

## EL2-Praktikum #05: Schaltvorgänge an der Spule

In diesem Praktikum werden Schaltvorgänge an der Spule gemäss der Schaltung nach Abbildung 1 untersucht.

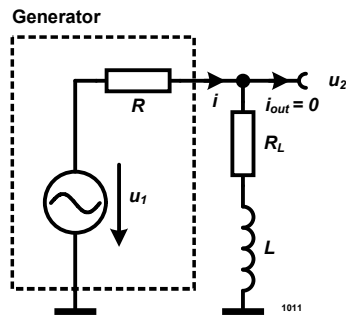


Abbildung 1. RL-Schaltung.

Der Maschensatz angewendet auf diese Schaltung führt auf

$$-u_1 + u_R + u_{R_L} + u_L = 0$$

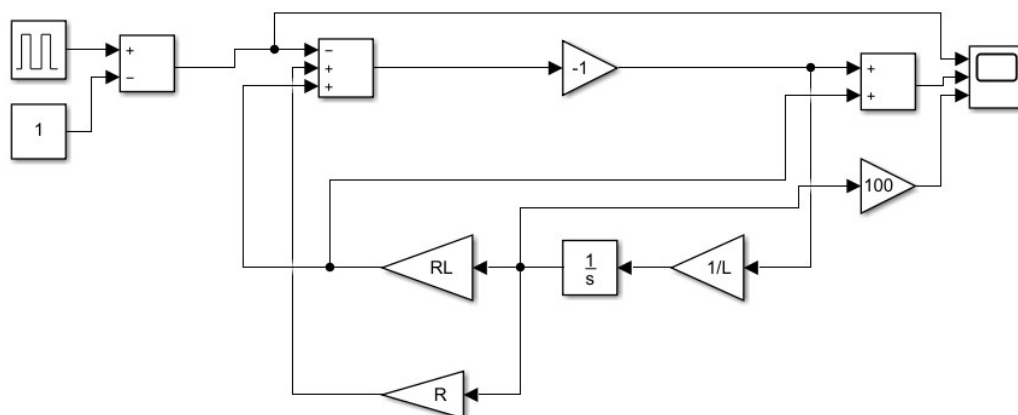
mit  $u_R = R \cdot i$  und  $u_{R_L} = R_L \cdot i$  ergibt sich

$$-u_1 + R \cdot i + R_L \cdot i + u_L = 0.$$

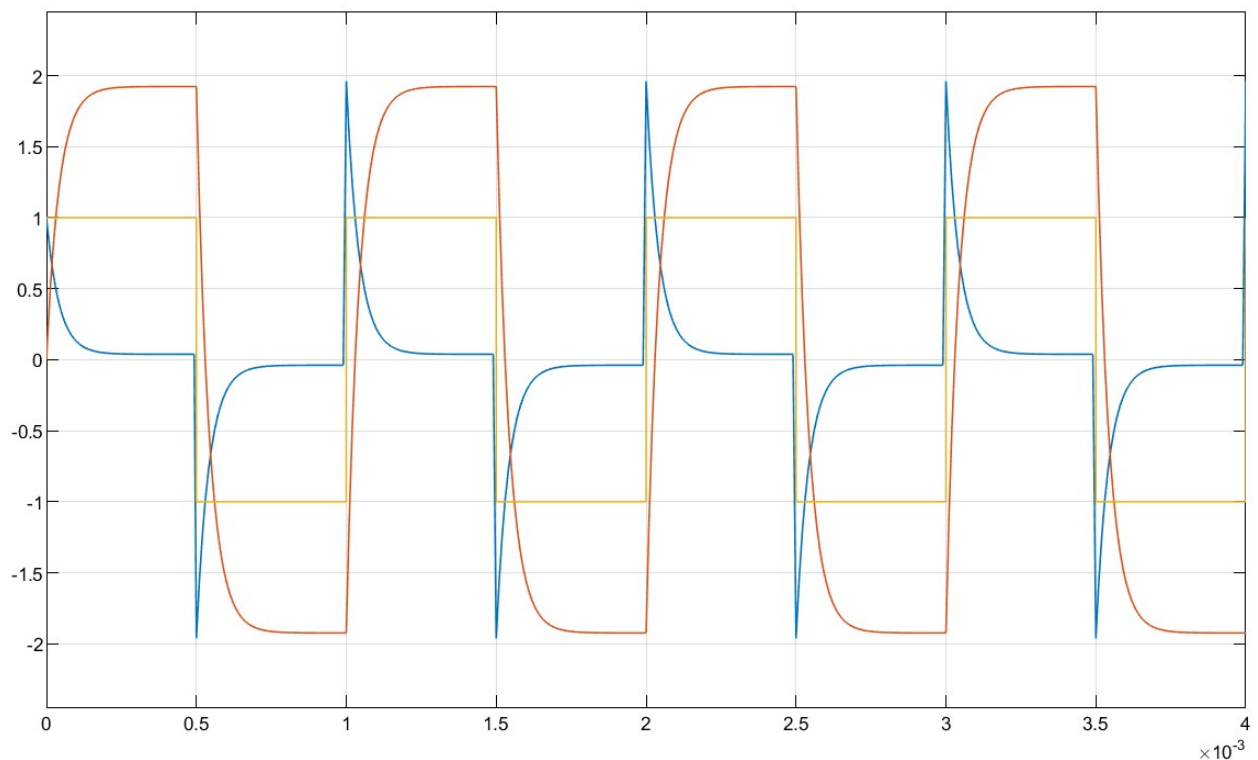
Mit  $i = \frac{1}{L} \int u_L dt$  folgt

$$-u_1 + R \cdot \frac{1}{L} \int u_L dt + R_L \cdot \frac{1}{L} \int u_L dt + u_L = 0.$$

Diese Gleichung kann wie folgt in ein Simulink-Modell umgesetzt werden, mit einer symmetrischen Pulsquelle als Anregung:



Vor der Integration wird dabei zunächst mit  $1/L$  multipliziert, damit entspricht der Ausgang des Integrator-Blockes dem Spulenstrom  $i$ . Somit kann, bei Bedarf, ein Anfangs-Spulenstrom im Integratorblock vorgegeben werden. Die Simulation führt mit einem symmetrischen Rechtecksignal, Frequenz 1 kHz (d.h. Periode 0.001 s, Pulsbreite 50 %), 2 V<sub>Spitze-Spitze</sub> (im Puls-Block wird dies Amplitude genannt), kein DC-Offset des Generators auf die Spannungsverläufe auf der folgenden Seite.



Sichtbar ist der Pulsverlauf der Anregung, der Spulenstrom (mit Faktor 100 multipliziert zwecks Darstellung im gleichen Diagramm) und die Spulenspannung mit Spannungsspitzen fast doppelt so hoch wie die Pulsamplitude.

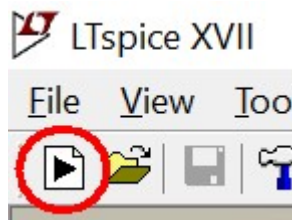
### Vorbereitende theoretische Aufgaben

1. Erklären Sie, wie der Verlauf der Spulenspannung zustande kommt, insbesondere, wie es möglich ist, dass die Spannung an der Spule höher als die Generatorspannung ( $\pm 1$  V maximal) sein kann.
2. Erklären Sie, weshalb die Spannungsspitzen nicht genau bis zur doppelten Pulsamplitude reichen.
3. Bauen Sie das Simulink-Modell nach und erzeugen Sie das obenstehende Zeitdiagramm.

### Messaufgaben – Tutorial LTspice

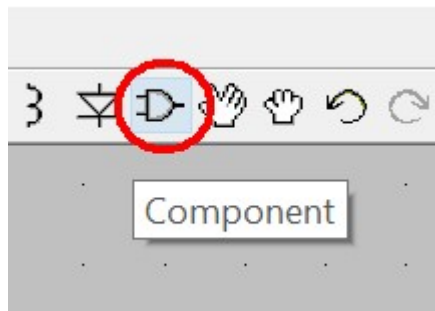
Wegen gesperrtem Praktikumsraum werden die Messaufgaben simuliert. Gehen Sie dazu wie folgt vor:

1. Installieren Sie LTspice ab <https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html#>
2. Starten Sie LTspice und öffnen Sie ein neues Schemablatt:

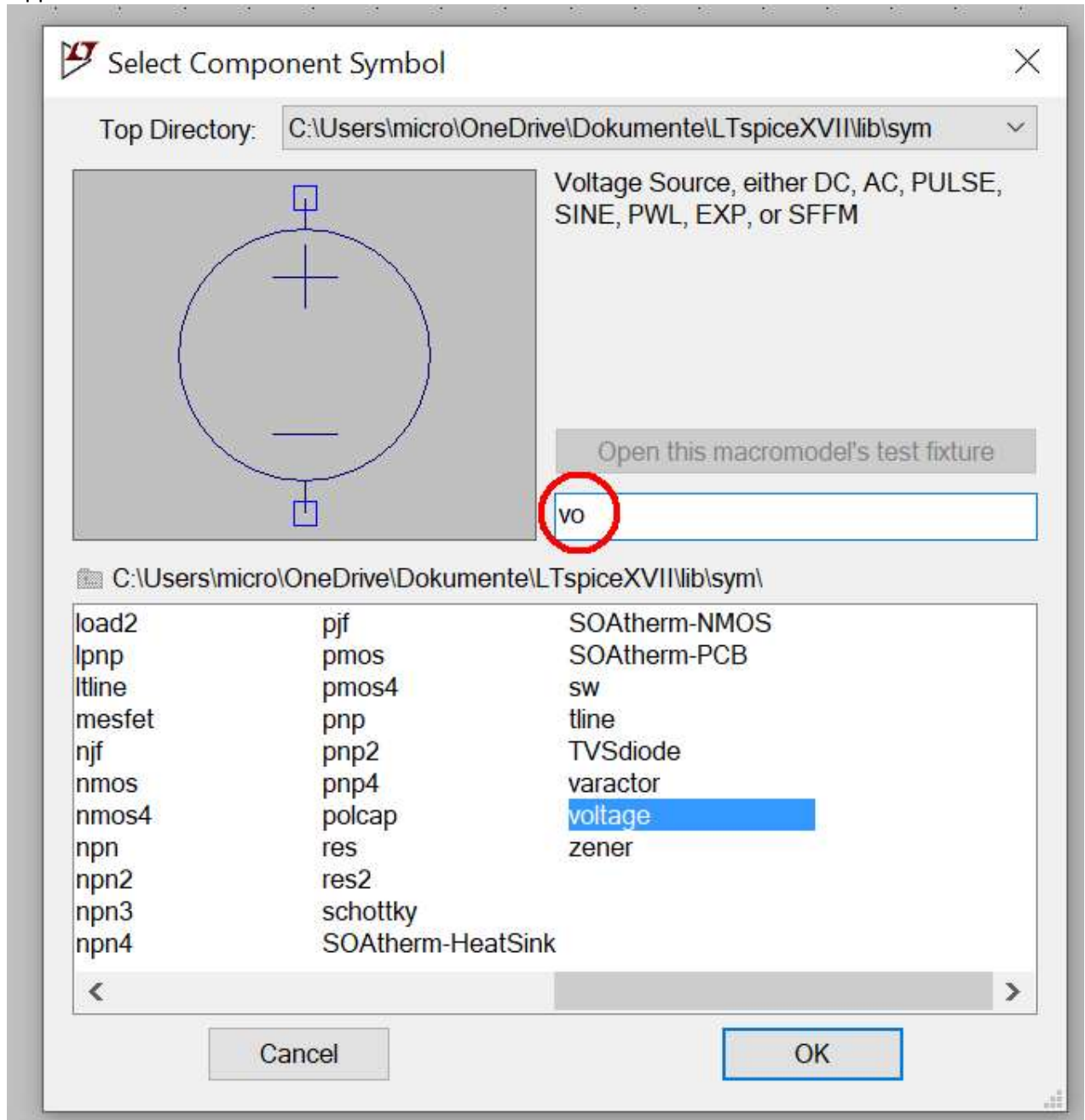


3. Speichern Sie das neue Schema über «File/Save As» an einem geeigneten Ort, dabei müssen Sie den Namen und die .asc Endung angeben, z.B. «Praktikum\_05.asc»

4. Gehen Sie auf

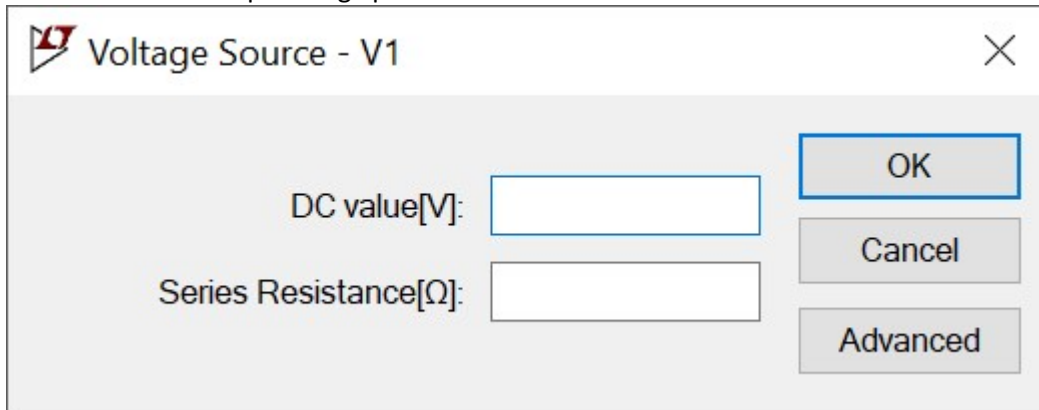


5. Tippen Sie «vo» im bezeichneten Feld:

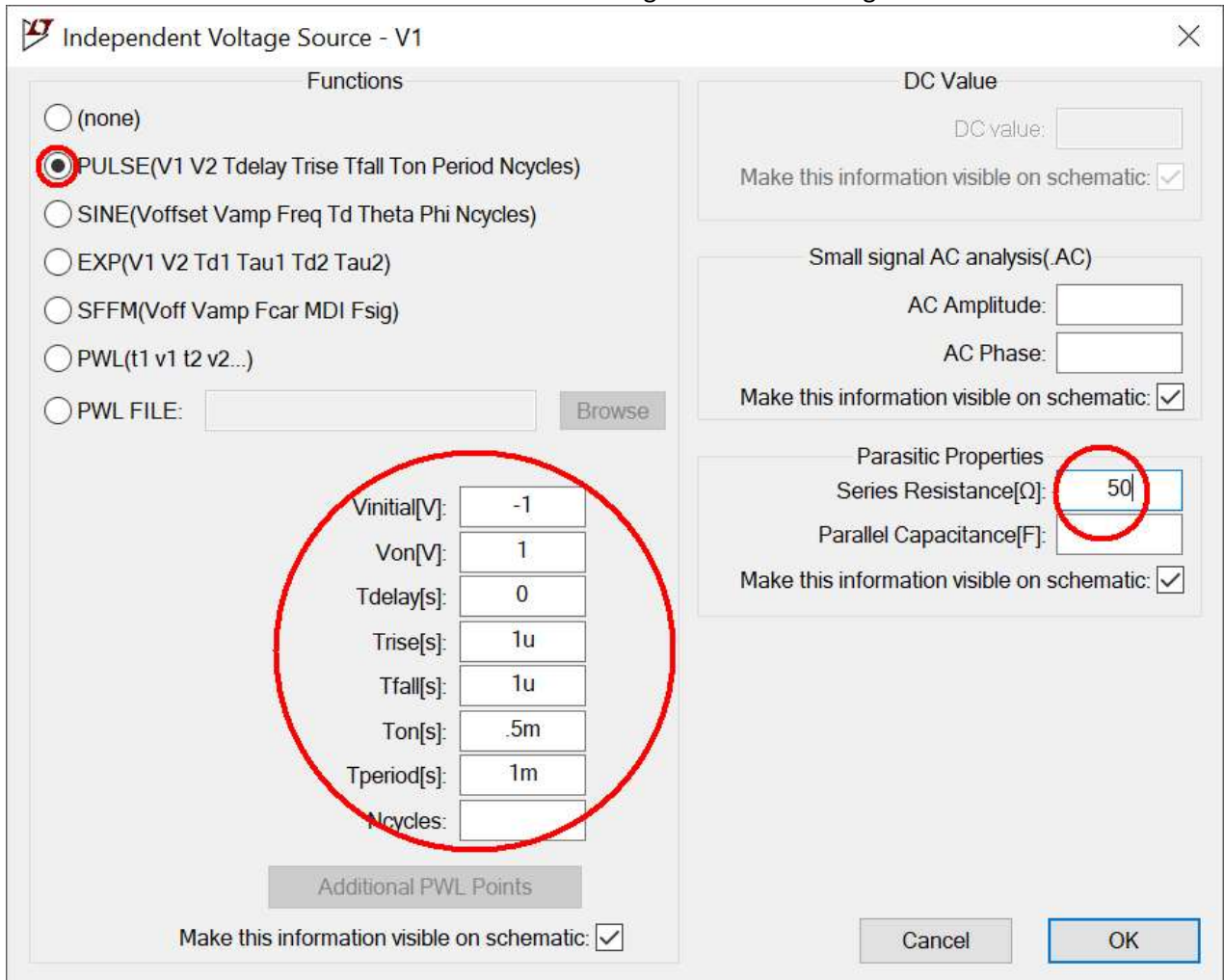


6. Klicken Sie auf «OK», platzieren Sie die Spannungsquelle mitten auf dem Schema durch einen weiteren Klick. Beenden Sie den Modus mit der Taste «Esc».

7. Rechtsklick auf die Spannungsquelle führt auf

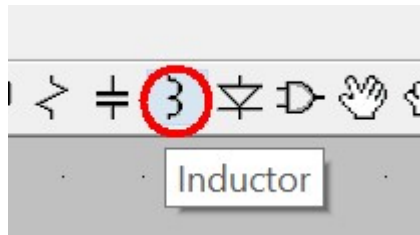


8. Klicken Sie auf Advanced und nehmen Sie die Einstellungen wie im Bild dargestellt vor:

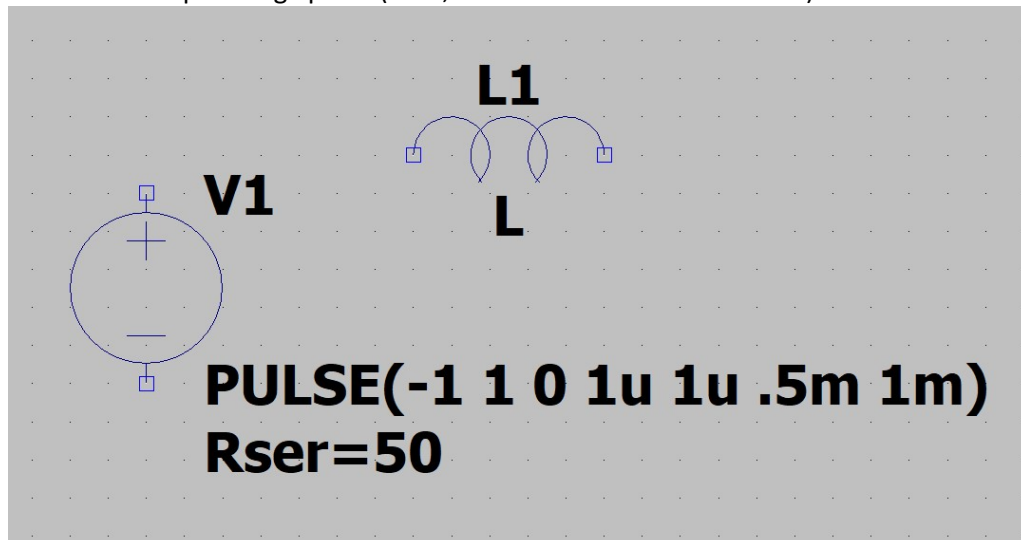


Die Bedeutung der Einstellungen ist weitgehend selbsterklärend. Die Anstiegs- und Abfallzeit Trise und Tfall müssen viel kleiner als die Periodendauer eingestellt werden, damit sie vernachlässigbar werden (was sie sollen). Als Suffixe sind in LTSpice möglich: m für Milli, u für Mikro, n für Nano, p für Pico, k für Kilo, **MEG** für Mega.

9. Klicken Sie auf «OK». Klicken Sie auf das Spulensymbol in der Menüleiste:



10. Drücken Sie «CTRL-R» mehrfach um die Spule um 270 ° zu drehen. Platzieren Sie die Spule links oberhalb der Spannungsquelle (Klick, «Esc» um Modus zu beenden):



11. Rechtsklick auf die Spule, geben Sie für «Inductance» anstelle den Wert 2.2m ein. Für den Seriewiderstand den Wert 2:

Inductor - L1

Manufacturer: -----

Part Number: -----

Select Inductor

OK

Cancel

Show Phase Dot ☐

Inductor Properties

Inductance[H]: 2.2m

Peak Current[A]:

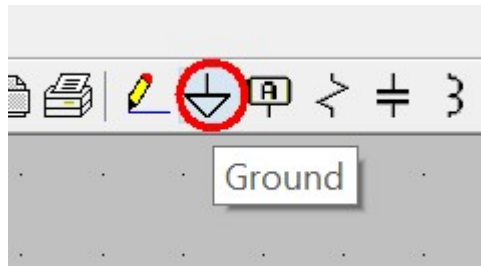
Series Resistance[Ω]: 2

Parallel Resistance[Ω]:

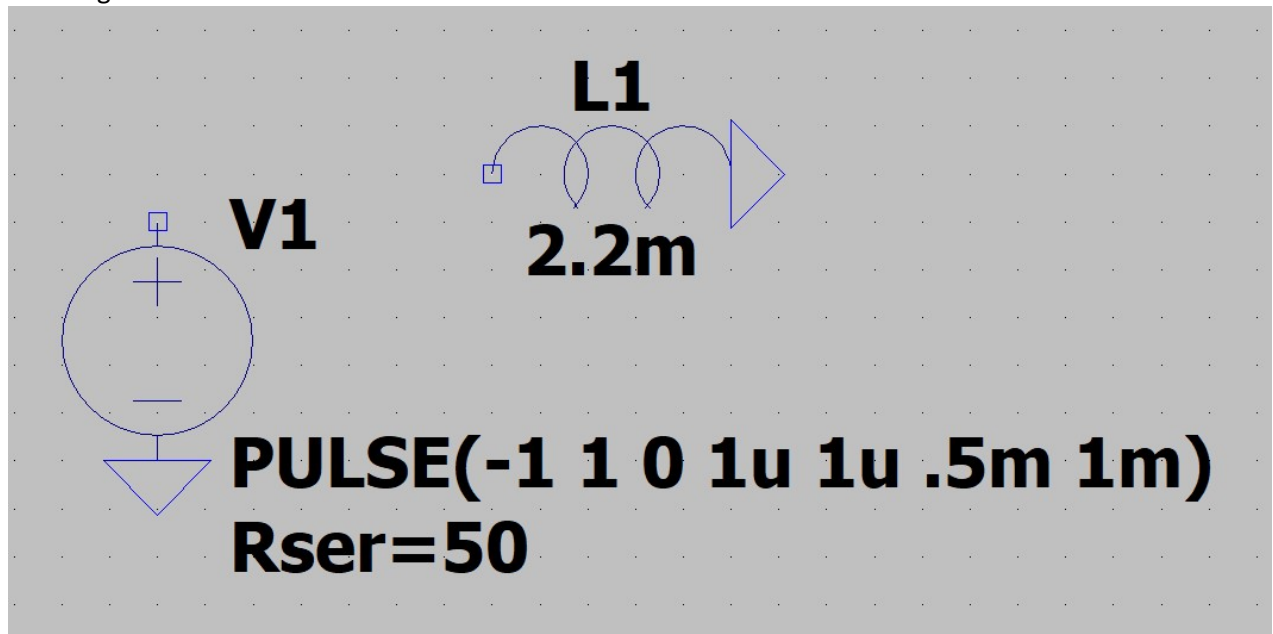
Parallel Capacitance[F]:

(Series resistance defaults to 1mΩ)

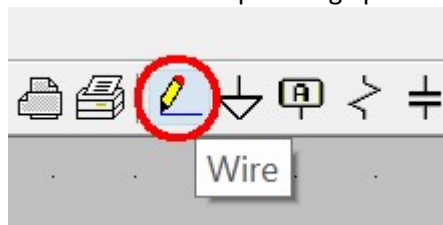
12. Klicken Sie auf «OK». Platzieren Sie nun die Masseverbindung



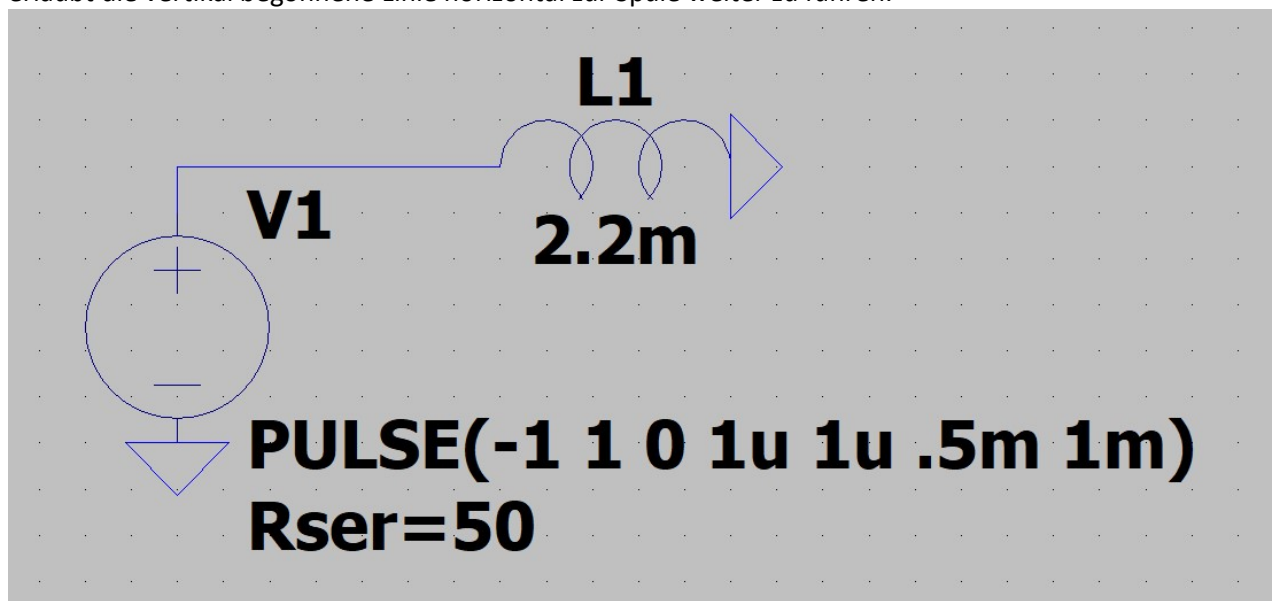
wie dargestellt:



13. Verbinden Sie die Spannungsquelle und die Spule mittels des Stiftes in der Menüleiste:



Dabei setzen Sie oberhalb der Spannungsquelle durch Klicken einen Zwischenstopp, der Ihnen erlaubt die vertikal begonnene Linie horizontal zur Spule weiter zu führen:



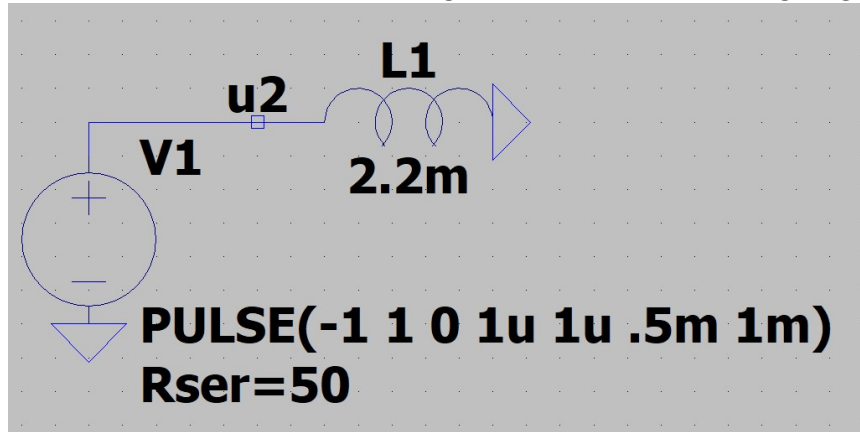


14. Möchten Sie etwas löschen, klicken Sie auf die Schere in der Menüzeile.

15. Klicken Sie auf

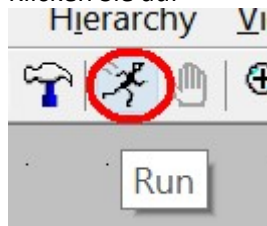


16. Geben Sie «u2» ein, «OK» und bewegen Sie das Label auf den angezeigten Punkt:

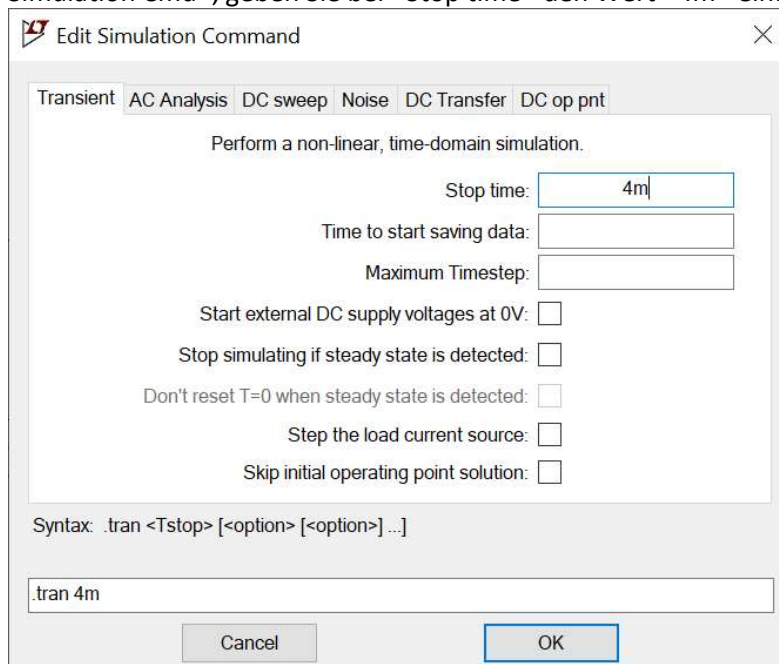


17. Klicken Sie «OK» um das Label dort festzupinnen, «ESC» um den Modus zu beenden.

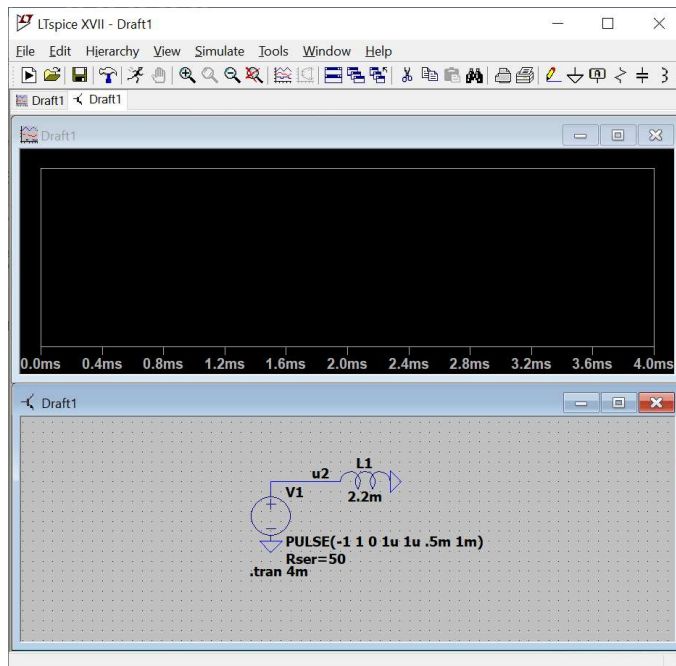
18. Klicken Sie auf



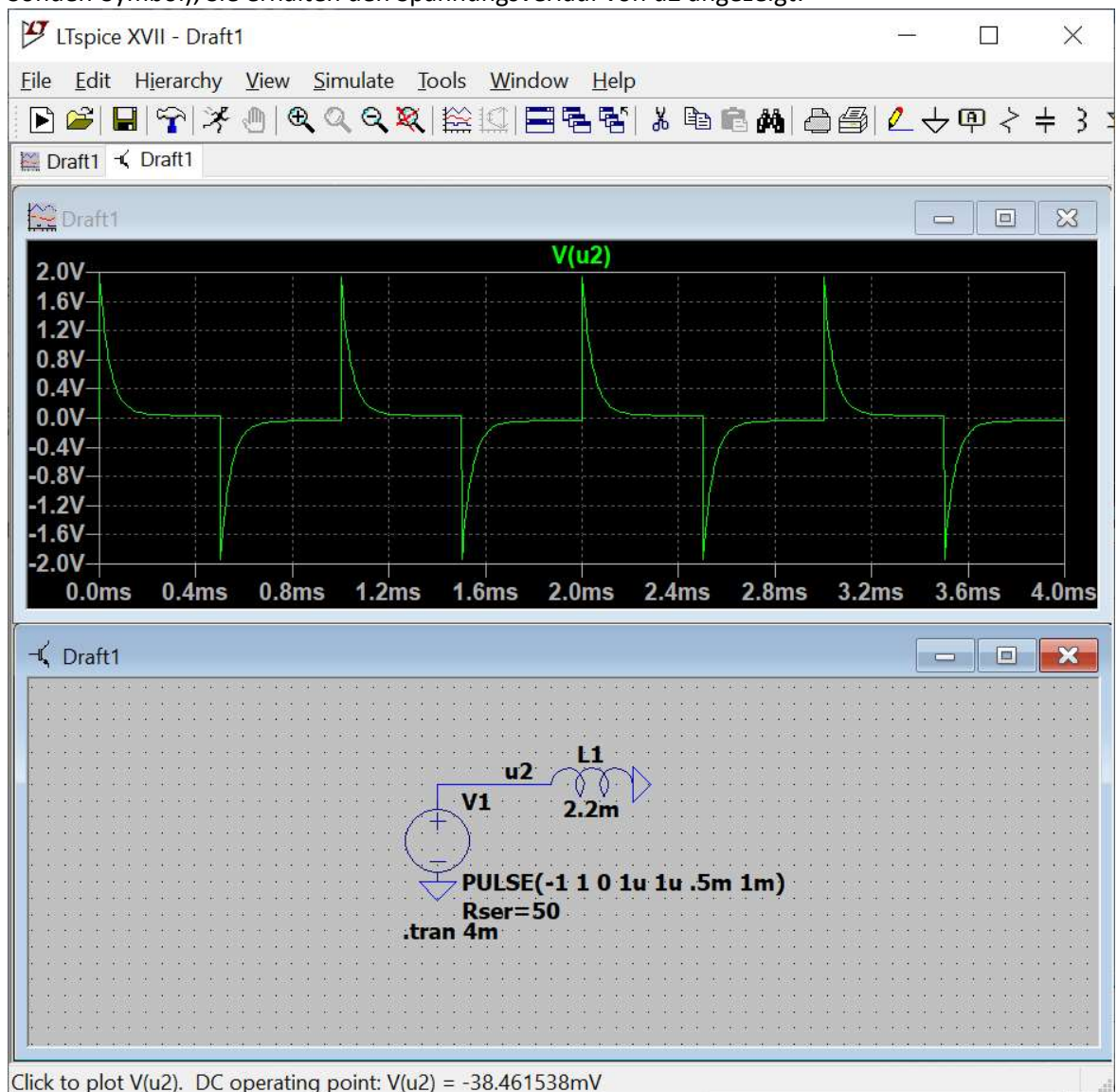
19. Beim ersten Mal öffnet sich ein Fenster, später erreichen Sie dieses über «Simulate/Edit Simulation Cmd», geben Sie bei «Stop time» den Wert «4m» ein:



20. Klicken Sie auf «OK». Die Simulation startet sofort. Das Fenster teilt sich in zwei:

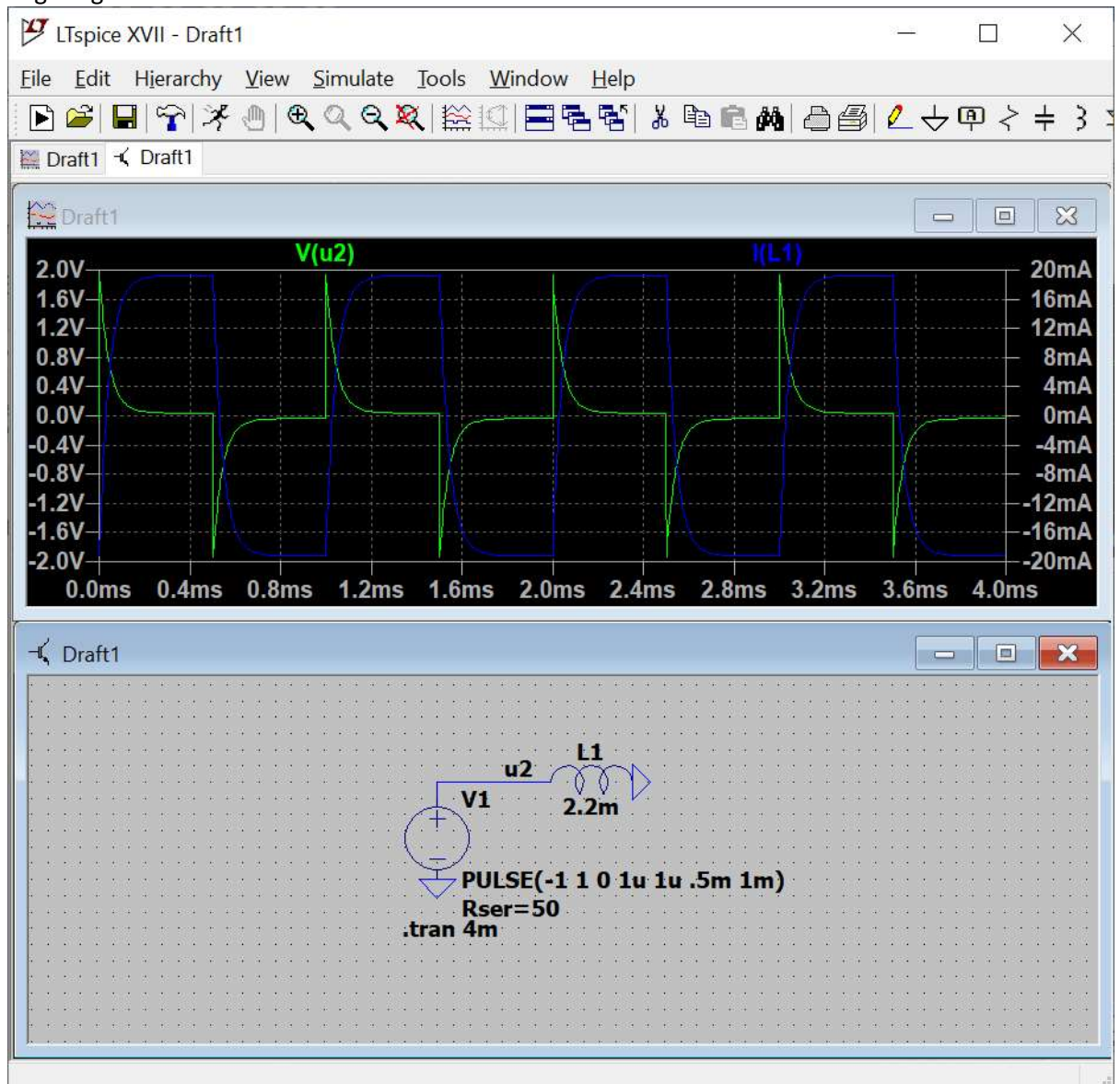


21. Klicken Sie auf das untere Fenster und auf u2 (dabei verwandelt sich das Kreuz des Cursors in ein Sonden-Symbol), Sie erhalten den Spannungsverlauf von u2 angezeigt:





22. Klicken Sie auf die Spule (Symbol wechselt auf Stromzange), nun wird auch der Spulenstrom angezeigt:



23. Vergleichen Sie das Ergebnis von Simulink und LTspice-Simulation. Es sollten keine Unterschiede ersichtlich sein. Damit ist dieses Praktikum beendet.