

## EL2-Praktikum #09: Resonanz einer RLC-Schaltung mit LTspice

In diesem Praktikum wird die Resonanz der RLC-Schaltung gemäss Abbildung 1 untersucht.

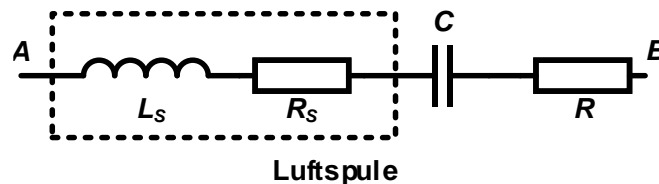


Abbildung 1. RLC-Schaltung mit der Visaton Luftspule mit  $L_s=2.2$  mH und  $R_s=2$   $\Omega$  Drahtwiderstand,  $C = 2.2$   $\mu$ F und  $R = 50$   $\Omega$ .

### Berechnungen

Berechnen Sie die theoretische Resonanzfrequenz  $f_r$  der Schaltung nach Abbildung 1.

### Messgeräte

Die RLC-Schaltung wird an den Funktionsgenerator TG5011 mit Innenwiderstand 50  $\Omega$  angeschlossen, mit Anschluss A (+) und Anschluss B (-, Erde).

Die Quellenspannung und die Spannung über dem Widerstand  $R$  sollen mit dem Oszilloskop TDS2012 gemessen werden. Zeigen Sie, dass die parasitären Eigenschaften des Oszilloskopeingangs<sup>1</sup> vernachlässigbar sind im Bereich  $f_r/10$  bis  $10 \cdot f_r$ . Für die Zwecke dieses Praktikums ist eine Genauigkeit von 1 % genügend, es müssen nicht 1 ‰ sein.

### Nachbau der Schaltung in LTspice

Bauen Sie die Schaltung in LTspice nach. Beachten Sie, dass der Funktionsgenerator einen 50  $\Omega$  Innenwiderstand hat. Die Amplitude der Generatorspannung soll 1 V betragen.

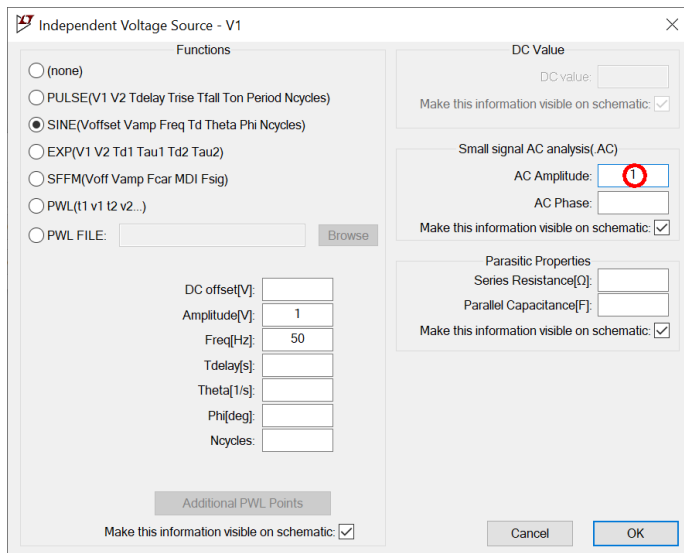
### Überprüfung der berechneten Resonanzfrequenz

Verändern Sie die Frequenz rund um die theoretische Resonanzfrequenz und betrachten Sie die Quellenspannung und die Spannung über dem Messwiderstand (= in Phase und proportional zur Stromstärke, d.h. mit LTspice können Sie auch direkt die Stromstärke anzeigen lassen). Wie erkennen Sie den Resonanzfall anhand der beiden Spannungsverläufe?

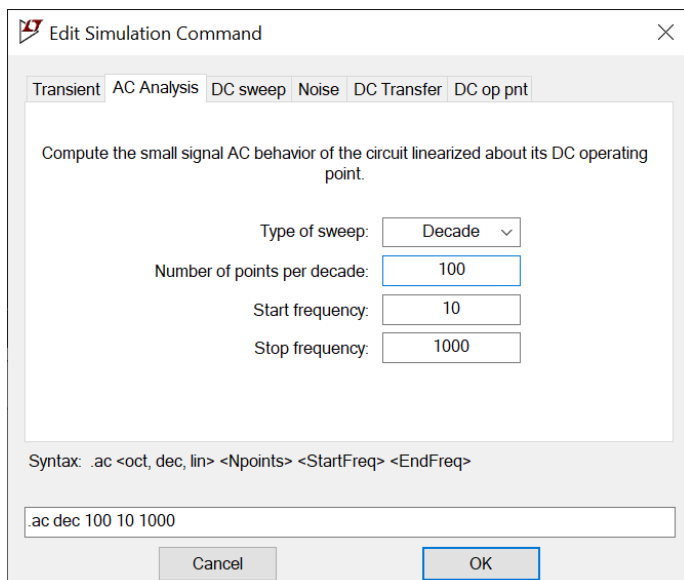
### Messungen bei und rund um die Resonanzfrequenz

Stellen Sie die Quellenspannung und die Stromstärke im Bereich  $f_r/10$  bis  $10 \cdot f_r$  inklusive bei der Resonanzfrequenz selbst dar. Verwenden Sie dazu eine Wechselfeldspannungssimulation. Dazu müssen Sie folgendes Einstellen: Nach Rechtsklick auf die Generator-Spannungsquelle und Klick auf «Advanced» stellen Sie die «AC Amplitude» auf 1 (V), siehe Abbildung 2. Sodann wählen Sie oben im Menu «Simulate», «Edit Simulation Cmd», wechseln auf den Reiter «AC Analysis» und geben z.B. die Werte nach Abbildung 3 ein. Mit «OK» und einem Mausklick platzieren Sie auf dem Schema einen Punkt-Befehl **.ac dec 100 10 1000** auf dem Schema. Starten Sie nun die Simulation. Sie erhalten ein doppelt logarithmisches Diagramm, in welchem Stromstärken und Spannungen in Abhängigkeit der Frequenz dargestellt werden können. Die angezeigten Werte sind grundsätzlich Spitzenwerte. Möchten Sie Effektivwerte anzeigen lassen, stellen Sie die Quellenspannungsamplitude auf den Effektivwert, statt auf den Amplitudenwert.

<sup>1</sup> Das Oszilloskop Tektronix TDS2012 hat einen Eingangswiderstand von  $R_{osz} = 1$  M $\Omega$  parallel zu  $C_{osz} \approx 100$  pF ohne Sonde. Mit der 10X Sonde wird  $R_{osz} = 10$  M $\Omega$  und  $C_{osz} \approx 12$  pF.



**Abbildung 2. Einstellungen bei der Generator-Spannungsquelle. Der Innenwiderstand des Generators könnte bei den «Parasitic Properties» eingestellt werden, es empfiehlt sich aber, den Innenwiderstand explizit als Widerstand im Schaltschema zu platzieren. Damit ist die Spannung des Generators vor dem Innenwiderstand zugänglich.**



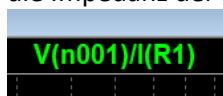
**Abbildung 3**

## Auswertung der Messkurven

Erläutern Sie, wie mittels des Amplitudenverlaufs der Spannung an der Schaltung in Abhängigkeit der Frequenz die Resonanzfrequenz gefunden werden kann. Bestimmen Sie die Resonanzfrequenz mit einer Ablesung aus der LTspice Simulation. Überprüfen Sie Ihre Ergebnisse mit der obigen Berechnung. Wie gross ist die Phase bei Resonanz? Vergleichen Sie mit der Darstellung der Phase in LTspice.

Erläutern Sie, wie alternativ mittels des Amplitudenverlaufs des Stromes an der Schaltung in Abhängigkeit der Frequenz die Resonanzfrequenz gefunden werden kann.

Mit Rechtsklick auf die Kurvenlegende können Sie die dargestellte Funktion ändern. So erhalten Sie z.B. die Impedanz der Schaltung, wenn Sie die Spannung an der Schaltung durch den Strom teilen:



Lesen Sie den Betrag der Impedanz der Schaltung bei  $f_r/10$  bis  $10 \cdot f_r$  aus LTspice heraus, dazu stellen Sie die Werteachse mit Rechtsklick auf «Logaritimic» um. Vergleichen Sie die Werte mit einer Berechnung desselben Impedanzbetrags aufgrund der Elementwerte und der Schaltung.