

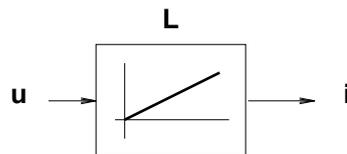
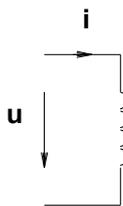
Simulation von Induktivitäten in BORIS (WINFACT)

Will man ein Schaltnetzteil inklusive Regelung simulieren, um Stabilitätsuntersuchungen zu machen, bietet sich BORIS (WINFACT) an.

Etwas ungewöhnlich ist allerdings die Simulation elektronischer Bauteile mit Hilfe eines Blockschaltbildes, gezeigt hier am Beispiel einer Spule.

Für alle weiteren Betrachtungen soll die Eingangsgröße die Spulenspannung und die Ausgangsgröße der Spulenstrom sein.

Ideale Induktivitäten



$$u = L \cdot \frac{di}{dt}$$

$$i = \frac{1}{L} \int_0^t u \cdot dt + I_0$$

I_0 = Anfangswert

Als „Integrierzeit“ wird die Induktivität der Spule angegeben. (Dies ist natürlich keine Zeit, sondern etwas mit der Einheit Vs/A. BORIS interpretiert den Kehrwert dieses Wertes als Integrationskonstante).

Würde man eine stromdurchflossene ideale Spule kurzschliessen, so wäre die Spannung null, der Strom würde aber weiterfließen. Das Blockschaltbild hat die gleiche Eigenart, wenn am Eingang des Integrators null anliegt, behält der Ausgang seinen letzten Wert.

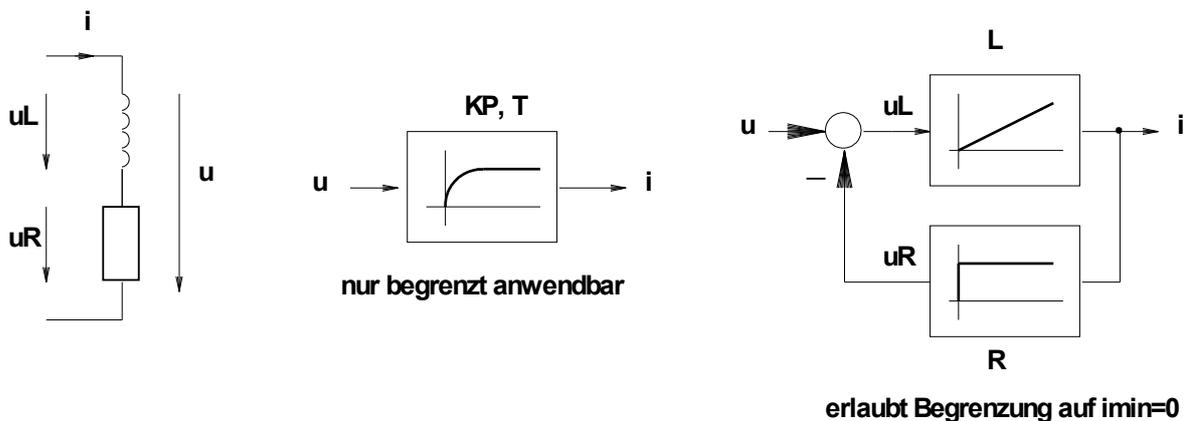
Dieses Bestreben des induktiven Stromes, sich nicht zu ändern, ist als Lenz'sche Regel bekannt.

Wichtig:

Je nach Anwendung muss das Integrierglied mit einer Begrenzung benutzt werden.

In Schaltnetzteilen wird die Spule in der Phase des ansteigenden Stromes mit Energie „geladen“, diese wird dann bei abfallendem Strom wieder abgegeben. Ohne **Begrenzung des I-Gliedes auf $I_{\min} = 0$** würde der Strom in der Simulation null und dann negativ werden. Dies ist falsch, denn wenn die Spule „entladen“ ist, kann kein Strom mehr fließen.

Verlustbehaftete Induktivitäten



a) mit PT1-Glied

Die einfachste Idee geht davon aus, dass die Reihenschaltung von L und R ein PT1-Verhalten hat.

Die Zeitkonstante ist dabei $T = \frac{L}{R}$, der Proportionalitätsbeiwert $K_P = \left(\frac{i}{u}\right)_{t \rightarrow \infty} = \frac{1}{R}$

Allerdings gibt es dann keine Möglichkeit zur Begrenzung des Stromes auf $I_{\min} = 0$, mit den Problemen wie oben beschrieben. Das PT1-Glied kann also nur benutzt werden, wenn dieses Problem nicht auftritt.

b) mit gegengekoppeltem I-Glied

Ein etwas aufwendigeres Modell benutzt einen gegengekoppelten Integrator (mit der Möglichkeit der Begrenzung).

Wir haben für die ideale Spule des Ersatzschaltbildes die gleichen Beziehungen wie oben,

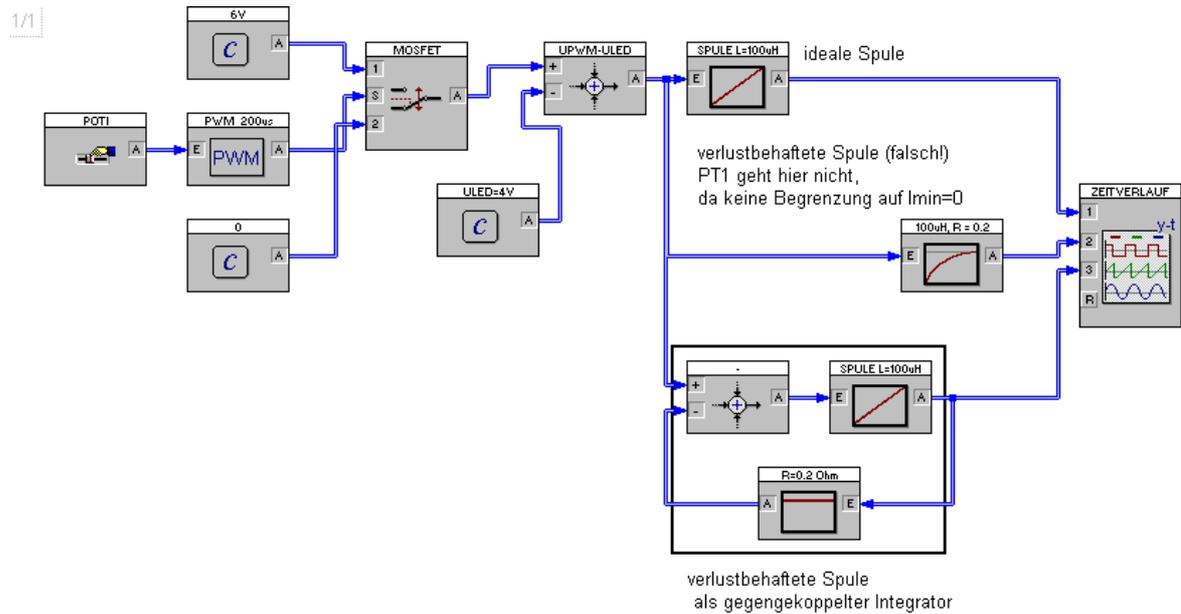
$$\text{d.h. } u_L = L \cdot \frac{di}{dt} \quad \text{bzw.} \quad i = \frac{1}{L} \int_0^t u_L \cdot dt + I_0$$

Allerdings wird wegen dem Spannungsabfall am Widerstand die wirksame Spulenspannung kleiner:

$$u_L = u - u_R = u - R \cdot i$$

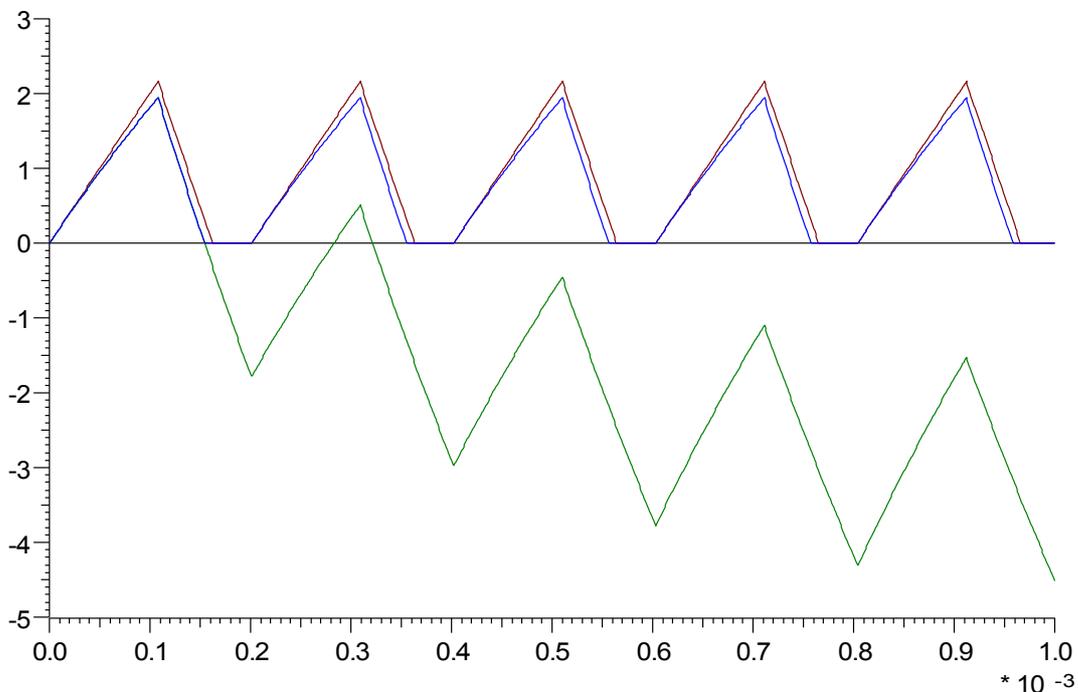
Dies ist durch den Subtrahierer und den P0-Block im Ersatzschaltbild dargestellt (Gegenkopplung!).

Anwendungsbeispiel: PWM-gesteuertes Schaltnetzteil für LED (ohne Regelung)



Es sollen die Stromverläufe bei idealer und bei verlustbehafteter Spule verglichen werden. So kann z.B. die Wirkung der Spulenverluste auf den Wirkungsgrad des Netzteils untersucht werden.

Die Werte in der Simulation waren: $L = 100\mu\text{H}$, $R = 0.2\Omega$.



Die untere Kurve (PT1) zeigt erwartungsgemäss ein falsches Ergebnis. Interessanterweise wirkt die verlustbehaftete Kurve (blau) noch recht linear, die Verluste äussern sich aber in einem niedrigeren Maximalwert und in einer kürzeren Stromflusszeit.

Mit den besprochenen Modellen sollte es möglich sein, Schaltnetzteile inklusive Regelung zu modellieren.