

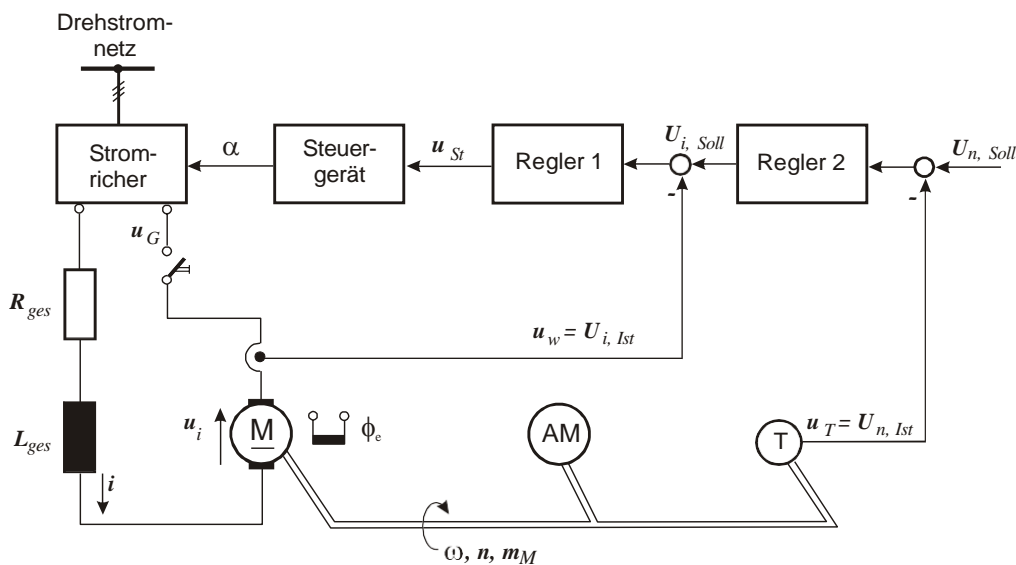
# Praktikum Simulationstechnik

## Drehzahl geregelter Gleichstrommotor

Das dynamische Verhalten eines fremderregten Gleichstrommotors mit Drehzahlregelung und unterlageter Stromregelung ist mittels Simulation zu untersuchen.

### 1. Grundlagen

Das Wirkungsschema des zu untersuchenden Systems zeigt das folgende Bild.



**Bild:** Wirkungsschema des drehzahlgeregelten Gleichstromantriebs

Bei dieser Kaskadenregelung wird durch den unterlagerten Regler die Zeitkonstante der inneren Regelstrecke kompensiert, so dass dieser Regelkreis nach außen nur als elementares Übertragungsglied in Erscheinung tritt. In vorliegendem Fall bedeutet das, dass die Ausgangsgröße des Drehzahlreglers dem Sollwert des Drehmoments bzw. des Ankerstromes entspricht. Mit dieser Struktur erzielt man sehr gute dynamische Eigenschaften. Als weiterer Vorteil der unterlagerten Stromregelung kommt hinzu, dass sie eine wirkungsvolle Begrenzung des Ankerstromes und damit den Schutz von Motor und Stromrichter ermöglicht.

#### Motor:

- $u$  Ankerspannung (Nennwert  $U_N = 440V$ )
- $v$  Ankerstrom (Nennwert  $I_N = 100A$ )
- $m_M$  Motormoment (Nennwert  $M_{M,N} = 392 Nm$ )
- $n$  Motordrehzahl (Nennwert  $n_N = 1000 \text{ min}^{-1}$ )

Ankerstromkreis des Motors einschließlich Glättungsdrossel, Sekundärseite Trafo und Gleichstromwandler:

$$L_{ges} = 20 \cdot mH \quad \text{Gesamtwert der Induktivität}$$

$R_{ges} = 0,4 \Omega$  Gesamtwert des Ohmschen Widerstands

Abhängigkeiten:

$$\begin{aligned} m_M &= c_M \Phi_e \cdot i; & c_M \Phi_e &= K_M = const \\ u_i &= c_M \Phi_e \cdot \omega & & \text{induzierte Ankerspannung} \\ \omega &= \frac{2\pi \cdot n}{60} & & \text{Winkelgeschwindigkeit} \end{aligned}$$

Das Reibungsmoment des Motors, die Eisenverluste und die Ankerrückwirkung seien vernachlässigbar.

### Arbeitsmaschine (AM):

$m_W$  Widerstandsmoment der Arbeitsmaschine; variabel lt. Aufgabenstellung  
 $J = 3,9 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  Trägheitsmoment von Motor + Arbeitsmaschine, bezogen auf die Motorwelle

### Stromrichter:

Die Modellierung des Stromrichters ist problematisch, weil es sich bei der Zündung um einen diskreten Vorgang handelt und weil außerdem das Verhalten von Stromrichtern nicht linear ist, d.h. als Modell ergeben sich nichtlineare Differenzgleichungen. Ein einfaches Modell, das sich aber in der Praxis bewährt hat, geht von der Totzeit aus, die zwischen einer Änderung des Signals am Eingang der Zündsteuerung und dem Auftreten eines entsprechend verschobenen Zündimpulses liegt. Diese Zeit ist vom Zeitpunkt der Änderung des Steuersignals abhängig und liegt bei einem am 50 Hz-Netz betriebenen 6-pulsigen Stromrichter zwischen Null und  $T=20/6$  ms. Daher geht man in diesem Fall von einer mittleren statistischen Totzeit von  $T_t = T/2 \approx 1,7 \text{ ms}$  aus. Diese Vereinfachung ist zulässig, solange nicht in der Nähe der Stabilitätsgrenze gearbeitet wird.

Die geringe Größe der Totzeit  $T_t$  erlaubt außerdem die Benutzung der Näherung

$$e^{-pT_t} \approx 1 - pT_t \approx \frac{1}{1 + pT_t} \quad ^1$$

Das Verhalten des Stromrichters mit Zündsteuerung wird dann durch die Übertragungsfunktion

$$\frac{U_G(p)}{\alpha(p)} = \frac{K_S}{1 + pT_t}$$

beschrieben. Dabei ist  $K_S = U_{G0} \cdot \sin \alpha$ , wird aber bei kleinen Änderungen von  $\alpha$  als konstant angenommen. Im vorliegenden Fall gelten folgende Werte:

$K_S = 195 \text{ V}$  bei Betrieb in Nähe des Nennpunktes  
 $T_t = 1,7 \text{ ms}$  (sechspulsiger Stromrichter)

### Steuergerät:

$$T_{St} \frac{d\alpha}{dt} + \alpha = K_{St} \cdot u_{St}; \quad K_{St} = 0,262 \text{ V}^{-1}; \quad T_{St} = 1 \text{ ms}$$

### Tachogenerator (T):

$$\frac{U_T(p)}{\omega(p)} = K_T; \quad U_{T,N} = 12 \text{ V} \quad \text{bei } n_N = 1000 \text{ min}^{-1}$$

<sup>1</sup> Die Dynamik eines Stromrichters kann vollständig vernachlässigt werden, wenn die von ihm gespeiste Regelstrecke - gemessen an der Schaltfrequenz des Stromrichters - ausgeprägtes Tiefpassverhalten besitzt, der Regler außerdem integrierend wirkt und der Regelkreis ein gut gedämpftes Verhalten haben soll [3].

### Gleichstromstromwandler:

$$T_W \cdot \frac{du_W}{dt} + u_W = K_W \cdot i; \quad U_{W,N} = 8V \quad \text{bei} \quad I_N = 100 A; \quad T_W = 1ms$$

**Regler 1:** PI-Regler; Auswahl und Einstellung nach dem Betragsoptimum

$$G_{R1}(p) = \frac{U_{St}(p)}{\Delta U_i(p)} = K_{R1} \cdot \frac{1+pT_{N1}}{pT_{N1}} \cdot \frac{1}{1+pT_{ER1}}$$

$$T_{N1} = 50 \text{ ms}; \quad K_{R1} = 0,4902; \quad T_{ER1} = 1,3ms$$

**Regler 2:** PI-Regler; Auswahl und Einstellung nach dem symmetrischen Optimum

$$G(p) = \frac{U_{i,Soll}(p)}{U_T(p)} = K \cdot \frac{1+pT_{N2}}{pT_{N2}} \cdot \frac{1}{1+pT_{ER2}}$$

$$T_{N2} = 56,6ms; \quad K_{R2} = 24,47; \quad T_{ER2} = 1,0ms$$

### Bemerkungen zur Einstellung der Regler

Das Betragsoptimum [1, S. 389-400] ergibt ein gutes Führungsverhalten des Regelkreises und ist daher für die Einstellung des Reglers 1 günstig.

Bei Störungen, die am Eingang der Regelstrecke angreifen, erfolgt die Ausregelung durch einen betragsoptimal eingestellten Regelkreis relativ langsam. Daher wäre diese Einstellung für den Drehzahlregler 2 ungünstig. Für ihn wird die Einstellung nach dem symmetrischen Optimum gewählt [1, S. 413/414].<sup>2</sup>

### Eingangsgrößen des Modells:

$u_{n,Soll}$	Drehzahl-Sollwert (Spannung)
$m_W$	Widerstandsmoment

### Ausgangsgrößen des Modells:

$n$	Motordrehzahl
$i$	Ankerstrom

### Aufgaben

1. Entwickeln Sie das Strukturbild des drehzahlgeregelten Gleichstromantriebs, simulieren Sie das dynamische Verhalten und bestimmen Sie  $i(t)$  und  $n(t)$  unter folgenden Bedingungen:

- (1) Anfangs arbeite der Motor im Nenn-Arbeitspunkt mit Nenndrehzahl und Nennmoment. Nach 0,4 Sekunden wird er mit dem 1,2fachen Nennmoment belastet (Sprungfunktion).
- (2) Nach insgesamt 1,0 Sekunden wird der Drehzahl-Sollwert sprungförmig auf 95% des Nennwertes verringert.

Als Simulationszeit sind 1,6 Sekunden einzustellen.

Geben Sie die Eingangsgrößen so vor, dass bei der Simulation die Abweichungen vom Nennpunkt ermittelt werden.<sup>3</sup>

Im Strukturbild sind die Modellparameter nicht als Zahlenwerte, sondern als Symbole anzugeben!

2. Modifizieren Sie die Implementierung des Modells durch Bildung eines Subsystems „Gleichstrommotor“ mit den Eingangsgrößen  $u_{n,Soll}$  und  $m_W$  sowie der Ausgangsgröße  $n$  und  $i$ !

Testen Sie die  
Funktionsfähigkeit der

---

geänderten  
Implementierung anhand  
der Ergebnisse zur Aufgabe  
1!

3. Die sprungförmige Verringerung des Drehzahl-Sollwertes lt. Aufgabe 1. führt zu einem relativ starken Überschwingen der Drehzahl vor dem Erreichen des neuen Istwertes. Modifizieren Sie das System so, dass sich ein „weicherer“ Übergang auf den neuen Drehzahl Sollwert ergibt, bei dem das Überschwingen der Drehzahl vermieden oder verringert wird. Die Zeit zwischen dem Beginn der Änderung des Drehzahl-Sollwertes und dem Erreichen des neuen Istwertes soll dabei möglichst klein sein.
4. Ermitteln Sie mit dem Modell gemäß 2. die maximale dynamische Regelabweichung für den Fall, dass der unbelastete Antrieb sprungförmig mit dem Nennmoment belastet wird! Welche Vernachlässigungen werden dabei vorgenommen?
5. Ergänzen Sie das Strukturbild durch eine Ankerstrombegrenzung und testen Sie die geänderte Schaltung!