

Projekt: Magnetische Levitation

Die im Folgenden beschriebene Schaltung basiert auf einem Projekt von *Andreas Titze* und kann auf dessen Website unter

<http://www.bis0uhr.de>

heruntergeladen werden. Dort finden sich auch weitere Medien zur Funktion des magnetischen Levitrons. Der vorliegende Schaltplan in Abb. 2 beschreibt einen einfachen Regelkreis mit einer Hallsonde als *Sensor* und einem Elektromagneten als *Aktor*. Ziel des Aufbaus ist es, einen kleinen Neodymmagneten in der Schwebe zu halten, indem dieser von der Spule mit Eisenkern (Elektromagnet) angezogen und dessen Abstand zur Spule mit Hilfe der Hallsonde gemessen wird. Dieses Prinzip wird gemeinhin als **“magnetische Levitation”** bezeichnet. Für entsprechende Vorrichtungen hat sich die (auch als Produktname verwendete) Bezeichnung **“Levitron”** etabliert.

Funktionsbeschreibung

Der schematische Aufbau in Abb. 1 gibt Aufschluss über die Funktionsweise des Levitrons:

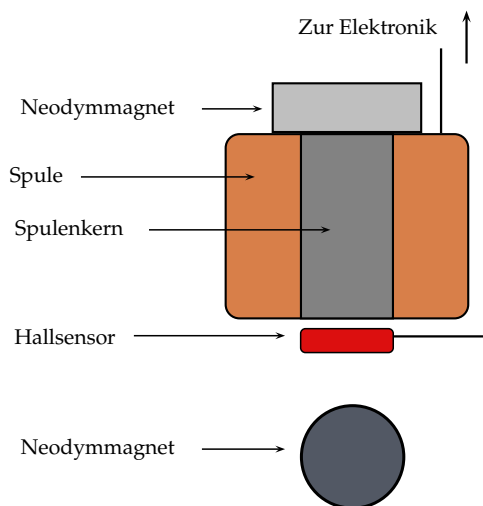


Abbildung 1: Schematischer Aufbau.

Der ferromagnetische Spulenkern erhält durch den oben angebrachten Neodymmagneten eine Grundmagnetisierung, die durch das in der Spule erzeugte B-Feld in gewissen Grenzen variiert werden kann. Der unter der Spule befindliche Neodymmagnet wird vom Magnetfeld der Spule und des Eisenkerns angezogen. Der Hallsensor überwacht die magnetische Flussdichte am unteren Ende der Spule und ist damit in der Lage die Position des Magneten unter der Spule zu bestimmen. Nähert sich dieser der Spule veranlasst das Signal des Hallensors die Elektronik zur Drosselung des Spulenstromes. Auf Grund des nun schwächeren Magnetfeldes “fällt” der Magnet nach unten und verringert die magnetische Flussdichte am Hallsensor. Dessen Signal führt zu einer Erhöhung des Spulenstromes und damit zu einer erneuten Beschleunigung des Magneten nach oben.

Wird die Schaltung mit Hilfe des Potentiometers R2 korrekt justiert führt dieser Zyklus zu einem stabil unter der Spule schwebenden Magneten.

Die Schaltung selbst (Abb. 2) gliedert sich in drei funktional unterschiedlichen Abschnitte. Der linke Teil (IC1 und Beschaltung) stellt eine stabilisierte Spannung von $U_{stab} = 5V$ zur Verfügung, die Differenzverstärker und Hallsensor als Referenzspannung nutzen. Der mittlere Teil (IC4 und Beschaltung, Hallsensor) besteht aus einem *Hallsensor* dessen Signal mittels *Differenzverstärker* ausgewertet wird und über den rechten Abschnitt der Schaltung (T1 und Spule L1) die Lage des Magneten beeinflusst. Die Schaltung wird mit $U_0 = 15V$ betrieben und belastet die Spannungsquelle bei schwebendem Magneten (abhängig von der Spule) mit weniger als 100mA.

Schaltplan und Teileliste

Der Schaltplan der Steuerelektronik ist in Abb. 2 dargestellt. Die benötigten Bauteile werden in Tabelle 1 gelistet. Sie können weitgehend über die einschlägigen Elektronikhändler (Conrad, Reichelt, ELV usw.) bezogen werden. Da eine passende Spule mit ferromagnetischem Kern selten in den Sortimenten zu finden ist, muss diese u.U. selbst gewickelt werden.

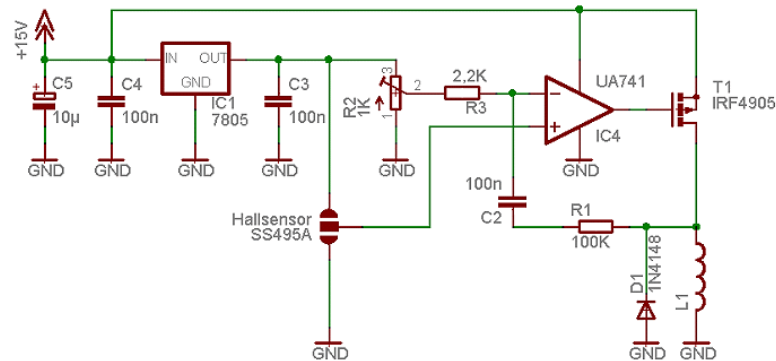


Abbildung 2: Schaltplan mit stabilisierter Spannungsversorgung (links), Regelkreis (mitte) und Leistungsstufe (rechts) (Quelle: <http://www.bis0uhr.de>).

Bemerkungen

- Da die hier vorgestellte Schaltung **keine Strombegrenzung** enthält führt die Rückkopplung bei *entferntem* Magneten zu einem starken Anstieg des Stromes durch die Spule. Um die Zerstörung der Spule und des MOSFETs zu verhindern muss die Eingangsspannung von $U_0 = 15V$ mit einer **Strombegrenzung** von $I_{max} \leq 500mA$ belegt sein (Labornetzteil benutzen!).
- Lage und Entfernung des in Abb. 1 schematisch eingezeichneten **Hallsensors** haben große Auswirkung auf die Stabilität der Kugel. Die optimale Position muss durch Ausprobieren ermittelt werden.

Nr.	Beschreibung	Bezeichnung/Typ	Menge	Code
1	Kohleschichtwiderstand	100K	1	R1
2	Kohleschichtwiderstand	2.2K	1	R3
3	Potentiometer	1K	1	R2
4	Elektrolytkondensator	10µF	1	C5
5	Keramikkondensator	100nF	3	C2,C3,C4
6	Schaltodiode	1N4148	1	D1
7	Operationsverstärker ¹	UA741	1	IC4
8	Leistungs-MOSFET	IRF4905	1	T1
9	Spannungsregler	µA7805	1	IC1
10	Hallsensor ²	SS495A	1	Hall
11	Litze	isoliert, $I_{max} \geq 500mA$	~ 4m	
12	Spulenkörper ³	$\varnothing_A \times H \approx (32 \times 32)mm$, $\varnothing_I \approx 12mm$	1	L1
13	Spulenkern ³	passend, ferromagnetisch	1	L1
14	Lackdraht ³	D0.35mm	passend	L1
15	Neodymmagnet Kugel ⁴	$\varnothing \approx 12mm$	1	
16	Neodymmagnet Zylinder ⁴	$\varnothing \approx 15mm$	1	

Tabelle 1: Teileliste (Bemerkungen siehe Fußnoten).

¹Alternativ kann der LM348 verwendet werden. Dieser stellt vier UA741 zur Verfügung.

²Der SS495A ist z.B. bei <http://www.conrad.de> erhältlich.

³Die Abmessungen der Spule sind nicht kritisch, sollten die angegebenen Maße aber nicht unterschreiten.

⁴Wie groß die Magnete sein müssen um stabil zu schweben muss u.U. experimentell ermittelt werden. Erhältlich sind die benötigten Neodymmagnete z.b. bei <http://www.magnetladen.de>