

Site-Projekt P08 Schwebende Kugel
 Ausgabe 24. April 2009
 Abgabe 08. Mai 2009
 Bearbeiter: Euler Simon, Schaaf Matthias

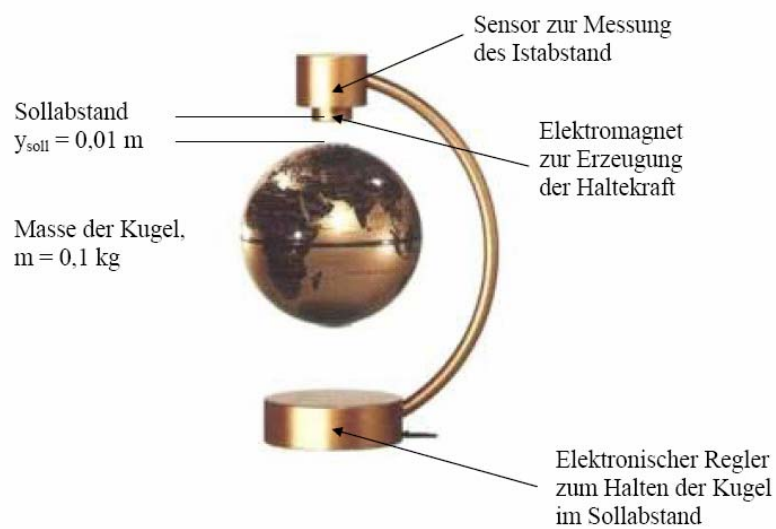
Objekt

Eine schwebende Kugel wird von

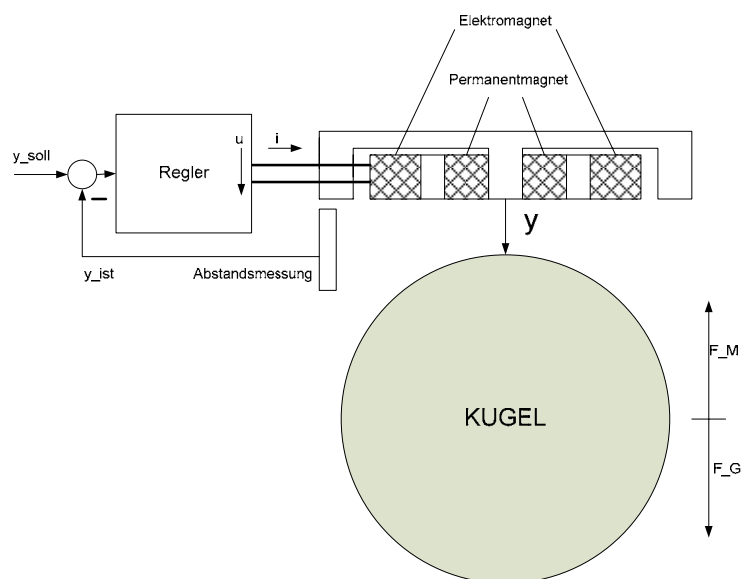
- einem Permanentmagneten
- und einem geregelten Elektromagneten

in der Schwebelage gehalten. Eine Lagemessung liefert den Abstand von den Magneten, der Lageregler hält die Kugel auf einer Sollposition und kann kleine Störungen ausregeln.

Ein Demonstrationsobjekt ist vorhanden und wurde in Meat vorgeführt.



Prinzipiskizze



Der Permanentmagnet alleine würde die Kugel in einem Abstand y_0 halten. Allerdings ist dies ein labiles Gleichgewicht zwischen Magnetkraft und Gewichtskraft.

Der zusätzliche, geregelte Elektromagnet ermöglicht ein stabiles Gleichgewicht im Abstand $y_{\text{soll}} = 2 \cdot y_0$. Der Regler erzeugt die Spannung u , die Wicklung hat einen Widerstand R . Der daraus resultierende Strom i erzeugt die elektromagnetische Haltekraft.

Ein Magnetfeldsensor (in der Kugel ist ein Permanentmagnet) misst die Schwebehöhe y . Die Regelstrecke ist nichtlinear und extrem instabil, die Anforderungen an den Regler sind hoch. Als Reglertyp wird ein PID-T1-Regler verwendet.

Zusammenstellung der Systemgleichungen und Daten

Kugelgewichtskraft

$$(1) \quad F_G = m \cdot g$$

Masse der Kugel

$$m = 0,1 \text{ kg}$$

Erdbeschleunigung

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Die angenäherte, gesamte Magnetkraft im Regelbereich ist

$$(2) \quad F_M = F_{M1} + F_{M2}$$

mit der wegabhängigen Kraft des Permanentmagneten

$$(3) \quad F_{M1} = a \cdot e^{-b \cdot y}$$

und der weg- und stromabhängigen Kraft des Elektromagneten

$$(4) \quad F_{M2} = c \cdot e^{-b \cdot y} \cdot i.$$

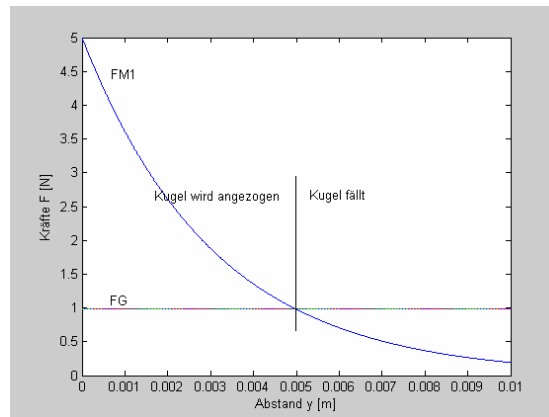
Die Parameter in (3) und (4) sind:

$$a = 5 \text{ N}$$

$$b = 325,7 \frac{1}{\text{m}}$$

$$c = 2500 \frac{\text{N}}{\text{A}}$$

Das labile Gleichgewicht liegt bei dem Abstand $y_0 = 0,005 \text{ m}$, hier ist $F_G = F_{M1}$, das kann in einem Diagramm anschaulich gemacht werden.



Da der Reglerausgang u dynamisch ist, erzeugt die Induktivität des Elektromagneten eine Verzögerung im Spulenstrom i

$$(5) \quad T_1 \cdot \frac{di}{dt} + i = -\frac{1}{R} \cdot u$$

mit der Zeitkonstante

$$T_1 = 0,002 \text{ sec und } R = 10 \Omega .$$

Beachte: Das Minuszeichen in (5) bewirkt, dass bei zu großem Abstand $y > y_{soll}$, also $e < 0$ der Haltestrom i erhöht wird.

Die Bewegungsgleichung der Kugel im Bereich $y \in [0, y_{soll}]$ lautet

$$(6) \quad m \cdot \ddot{y}(t) = F_G - F_M(t)$$

unter der Verwendung der Gln. (1),(2),(3).

Als Regler wird ein PID-T1-Regler eingesetzt mit der Übertragungsfunktion

$$(7) \quad G_R = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{T_R s^2 + s}$$

mit der Reglerzeitkonstante $T_R = 1 \text{ m sec}$ und ansonsten noch nicht bekannten Parametern.

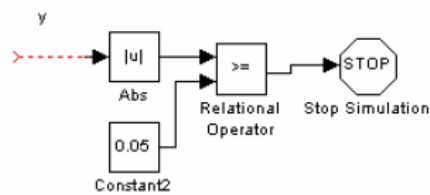
Die Reglerparameter K_P , K_I , K_D sind im Rahmen der Simulationsstudie zu ermitteln und ihre Eignung nachzuweisen.

Der Test kann z. B. dadurch erfolgen, dass

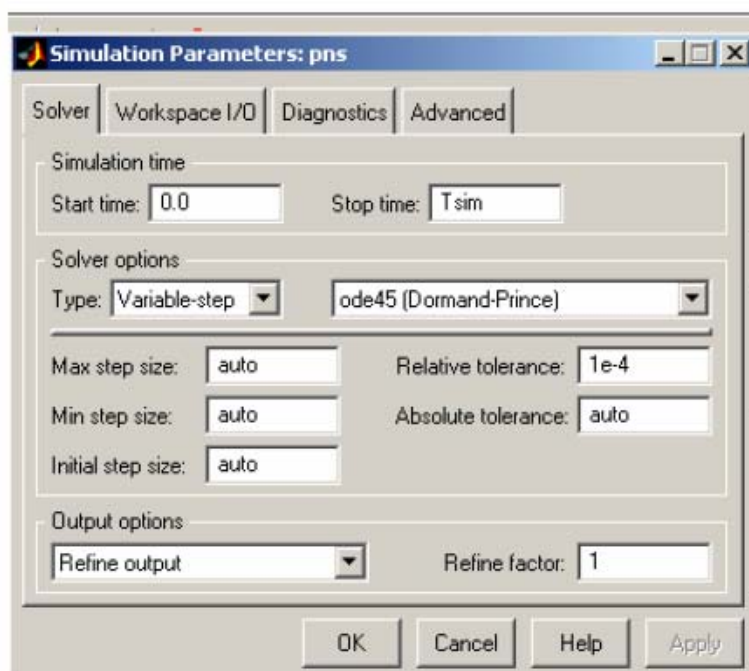
1. die Kugel bei $y_{soll} = 0,01 \text{ m}$ gehalten wird
2. kleine Anfangsauslenkungen wie z.B. $y(0) = y_{soll} \pm 2 \text{ mm}$ ausgeregelt werden.
3. kleine, Kraftstöße abgefangen werden.

Hinweise

1. Die Simulation ist mit unten stehender Struktur zu stoppen, wenn die Kugel wegfliegt, bzw. 5 cm vom Sollwert weg ist.



2. Die erwähnten Kraftstöße können durch Erhöhung der Kugelmasse um z. B. 10 % nach einer gewissen Zeit (z.B. 1 Sek.) erfolgen.
3. Die Einstellung der Simulationsparameter sollte, wie unten angegeben, erfolgen.



Anmerkungen zur Projektausarbeitung

- Der Umfang der Projektdokumentation soll 10 Seiten nicht überschreiten.
- Die Dokumentation soll folgende Teile enthalten
 - Erläuterung des Modellaufbaus und der Simulationsstruktur
 - kommentierte Matlab-Dateien (m-files)
 - übersichtliche Simulink-Blockstrukturen (mdl-files)
 - beschriftete Diagramme
 - Erläuterungen zu den Simulationsergebnissen.
- Die Dateien zur Dokumentation und Simulation werden in den Gruppenordner in einem eigenen Projektverzeichnis abgelegt.