

## Inhaltsverzeichnis

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>1</b>   | <b>Zielstellung</b> .....  | <b>5</b>  |
| <b>2</b>   | <b>Einführung</b> .....  | <b>5</b>  |
| <b>3</b>   | <b>Versuchsvorbereitungen - Kaskadenregelung</b> .....                                   | <b>7</b>  |
| <b>3.1</b> | <b>Modell des fremdgesteuerten Gleichstromnebenschlussmotor</b> .....                    | <b>7</b>  |
| 3.1.1      | Berechnung aller Teilübertragungsfunktionen .....  | 7         |
| 3.1.2      | Berechnung der Übertragungsfunktionen; Pole/Nst./Zeitkonst. von $G'_{UN}(s)$ ...         | 8         |
| <b>3.2</b> | <b>Einschleifige Drehzahlregelung</b> .....  | <b>11</b> |
| 3.2.1      | Simulation der Sprungantworten .....   | 11        |
| 3.2.2      | Entwurf eines Drehzahlreglers nach Reinisch.....   | 12        |
| <b>3.3</b> | <b>Ankerstromregelung</b> .....  | <b>14</b> |
| 3.3.1      | Entwurf einer schnellen Ankerstromregelung.....  | 14        |
| 3.3.2      | Ersatzregelstrecke, Bode / PN-Plan.....  | 15        |
| 3.3.3      | Entwurf einer Ankerstromregelung nach Reinisch .....                                     | 16        |
| <b>3.4</b> | <b>Drehzahlregelung</b> .....  | <b>19</b> |
| 3.4.1      | Berechnung des Drehzahlregelkreises.....   | 19        |
| 3.4.2      | Drehzahlregelung nach Reinisch.....  | 19        |
| <b>3.5</b> | <b>Modell des Förderkorbes und Positionsregelung</b> .....                               | <b>21</b> |
| 3.5.1      | Übergangsfunktion der Positionierstrecke .....   | 21        |
| 3.5.2      | Positionsregelung .....  | 23        |
| 3.5.3      | Gesamte Kaskadenregelung .....   | 24        |
| <b>4</b>   | <b>Versuchsdurchführung und Auswertung</b> .....   | <b>25</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Untersuchung des Elektromotors mit Thyristorstellglied</b> .....                      | <b>25</b> |
| 4.1.1      | Statische Kennlinien des Thyristorstellers und des Ankers .....                          | 25        |
| 4.1.2      | Sprungantwort des Ankers mit Thyristorsteller .....                                      | 26        |
| 4.1.3      | Dynamisches Verhalten des gesamten Systems mit Erregung.....                             | 28        |
| <b>4.2</b> | <b>Untersuchung des Stromregelkreises</b> .....  | <b>29</b> |
| 4.2.1      | Übergangsfunktion des geregelten Stromes und der Drehzahl bei einem Führungssprung ..... | 29        |
| 4.2.2      | Übergangsfunktion des geregelten Stromes und der Drehzahl bei Be- und Entlastung .....   | 31        |
| <b>4.3</b> | <b>Untersuchung des Drehzahlregelkreises mit unterlagelter Stromregelung</b> .....       | <b>32</b> |
| 4.3.1      | Übergangsfunktion des geregelten Stromes und der Drehzahl bei Be- und Entlastung .....   | 32        |
| 4.3.2      | Verbesserung des Störungsverhaltens des Drehzahlregelkreises .....                       | 33        |
| <b>4.4</b> | <b>Untersuchung des Positionsregelkreises mit unterlagerten Regelungen</b> .....         | <b>34</b> |
| 4.4.1      | Untersuchung der Übergangsfunktion der Positionierstrecke .....                          | 34        |
| 4.4.2      | Untersuchung der Positionierstrecke bei verschiedener Verstärkung .....                  | 36        |
| <b>5</b>   | <b>Zusammenfassung</b> .....   | <b>39</b> |

## **1 Zielstellung**

Elektrische Antriebe sind für die Automatisierungstechnik unverzichtbare Anlagenteile. Die Drehzahlregelung ist ein mehrschleifiger Regelkreis mit einer unterlagerten Ankerstromregelung, Stromregelung, Drehzahlregelung und eine übergeordnete Lageregelung zusammenstellen im Rahmen der Automatisierungstechnik keinen wesentlichen Anteil in mechatronischen Anwendungen dar. Die Beurteilung des dynamisches Verhaltens eines geregelten Gleichstrommotors ist Inhalt des Versuches.

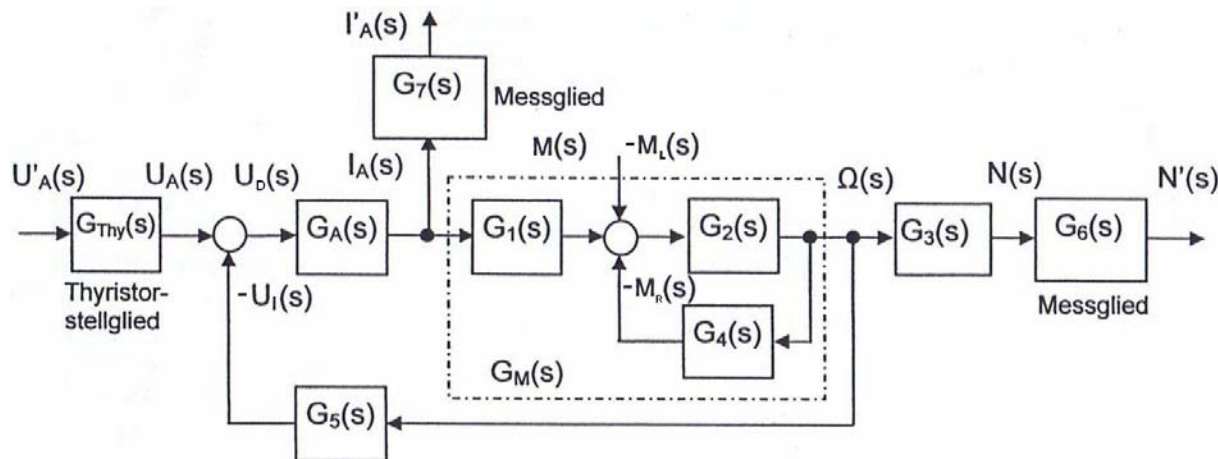
## **2 Einführung**

Im folgenden Versuch geht es um die Kaskadierung verschiedener Regelkreise. Es galt die Übertragungsfunktionen der Regelstrecke in den Vorbereitungsaufgaben zu ermitteln und die zugehörigen Reglerparameter zu bestimmen. Im praktischen Versuch wurde dann das simulierte Verhalten überprüft.

### 3 Versuchsvorbereitungen - Kaskadenregelung

#### 3.1 Modell des fremdsteuerten Gleichstromnebenschlussmotor

##### 3.1.1 Berechnung aller Teilübertragungsfunktionen



Stellglied:

$$u_A(t) = K \cdot u'_A(t - T_t)$$

$$U_A(s) = K \cdot U'_A(s) \cdot e^{-sT_t}$$

$$G_{Thy}(s) = \frac{U_A(s)}{U'_A(s)} = K_{Thy} \cdot e^{-sT_t} \quad \text{mit } K_{Thy} = 30, T_t = 5ms$$

Übertragungsfunktion - Anker:

$$u_A(t) - u_i(t) = u_A(t) = i_A(t) \cdot Z_A + L_A \frac{di_A(t)}{dt}$$

$$U_A(s) = I_A(s) \cdot Z_A + L_A \cdot s \cdot I_A(s) = I_A(s) \cdot (Z_A + L_A \cdot s)$$

$$G_A(s) = \frac{I_A(s)}{U_A(s)} = \frac{1}{Z_A + L_A \cdot s} = \frac{1}{Z_A} \cdot \frac{1}{1 + \frac{L_A}{Z_A} \cdot s} = \frac{K_A}{1 + T_A \cdot s}$$

$$\text{mit } K_A = \frac{1}{Z_A} = \frac{1}{200\Omega} = 0,005 \frac{1}{\Omega}, T_A = \frac{L_A}{Z_A} = \frac{0,3H}{200\Omega} = 1,5ms$$

Erregerfluss/Maschinenkonstante:

$$M(t) = c \cdot \Phi \cdot i_A(t)$$

$$M(s) = c \cdot \Phi \cdot I_A(s)$$

$$G_1(s) = \frac{M(s)}{I_A(s)} = c \cdot \Phi = 1,3 \frac{N \cdot m}{A} = \underline{\underline{1,3 V \cdot s}}$$

$$u_A(t) = c \cdot \Phi \cdot \omega(t) \quad 1T = 1 \frac{V \cdot s}{m^2} = 1 \frac{N}{m \cdot A} \Rightarrow 1 \frac{N \cdot m}{A} = 1 V \cdot s$$

$$U_A(s) = c \cdot \Phi \cdot \Omega(s)$$

$$G_5(s) = \frac{U_A(s)}{\Omega(s)} = c \cdot \Phi = 1,3 \frac{N \cdot m}{A} = \underline{\underline{1,3 V \cdot s}}$$

### Übertragungsfunktion Trägheitsmoment:

$$M(t) - M_L(t) - M_R(t) = M_A(t) \quad \vec{M} = J \cdot \vec{\alpha} = J \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

$$M(t) - M_L(t) - M_R(t) = M_A(t) = J \frac{d\omega}{dt}$$

$$M_A(s) = J \cdot s \cdot \Omega(s)$$

$$G_2(s) = \frac{\Omega(s)}{M_A(s)} = \frac{1}{\underline{J \cdot s}} \quad \text{mit } J = 0,015 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}$$

### Reibung:

$$M_A(t) = \omega(t) \cdot k_R$$

$$M_A(s) = \Omega(s) \cdot k_R$$

$$G_4(s) = \frac{M_A(s)}{\Omega(s)} = \underline{k_R} \quad \text{ohne Positionierstrecke } k_R = 0,0036 \frac{\text{m}^2 \text{kg}}{\text{s}}$$

$$\text{mit Positionierstrecke } k_R = 0,0055 \frac{\text{m}^2 \text{kg}}{\text{s}}$$

### Umrechnung, Winkelgeschwindigkeit → Drehzahl:

$$\omega_A(t) = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot n(t) \quad n(t) \rightarrow \frac{\text{Umdrehungen}}{\text{min}} \Rightarrow n(t) = \frac{60 \cdot \omega_A(t)}{2\pi}$$

$$N(s) = 60 \cdot \frac{\Omega_A(s)}{2\pi}$$

$$G_3(s) = \frac{N(s)}{\Omega_A(s)} = \frac{60}{2\pi} = \underline{\underline{\frac{30}{\pi}}}$$

### Messglieder:

$$G_6(s) = \frac{0,01}{0,4 \cdot s + 1} \cdot \frac{V}{\text{min}^{-1}}$$

$$G_7(s) = \frac{5}{0,1 \cdot s + 1} \cdot \frac{V}{A}$$

### **3.1.2 Berechnung der Übertragungsfunktionen; Pole/Nst./Zeitkonst. von $G'_{UN}(s)$**

$$G_M(s) = G_1(s) \cdot \frac{G_2(s)}{1 + G_2(s) \cdot G_4(s)} = c \cdot \Phi \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{J \cdot s} k_R} = \frac{c \cdot \Phi}{k_R} \cdot \frac{1}{\frac{J}{k_R} \cdot s + 1} = \frac{K_M}{\underline{\underline{T_M \cdot s + 1}}}$$

ohne Positionierstrecke:

$$K_M = \frac{c \cdot \Phi}{k_R} = \frac{1,3 V \cdot s}{0,0036 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}{\text{s}} \frac{\text{s}^2}{\text{s}^2}} = \frac{1,3 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{A}}}{0,0036 \text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}} \approx 361,11 \frac{1}{\text{A} \cdot \text{s}}$$

$$T_M = \frac{J}{k_R} = \frac{0,015 \text{m}^2 \cdot \text{kg}}{0,0036 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}{\text{s}}} \approx 4,167 \text{s}$$

mit Positionierstrecke:

$$K_M = \frac{c \cdot \Phi}{k_R} = \frac{1,3 \text{ V} \cdot \text{s}}{0,0055 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}{\text{s}} \frac{\text{s}^2}{\text{s}^2}} = \frac{1,3 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{A}}}{0,0055 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}} \approx 236,36 \frac{1}{\text{A} \cdot \text{s}}$$

$$T_M = \frac{J}{k_R} = \frac{0,015 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}}{0,0055 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}{\text{s}}} \approx 2,73 \text{ s}$$

$$G_{UN}(s) = \frac{G_A(s) \cdot G_M(s)}{1 + G_A(s) \cdot G_M(s) \cdot G_5(s)} \cdot G_3(s) = \frac{\frac{K_A}{T_A \cdot s + 1} \cdot \frac{K_M}{T_M \cdot s + 1}}{1 + \frac{K_A}{T_A \cdot s + 1} \cdot \frac{K_M}{T_M \cdot s + 1} \cdot c \cdot \Phi} \cdot \frac{30}{\pi}$$

$$G_{UN}(s) = \frac{K_A \cdot K_M}{(T_A \cdot s + 1) \cdot (T_M \cdot s + 1) + K_A \cdot K_M \cdot c \cdot \Phi} \cdot \frac{30}{\pi}$$

$$G_{UN}(s) = \frac{\frac{K_A \cdot K_M}{1 + K_A \cdot K_M \cdot c \cdot \Phi} \cdot \frac{30}{\pi}}{\frac{T_A \cdot T_M}{1 + K_A \cdot K_M \cdot c \cdot \Phi} \cdot s^2 + \frac{T_A + T_M}{1 + K_A \cdot K_M \cdot c \cdot \Phi} \cdot s + 1}$$

ohne Positionierstrecke:

$$G_{UN}(s) = \frac{5,151}{1,867 \cdot 10^{-3} \cdot s^2 + 1,245 \cdot s + 1} = \frac{5,151}{(s + 0,804) \cdot (s + 666,041)} = \frac{5,151}{(1,244 \cdot s + 1) \cdot (1,501 \cdot 10^{-3} \cdot s + 1)}$$

$$G'_{UN}(s) = G_{UN}(s) \cdot G_{Thy}(s) \cdot G_6(s) = \frac{5,151}{(1,244 \cdot s + 1) \cdot (1,501 \cdot 10^{-3} \cdot s + 1)} \cdot K_{Thy} \cdot e^{-s \cdot T_t} \cdot \frac{0,01}{0,4 \cdot s + 1}$$

$$G'_{UN}(s) = \frac{5,151}{(1,244 \cdot s + 1) \cdot (1,501 \cdot 10^{-3} \cdot s + 1)} \cdot 30 \cdot e^{-s \cdot 0,005} \cdot \frac{0,01}{0,4 \cdot s + 1}$$

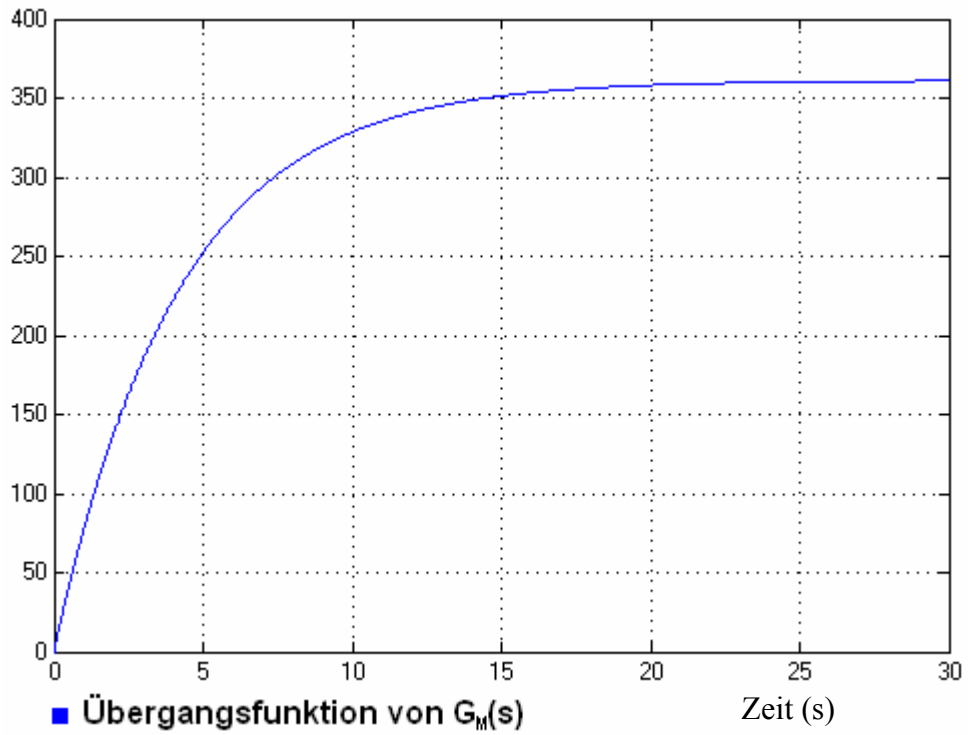
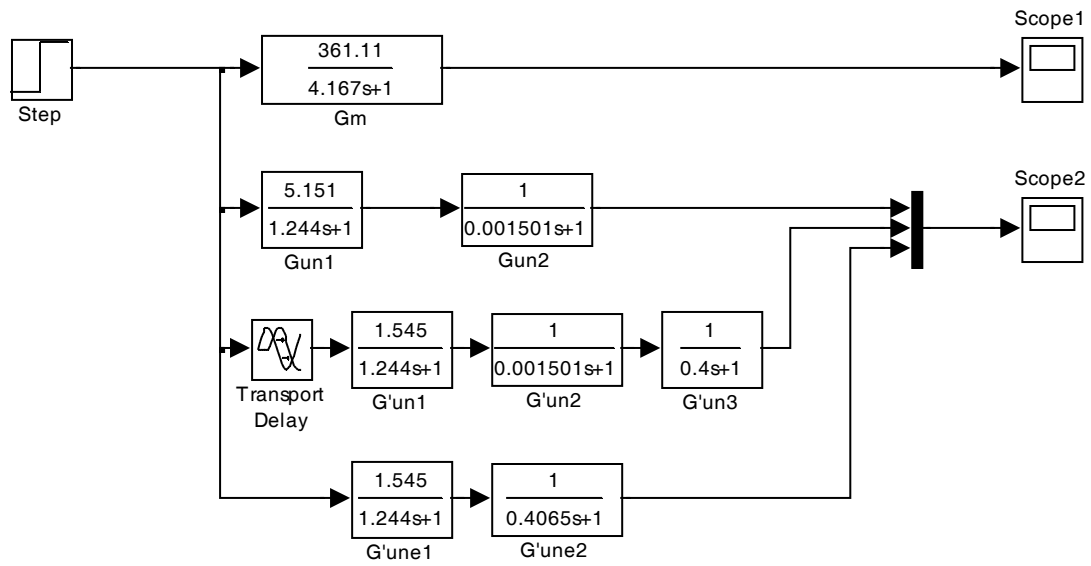
$$G'_{UN}(s) = \frac{1,545}{(1,244 \cdot s + 1) \cdot (1,501 \cdot 10^{-3} \cdot s + 1) \cdot (0,4 \cdot s + 1)} \cdot e^{-s \cdot 0,005}$$

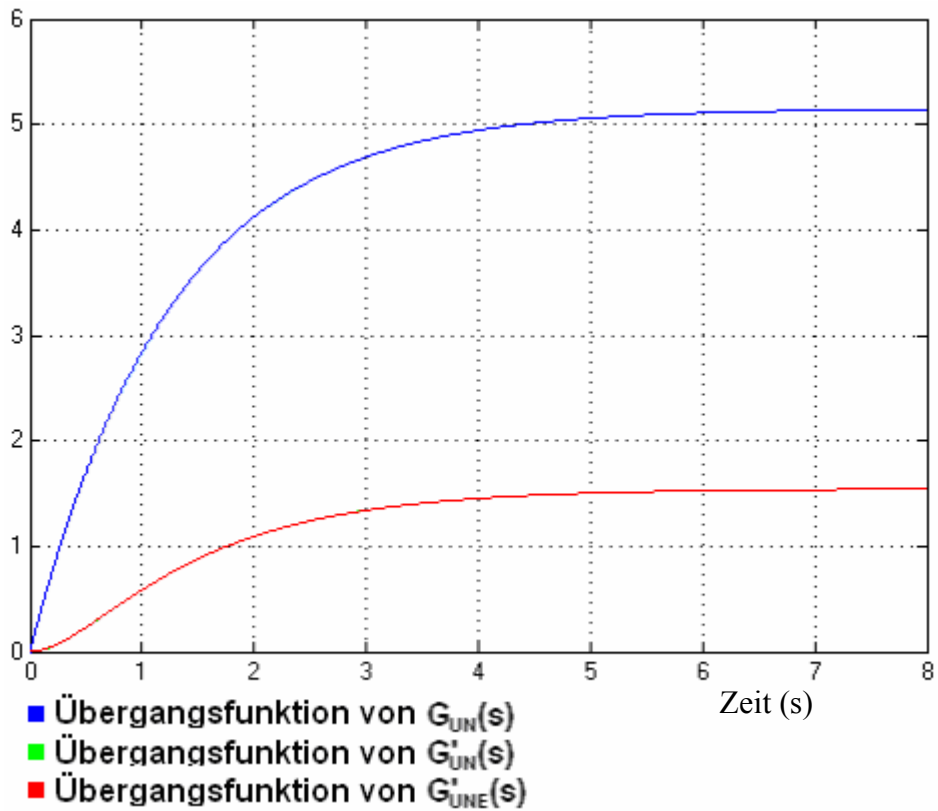
Vereinfachungen für den nachfolgenden Reglerentwurf:

- dominierende Zeitkonstante ist 1,244s

$$T_A = 0,4 + 0,0015 + 0,005 \Rightarrow G'_{UNE}(s) = \frac{1,545}{(1,244 \cdot s + 1) \cdot (0,4065 \cdot s + 1)}$$

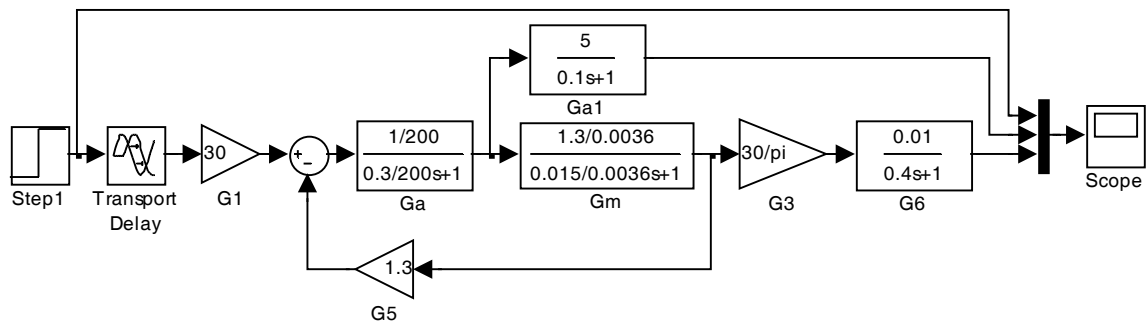
(Reinisch Typ A)

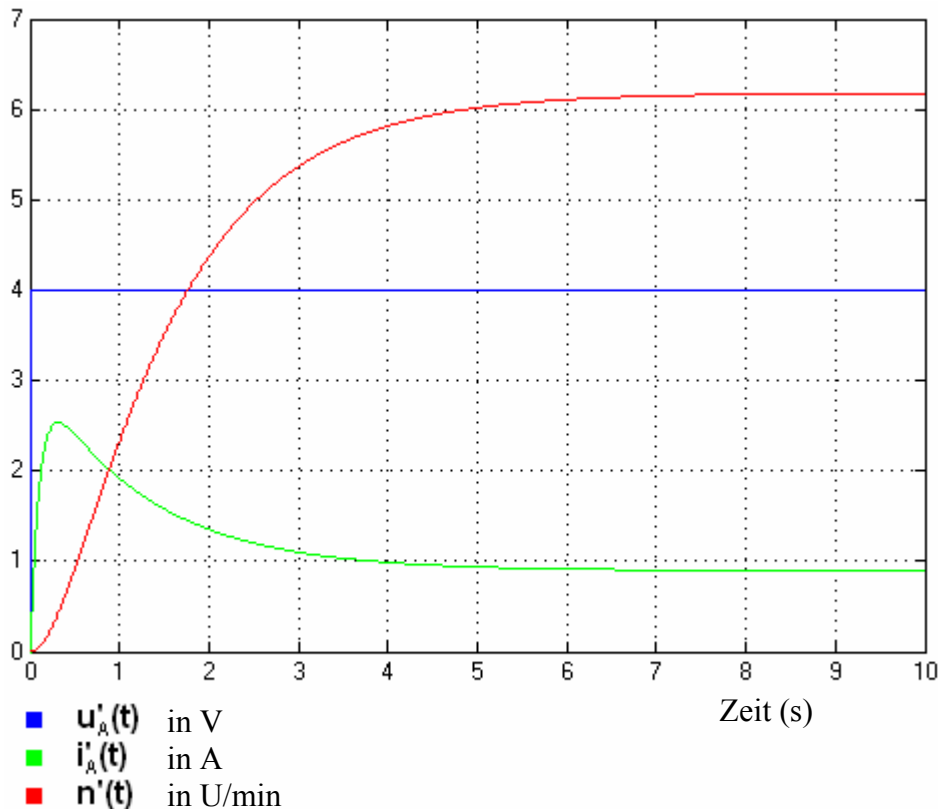




### 3.2 Einschleifige Drehzahlregelung

#### 3.2.1 Simulation der Sprungantworten





### 3.2.2 Entwurf eines Drehzahlreglers nach Reinisch

$$G'_{UN}(s) = \frac{1,545}{(1,244 \cdot s + 1) \cdot (1,501 \cdot 10^{-3} \cdot s + 1) \cdot (0,4 \cdot s + 1)} \cdot e^{-s \cdot 0,005}$$

$$T_A = 0,4065 \Rightarrow G'_{UN}(s) = \frac{1,545}{(1,244 \cdot s + 1) \cdot (T_A \cdot s + 1)}$$

(Reinisch Typ A)

$$a = 2 \Rightarrow \Delta h = 5\% \Rightarrow D = 0,7$$

$$G_0(s) = \frac{1,545}{(1,244 \cdot s + 1) \cdot (T_A \cdot s + 1)} \cdot \frac{K_R \cdot (1,244 \cdot s + 1)}{1,244 \cdot s}$$

$$\frac{1,545}{(T_A \cdot s + 1)} \cdot \frac{K_R}{1,244 \cdot s} = \frac{1}{a \cdot s \cdot T_A \cdot (T_A \cdot s + 1)}$$

$$\Rightarrow K_R = \frac{1,244}{1,545 \cdot a \cdot T_A} = \frac{1,244}{1,545 \cdot 2 \cdot 0,4065} \approx 1$$

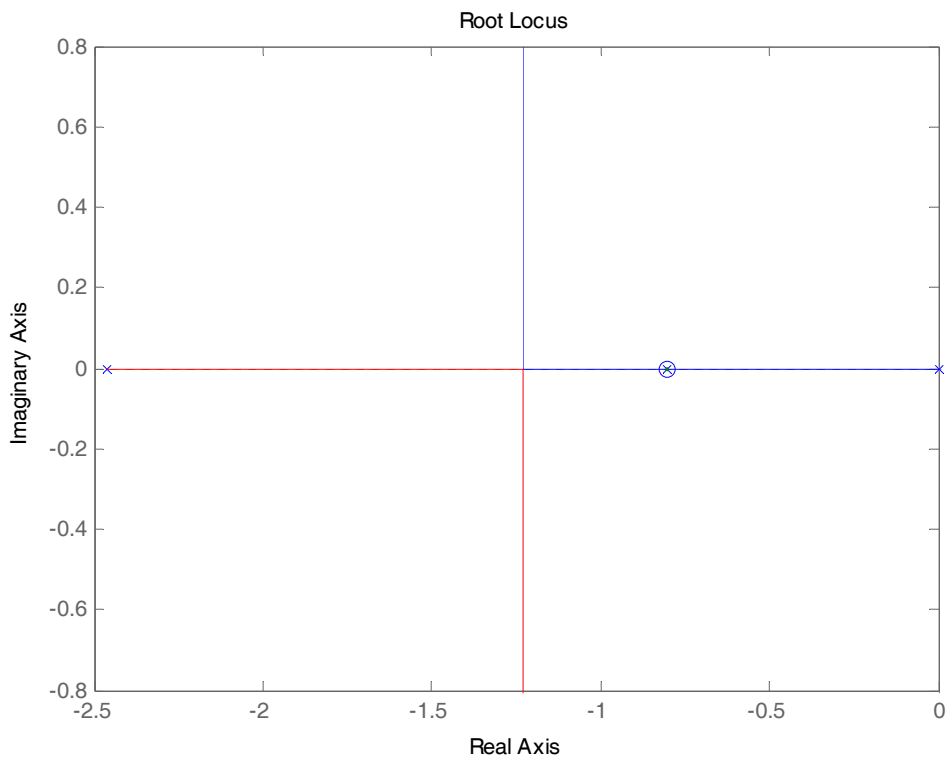
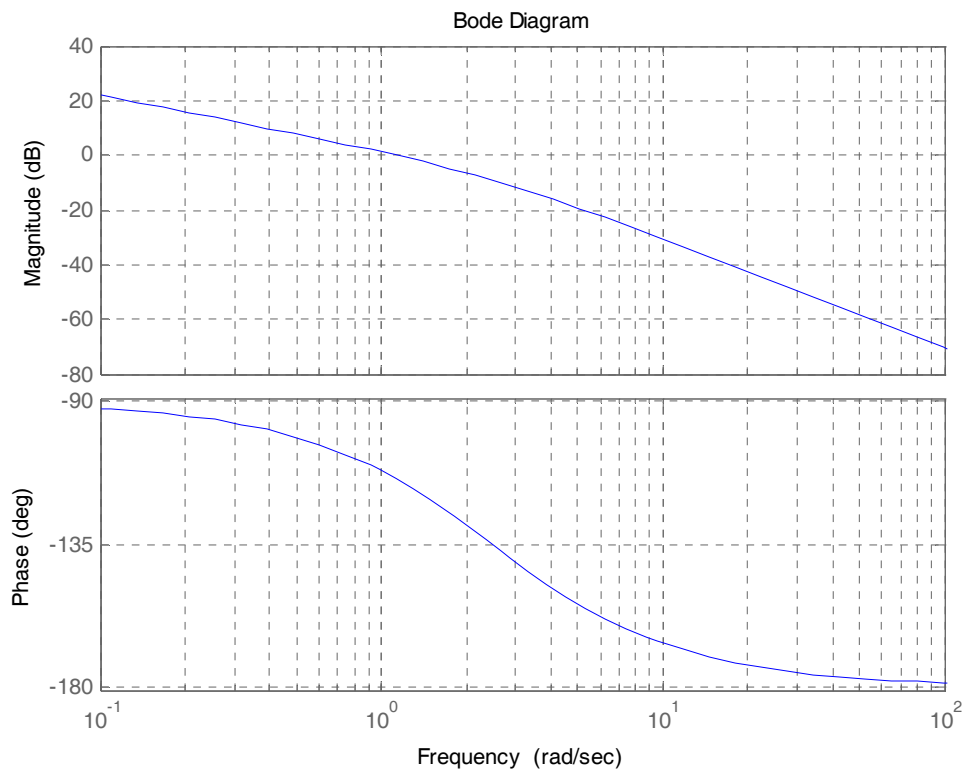
$$a = \frac{\omega_A}{\omega_S} \Rightarrow \omega_S = \frac{\omega_A}{a} = \frac{1}{a \cdot T_A} = \frac{1}{2 \cdot 0,4065} \approx \underline{\underline{1,23 \frac{1}{s}}}$$

$$T_m = \frac{\pi}{\omega_S} = \pi \cdot a \cdot T_A \approx \underline{\underline{2,55 s}}$$

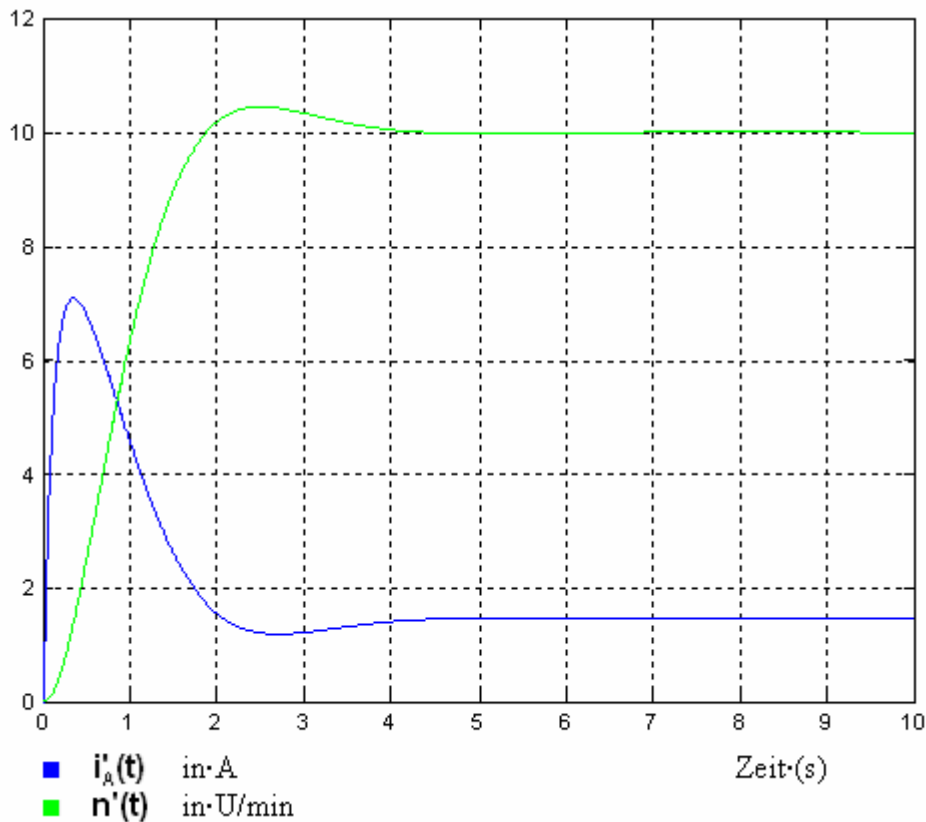
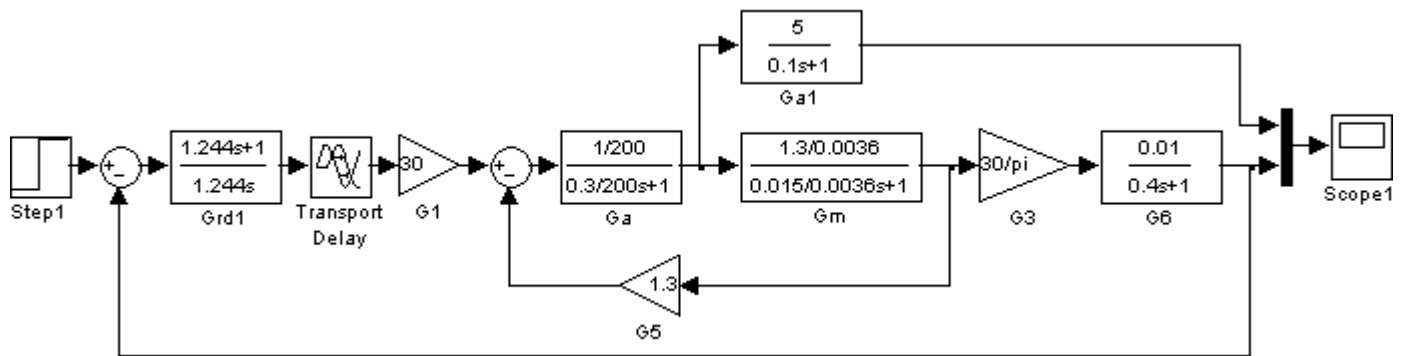
$$\frac{T_m}{T} = \frac{\pi}{\sqrt{1-D^2}} \Rightarrow T = \frac{T_m}{\pi} \sqrt{1-D^2} = a \cdot T_A \cdot \sqrt{1-D^2} = 2 \cdot 0,4065 s \cdot \sqrt{1-0,7^2} \approx \underline{\underline{0,58 s}}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{G_{RD1}(s) = \frac{(1,244 \cdot s + 1)}{1,244 \cdot s}}}$$





Abhebe punkt bei  $K_R \approx 0,5$



### 3.3 Ankerstromregelung

#### 3.3.1 Entwurf einer schnellen Ankerstromregelung

$$G_8(s) = G_5(s) \cdot G_M(s) = c \cdot \Phi \cdot \frac{K_M}{T_M \cdot s + 1}$$

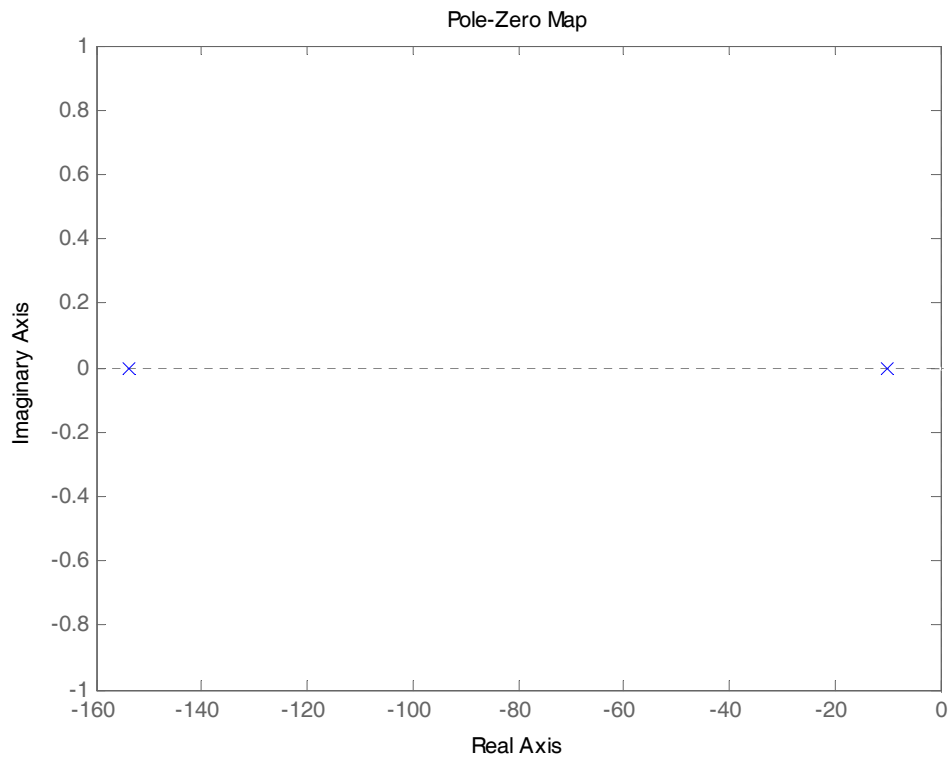
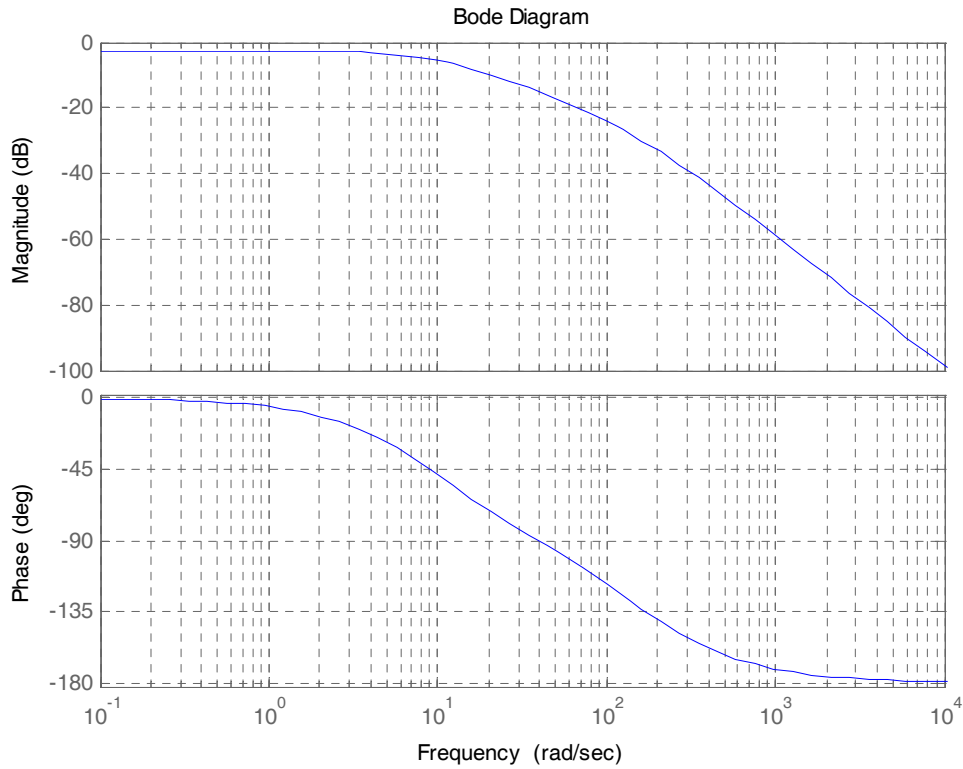
$$T_A \ll T_8 = T_M$$

$$G'_{UI}(s) = \frac{I'_A}{U'_A} = G_{Thy}(s) \cdot G_A(s) \cdot G_7(s) = K_{Thy} \cdot e^{-sT_t} \cdot \frac{K_A}{1 + T_A \cdot s} \cdot \frac{5}{0,1 \cdot s + 1}$$

$$G'_{UI}(s) = \frac{0,75}{(1 + 0,0015 \cdot s) \cdot (0,1 \cdot s + 1)} \cdot e^{-s \cdot 0,005}$$

### 3.3.2 Ersatzregelstrecke, Bode / PN-Plan

$$G'_{UE}(s) = \frac{0,75}{(1 + T_A \cdot s) \cdot (0,1 \cdot s + 1)} \quad \text{mit } T_A = 0,0015s + 0,005s = 0,0065s$$



$$s_{p1} = -154,85$$

$$s_{p2} = -10$$

### 3.3.3 Entwurf einer Ankerstromregelung nach Reinisch

$$G'_{UE}(s) = \frac{0,75}{(1+T_A \cdot s) \cdot (0,1 \cdot s + 1)} \quad \text{mit } T_A = 0,0015s + 0,005s = 0,0065s \quad (\text{Reinisch Typ})$$

A)

$$a = 4 \Rightarrow \Delta h = 0\% \Rightarrow D = \frac{\sqrt{a}}{2} = 1$$

$$G_0(s) = \frac{0,75}{(1+T_A \cdot s) \cdot (0,1 \cdot s + 1)} \frac{K_R \cdot (0,1 \cdot s + 1)}{0,1 \cdot s} = \frac{0,75}{(1+T_A \cdot s)} \frac{K_R}{0,1 \cdot s}$$

$$\frac{0,75}{(1+T_A \cdot s)} \frac{K_R}{0,1 \cdot s} = \frac{1}{a \cdot s \cdot T_A \cdot (T_A \cdot s + 1)}$$

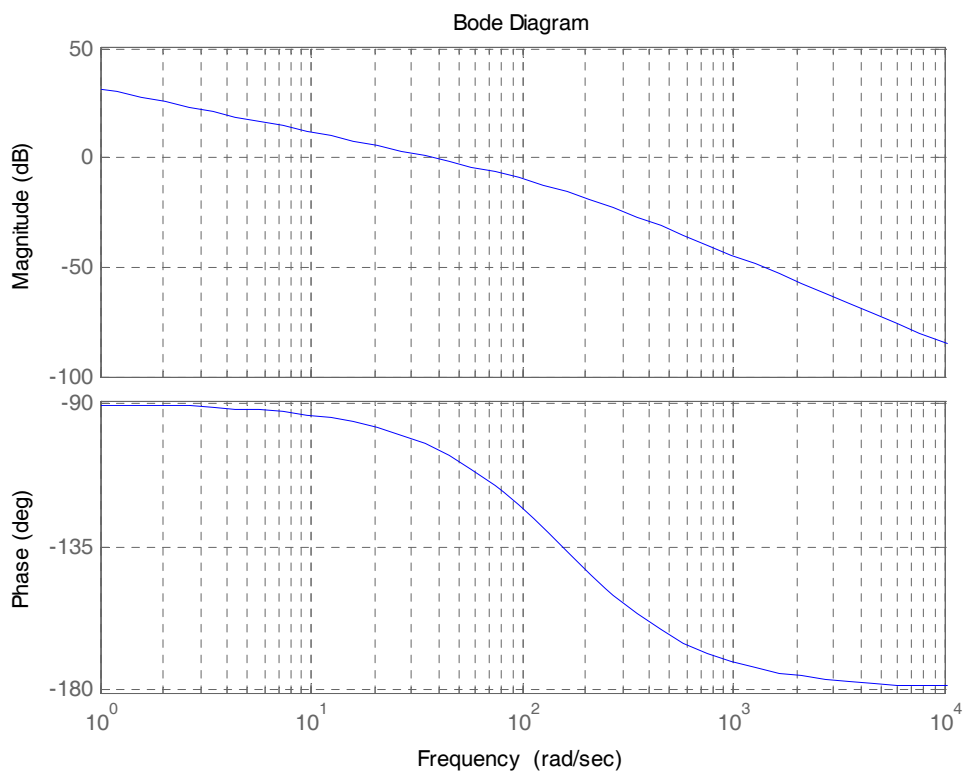
$$\Rightarrow K_R = \frac{0,1}{0,75 \cdot a \cdot T_A} \approx \underline{\underline{5,13}}$$

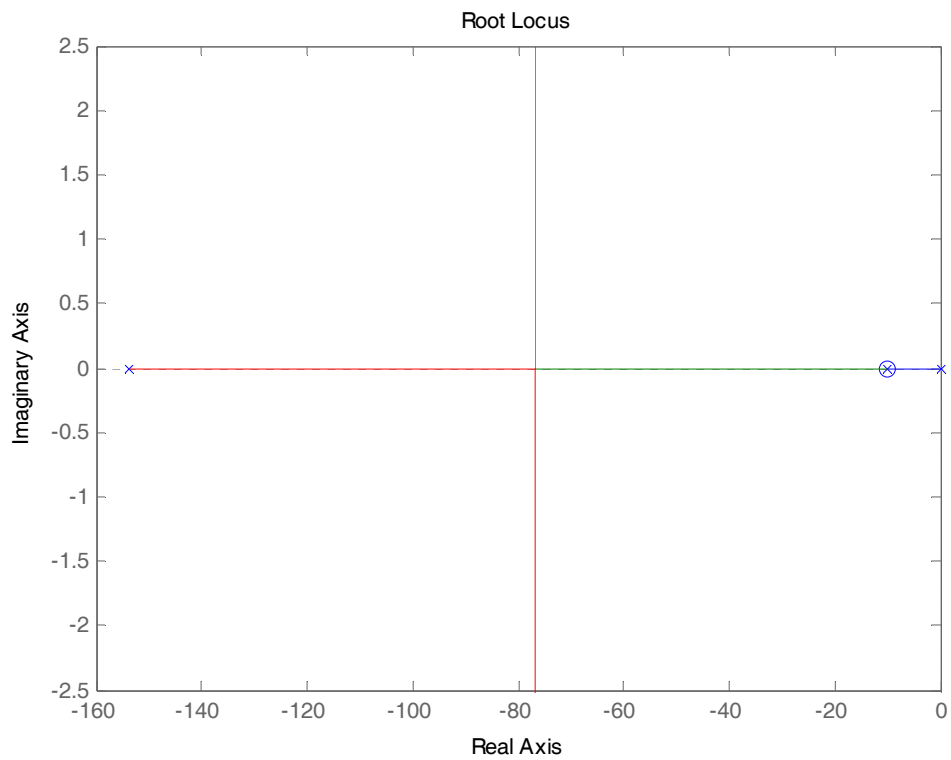
$$a = \frac{\omega_A}{\omega_s} \Rightarrow \omega_s = \frac{\omega_A}{a} = \frac{1}{a \cdot T_A} = \frac{1}{4 \cdot 0,0065} \approx \underline{\underline{38,46 \frac{1}{s}}}$$

$$T_m = \frac{\pi}{\omega_s} = \pi \cdot a \cdot T_A \approx \underline{\underline{0,082 s}}$$

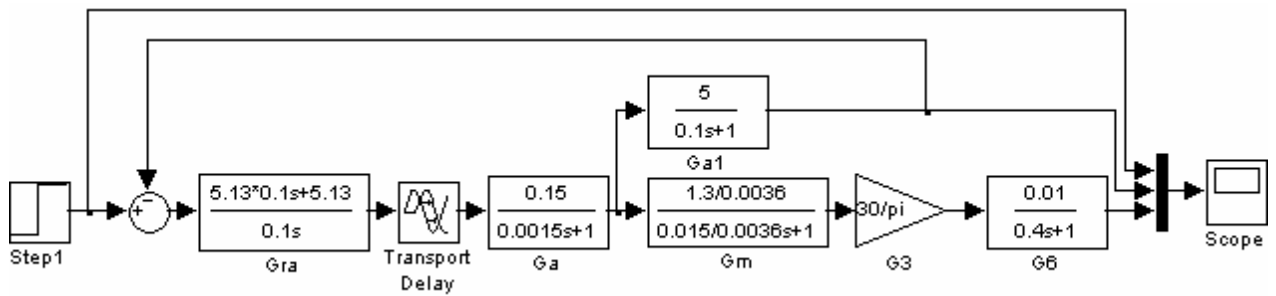
$$\frac{T_m}{T} = \frac{\pi}{\sqrt{1-D^2}} \Rightarrow T = \frac{T_m}{\pi} \sqrt{1-D^2} = a \cdot T_A \cdot \sqrt{1-D^2} = 2 \cdot 0,4065 s \cdot \sqrt{1-1^2} \approx \underline{\underline{0 s}}$$

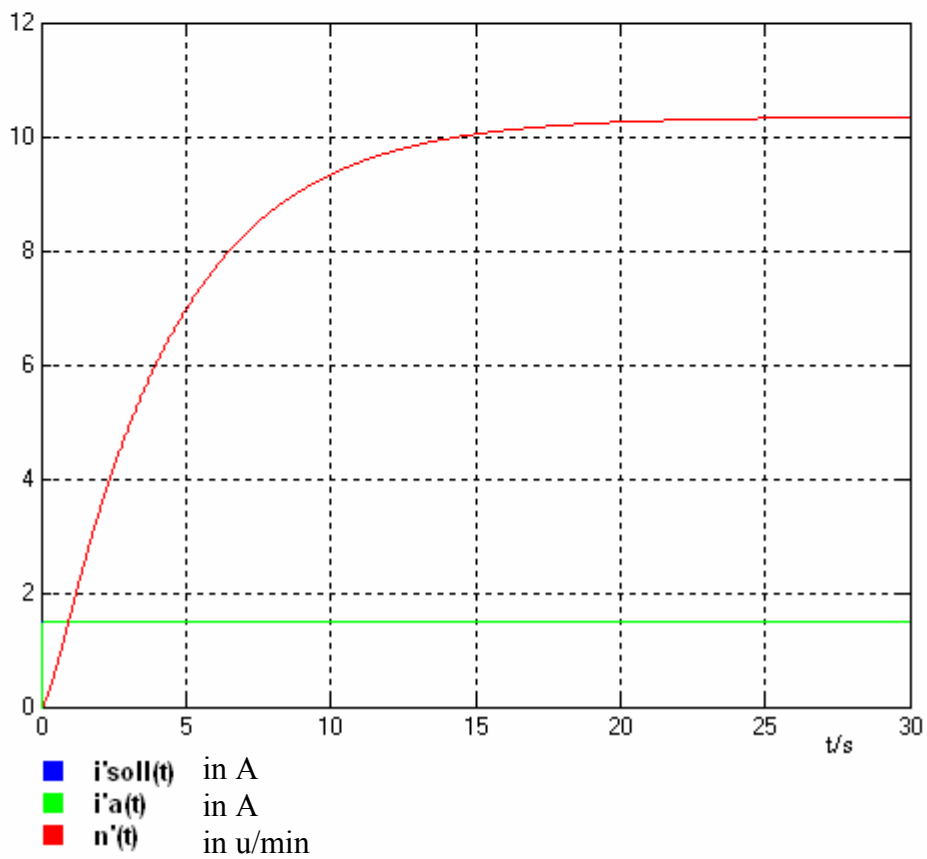
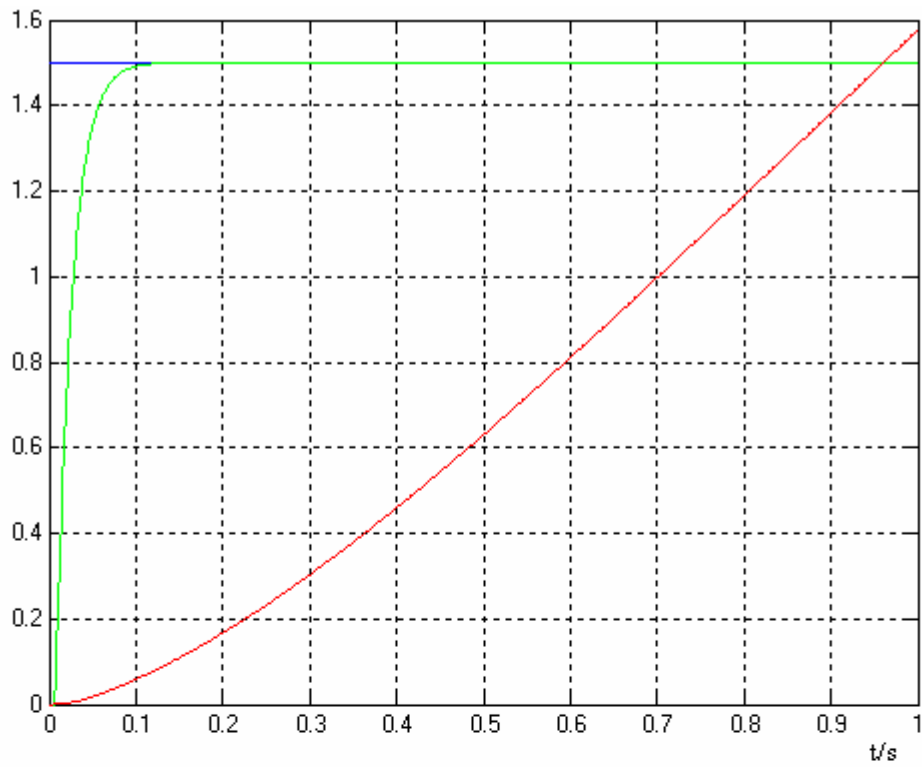
$$\Rightarrow \underline{\underline{G_{RA}(s) = \frac{5,13 \cdot (0,1 \cdot s + 1)}{0,1 \cdot s}}} \quad \text{PI-Regler}$$





Abhebezeitpunkt bei  $K_R \approx 5,13$





### 3.4 Drehzahlregelung

#### 3.4.1 Berechnung des Drehzahlregelkreises

$$G_{WYi}(s) = \frac{I_A(s)}{I'_{ASoll}(s)} = 0,2$$

$$G_S(s) = G_{WYi}(s) \cdot G_M(s) \cdot G_3(s) \cdot G_6(s) = 0,2 \cdot \frac{30}{\pi} \cdot \frac{0,01}{0,4 \cdot s + 1} \cdot \frac{K_M}{T_M \cdot s + 1}$$

$$K_M \approx 361,11 \frac{1}{A \cdot s} \quad T_M \approx 4,167s$$

$$G_S(s) = 0,2 \cdot \frac{30}{\pi} \cdot \frac{0,01}{0,4 \cdot s + 1} \cdot \frac{361,11}{4,167 \cdot s + 1} \approx \frac{6,9}{(4,167 \cdot s + 1) \cdot (0,4 \cdot s + 1)} \quad (\text{PT}_{2s} \text{ Regelstrecke})$$

#### 3.4.2 Drehzahlregelung nach Reinisch

$$G_S(s) = \frac{6,9}{(4,167 \cdot s + 1) \cdot (T_A \cdot s + 1)} \quad \text{mit } T_A = 0,4s$$

(Reinisch Typ A)

$$a = 2 \Rightarrow \Delta h = 5\% \Rightarrow D = 0,7$$

$$G_0(s) = \frac{6,9}{(4,167 \cdot s + 1) \cdot (T_A \cdot s + 1)} \cdot \frac{K_R \cdot (4,167 \cdot s + 1)}{4,167 \cdot s} = \frac{6,9 \cdot K_R}{4,167 \cdot s \cdot (T_A \cdot s + 1)}$$

$$\frac{6,9 \cdot K_R}{4,167 \cdot s \cdot (T_A \cdot s + 1)} = \frac{1}{a \cdot s \cdot T_A \cdot (T_A \cdot s + 1)}$$

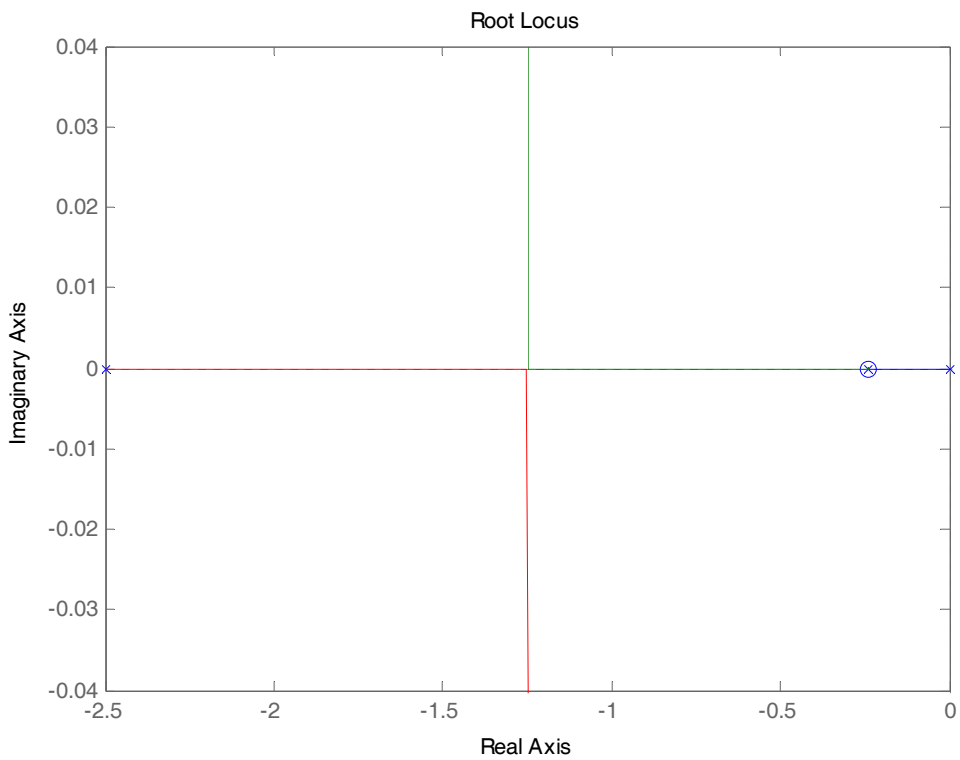
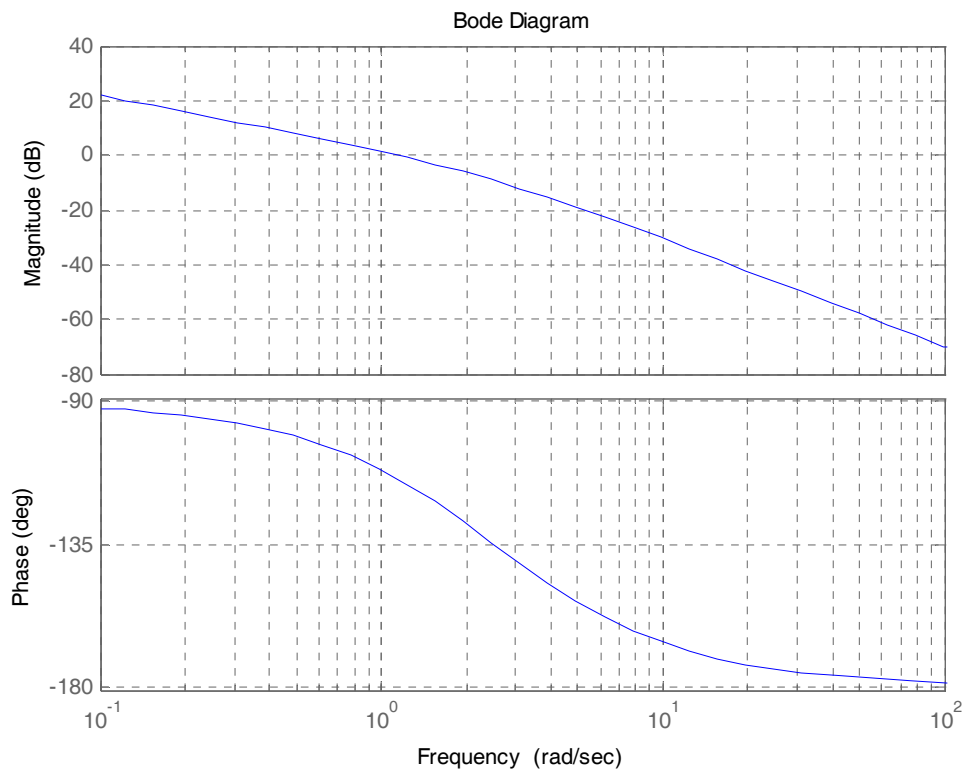
$$\Rightarrow K_R = \frac{4,167}{6,9 \cdot a \cdot T_A} \approx \underline{\underline{0,75}}$$

$$a = \frac{\omega_A}{\omega_S} \Rightarrow \omega_S = \frac{\omega_A}{a} = \frac{1}{a \cdot T_A} = \frac{1}{2 \cdot 0,4} \approx \underline{\underline{1,25 \frac{1}{s}}}$$

$$T_m = \frac{\pi}{\omega_S} = \pi \cdot a \cdot T_A \approx \underline{\underline{2,51s}}$$

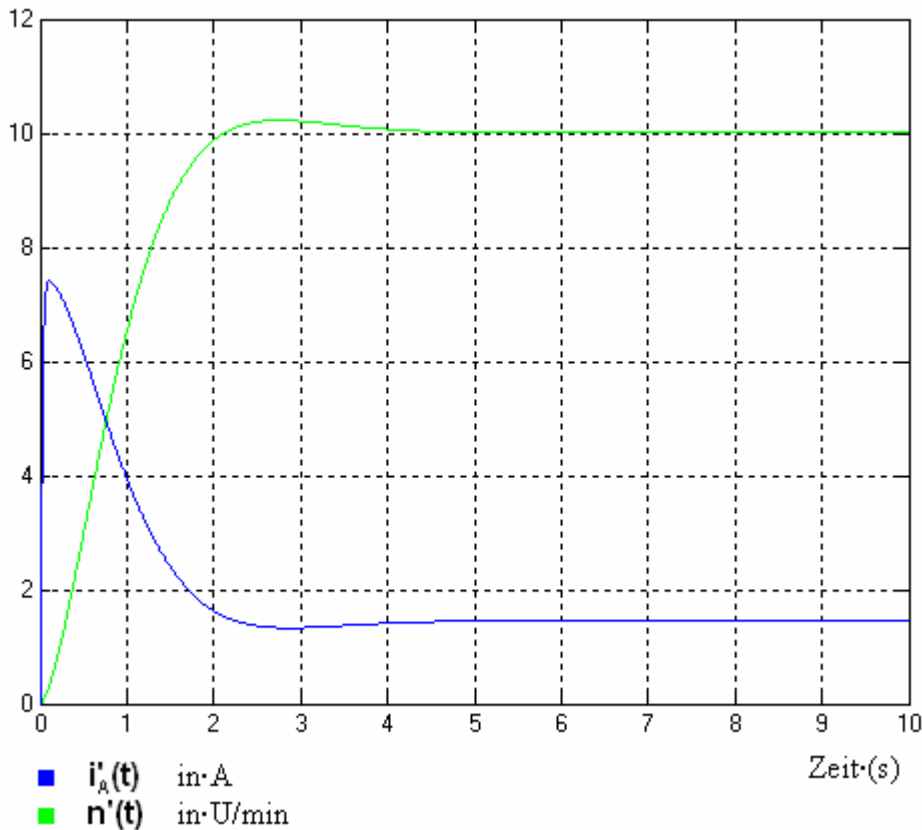
$$\frac{T_m}{T} = \frac{\pi}{\sqrt{1-D^2}} \Rightarrow T = \frac{T_m}{\pi} \sqrt{1-D^2} = a \cdot T_A \cdot \sqrt{1-D^2} = 2 \cdot 0,4065 s \cdot \sqrt{1-0,7^2} \approx \underline{\underline{0,57s}}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{G_{RD2}(s) = \frac{0,75 \cdot (4,167 \cdot s + 1)}{4,167 \cdot s}}} \quad \text{PI-Regler}$$



Abhebe punkt bei  $K_R \approx 0,377$





### 3.5 Modell des Förderkorbes und Positionsregelung

#### 3.5.1 Übergangsfunktion der Positionierstrecke

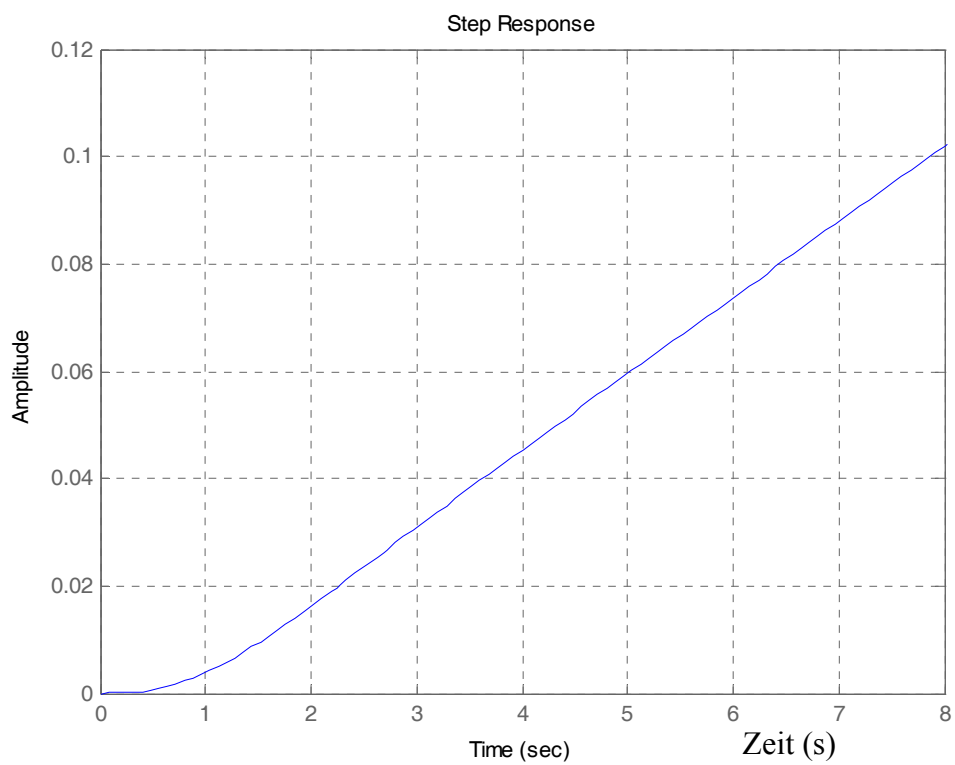
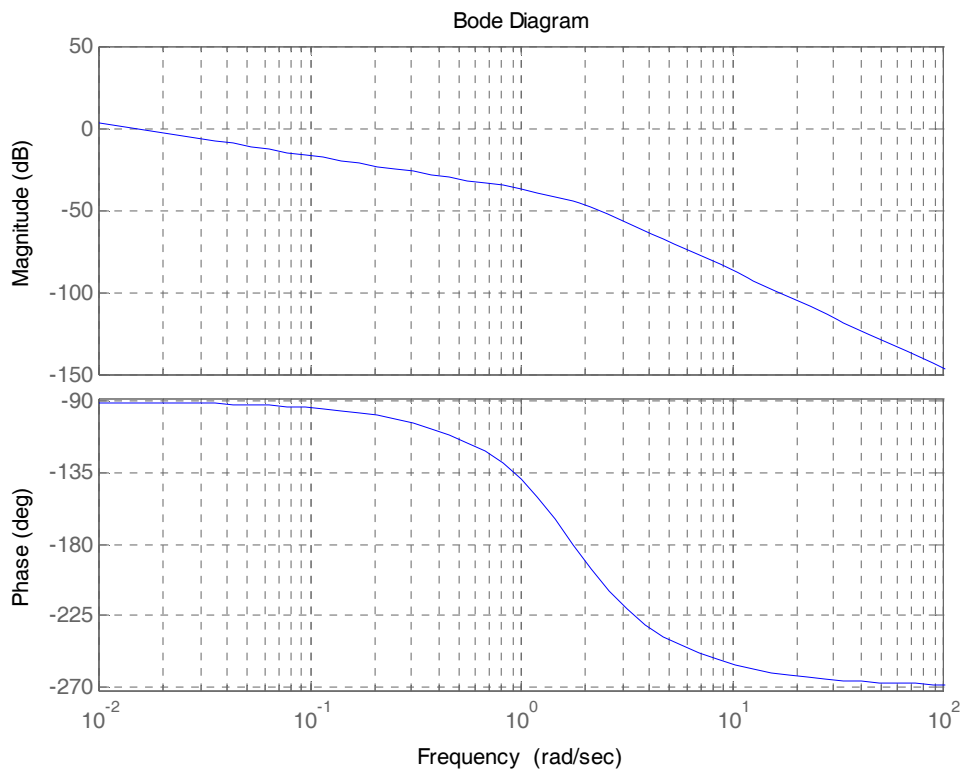
$$G_S(s) = \frac{S'(s)}{N'_{soll}(s)} = G_{WYn}(s) \cdot K \cdot G_F(s) \cdot K_{MI}(s)$$

$$G_{WYn}(s) = \frac{G_0(s)}{1 + G_0(s)} = \frac{\frac{5,175}{4,167 \cdot s \cdot (0,4 \cdot s + 1)}}{1 + \frac{5,175}{4,167 \cdot s \cdot (0,4 \cdot s + 1)}} = \frac{5,175}{4,167 \cdot s \cdot (0,4 \cdot s + 1) + 5,175}$$

mit  $K = \frac{100 \cdot 2 \cdot \pi}{60 \cdot V \cdot \text{min}}$ ,  $D = 4,7 \text{ cm}$ ,  $i = 315$ ,  $G_F(s) = \frac{1}{i} \cdot \frac{1}{s \cdot 2\pi} \cdot \pi \cdot D$ ,  $K_{MI} = 0,182 \frac{V}{\text{cm}}$ ,

$$G_S(s) = \frac{5,175}{4,167 \cdot s \cdot (0,4 \cdot s + 1) + 5,175} \cdot \frac{100 \cdot 2 \cdot \pi}{60 \cdot V \cdot \text{min}} \cdot \frac{1}{315} \cdot \frac{1}{s \cdot 2\pi} \cdot \pi \cdot 4,7 \text{ cm} \cdot 0,182 \frac{V}{\text{cm}}$$

$$G_S(s) = \frac{0,0736}{4,167 \cdot s^2 \cdot (0,4 \cdot s + 1) + 5,175 \cdot s} \cdot \frac{1}{\text{min}} = \frac{0,044}{s^3 + 2,5 \cdot s^2 + 3,1 \cdot s} \cdot \frac{1}{\text{min}}$$

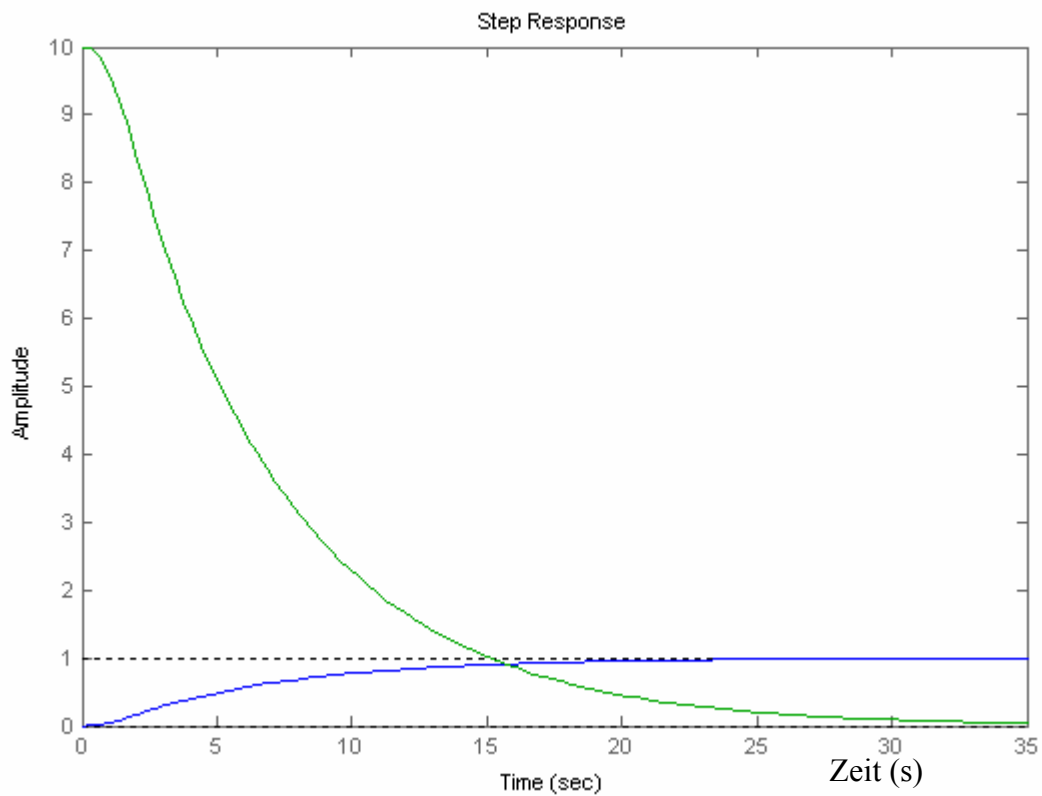
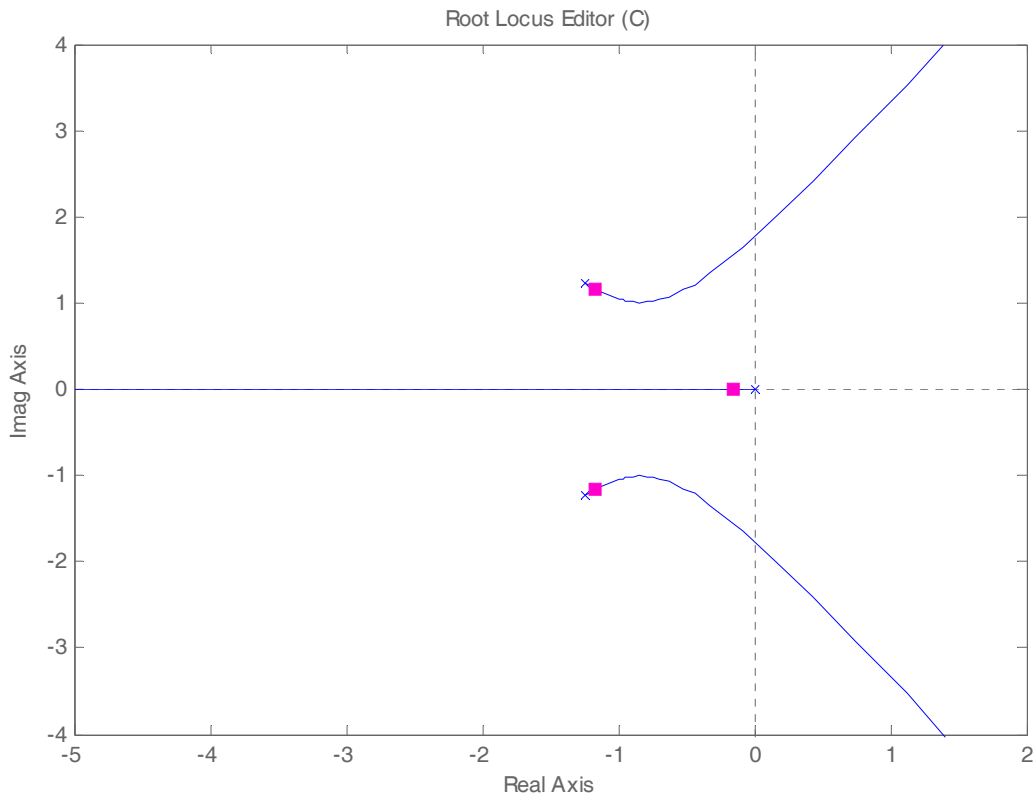


IT<sub>2</sub> - Verhalten

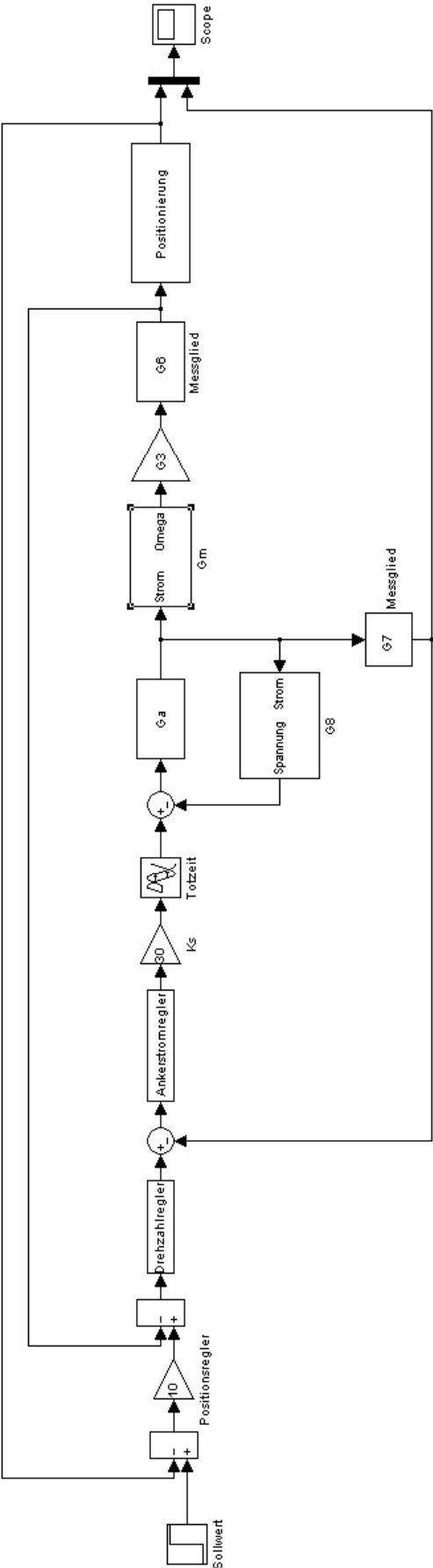
### 3.5.2 Positionsregelung

Es wird I-Verhalten angestrebt. Da der Förderkorb schon I-Anteil hat, wird ein P-Regler genutzt.

Die Stellgröße darf  $\max u_0=10$  betragen, d.h.  $K_{R\max}=10$ .



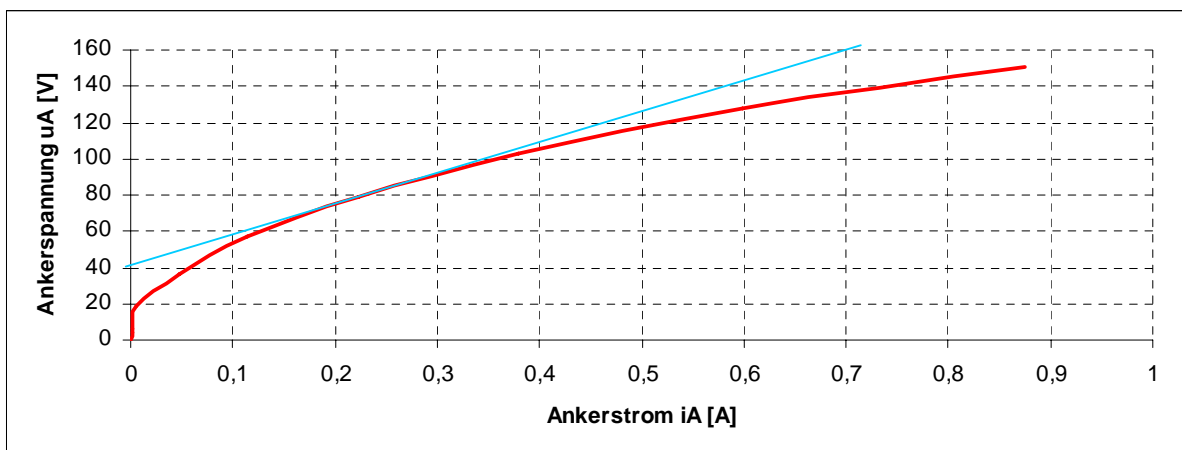
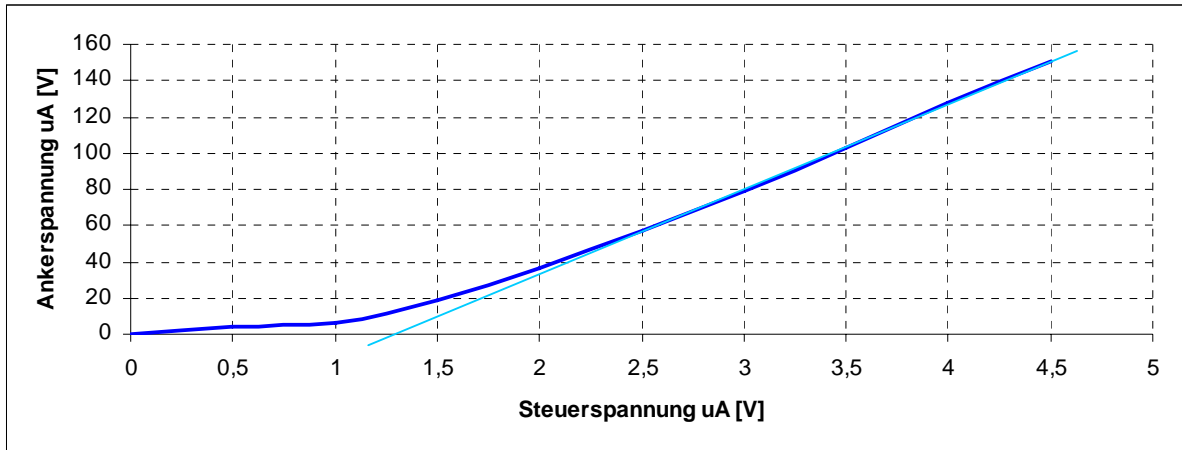
### 3.5.3 Gesamte Kaskadenregelung



## 4 Versuchsdurchführung und Auswertung

### 4.1 Untersuchung des Elektromotors mit Thyristorstellglied

#### 4.1.1 Statische Kennlinien des Thyristorstellers und des Ankers

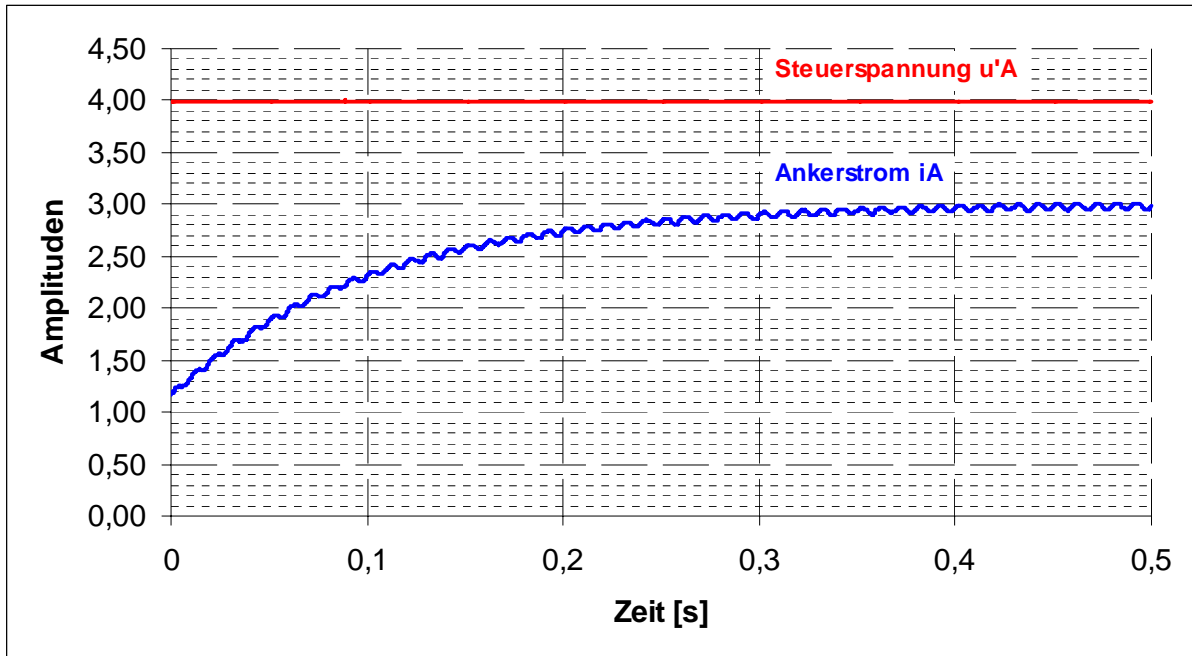


$$K = \frac{150V}{4,5V - 1,25V} \approx 46$$

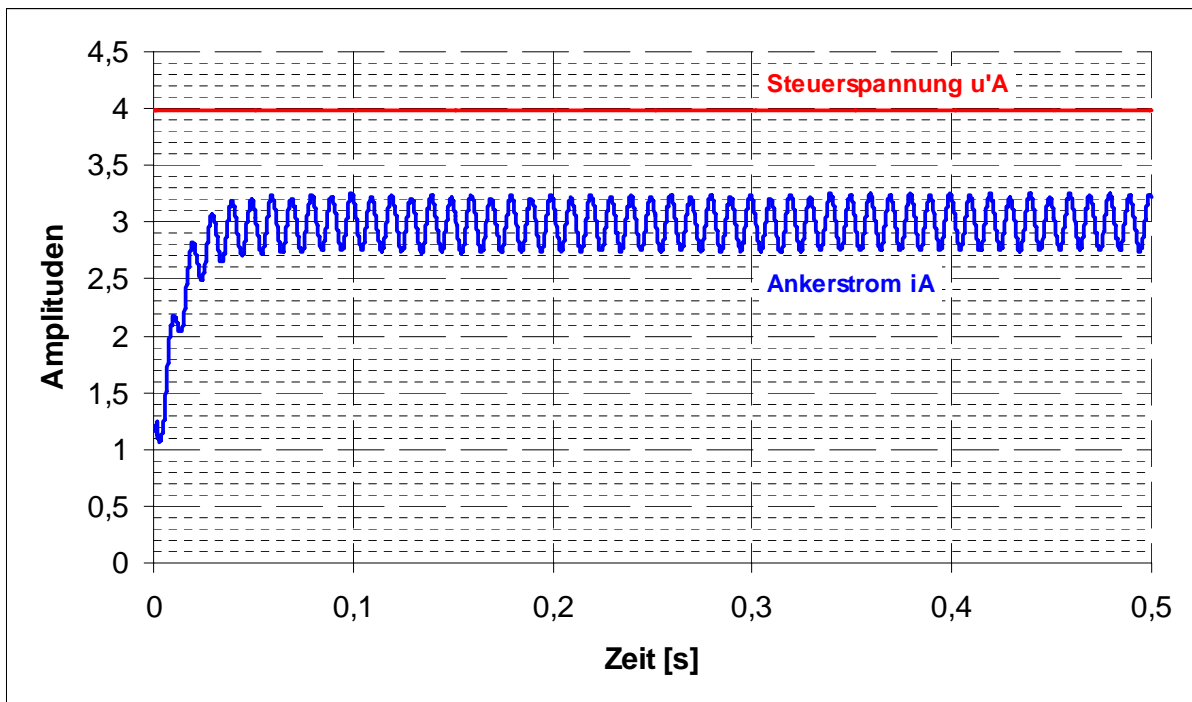
$$Z = \frac{120V}{0,7A} \approx 170\Omega$$

#### 4.1.2 Sprungantwort des Ankers mit Thyristorsteller

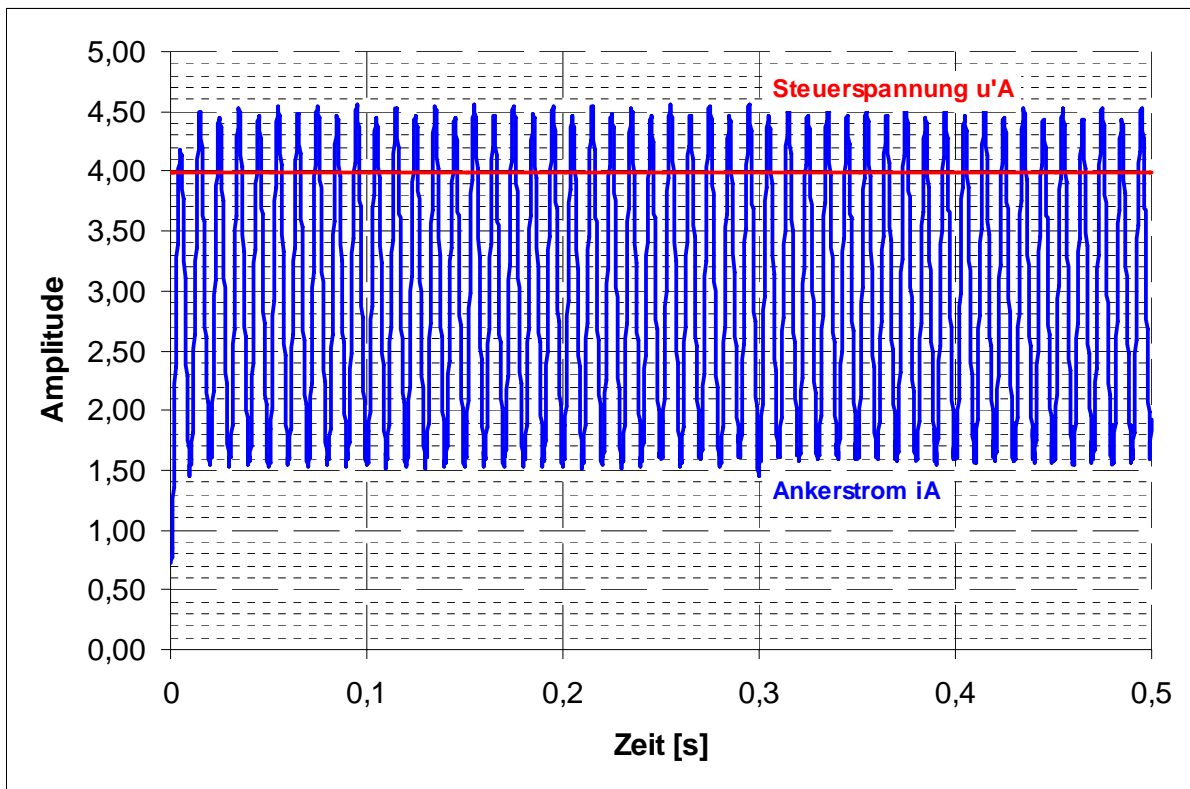
Gemessen wurde die Sprungantwort des Ankers mit Thyristorsteller. Dabei wurde im Arbeitspunkt  $U'_A=3V$  ein Einheitsprung von  $u'_{A0}=1V$  aufgegeben. Die Messkurven zeigen die Abhängigkeit der Ankerstromes  $i'_A(t)$  von der Steuerspannung  $u'_A(t)$ .



Zeitkonstante Glättung: 100ms



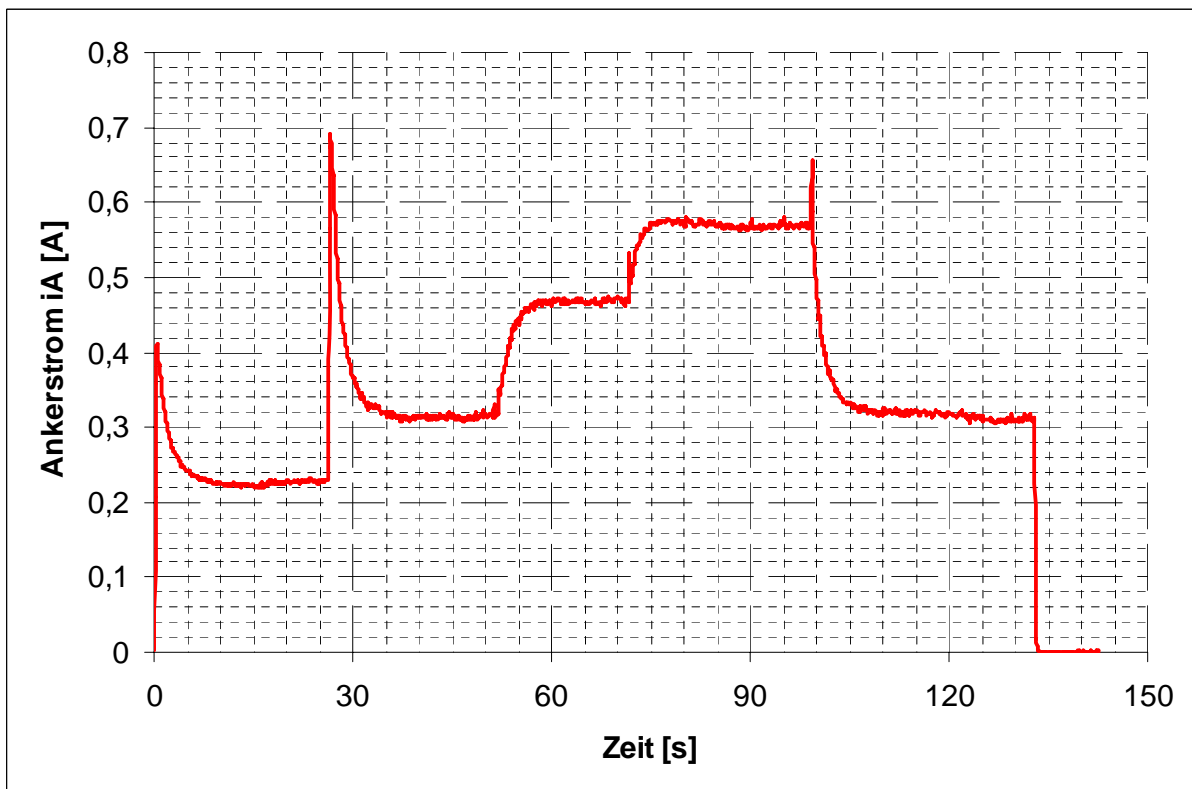
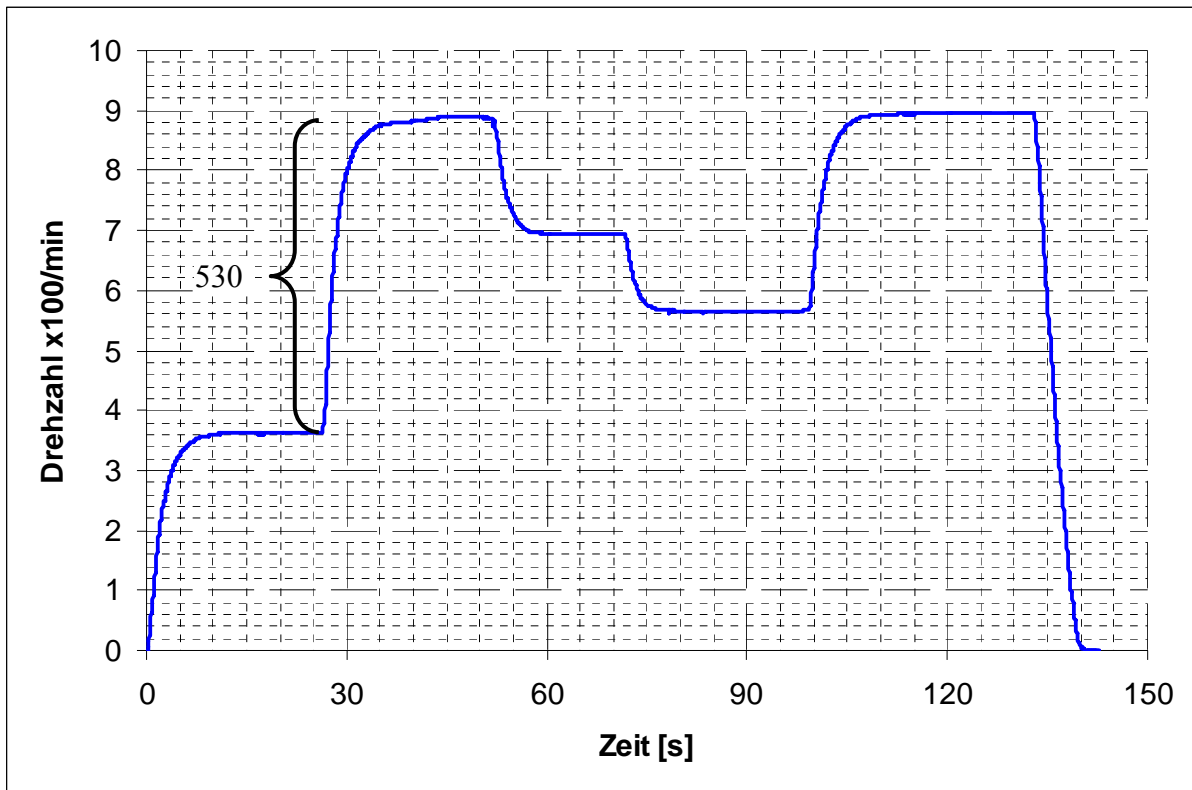
Zeitkonstante Glättung: 10ms



Zeitkonstante Glättung: 0ms

Mit steigender Zeitkonstante sinkt die Welligkeit und damit die Geschwindigkeit des Messgliedes.

### 4.1.3 Dynamisches Verhalten des gesamten Systems mit Erregung



Es wurde die Übergangsfunktionen  $h(t)$  des Ankerstromes  $i'_A(t)$  und der Drehzahl  $n'(t)$  des Motors aufgenommen.



Dabei wurde die Steuerspannung auf den Arbeitspunkt  $U'_A=3V$  eingestellt und der stationäre Endwert der Drehzahl abgewartet (Abschnitt 1).

Danach wurde ein Einheitssprung von  $u'_{A0}=1V$  aufgegeben (Abschnitt 2). In der Messkurve ist dabei ein Anstieg der Drehzahl von  $n=360\text{ U/min}$  auf ca.  $n=890\text{ U/min}$  zu verzeichnen. Im Gegensatz zur Drehzahl stieg der Strom in Abschnitt 1 und 2 bei Änderung der Steuerspannung sprunghaft an und klang auf seinen Endwert ab.

In den Abschnitten 3 und 4 wurde jeweils eine Last hinzugeschaltet. Auf Grund dessen sankt die Drehzahl erheblich. Der Strom stieg hingegen an.

Im Abschnitt 5 wurden beide Teillasten entfernt. Die Drehzahl stieg nun auf einen höheren Wert als vor der Zuschaltung der beiden Teillasten. Dies ist durch das vorangegangene Ansteigen während der Lastphase und das damit verbundene Warmwerden des Motors zu begründen (Magnetisierung).

Parameter:

- $K \approx 5,3$
- $T \approx 3s$

## 4.2 Untersuchung des Stromregelkreises

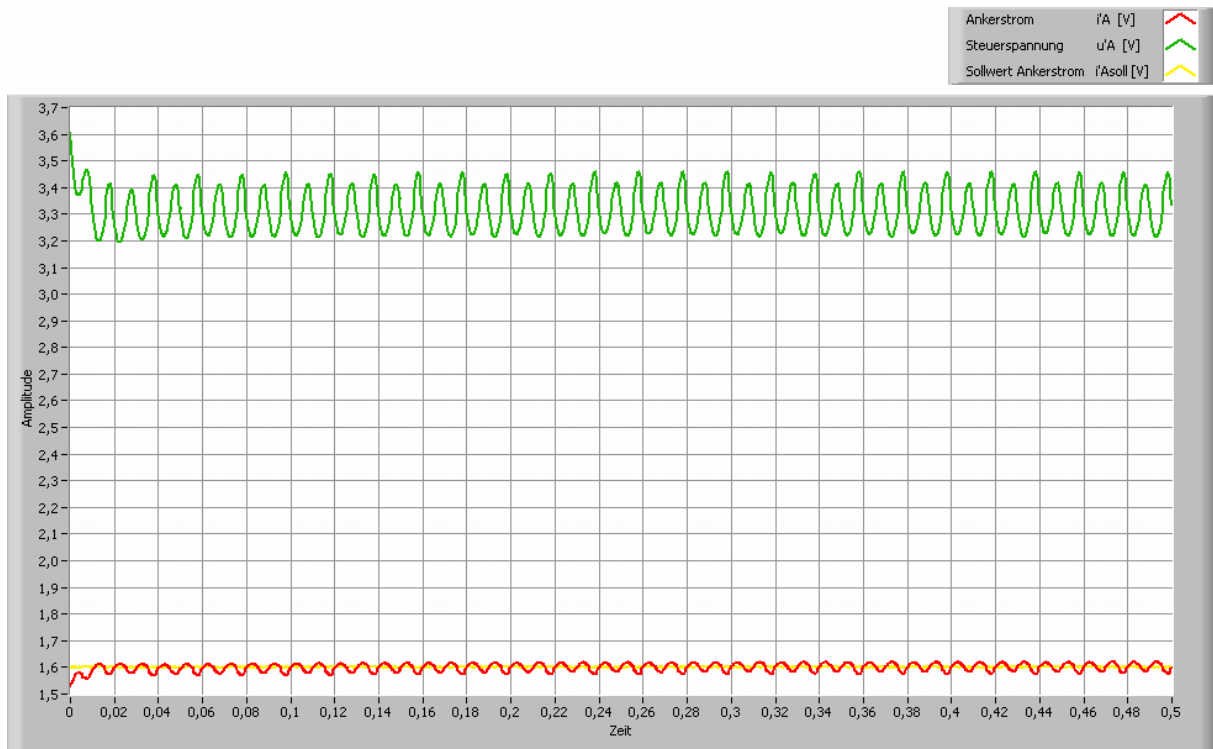
### 4.2.1 Übergangsfunktion des geregelten Stromes und der Drehzahl bei einem Führungssprung

Im Folgenden wurden die Übergangsfunktion des geregelten Stromes bei einen Sprung von  $1,5V$  auf  $1,6V$  gemessen. Da eine andere Streckenverstärkung gemessen wurde (vgl. 4.1.2), musste die Reglerverstärkung von  $K_R=5,13$  auf  $K_R=1,92$  angepasst werden.

$$\Rightarrow K_R = \frac{0,1}{K_S \cdot a \cdot T_A} \approx \underline{\underline{1,92}}$$



$K_R=1,9$

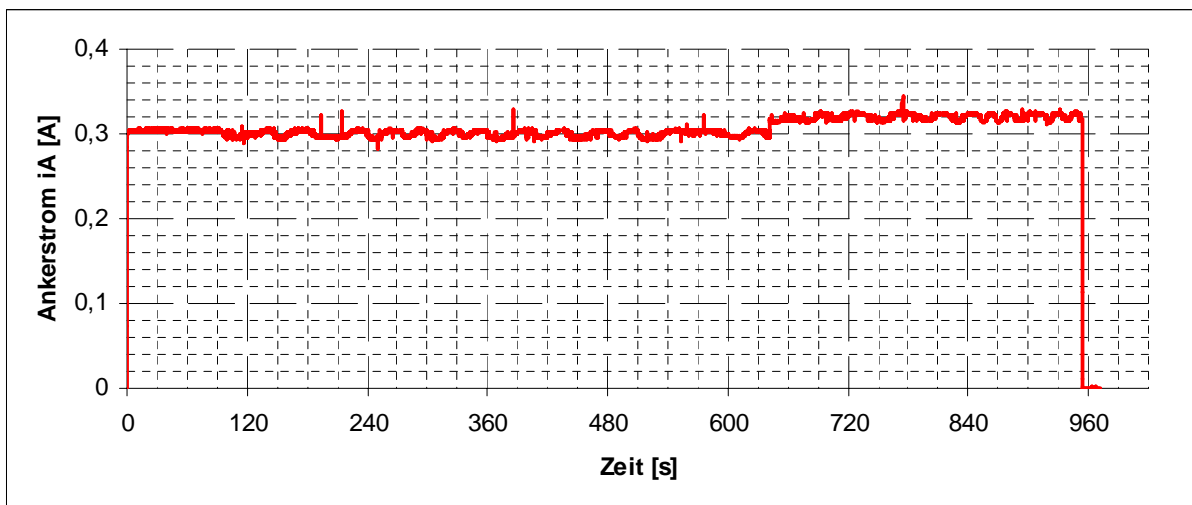
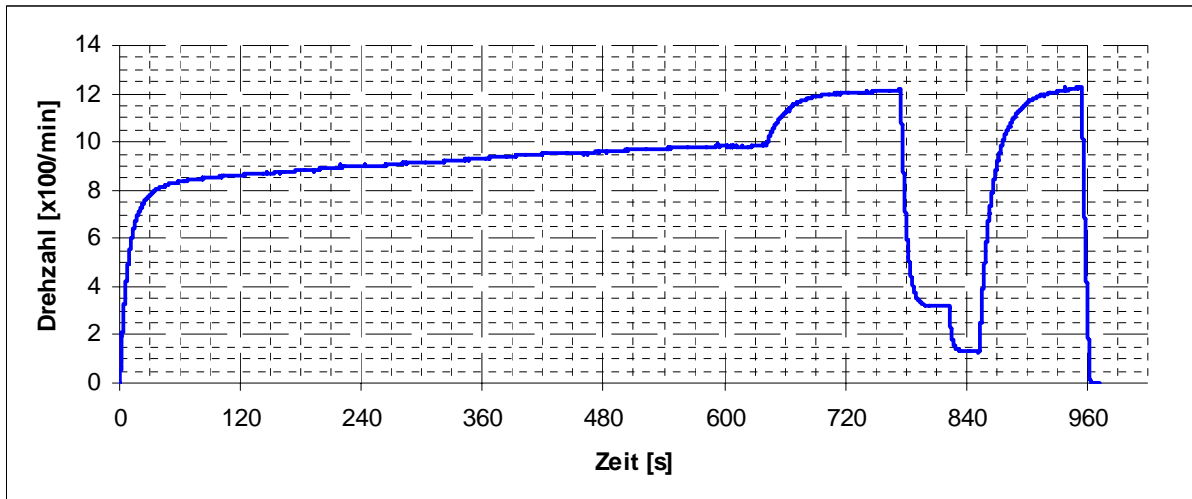


$K_R=5,17$

Beide Regelkreise zeigen stabiles Verhalten. Wobei der Regelkreis mit höherer Verstärkung eine höhere Geschwindigkeit aufwies. Somit zeigt der Regelkreis mit der Verstärkung  $K_R=5,13$  den wesentlichen Verlauf der simulierten Messkurve der Vorbereitungsaufgaben.

## 4.2.2 Übergangsfunktion des geregelten Stromes und der Drehzahl bei Be- und Entlastung

Beim Ermitteln der Übergangsfunktionen wurde das gleiche Verfahren angewandt, wie in Aufgabe 4.1.3 (stationäre Endwert  $\rightarrow$  Führungssprung  $\rightarrow$  einschalten 1. Last  $\rightarrow$  einschalten 2. Last  $\rightarrow$  Lasten entfernen).

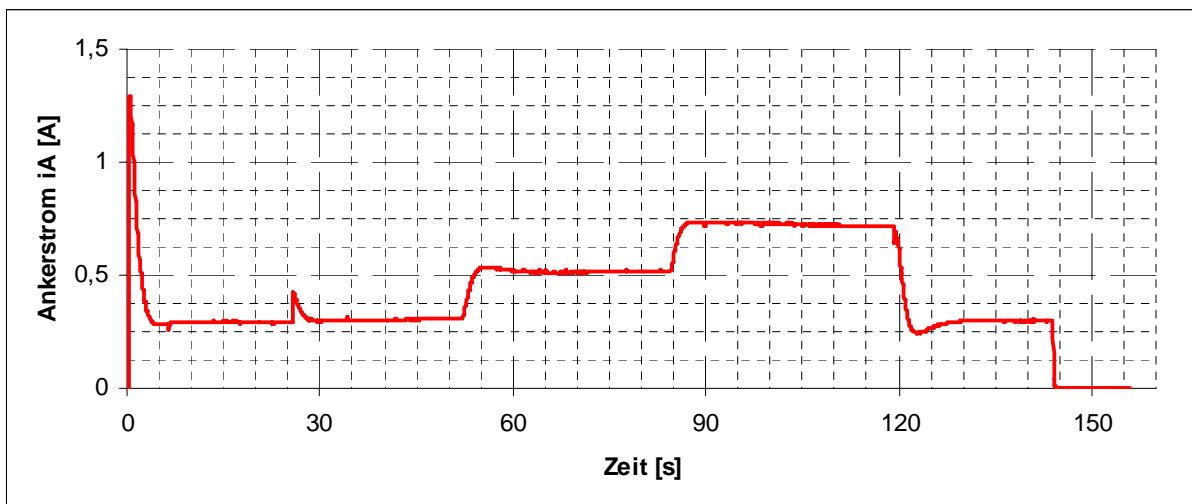
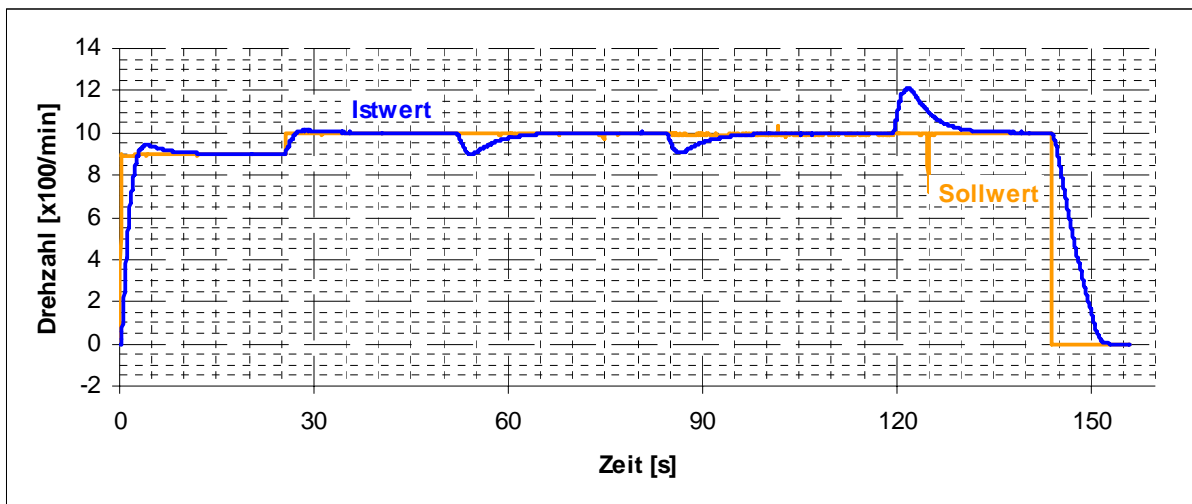


Im Gegensatz zur Aufgabe 4.1.3 wurde der Strom durch die Regelung auf ihrem Sollwert  $i_{Asoll} \leq 0,33A$  gehalten. Die Regelung ist sehr schnell und konstant, wodurch kaum Stromschwankungen zu erkennen sind ( $\rightarrow$  Güte).

### 4.3 Untersuchung des Drehzahlregelkreises mit unterlagerter Stromregelung

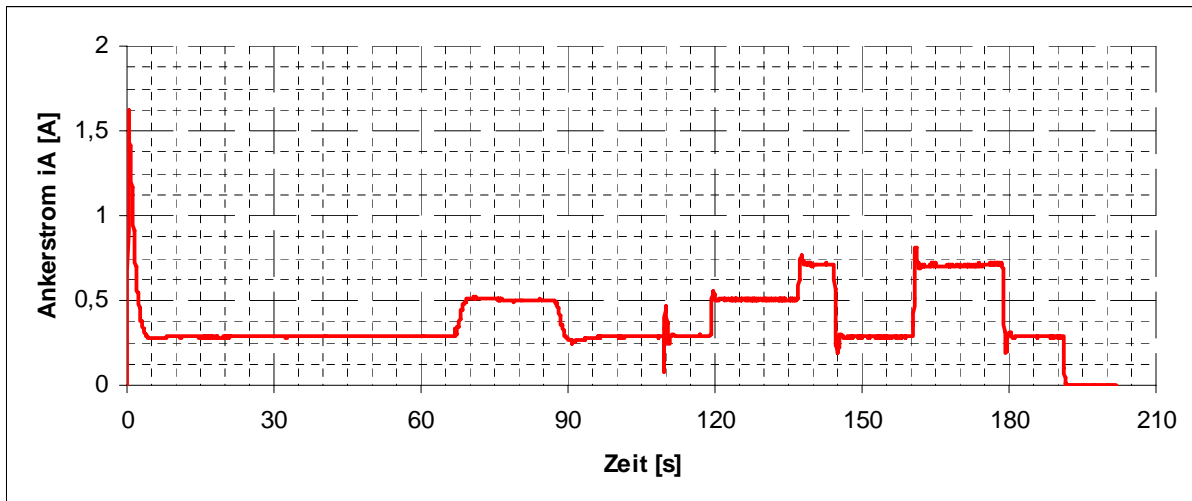
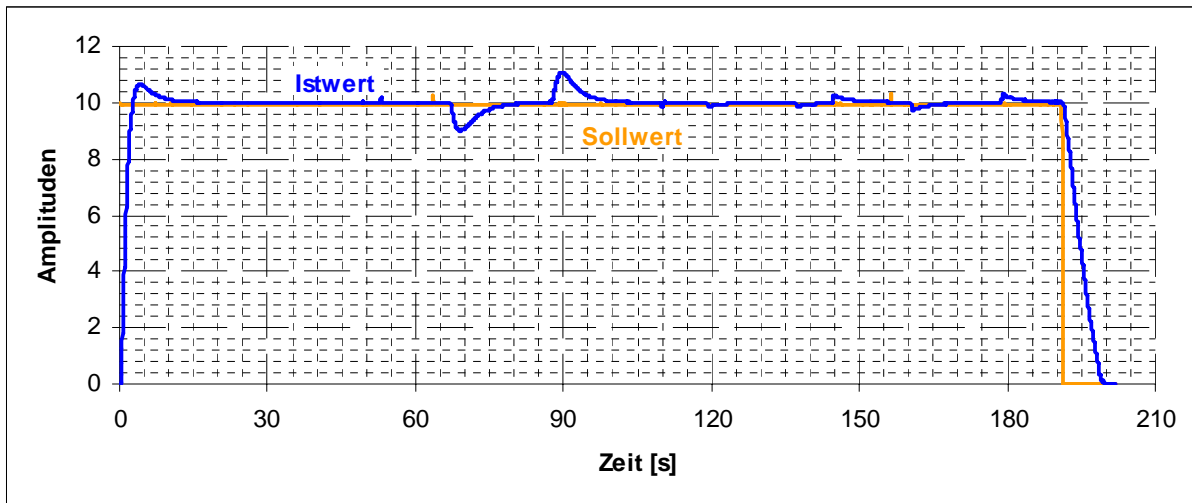
#### 4.3.1 Übergangsfunktion des geregelten Stromes und der Drehzahl bei Be- und Entlastung

Beim Ermitteln der Übergangsfunktionen wurde das gleiche Verfahren angewandt, wie in Aufgabe 4.1.3 (stationäre Endwert  $\rightarrow$  Führungssprung  $\rightarrow$  einschalten 1. Last  $\rightarrow$  einschalten 2. Last  $\rightarrow$  Lasten entfernen).



Die Drehzahl wird bei Laständerung ausgeregelt. Dabei ist der Regler zu langsam. Das Messkurvenverhalten stimmt überwiegend mit dem simulierten Verhalten überein.

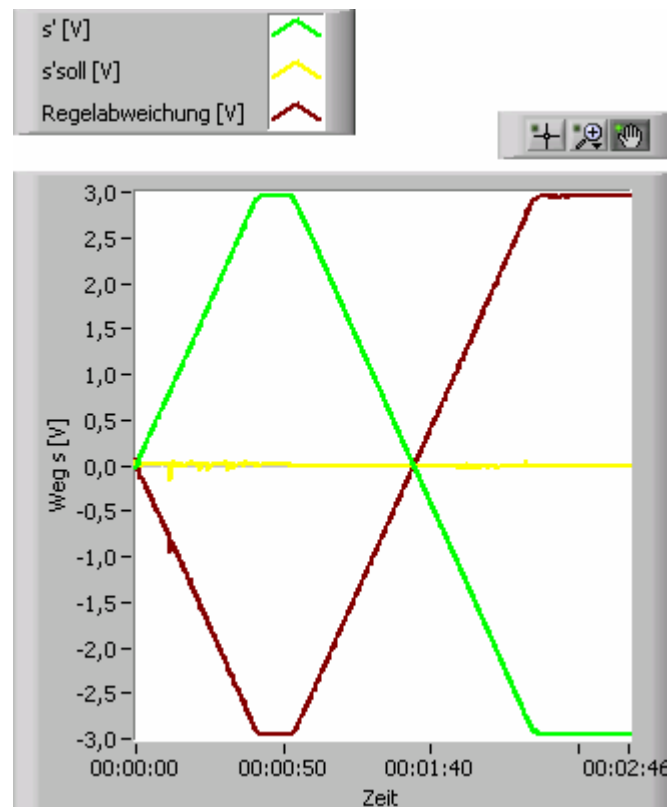
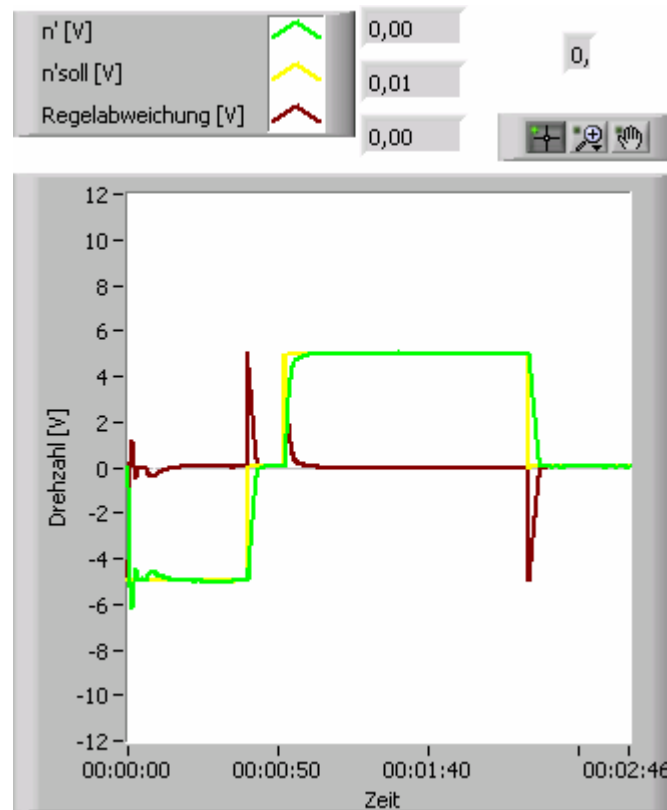
### 4.3.2 Verbesserung des Störungsverhaltens des Drehzahlregelkreises

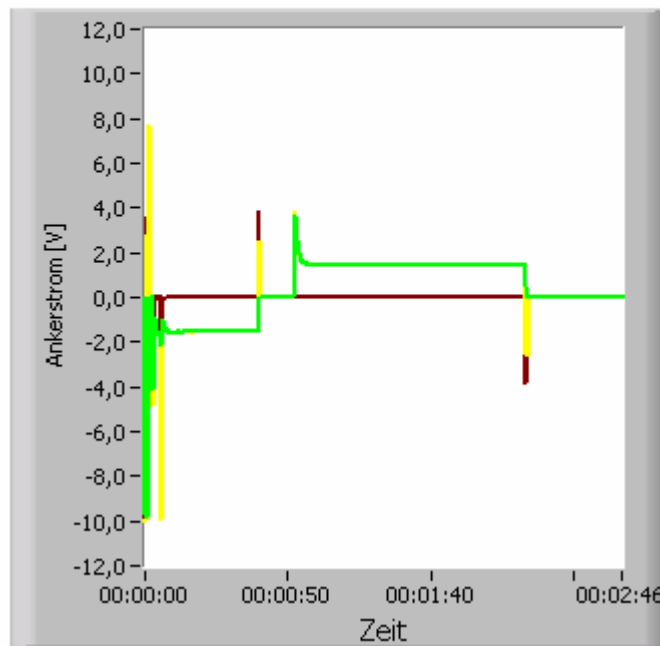
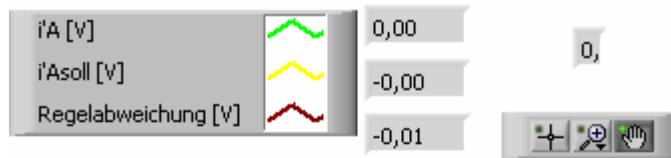


Bei dieser Messung wurde nach anfänglich normaler Verstärkung (vgl. 4.3.1) nach einer Zeit von ca. 1.45 min diese um den Faktor 10 erhöht. Dadurch ergab sich ein besseres Störverhalten. Der Ausregelvorgang wurde beschleunigt.

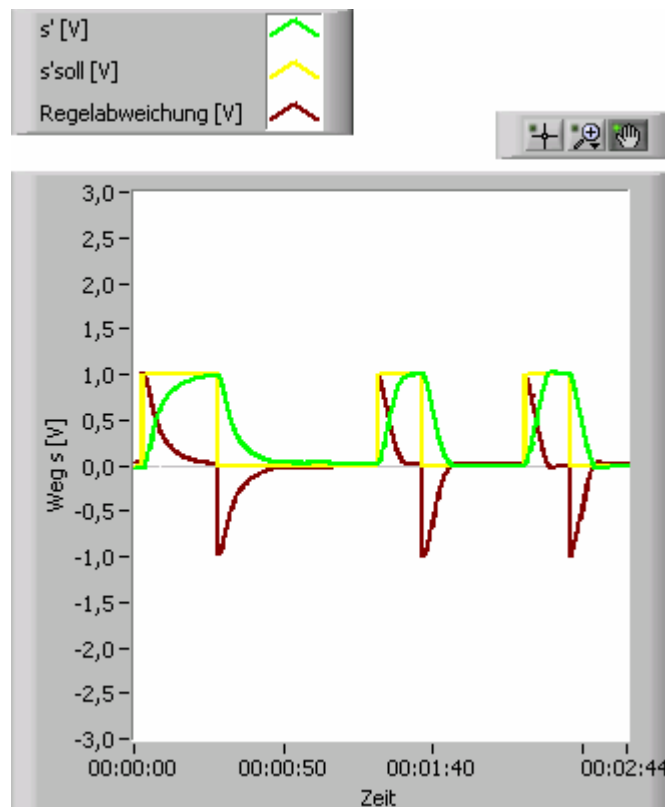
#### 4.4 Untersuchung des Positionsregelkreises mit unterlagerten Regelungen

##### 4.4.1 Untersuchung der Übergangsfunktion der Positionierstrecke

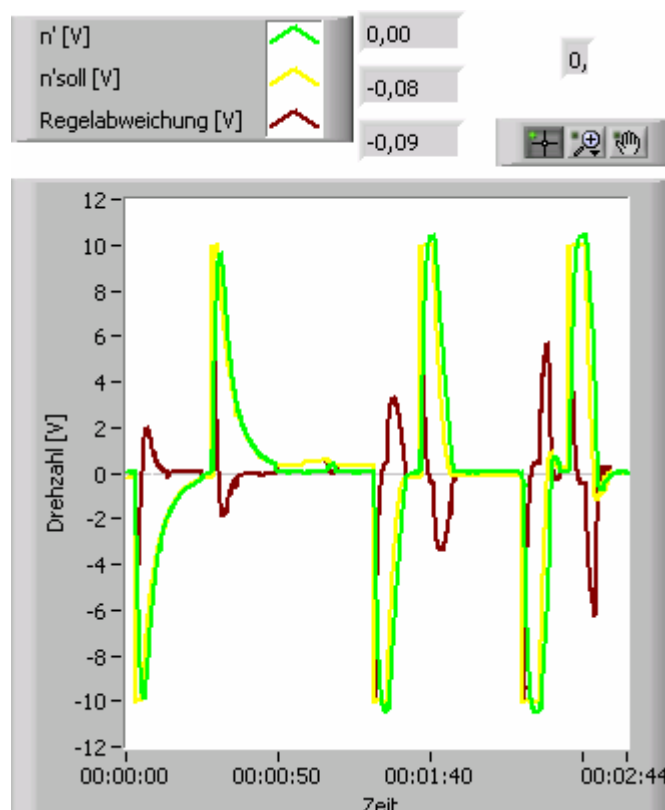




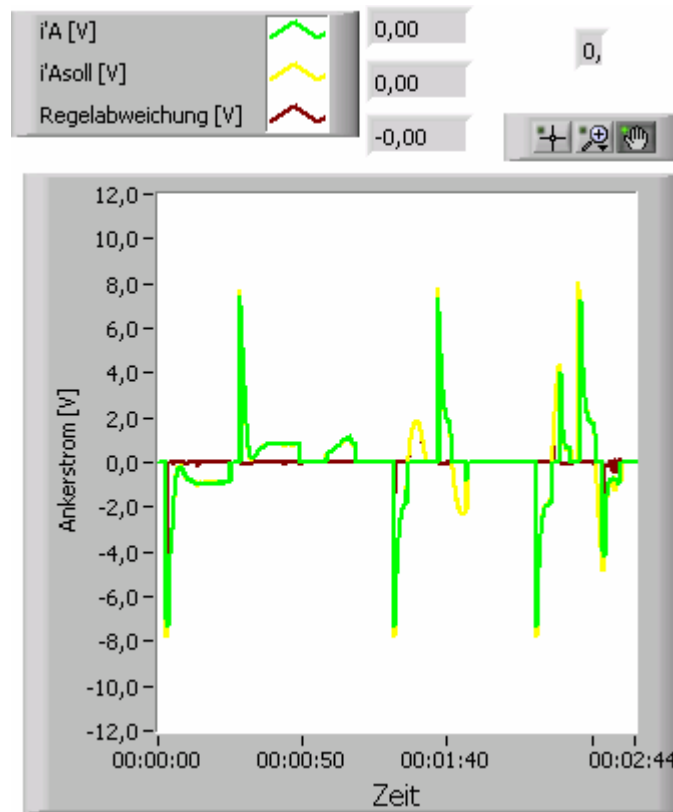
#### 4.4.2 Untersuchung der Positionierstrecke bei verschiedener Verstärkung



Zu Beginn wurde, bei einer Reglerverstärkung von  $K_R=10$ , ein Rechteckimpuls auf die Regelstrecke gegeben. Es folgte eine Erhöhung der Reglerverstärkung auf  $K_R=20$  und somit eine Geschwindigkeitserhöhung des Regelkreises. Bei der Reglerverstärkung  $K_R=30$  trat ein leichtes Überschwingen der Regelgröße auf.







## 5 Zusammenfassung

Im Versuch konnte festgestellt werden, dass eine unterlagerte Ankerstromregelung keinen Geschwindigkeitsgewinn der Drehzahlregelung brachte, da die mechanische Zeitkonstante  $T_M$  des Motors nicht durch die Regelung erfasst wurde. Sie diente lediglich zur Begrenzung des Ankerstroms, welcher sonst bei zu hoher Belastung kritische Werte annehmen könnte. Bei der Drehzahlregelung zeigte sich, dass sich ein besseres Störverhalten ergab, wenn während des Betriebs die Reglerverstärkung um den Faktor 10 erhöht wurde. Die Erhöhung der Verstärkung darf erst nach dem Einschwingen vorgenommen werden, da sonst ein größeres Überschwingen beim Führungssprung auftritt als mit der zuvor festgelegten Verstärkung.

Im Falle der Positionierregelung wurde festgestellt, dass durch eine Erhöhung der Verstärkung die Sollposition früher erreicht wurde. Dies hatte aber keine merkliche Stromerhöhung zur Folge.