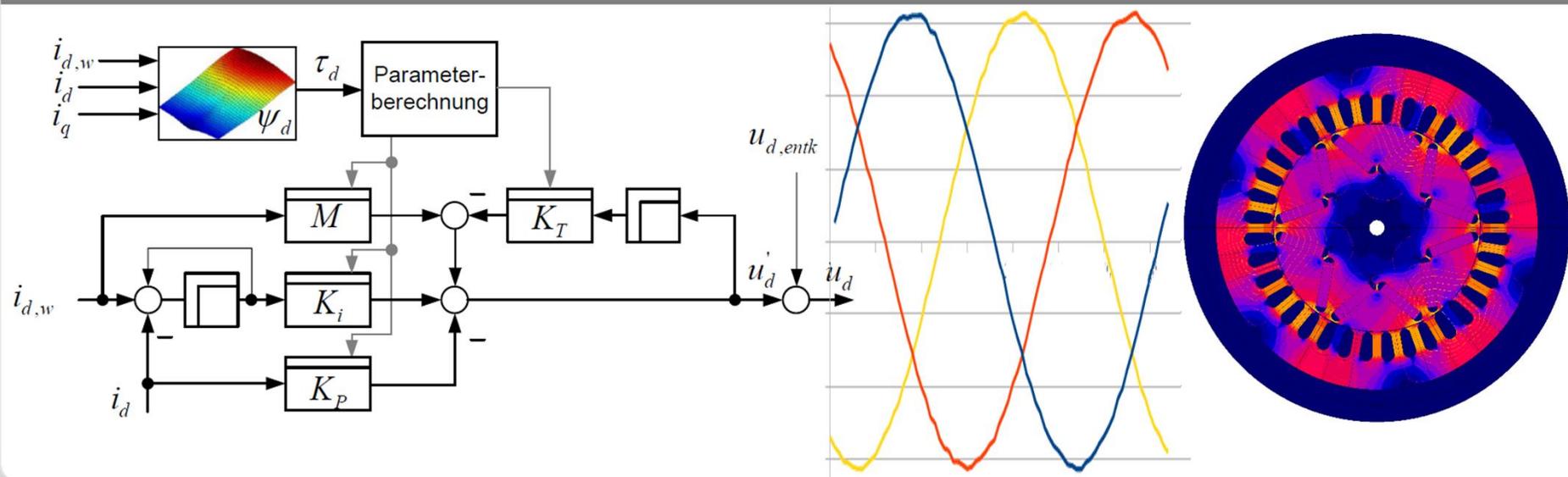


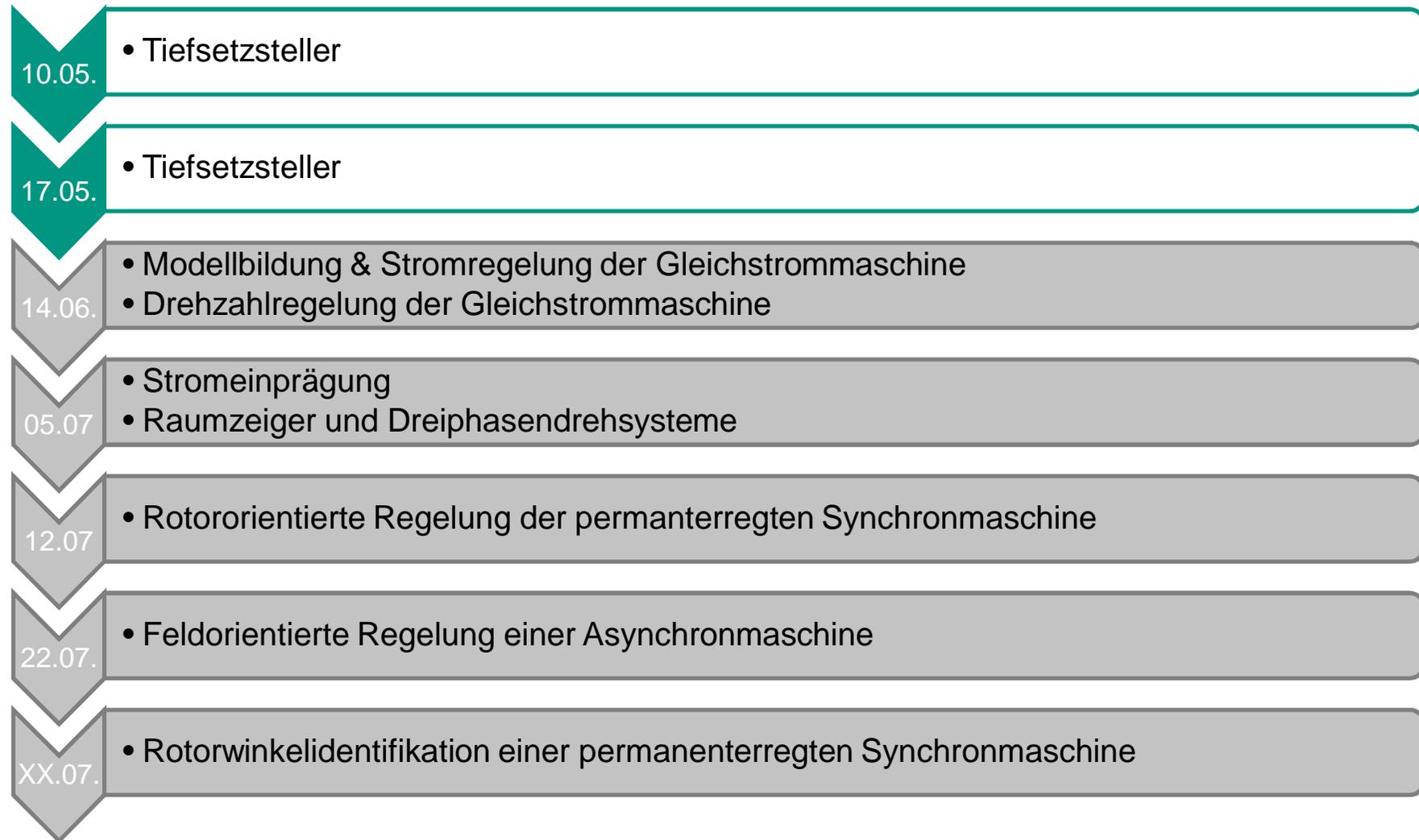
Übung „Regelung leistungselektronischer Systeme“ SS22

Übung 2 – Regelung eines Tiefsetzstellers

Elektrotechnisches Institut (ETI)
Leistungselektronische Systeme



Zeitleiste



1 Regelung eines Tiefsetzstellers

Am ETI soll zur Erweiterung des im Aufbau befindlichen Inselnetzes eine DC-Schnellladesäule für das Institutsfahrzeug integriert werden. Im Inselnetz soll hierbei erforscht werden, wie verschiedene leistungselektronische Teilnehmer, wie z.B. Solarwechselrichter, Batteriespeicher, Netz- und Maschinenumrichter miteinander interagieren. Eine Herausforderung stellt dabei die deutlich reduzierte rotierende Masse (fehlende Kraftwerksgeneratoren) zur Stabilisierung des Inselnetzes dar. Als Besonderheit sollen die Umrichter auf der Eingangsspannungsseite auf einem gemeinsamen DC-Bus gekoppelt werden. Die Stabilität des Microgrid sowie die DC-seitige Kopplung der unterschiedlichen leistungselektronischen System soll in diesem Microgrid erforscht werden.

Um eine große Bandbreite an unterschiedlichen Fahrzeugbatterien laden zu können, soll die DC-Ladesäule ausgangsseitig einen weiten Spannungsbereich abdecken können. Um die Batterie optimal laden zu können, soll ebenfalls die Möglichkeit bestehen, Konstantstrom-, Konstantleistung und Konstantspannungsladeprofile umschalten zu können. In der Aufgabe wird vereinfachend ein einphasiger Tiefsetzsteller angenommen.

Zum sicheren Betrieb des in der Schnellladesäule verbauten Tiefsetzstellers (TSS) sollen Sie eine Regelung entwerfen.

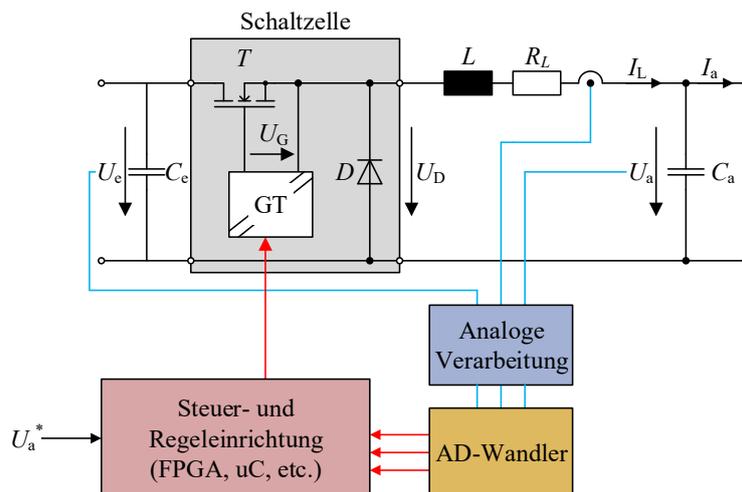


Abbildung 1: Blockschaltbild eines einphasigen TSS mit Regelung

Folgende Daten sind gegeben:

$$\text{Induktivität} \quad L = 100 \mu\text{H} \quad (1.1)$$

$$\text{Widerstand der Drossel} \quad R_L = 0.5 \text{ m}\Omega \quad (1.2)$$

$$\text{Ausgangskapazität} \quad C_a = 560 \mu\text{F} \quad (1.3)$$

$$\text{Schaltfrequenz} \quad f_{\text{sw}} = 100 \text{ kHz} \quad (1.4)$$

$$\text{Bandbreite des Stromsensors} \quad f_{3\text{db}} = 300 \text{ kHz} \quad (1.5)$$

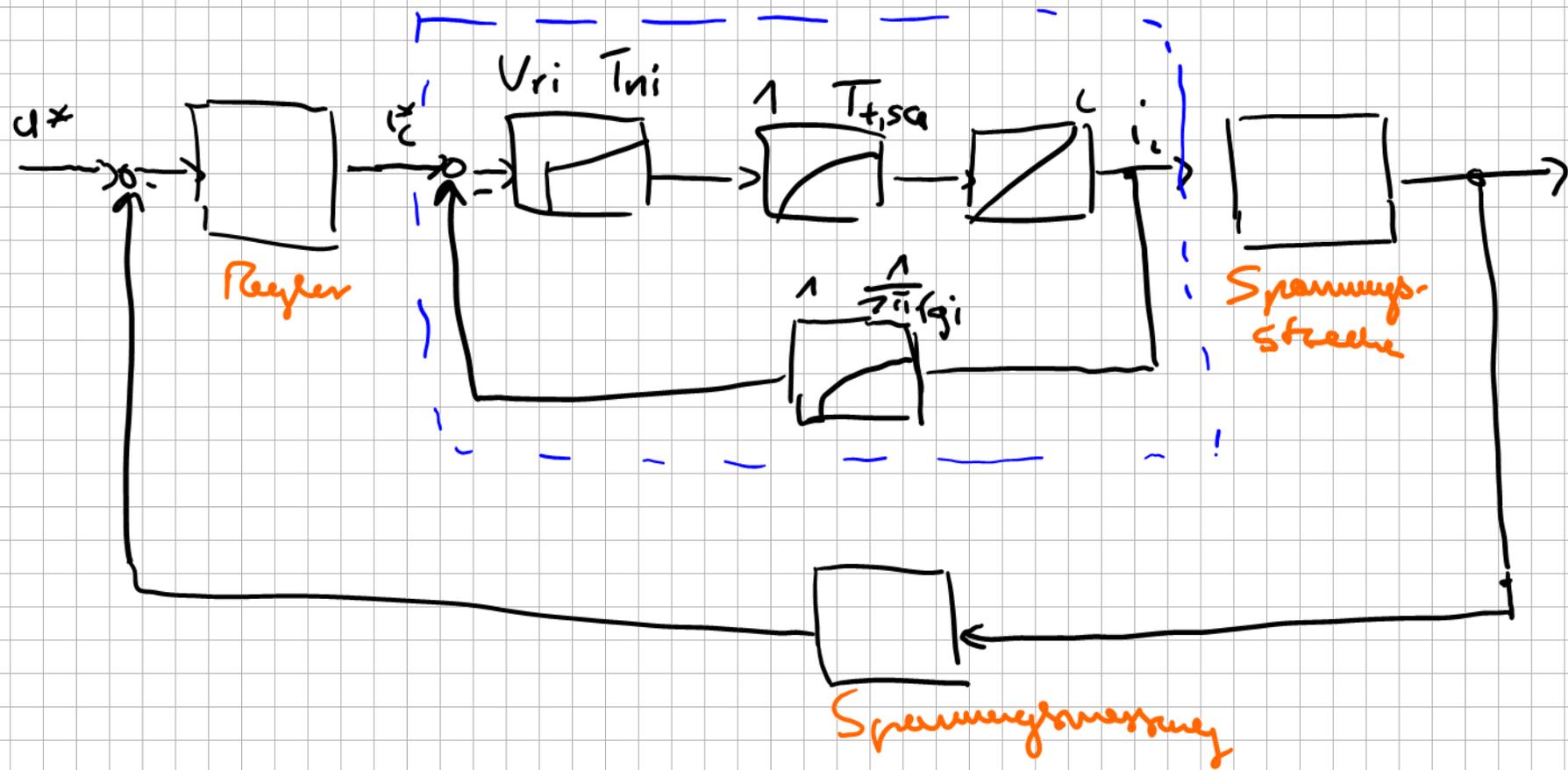
$$(1.6)$$

Vereinfachende Annahmen:

- Der Stromsensor kann als Tiefpass 1. Ordnung modelliert werden.
- Die Spannungsmessung erfolgt über einen frequenzkompensierten Spannungsteiler.
- Transistor und Diode können als ideale Bauteile betrachtet werden.
- Die (in der Praxis notwendige) galvanische Trennung des Tiefsetzstellers erfolgt bereits auf der Seite des Microgrids.
- Filter, Isolationsmonitoring und Symmetrierung der DC-Schiene werden nicht betrachtet.

Aufgaben:

- a) Zeichnen Sie den kaskadierten Regelkreis des Tiefsetzstellers. Modellieren Sie hierbei Regelung, Skalierung und Stellglied im ersten Schritt unabhängig voneinander. Welche Bedingung muss für die Modellierung als Kaskadenregelung eingehalten werden?
- b) Legen Sie nun den inneren Regelkreis aus. Zeichnen sie das Ersatzschaltbild für die inneren Stromregelstrecke und leiten Sie die Übertragungsfunktion $G(s) = \frac{I_L}{U_d}$ her. Welche Vereinfachung können Sie hier bei dem Tiefsetzsteller in guter Näherung treffen? Vergleichen Sie im Bodediagramm die Übertragungsfunktionen mit und ohne Vereinfachung.
- c) Stellen Sie die Übertragungsfunktion des Stellgliedes und der Messung auf und linearisieren Sie diese wenn nötig.



$$F_0(s) = V_{ri} \cdot \frac{1 + T_{ri} \cdot s}{s \cdot T_{ri}} \cdot \frac{1}{1 + s \cdot T_{e,sg}} \cdot \frac{1}{sL}$$

Kompensation

$$F_G(s) = \frac{Y(s)}{W(s)} = \frac{F_0(s)}{1 + F_0(s) \cdot G_M(s)}$$

zurück zur Mathematik → bisher nur stabiler Regler

$$F_0(s) = V_{ri} \cdot \frac{1 + T_{ri} \cdot s}{s \cdot T_{ri}} \cdot \frac{1}{1 + s \cdot T_{e,sg}} \cdot \frac{1/R_L}{1 + s \cdot T_i} \stackrel{!}{=} \frac{L}{R_L}$$

setzen $T_{ri} = T_i = L/R_L$

$$= \frac{V_{ri}}{s \cdot T_{ri} \cdot R_L} \cdot \frac{1}{1 + s \cdot T_{e,sg}}$$

Wie V_{ri} wählen? \rightarrow geschlossenen R_L betrachten

$$F_a(s) = \frac{F_0(s)}{1 + F_0(s)} = \frac{1}{1 + s \cdot \frac{T_{ri} R_L}{V_{ri}} + s^2 \frac{T_{ri} \cdot R_L \cdot T_{t,SG}}{V_{ri}}}$$

$$\stackrel{!}{=} \frac{1}{1 + \frac{2d}{\omega_0} \cdot s + \frac{1}{\omega_0^2} \cdot s^2}$$

zwei Parameter:

$$\text{Resonanzfrequenz: } \omega_0 = \sqrt{\frac{V_{ri}}{T_{ri} R_L \cdot T_{t,SG}}}$$

$$\text{Dämpfung: } d = \frac{1}{2} \frac{T_{ri} \cdot R_L}{V_{ri}} \sqrt{\frac{V_{ri}}{T_{ri} \cdot R_L \cdot T_{t,SG}}}$$

Wie Dämpfung wählen }

$$|F(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right)^2 + \left(2d \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \left. \vphantom{\frac{1}{\sqrt{2}}} \right|_{\omega = \omega_0}$$

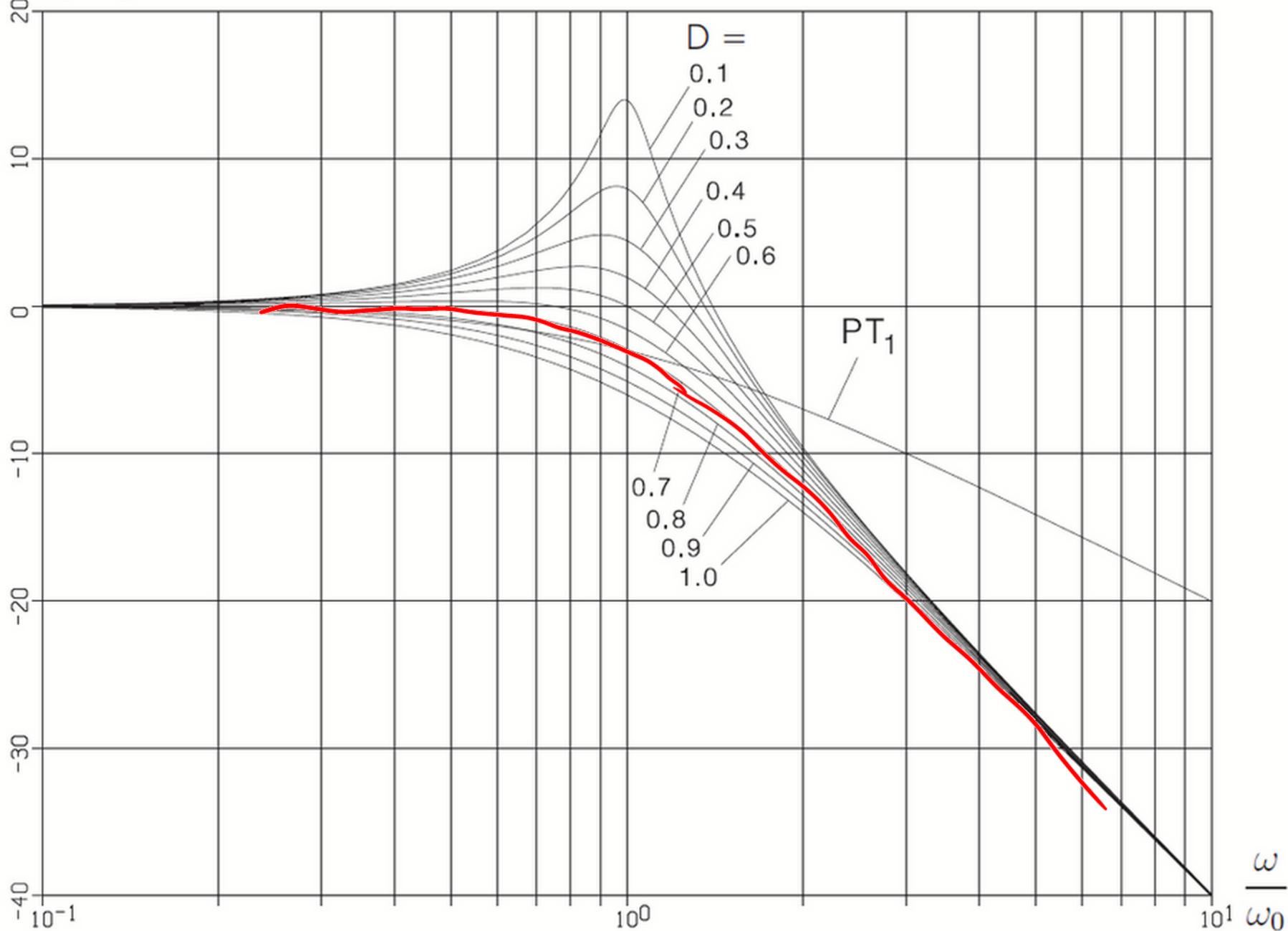
=> Betragoptimum!

$$d \stackrel{!}{=} \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \Leftrightarrow \quad V_{ri} = \frac{R_c \cdot T_{ri}}{2 T_{k,SG}}$$

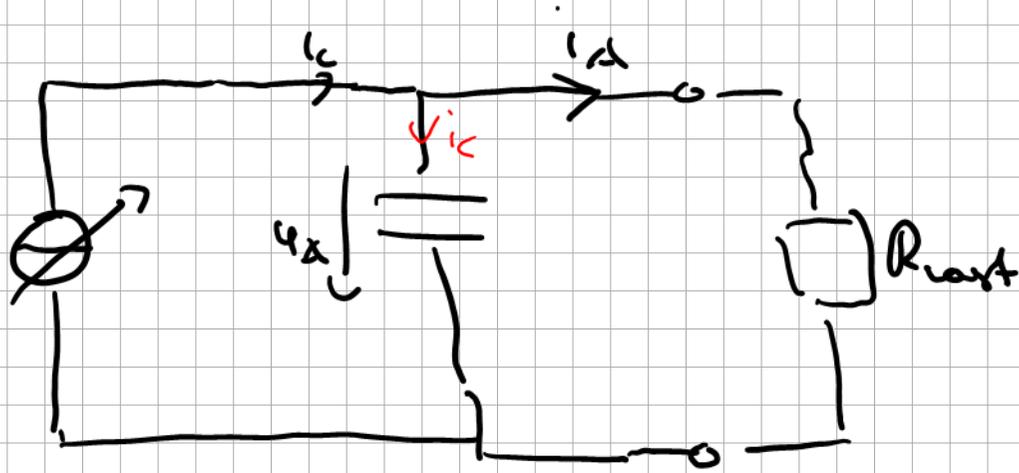
einsetzen in geschlossenen RL (PT2-Glied)

$$F_{E,U} = \frac{1}{1 + \frac{2d}{\omega_0} \cdot s + \frac{1}{\omega_0^2} s^2} = \frac{1}{1 + 2 \cdot T_{k,SG} \cdot s + 2 T_{k,SG} \cdot s^2}$$
$$\approx \frac{1}{1 + \underbrace{2 T_{k,SG}}_{T_{E,U}} \cdot s}$$

$|F'(\omega)|$ [dB]



Modellbildung Spannungsregelstrecke:



$$i_c = i_L - i_A$$

$$u_c = \frac{1}{C} \int (i_c - i_A) dt$$

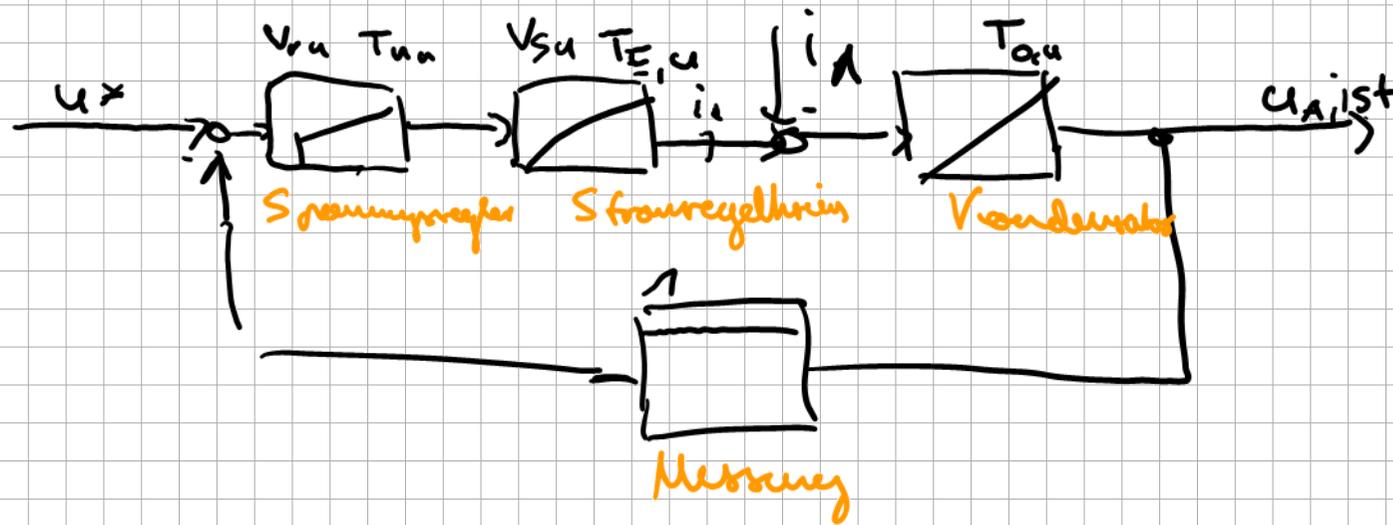
i

$$u_c(s) = \frac{1}{s \cdot C} [i_c(s) - i_A(s)]$$

Störgröße

$$G_{u,s}(s) = \frac{u_c(s)}{i_L(s)} = \frac{1}{Cs}$$

resultierendes Spannungsregelkreis



Verdrosslerregelung \rightarrow Bedingung

$$T_{E,u} \text{ außen} \Rightarrow T_{\sigma, \text{innen}}$$

$$T_{\sigma, \text{innen}} = T_{E,u} \rightarrow T_{N,u}$$



$$F_0(s) = \underbrace{V_{ru} \left(1 + \frac{1}{s \cdot T_{n,u}} \right)}_{P_1 - \text{Regler}} \cdot \underbrace{\frac{1}{1 + s \cdot T_{o,u}}}_{\text{Erstglied Stromregelkreis}} \cdot \underbrace{\frac{1}{s \cdot T_{o,u}}}_{\text{Kondensator}}$$

Symmetrisches Optimum – „Kochrezept“

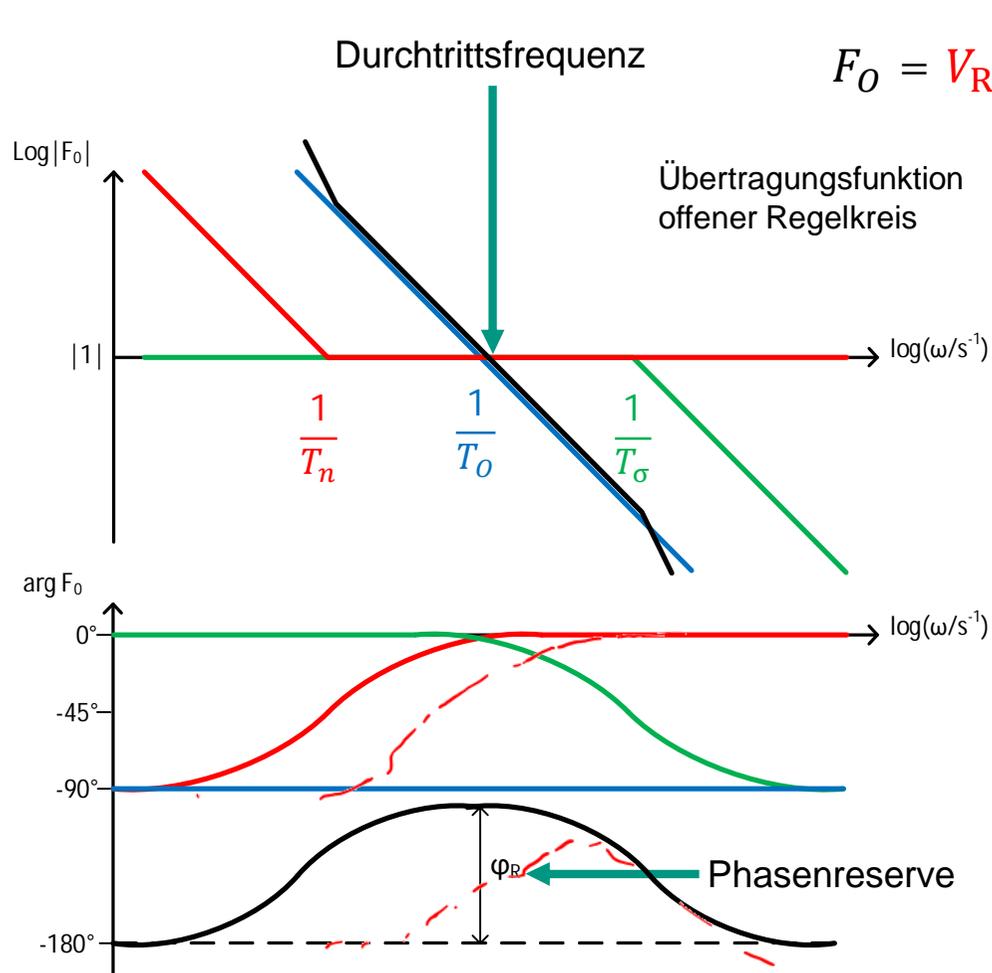
$$F_{oi}(s) = V_{ru} \left(1 + \frac{1}{T_{n,u} \cdot s} \right)$$

$$T_{n,u} = \alpha^2 \cdot T_{o,u}$$

mit $\alpha = 2, \dots$

$$V_{r,u} = \frac{1}{\alpha \cdot \underbrace{V_{su}}_{\Rightarrow 1}} \cdot \frac{T_{o,u}}{T_{o,u}} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{T_{o,u}}{T_{o,u}}$$

Offener Regelkreis



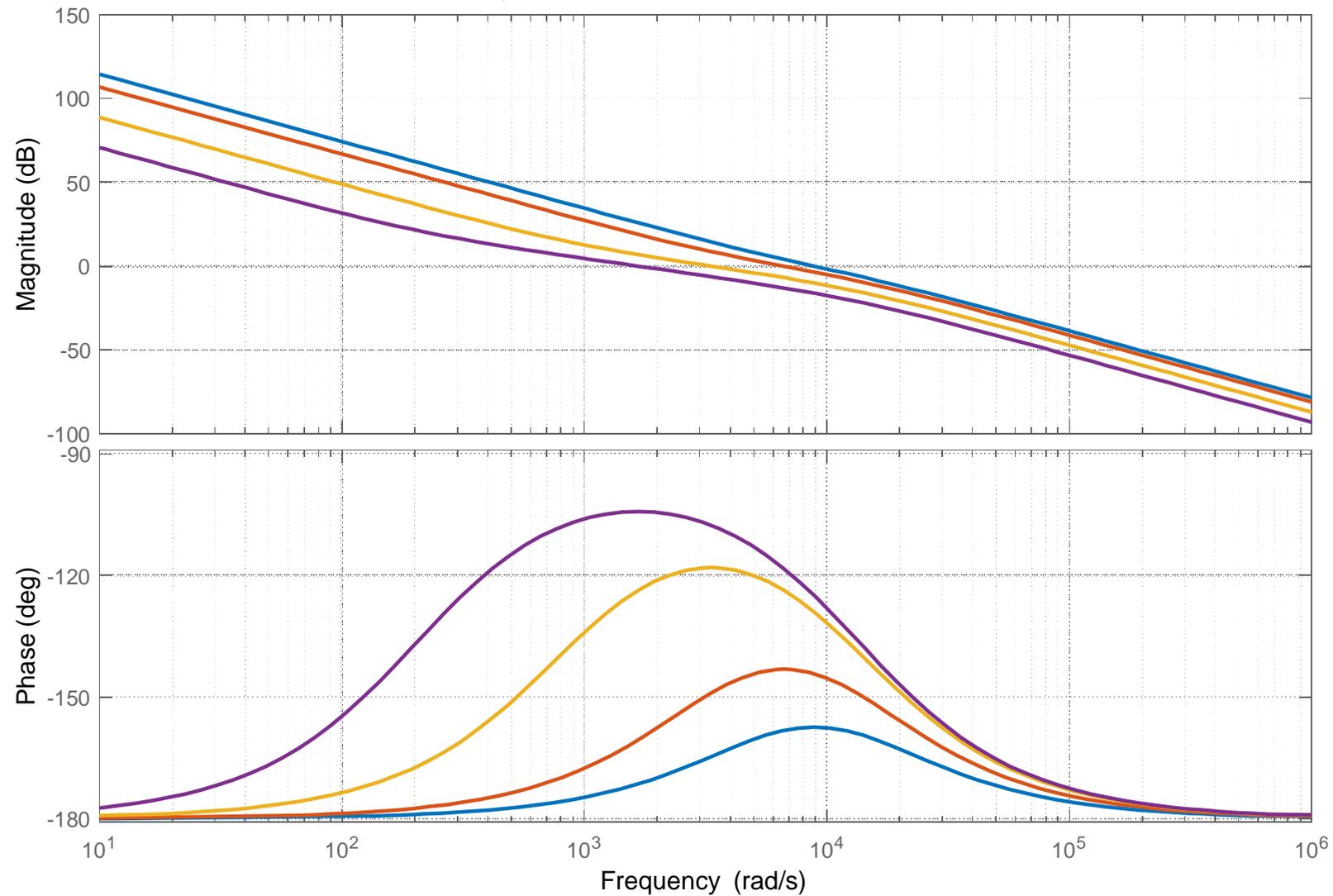
$$F_O = V_{R,u} \cdot \left(1 + \frac{1}{s \cdot T_{N,u}} \right) \cdot \frac{1}{1 + s \cdot T_{\sigma,u}} \cdot \frac{1}{s \cdot T_{O,u}}$$

PI-Regler geschlossener Stromregelkreis Kondensator

- Bei der Durchtrittsfrequenz ist Betrag des offenen Regelkreises 1
- Der Phasenrand ist der Abstand zu -180° bei der Durchtrittsfrequenz

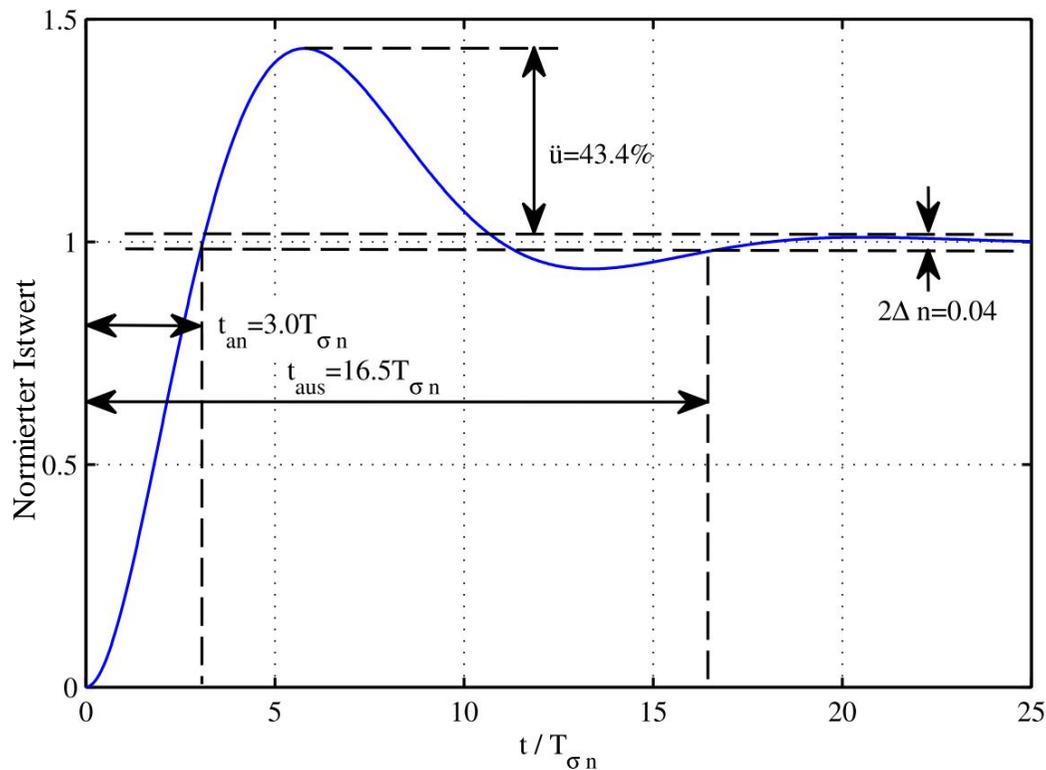
Offener Regelkreis - Bodediagramm

$\alpha = 1,5$ $\alpha = 2$ $\alpha = 4$ $\alpha = 8$



Geschlossener Regelkreis

Wichtige Begriffe



Geschlossener Regelkreis bei Auslegung nach dem symmetrischen Optimum für $\alpha = 2$.

Anregelzeit

- Zeitdauer nach einem Führungsgrößensprung bis der Sollwert zum ersten Mal erreicht wird.

Überschwingweite

- Amplitude des höchsten Überschwingens bezogen auf den Sollwert

Ausregelzeit

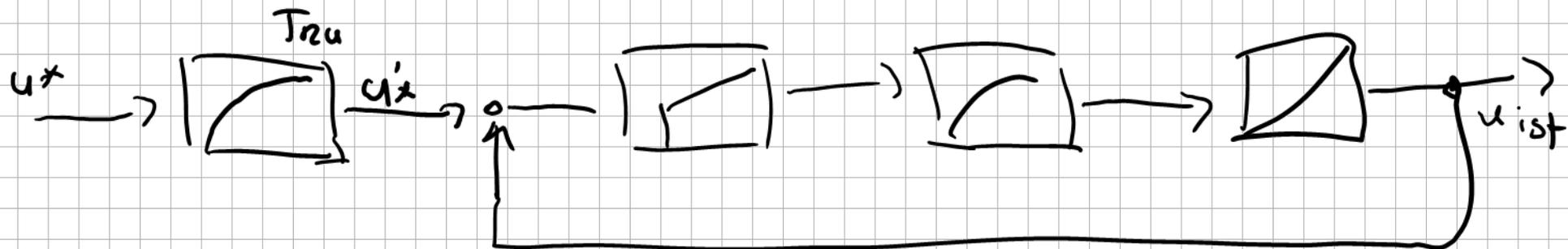
- Zeitdauer nach einem Führungsgrößensprung bis der Sollwert dauerhaft in einem Toleranzband von $\pm 2\%$ oder $\pm 5\%$ liegt. (Literatur: Taschenbuch der Regelungstechnik)

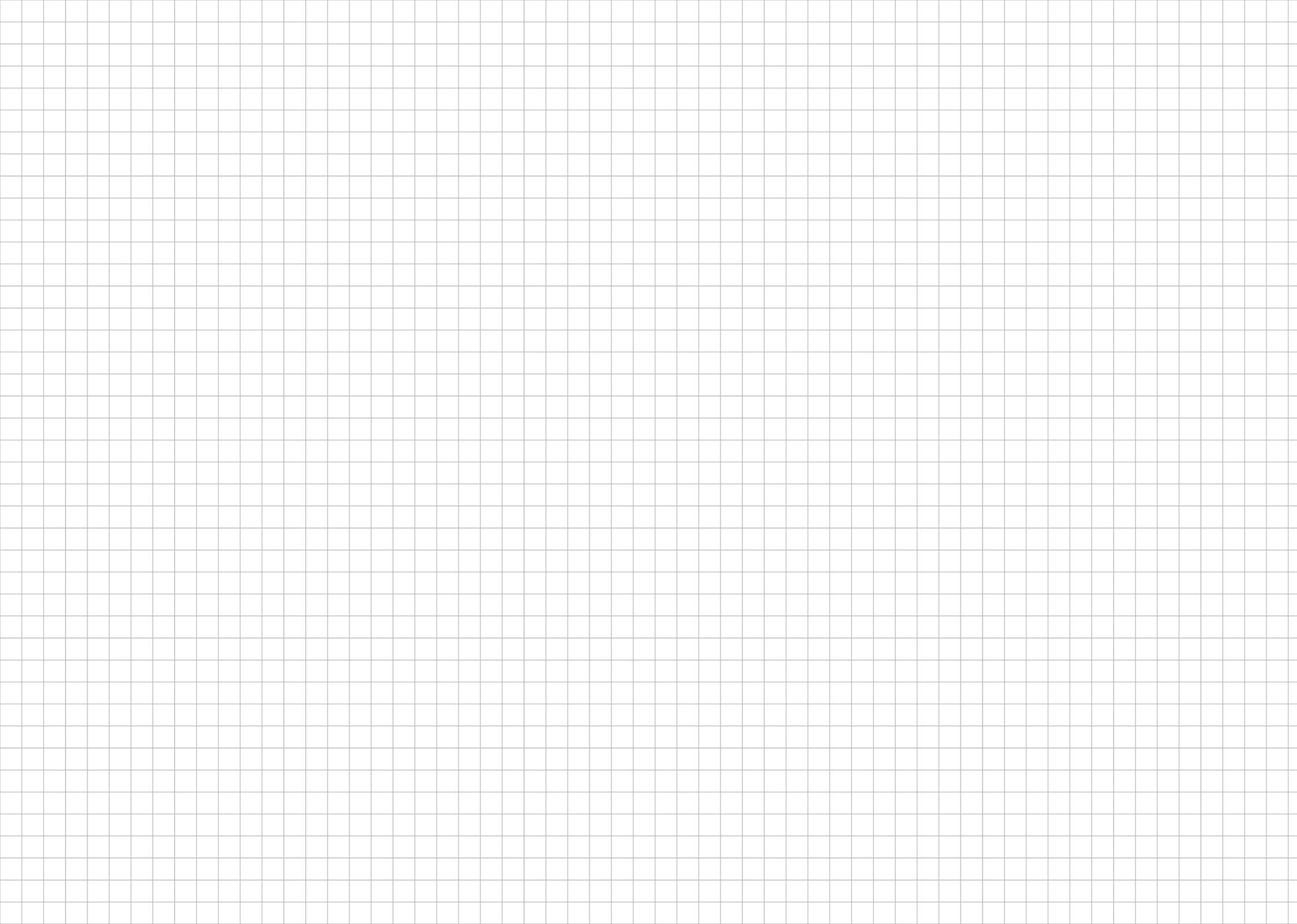
$$F_{GV}(s) = \frac{1}{1 + \frac{1}{\frac{1}{T_{n,u}}}} = \frac{1}{1 + \frac{T_{n,u}}{V_{ru}} \cdot \frac{1 + T_{ou} \cdot s}{1 + T_{ru} \cdot s} \cdot s^2}$$

$$= \frac{1 + T_{ru} \cdot s}{1 + T_{ru} \cdot s + \frac{T_{ou}}{V_{ru}} \cdot s^2 + \frac{T_{ou}}{V_{ru}} \cdot T_{ou} \cdot s^3}$$

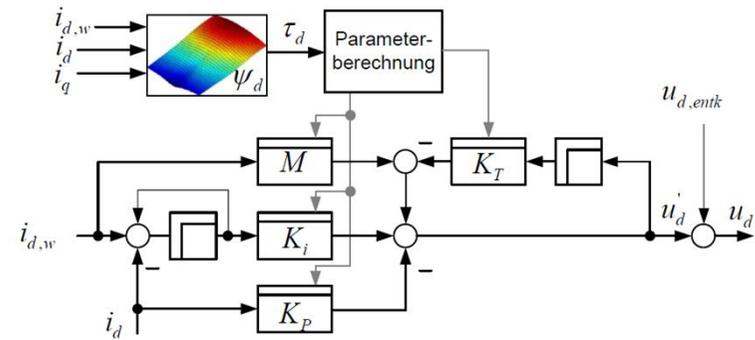
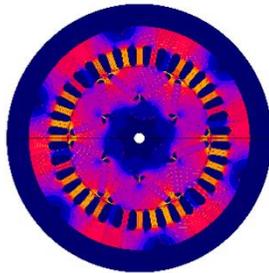
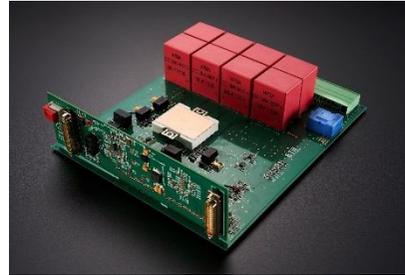


$$F_{GV}(s) = \frac{1}{1 + T_{ru} \cdot s} = \frac{1}{1 + a^2 T_{ou} \cdot s}$$





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Benedikt Schmitz-Rode

0721 608-46251
schmitz-ode@kit.edu

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Elektrotechnisches Institut (ETI)

KIT Campus Süd
Geb. 11.10
Engelbert-Arnold-Str. 5
D-76131 Karlsruhe