

Leseprobe aus Kapitel 1 ‚Einführung in die Regelung-Technik‘ des Buchs

‚Strukturbildung und Simulation technischer Systeme‘

Weitere Informationen zum Buch finden Sie unter [strukturbildung-simulation.de](http://strukturbildung-simulation.de)

Im Kapitel 2.5 wird eine Drehzahl-Regelung behandelt. Darin wurde der Bereich kleiner Drehzahlen, indem der Motor infolge Haftreibung eine Ansprech-Schwelle besitzt, bisher nicht simuliert. Das soll nun nachgeholt werden.

5.0.1 Motor mit Haftreibung

Die bisher angegebenen Strukturen von Motoren berücksichtigt nur die lineare Gleitreibung. Sie ist Geschwindigkeitsproportional. Dazu kommt bei kleinen Drehzahlen noch die sog. Haftreibung. Sie entsteht durch mechanische Unsymmetrien der gelagerten Welle und ist Gewichtsabhängig. Die Haftreibung ist im Stillstand maximal und bei Bewegung minimal. Sie interessiert also nur beim Anfahren der Maschine. Läuft der Motor, verschwindet die Haftreibung fast ganz. Deshalb ist sie dynamisch unwichtig und wurde hier nicht weiter beachtet.

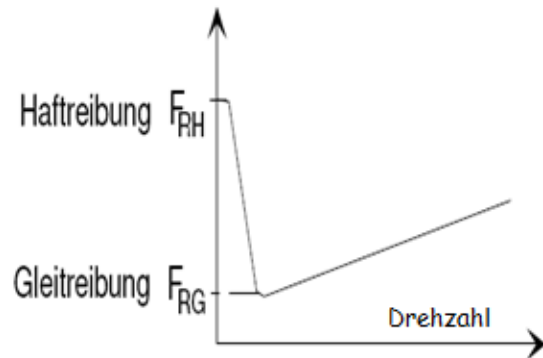
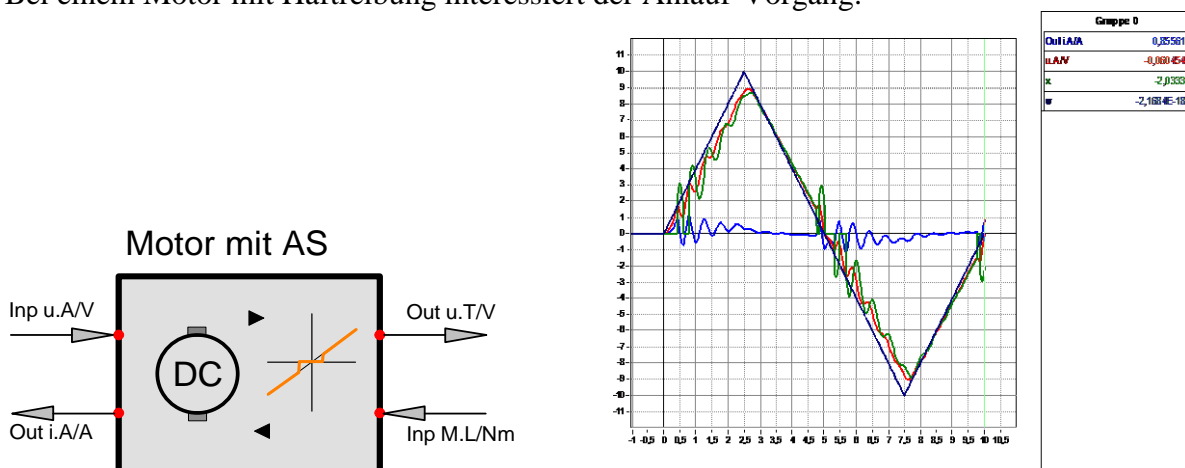


Abb. 5-27 Verlauf der Haftreibungskraft über der Drehzahl

Bei einem Motor mit Haftreibung interessiert der Anlauf-Vorgang:



Struktur 5-13 Gesteuerter Motor mit Haftreibung: Simulation des Anlauf-Verhaltens des Motors mit Haftreibung -> Ansprechschwelle As

### Das maximale Drehmoment

Das maximale mögliche Drehmoment  $M_{max}$  entscheidet, ob ein Motor mit Haftreibung aus dem Stand zu drehen beginnen kann. Um  $M_{max}$  angeben zu können, benötigen wir den Kurzschluss-Strom des Motors:  $M_{max} = k \cdot T \cdot I_{max}$ .

Der Kurzschluss-Strom  $I_K$  bestimmt sich bei stehender Welle aus der Anker-Spannung  $U_A$  und dem Anker-Widerstand  $R_A$ . Wegen der Kommutatoren kann  $R_A$  meist nicht einfach mit dem Ohm-Meter gemessen werden. Aber es gibt eine Möglichkeit,  $R_A$  aus der Nennleistung zumindst näherungsweise zu berechnen:

Je größer die Nennleistung  $P_N$  eines Motors, desto kleiner wird der Anker-Widerstand  $R_A$ . Das Produkt  $P_N \cdot R_A$  ist annähernd eine Konstante:  $P_N \cdot R_A \approx 20 \Omega \cdot W$ . Damit ist  $R_A$  berechenbar:

$$R_A \approx 20 \Omega / (P_N / VA)$$

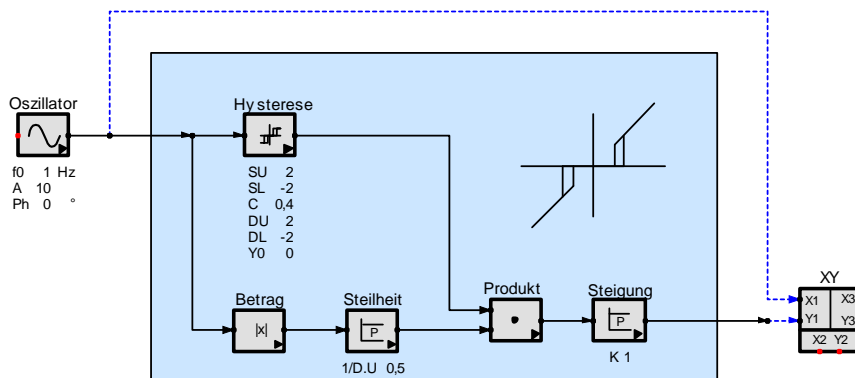
Zahlenwerte:

$P_N = 20W \rightarrow R_A = 1 \Omega$ .  $U_N = 10V \rightarrow I_K = 10A$ .

$k \cdot T = 0,034Vs \rightarrow M_{max} = 0.34VA \cdot s = 34Nm$ .

Das ist beim ‚Elefant‘ das 7-fache des Nenn-Moments.

### Nachbildung der Haftreibung



Hysteresis ohne Sättigung

Abb. 5-28 Ansprechschwelle: Simulation der Haftreibung

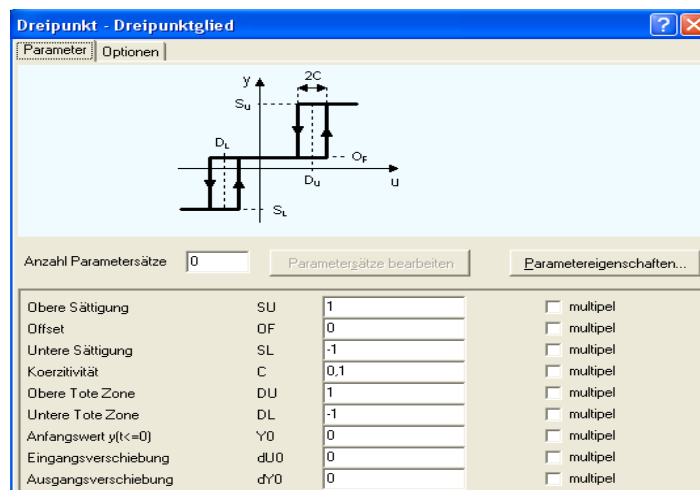
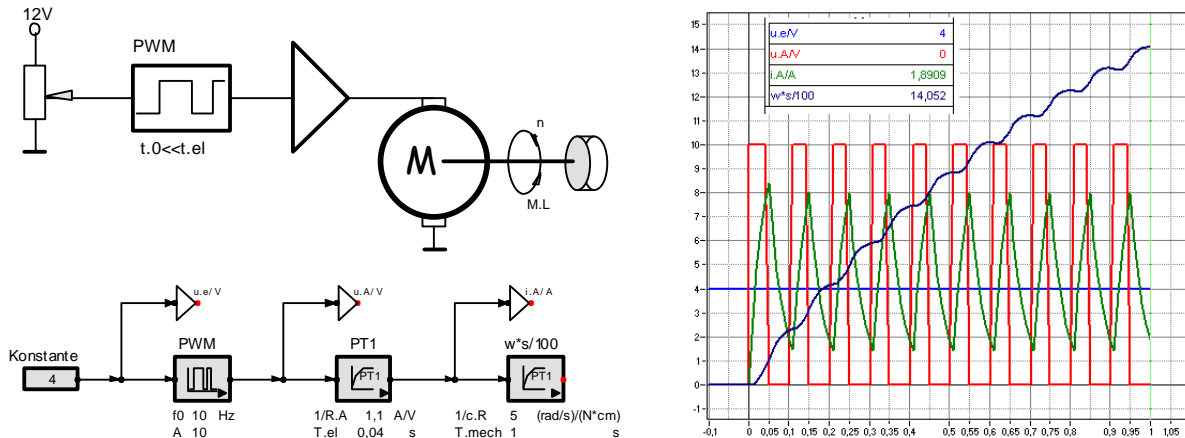


Abb. 5-29 Einstellung der Haftreibungs-Parameter in SimApp.

### Drehzahl-Steuerung mit Pulsbreiten-Modulator

Zur verlustarmen Realisierung der Strom-Steuerung verwenden wir einen Pulsbreiten-Modulator. Das ist ein Rechteck-Oszillator mit steuerbarem Tastverhältnis. Die Realisierung finden Sie im **Kapitel 7 Elektronik**.

#### Motor-Steuerung durch Pulsbreiten-Modulator



Struktur 5-14 Motor mit Pulsbreiten-Modulator ( PWM):

Der PWM schaltet die Ankerspannung in schneller Folge mit geringen Verlusten. Infolge der Trägheit des Motors stellt sich eine Drehzahl ein, die der mittleren Ankerspannung entspricht.

Die Oszillations-Frequenz  $f_0$  des PWM wird so hoch eingestellt, dass der Ankerkreis aus  $L, A$  und  $R, A$  den durch die schaltende Ankerspannung erzeugten Strom mittelt.

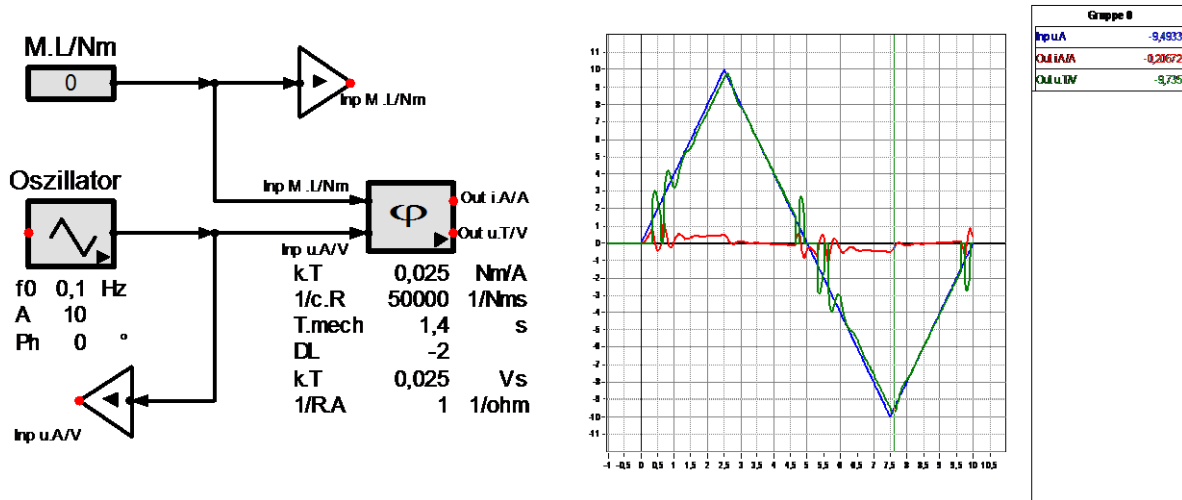
#### Zur PWM-Frequenz $f_0 = 1/t_0$ :

Damit der Ankerkreis den Ankerstrom mittelt, muss die Oszillator-Periode  $t_0$  klein gegen die elektrische Zeitkonstante  $T_A = L_A/R_A$  des Ankerkreises sein. Das ist der Fall, wenn  $t_0/2\pi < T_A$ , hier 0ms, ist. Wir wählen z.B.  $t_0/2\pi = 15ms$ . Dann wird  $t_0 = 0,1s$  und  $f_0 = 10Hz$ .

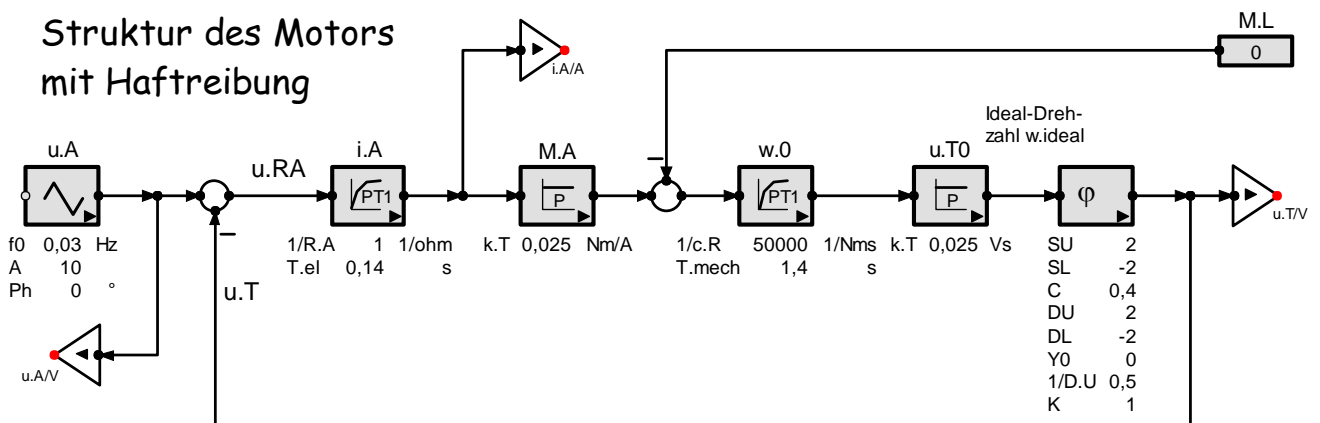
#### Simulation der Ansprech-Schwelle

Als Beispiel für das Verhalten des Reglers bei einer nichtlinearen Regelstrecke soll der Gleichstrom-Motor mit Ansprechschwelle durch Haftreibung dienen. Die Regelstrecke entnehmen wir dem Kapitel 5 Elektrische Maschinen:

## Spannungs-gesteuerter Motor mit Haftreibung

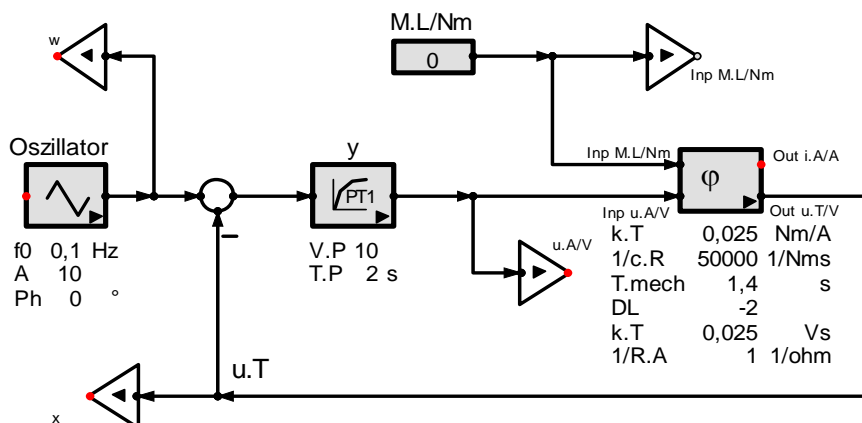


Struktur 5-15 Drehzahl-Steuerung mit Schwelle: Simulierte Drehzahlsteuerung eines Motors mit Haftreibung



Struktur 5-16 Gesteuerter Motor mit Haftreibung: Struktur

## P.T1-geregelter Motor mit Haftreibung



Struktur 5-17 Drehzahl-Regelung mit Schwelle: Drehzahlregelung eines Motors mit Haftreibung

Das **Nachlauf-Verhalten** eines geregelten Motors mit Haftreibung

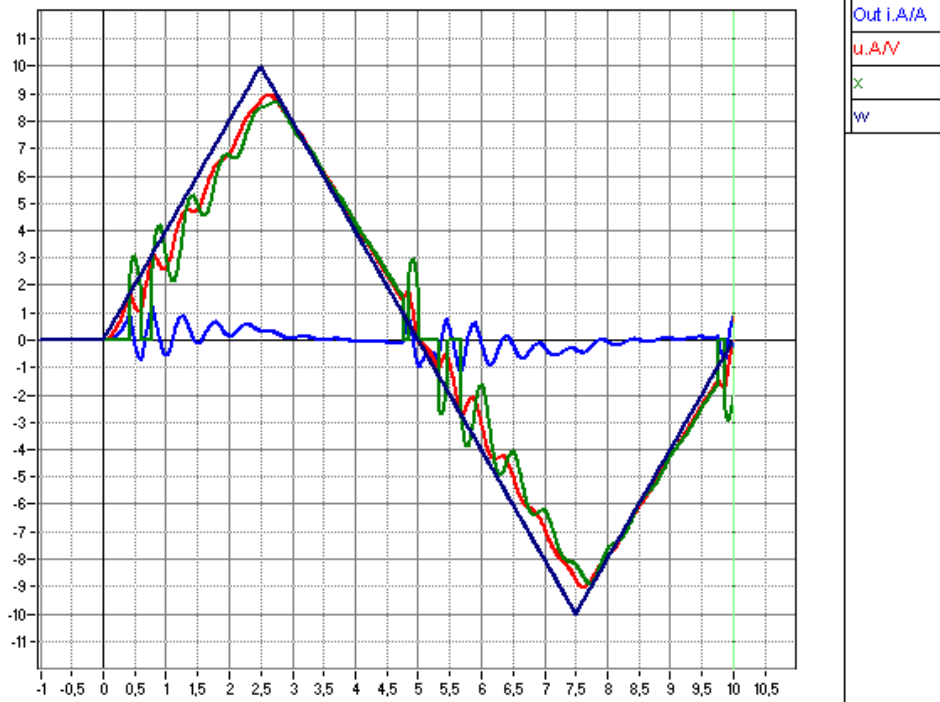


Abb. 5-30 Einregelung eines rampenförmigen Sollwerts beim Motor mit Haftreibung