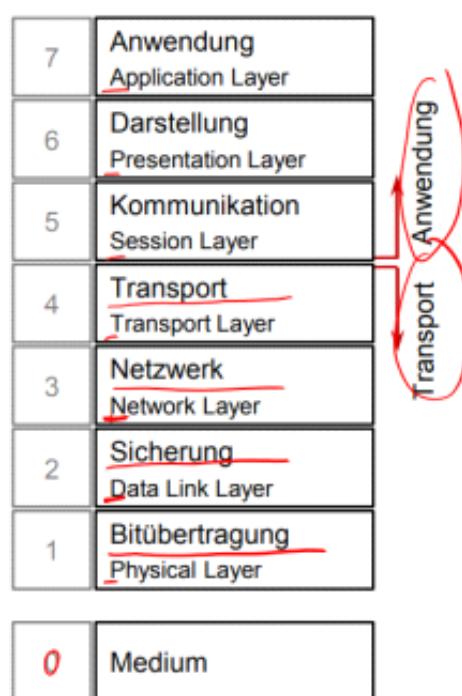
1ms = 1000μs

1μs = 1000ns

1ns = 1000ps

⑤ ISO/OSI 7-Schicht-Modell ; (S189)

? Transport und Anwendung einteilen ?



⑥ Aufbau und Unterschied von Telegrammstruktur zwischen CAN und Profi-Bussystem, und die jeweilige Datolänge.

CAN-Bus:

- CSMA/CA (stochastisches Zugriffsverfahren)
- max. 110 Bits + Stuffbit pro Nachricht
- Datenübertragung 8 Byte

PROFIBUS:

- Token (Deterministisches Zugriffsverfahren)
- max 246 Byte Daten

⑦ Token-Steuerung erklären? Anwendungsbiete? (S?)

Deterministisches Zugriffsverfahren, das bei Profibusen angewandt wird, es wird entweder ein Ring oder ein Bus durchlaufen und somit die Zugriffe geregelt

⑧ Buszugriffssysteme in Bezug auf Anzahl Master klassifizieren und min. 4 einordnen?

oder

Einteilung von Bussystemen nach Anzahl der Master

Nehmen Sie eine Einteilung der Feldbusse nach der Anzahl der Master vor. Geben Sie hierbei mindestens 4 Beispiele der Systeme an. (CAN, LON, ...) (?P)

⑨ ①

⑨ 4K Topologien

Stern-Struktur

Bus-Struktur

Baum-Struktur

Ring-Struktur

⑩ Warum Leitungsterminierung ?

Um Gleichtaktsignale zu unterdrücken und somit Signal zu glätten
(Unterdrückung von Reflexionen auf der Leitung)

⑪ Kreuzparität { S184, S186 }

{ Was ist CRC ?
Wie funktioniert, und wofür angewendet ? }

Cyclic Redundancy Check

Ablauf

Nachricht wird durch Generatorpolynom geteilt

Rest wird an eigentliche Nachricht angehängt

Ergibt die Polynomdivision beim Empfänger einen Rest ungleich Null, so liegt ein Fehler vor

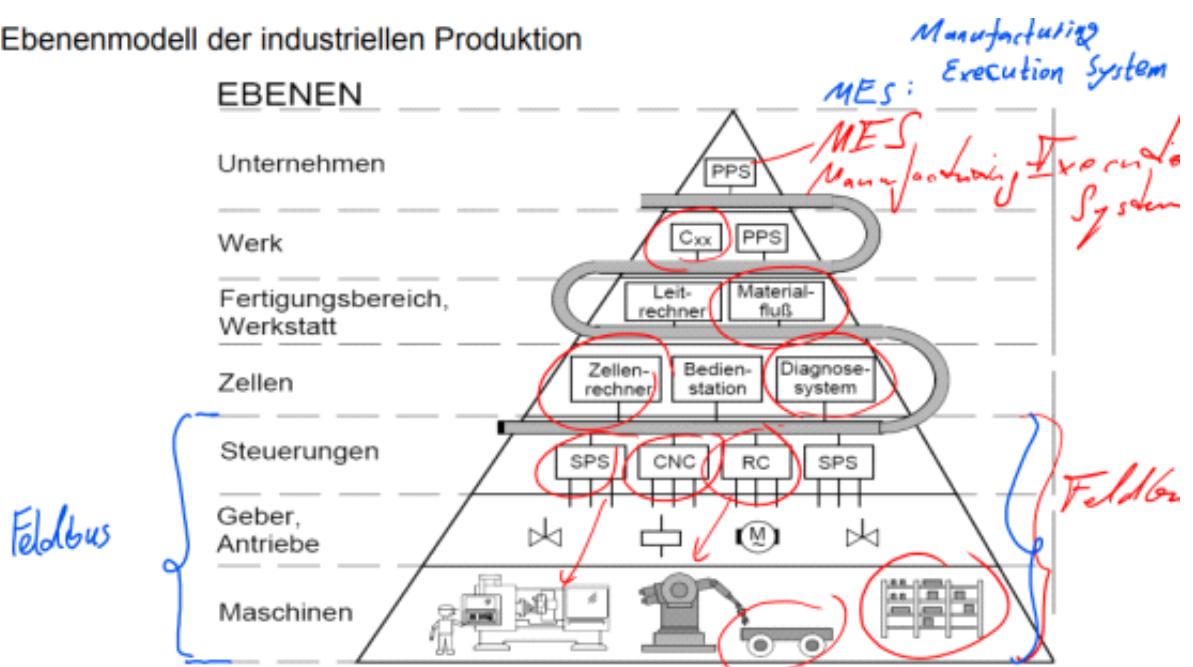
Erkennbare Fehler

Bis zu einer Länge von n sind nahezu alle Fehler erkennbar

12 Automatisierungspyramide

Anwendungsprotokolle und Netze
Ebenenmodell der industriellen Produktion

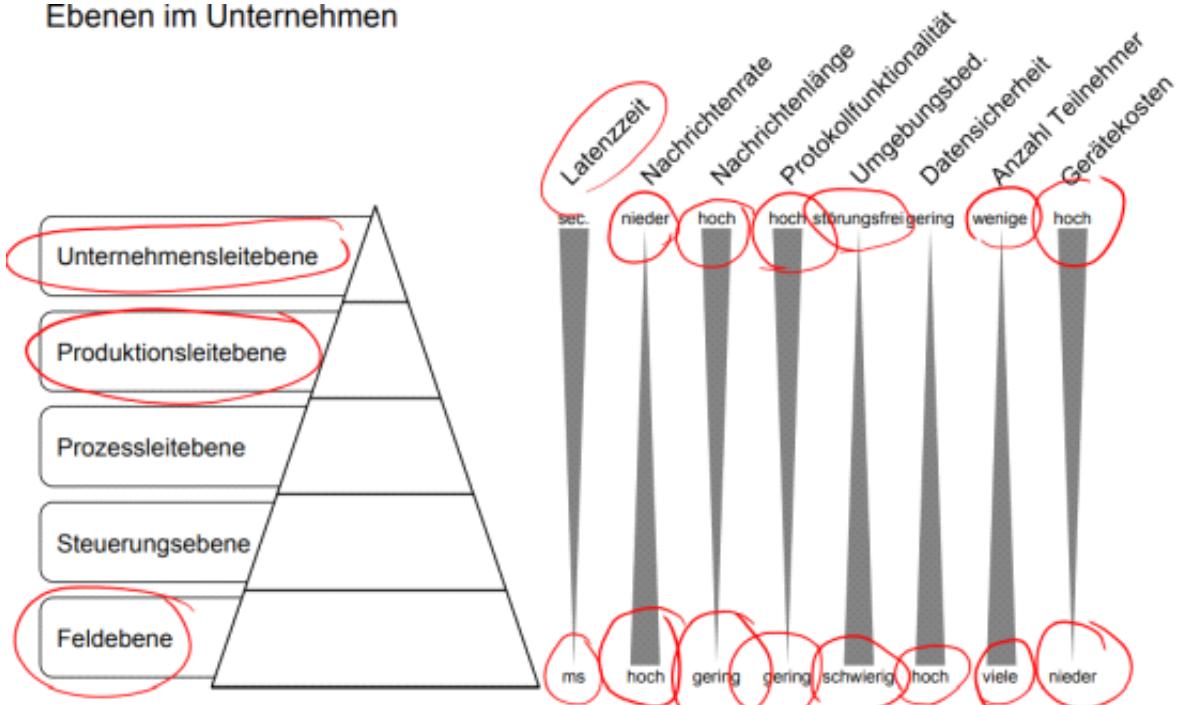
Ebenenmodell der industriellen Produktion



Anforderungen an Datenkommunikationssysteme

Vergleich spezifischer Anforderungen zwischen Feldebene und höheren Ebenen im Unternehmen

Ebenen im Unternehmen



3. Robotik(Klausur)

① Roboterkinematik und Anwendungsbereich. (S26, S27)

RTT - Schwenkarmroboter

RRT - Horizontal-Knickarm-Roboter

RRTR - Scararoboter

RRRRRR - Universalroboter

Parallelkinematik

- Bewegungssimulation
- Werkzeugmaschinen
- Führungssysteme für Laserbearbeitung
- Handhabungsautomatik
- Feinpositionier- und Messsysteme

② Arbeitraum mit Roboter für RRT (S26)

entweder Halbkugel oder Zylinder

③ Implizit Programmierverfahren erklären. (S77)

Implizit / aufgabenorientiert

Die Programmierung erfolgt unter Beschreibung der Handhabungsaufgabe

Die Weginformation wird u.a. vom Programmiersystem unter Verwendung eines Modells der Roboterzelle selbsttätig abgeleitet (kollisionsfreie Bahnplanung)
Weiterhin Gegenstand der Forschung

④ Vorteile und Nachteile für { offline - Programmierung Online - Programmierung } (S79)

(S79)

Online-Programmierung (direkte Programmierung)

Vorteile:

- Anschauliche Programmierung in Arbeitsumgebung
- Geringe Programmiererkenntnisse erforderlich
- Kollisionen, Ungenauigkeiten, Störungen werden direkt sichtbar
- Arbeitsraum und Objekt müssen nicht vermessen werden
- Testen der Programme am realen System
- Erfahrungsschatz der Anwender fließt in Programmierung ein

Nachteile:

- Reales Robotersystem und Anlage erforderlich
- Beschränkter Zugriff auf betriebliche Informationssysteme
- Erstellung komplexer Programme aufwendig

Offline-Programmierung (indirekte Programmierung)

Vorteile:

- Programmierung in der Arbeitsvorbereitung als Teil der Fertigungsplanung
- Unterstützung des Programmierers durch intelligente, rechnerbasierte Hilfsmittel
- Testen der Programme durch Simulation
- Volle Integration in betriebliche Informationssysteme möglich

Nachteile:

- Modell von Robotersystemen und Anlagenumgebung erforderlich
- Hohe Kosten durch Programmiersysteme und CAD-Unterstützung
- Aufwändige Einarbeitung in die oft komplexen Programmiersysteme

⑤ Jacobi-Matrix (S61)

Jacobi-Matrix beschreibt die Abhängigkeit der Geschwindigkeit v und der Winkelgeschwindigkeit ω des Endeffektors von den Gelenkgeschwindigkeiten.

⑥ DH-参数

1. 确定Z轴；
2. 确定序号，底座为O0，X0指向纸面外，以后每个坐标加1；

确定X轴：	
1	Z _i 与Z _{i-1} 相交，交点为原点； 方向X _i = Z _{i-1} × Z _i
2	Z _i 与Z _{i-1} 平行，X _i 过前一个坐标系的原点
3	Z _i 与Z _{i-1} 异面，有a _{i-1} 存在，X _i =a _{i-1}

4. $\alpha_i = z_i$ 与前面的 z_{i-1} 之间的夹角（以 x_i 轴为转动轴），注意：角度不比距离；
5. $a_i =$ (沿着 X_i 轴) z_i 与前面的 z_{i-1} 之间的距离，相交即为0；
6. $\theta_i = X_{i-1}$ 绕 Z_{i-1} 轴 转动到 X_i 的角度；
7. $d_i = x_i$ 与前面的 x_{i-1} 之间的距离，相交即为0.(Z_{i-1} 沿着自身方向移动到 X_i 的距离。)
8. 末端x轴与前一个x对齐。

theta: Rotation um z_{i-1} -Achse

d: Translation entlang z_{i-1}

a: Translation entlang x_i

alpha: Rotation um x_i

(7) Direkt und Inverse Kinematik erklären. Warum eindeutig lösbar? (S 60)

Direkte Kinematik

Zu jeder Gelenkkonfiguration q existiert genau eine Lage x des Endeffektors in Inertialkoordinaten

Werden die Gelenkwinkelbeschränkungen beachtet ist die direkte Kinematik immer eindeutig lösbar

Inverse Kinematik

Die möglichen Gelenkkonfigurationen q, die zu einer vorgegebenen Lage x des Endeffektors in Inertialkoordinaten führen

Diese Zuordnung ist nur in bestimmten Fällen bis auf Symmetrien lösbar und eindeutig

(8) Positionier- und Wiederholgenauigkeit erklären / Skizzieren (S 28)

Statische Genauigkeit

Beim Positionieren und Orientieren(Beispiel: Punktschweißen)

Positioniergenauigkeit oder auch Richtigkeit, ist die Differenz zwischen der Position einer Soll-Pose und dem Mittelwert der gemessenen Ist-Positionen.

Wiederholgenauigkeit oder auch Präzision, ist die Exaktheit der Übereinstimmung der Ist-Posen nach wiederholten Anläufen zu derselben Soll-Pose in derselben Richtung.

⑨ Definition von Industrierobotik in VDI 2860 (S10)

Definition nach VDI-Richtlinie 2860

Industrieroboter sind universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolge und Wegen bzw. Winkeln frei (d. h. ohne mechanischen Eingriff) programmierbar und gegebenenfalls sensorgeführt sind. Sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausrüstbar und können Handhabungs- und/oder Fertigungsaufgaben ausführen.

⑩ Knickarm-Roboter (S21) zeichnen? Schreiben Achse Funktion ? (看曾經教過)

Aufgrund seiner rotatorischen Achsen kann dieser Roboter schnell schwenken. Mechanisch stabil in der Vertikalen können hohe Fügekräfte erbracht werden. Anwendung findet dieser Roboter oft in der Montagetechnik.

⑪ Homogene Transformation (S44)

3x3 Rotationsmatrix

3x1 Translationsvektor

1x4 letzte Zeile für Projektion und Skalierung

$$AT_B = \left(\begin{array}{c|c} \text{3x3} & \text{3x1} \\ \begin{array}{c} AR \\ BR \end{array} & \begin{array}{c} AP \\ B\text{-origin} \end{array} \\ \hline \begin{array}{ccc|c} 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} & \end{array} \right) \in \mathbb{R}^{4x4}$$

$$\left[\begin{array}{cccc|c} 0 & 0 & 0 & 1 & 12 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 12 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 12 \\ -\Delta & -\Delta & -\Delta & 1 & \Delta \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{array} \right]$$

(12) Warum Zeile $(0, 1)$ in Homogene Matrix $(S \ 4 \times 4)$ zurück

letzte Zeile für Projektion und Skalierung

(13) Wofür steht TCP?

Der Roboter Tool-Center-Point (kurz TCP) ist der Punkt, der für die Roboterpositionierung in jedem beliebigen Roboterprogramm verwendet wird, welches Ziele umfasst, die im kartesischen Raum definiert sind. Der TCP ist als eine Transformation vom Roboterflansch definiert. Die Definition des richtigen TCP ist in jeder Roboteranwendung wichtig, egal ob es offline programmiert wird oder auch nicht.

Position und die Orientierung des Werkzeugmittelpunktes (soll bei direkter Kinematik berechnet werden)

(14) Rotation - Drehung (S 41)

Zusammengesetzte Drehungen lassen sich durch drei hintereinander ausgeführte Elementardrehungen beschreiben. Man unterscheidet grundsätzlich zwei verschiedene Arten von zusammengesetzten Drehungen:

Extrinsisch: Drehungen um die Achsen des Basissystems

Abbildung der Einheitsvektoren durch aufeinanderfolgende Drehungen um die Achsen des Originalsystems

Gesamttransformation als Linksmultiplikation der Einzeldrehungen

Beispiel: Roll-Pitch-Yaw-Winkel

Intrinsisch: Drehungen um die Achsen des mitgedrehten Systems

Abbildung der Einheitsvektoren durch aufeinanderfolgende Drehungen um die Achsen der mitgedrehten Systeme

Gesamttransformation als Rechtsmultiplikation der Elementardrehung

Beispiel: Euler-Winkel, Kardan-Winkel

15

Homogene 与 DH 各需要多少参数？

为什么 DH-Notation 需要更多的参数？

homogen: 6 (3 Rotationswinkel und 3 Translationsparameter)

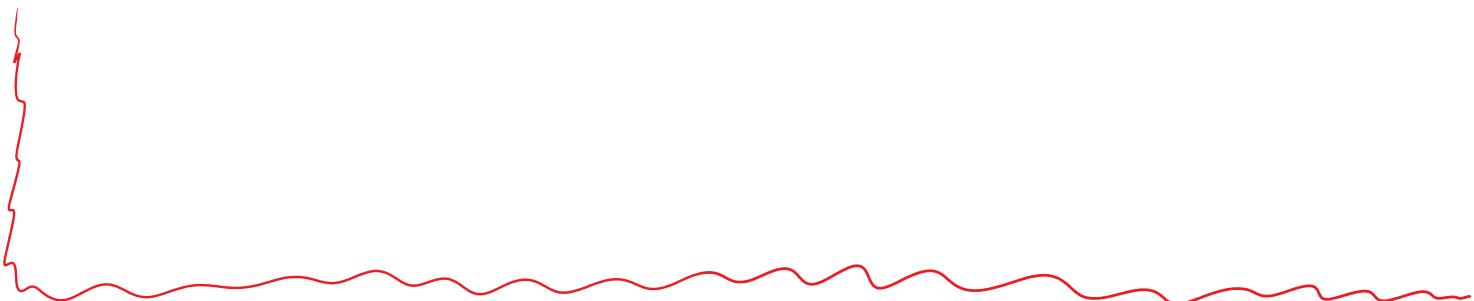
DH: 4 (2 Drehung und 2 Translation in y Richtung durch Legung der KOS gespart)

4. Sicherheit

① Arten von Sicherheitsnormen benennen (S312)

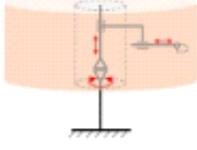
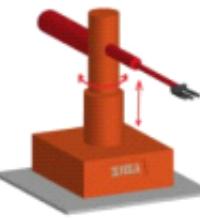
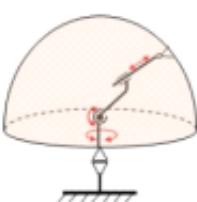
Sicherheitsgrundnorm
Sicherheitsgruppennorm
Sicherheitproduktnorm

3.1 Skizzieren Sie die Sicherheitsnorm der europäischen Arbeitssicherheit? und geben Sie die einzelnen Unterteilungen an. (5P)



Robot补充

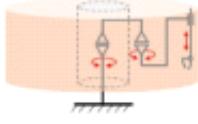
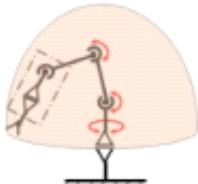
Mittels der Ausführungen der Hauptachsen lassen sich Roboter klassifizieren. Zudem bestimmt die Kinematik selbstverständlich den Arbeitsraum.
Im folgenden sehen Sie eine Zusammenstellung der Roboter-Grundtypen:

Bezeichnung	Arbeitsraum, Ausführung der Gelenke	Abbildung
TTT		
Linearroboter	 <i>hier: Ausführung als Portalroboter</i>	 不支持此插件
	Aufgrund der mechanischen Steifigkeit der T-Achsen eignen sich Portalroboter gut für Transportaufgaben über weite Strecken. Zudem da der Bodenbereich bei der Ausführung "Portal" frei ist. Messtechnisch sind translatorische Achsen einfacher zu handhaben als rotatorische Achsen. Damit kann mit diesen Robotern sehr genau positioniert werden. Anwendung findet diese Roboter daher auch in Bestückungsautomaten für z.B. elektronische Bauteile (SMD).	
RTT		
Schwenkarm- Roboter	Hier folgt nach der fluchtenden-rotatorischen Achse zwei translatorische Achsen. Die erste T-Achse bestimmt die Höhe des Arbeitsraumes, die zweite T-Achse die Reichweite des Effektors. Der Vorteil liegt in der relativ großen Reichweite und in der hohen Geschwindigkeit, mit welcher sie sich um die eigene Achse drehen können. Angewandt werden diese Roboter hauptsächlich zum Be- und Entladen von Werkstücken an Maschinen.	
RRT		
	Dieser Roboter kann auch "über Kopf" arbeiten. Wird die dritte T-Achse als Teleskop ausgeführt, so hat dieser Roboter eine große Reichweite. Angewandt wird dieser Roboter oft z.B. für Punkt- und einfaches Bahnschweißen.	

Aufgrund der mechanischen Steifigkeit der T-Achsen eignen sich Portalroboter gut für Transportaufgaben über weite Strecken. Zudem da der Bodenbereich bei der Ausführung "Portal" frei ist. Messtechnisch sind translatorische Achsen einfacher zu handhaben als rotatorische Achsen. Damit kann mit diesen Robotern sehr genau positioniert werden. Anwendung findet diese Roboter daher auch in Bestückungsautomaten für z.B. elektronische Bauteile (SMD).

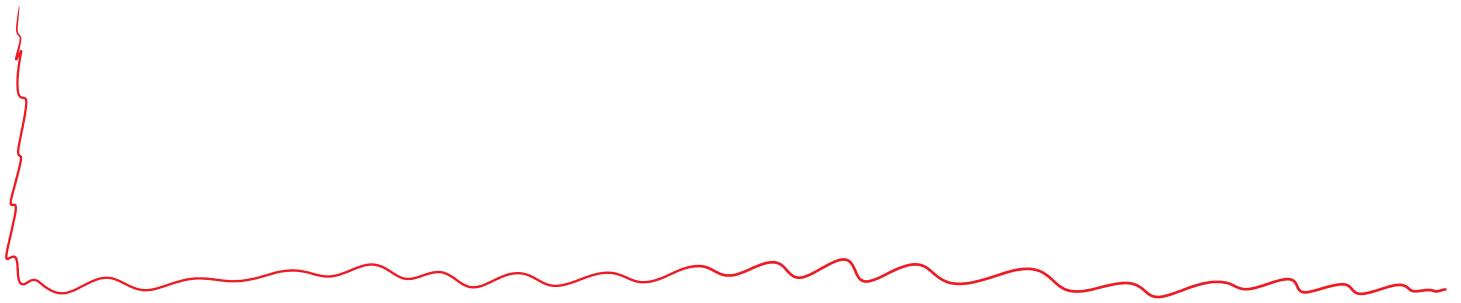
Hier folgt nach der fluchtenden-rotatorischen Achse zwei translatorische Achsen. Die erste T-Achse bestimmt die Höhe des Arbeitsraumes, die zweite T-Achse die Reichweite des Effektors. Der Vorteil liegt in der relativ großen Reichweite und in der hohen Geschwindigkeit, mit welcher sie sich um die eigene Achse drehen können. Angewandt werden diese Roboter hauptsächlich zum Be- und Entladen von Werkstücken an Maschinen.

Dieser Roboter kann auch "über Kopf" arbeiten. Wird die dritte T-Achse als Teleskop ausgeführt, so hat dieser Roboter eine große Reichweite. Angewandt wird dieser Roboter oft z.B. für Punkt- und einfaches Bahnschweißen.

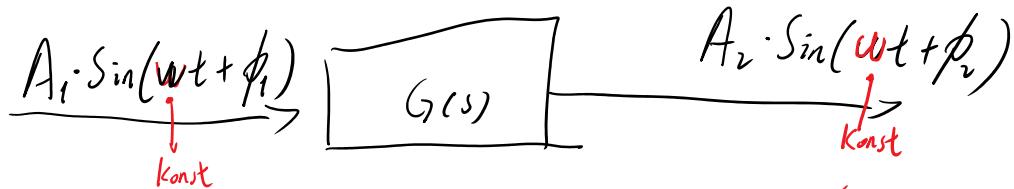
<p>RRT</p> <p>Horizontal-Knickarm-Roboter (SCARA)</p>	 	<p>Aufgrund seiner rotatorischen Achsen kann dieser Roboter schnell schwenken. Mechanisch stabil in der Vertikalen können hohe Fügekräfte erbracht werden. Anwendung findet dieser Roboter oft in der Montagetechnik.</p>
<p>RRR</p> <p>Vertikal-Schwenkarm-Roboter (Universalroboter)</p>	 	<p>Mit drei rotatorischen Achsen besitzt dieser Roboter maximale Flexibilität, sowie kann über Kopf arbeiten. Auch komplexe Bahnen können gefahren werden. Anwendung findet dieser Roboter z.B. in komplexe Montageaufgaben, Bahnschweißen.</p>

Aufgrund seiner rotatorischen Achsen kann dieser Roboter schnell schwenken. Mechanisch stabil in der Vertikalen können hohe Fügekräfte erbracht werden. Anwendung findet dieser Roboter oft in der Montagetechnik.

Mit drei rotatorischen Achsen besitzt dieser Roboter maximale Flexibilität, sowie kann über Kopf arbeiten. Auch komplexe Bahnen können gefahren werden. Anwendung findet dieser Roboter z.B. in komplexe Montageaufgaben, Bahnschweißen.



对于一个线性时不变系统来说：如果输入是1个正弦信号，那么输出也是正弦信号，且2个信号的频率远相同，只有振幅和相位变了：



$$\text{振幅响应} : A = \frac{A_2}{A_1} = |G(j\omega)| \quad (j = \sqrt{-1})$$

$$\text{相角响应} : \phi_{(j\omega)} = \phi_2 - \phi_1 = \angle G(j\omega)$$

$$\Rightarrow G(j\omega) = \frac{\hat{x}_a \cdot e^{j(\omega t + \varphi)}}{\hat{x}_e \cdot e^{j\omega t}} \Rightarrow |G(j\omega)| = \left| \frac{\hat{x}_a}{\hat{x}_e} \right| \Big|_{\omega}$$

$$\Rightarrow \phi_{(j\omega)} = \arctan \left(\frac{\text{Im}(G(j\omega))}{\text{Re}(G(j\omega))} \right)$$

常用的Bode图：

