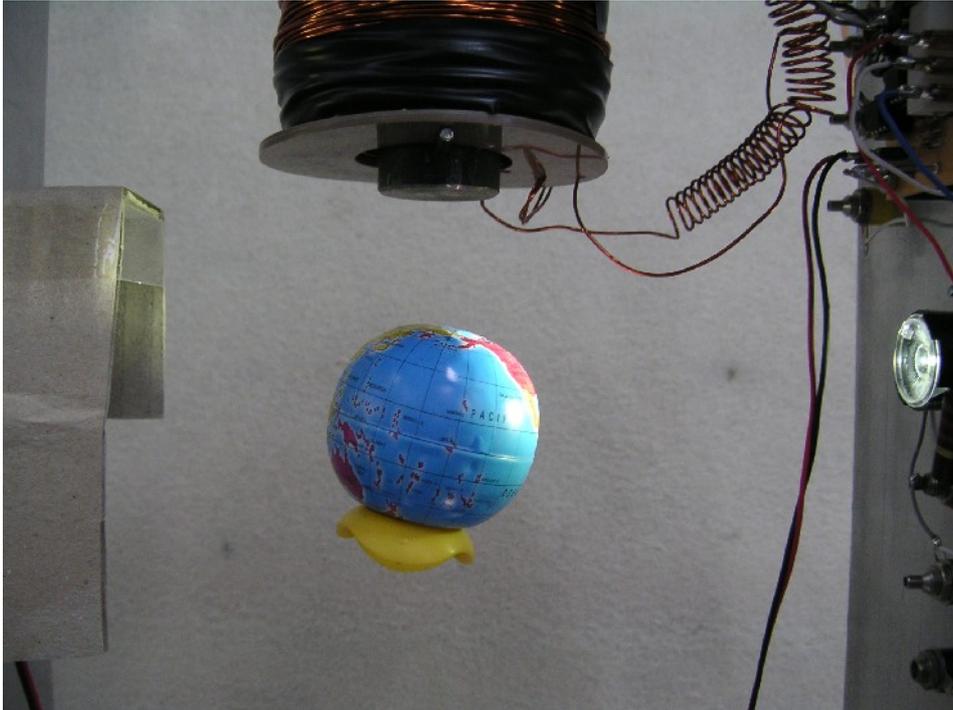


Die schwebende Kugel



Einführung

Dieses Bild ist keine Fotomontage, es gibt keine versteckte Aufhängung, die Kugel schwebt tatsächlich frei in der Luft!

Was ist der Trick dabei?

Richtig, es ist nicht schwer zu erraten: die Kugel wird von einem Magneten angezogen und in dieser Position gehalten.

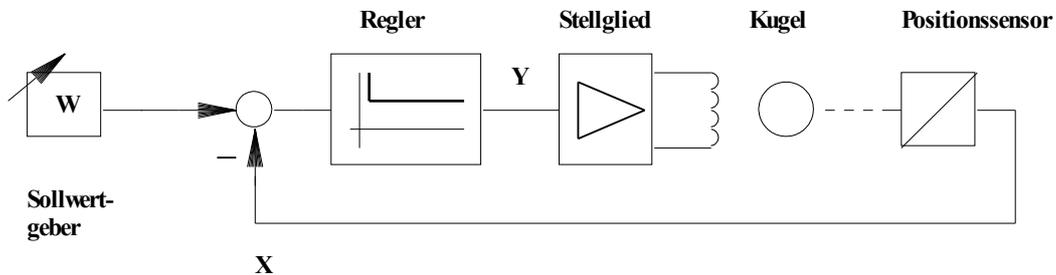
Also alles ganz einfach? Wir brauchen ja nur ein Gleichgewicht der Kräfte zwischen Magnetkraft und Schwerkraft.

Ganz so einfach nicht! Denn das Ganze ist in einem instabilen Gleichgewicht und es ist eine elektronische Regelung nötig um dieses prekäre Gleichgewicht zu erhalten.

Wenn sich nämlich die Kugel nur um Bruchteile von Millimetern nach unten bewegt, nimmt die magnetische Kraft ab und die Schwerkraft überwiegt. Hierdurch wird die Kugel noch weiter nach unten gezogen, wodurch die Magnetkraft noch schwächer wird usw. bis die Kugel am Boden liegt. Ähnliches passiert, nur umgekehrt, wenn die Kugel sich ein klein wenig zu sehr nach oben bewegt. Wir haben es hier mit einer Mitkopplung zu tun, die das Ganze von Natur aus instabil macht. Und deswegen ist es auch nicht egal mit welchem Regler wir arbeiten und wie wir ihn einstellen.

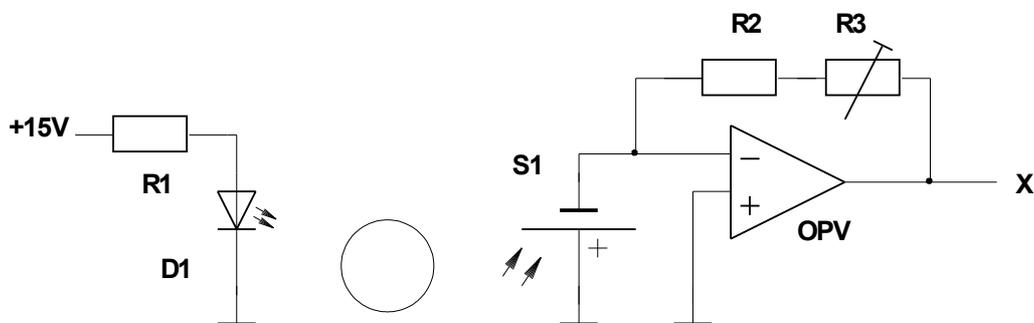
Schaltungen

Der Aufbau muss einen Sensor zur Bestimmung der Position (Istwert), einen Sollwertgeber, einen Regler und ein Stellglied zum Einstellen des Magnetfeldes haben.



a) Positionssensor

Zur Positionserfassung wird am einfachsten eine kleine Solarzelle benutzt. Diese wird durch den Schatten der Kugel mehr oder weniger abgedunkelt und liefert so einen unterschiedlichen Kurzschlussstrom. Die Beleuchtung erfolgt mit einer 1W-Luxeon-LED oder einem Lämpchen. Zur Wandlung des Kurzschlussstromes in eine Spannung wird ein Strom-Spannungswandler mit OPV benutzt:



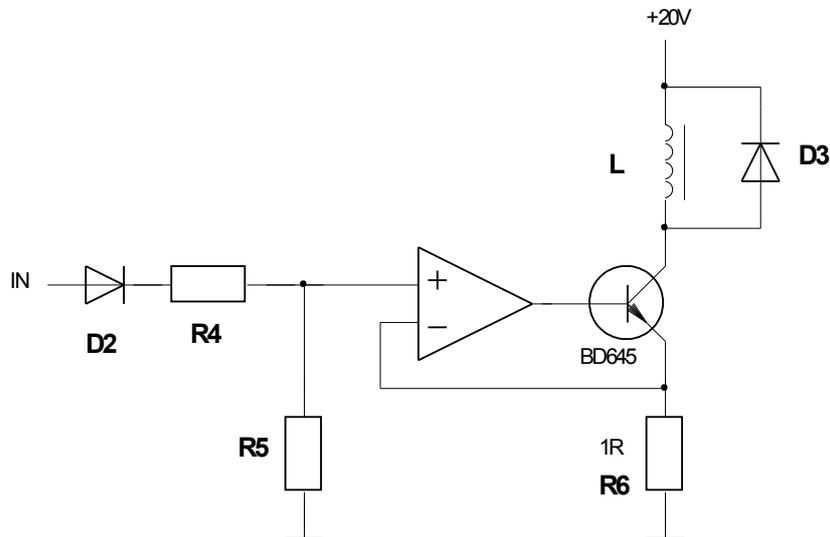
R1 = 68Ω
R2 = 10kΩ
R3 = 47kΩ

D1 = Luxeon LED 1W weiss
S1 = Solarzelle 10*30mm²
OPV = TL081

Mit R3 kann die Empfindlichkeit abgeglichen werden.

b) Stellglied und Spule

Die Spule hat 2000 Windungen, die auf einen Eisenkern gewickelt sind.
Als Stellglied wird ein Spannungs-Strom-Wandler benutzt. Da der Strom wegen der Induktivität immer nacheilend gegenüber der Spannung ist, bringt es einen Vorteil, den Strom schon zu regeln und so eine schnellere Reaktion zu erreichen (Kaskadenregelung).



D2 = 1N4148

D3 = 1N4007

T1 = BD645

R4 = 4K7

R5 = 1K

R6 = 1Ω

OPV2 = TL081

Der OPV regelt den Strom so, dass die Spannung am N-Eingang gleich der Spannung am P-Eingang ist. 1V am P-Eingang entspricht also 1A Spulenstrom.

Dies ist eigentlich schon zu empfindlich, so dass ein Spannungsteiler mit R4, R5 vorgeschaltet wird.

D2 sorgt dafür, dass die Spule nur bei positiver Eingangsspannung Y magnetisiert wird. (Y negativ würde ja bedeuten, dass das Magnetfeld geschwächt werden soll).

c) Sollwertgeber und Regler

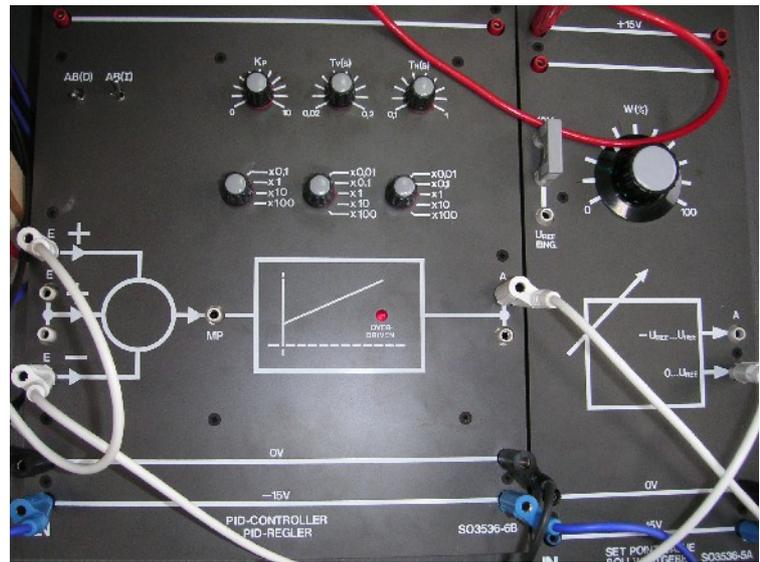
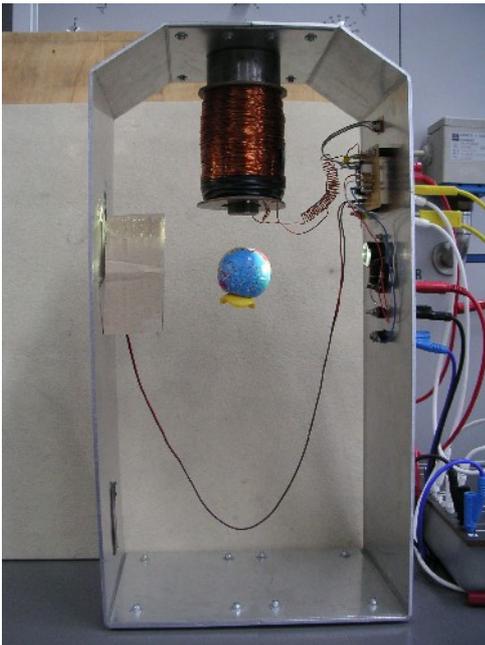
Hier wurden zunächst Sollwertgeber und Regler der Firma Lucas-Nülle verwendet.

Zur Einstellung des Sollwertes genügt selbstverständlich auch ein einfaches Potenziometer. Ein günstiger Wert ist etwa $W = 1$ bis $4V$.

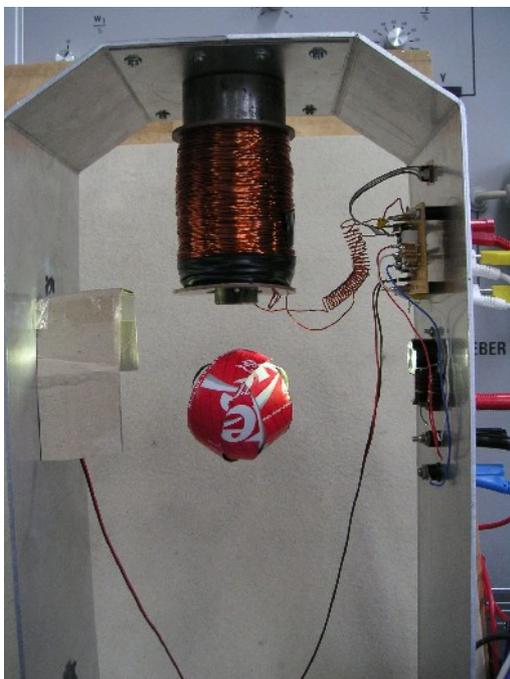
Der Regler wurde als PD-Regler mit $K_p = 0,7$ und $T_v = 50ms$ betrieben.

Diese Werte sind mit einiger Toleranz behaftet da die Skalen sehr ungenau sind.

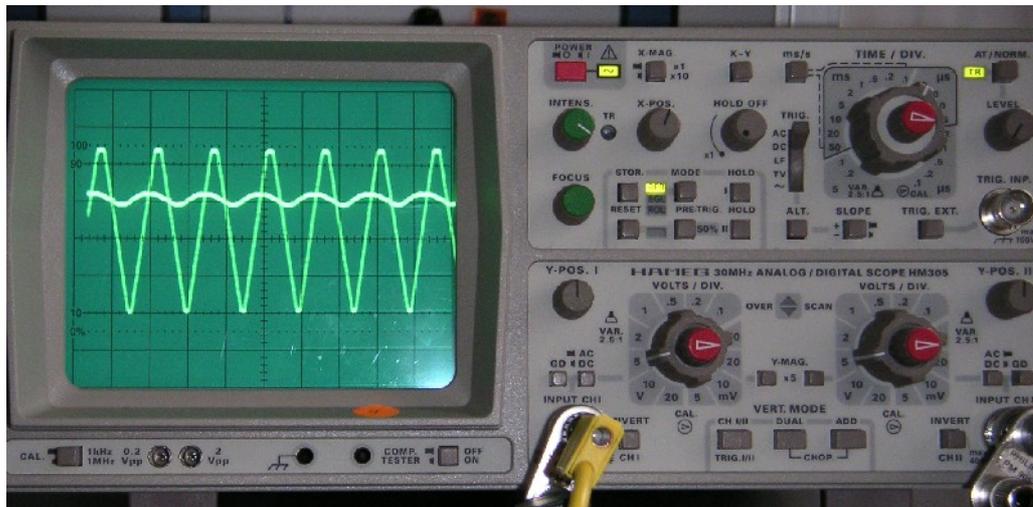
Später soll ein eigener Regler für die Kugel gebaut werden.



Der ganze Aufbau und der verwendete Regler



Es geht auch mit anderen Kugeln (nur magnetisch müssen sie sein und nicht zu schwer)!



Ein Blick auf das Oszilloskop offenbart, dass nicht alles so ruhig zugeht: der Regler ist in dauernder Schwingung (grosse Kurve = Stellgrösse, kleine Kurve = Positionssignal)

Literatur:

- [1] Zirpel: Operationsverstärker
Franzsisverlag
- [2] http://www.positron.ch/peter/diplomarbeit/1996_diplomarbeit_dokumentation.pdf