



Schaltungs Simulation mit LT-Spice

... eine Appetitmacher für Funkamateure



Übersicht

- Was ist LT-Spice?
- Was kann ich damit machen?
- ... und was kann es nicht?
- Wie fange ich damit an?
- Beispiele – der Schwerpunkt
- Ausblick für fortgeschrittene Anwendungen
- Wo finde ich mehr Informationen?



Was ist LTspice?

- Ein Elektronik Simulator mit graphischer Ein- und Ausgabe
- Basiert auf Berkley Spice (1973)
- Eine Spice Weiterentwicklung der Firma Linear Technologies, vormals *SwitcherCAD*, *optimiert* für Entwicklungen mit LT-IC
- Kompatibel mit dem Industrie Standard P-Spice
- Kostenlos, keine Einschränkungen
- Gute Tutorial, Bauteile Bibliotheken und Modelle im Internet
- Guter Support im Internet in Foren, Groups, privaten Homepages



Was kann man damit simulieren?

- Gleichspannungverhalten (DC-Analyse nicht-linear, Arbeitspunkt)
- Wechselspannungverhalten (AC Analyse Kleinsignal, linear. Frequenzgang, Phase, Gruppenlaufzeit)
- Zeitverhalten (Transient-Analyse, nicht linear)
- Rausch-Analyse
- RLC Netzwerke, Filter, Übertragungsleitungen
- Transistor / Op-Amp / Dioden Schaltungen
- Verstärker / Oszillatoren /Mischer / Logik
- Modulation / Demodulation



Anwendungen?

- Schaltungs-Ideen „ausprobieren“, ausmessen ohne Messgeräte
- Schaltungen analysieren, was passiert wenn?
- Schaltungen verstehen lernen, spielerisch
- Fehlersuche: Auswirkung von Defekten, Abweichung Realität – Simulation



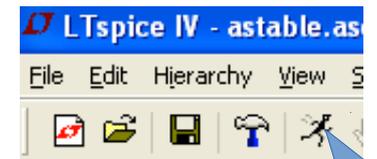
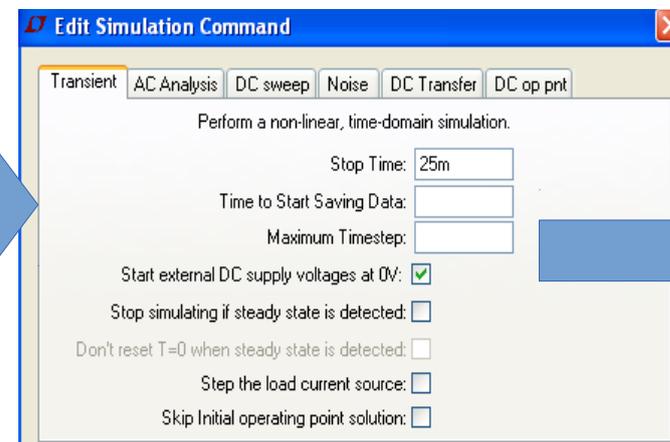
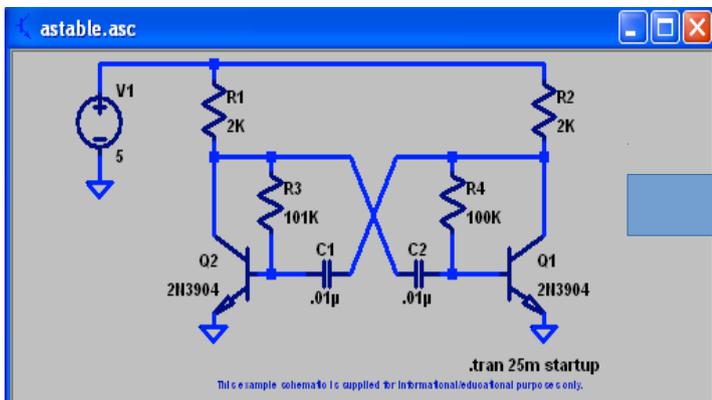
Was kann LT-Spice nicht?

- Schaltungen generieren
- Elektromagnetische Felder simulieren
- Seitenband Rauschen Oszillatoren?
- Antennen Simulation
- Es ist nur so gut wie die verwendeten Modelle!

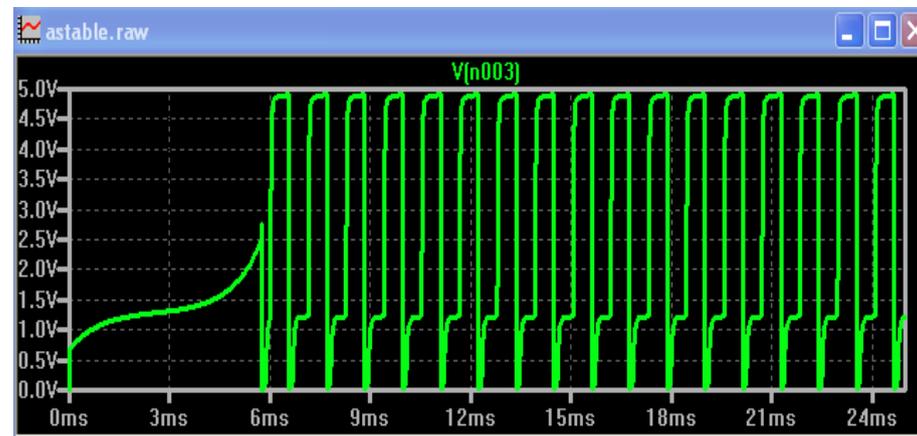
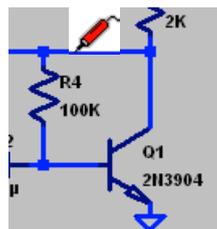


Ablauf Simulation

1. Bauteil Modelle beschaffen (umfangreiche Standard Bibliothek)
2. Schaltung eingeben
3. Analyse Parameter eingeben
4. Simulieren



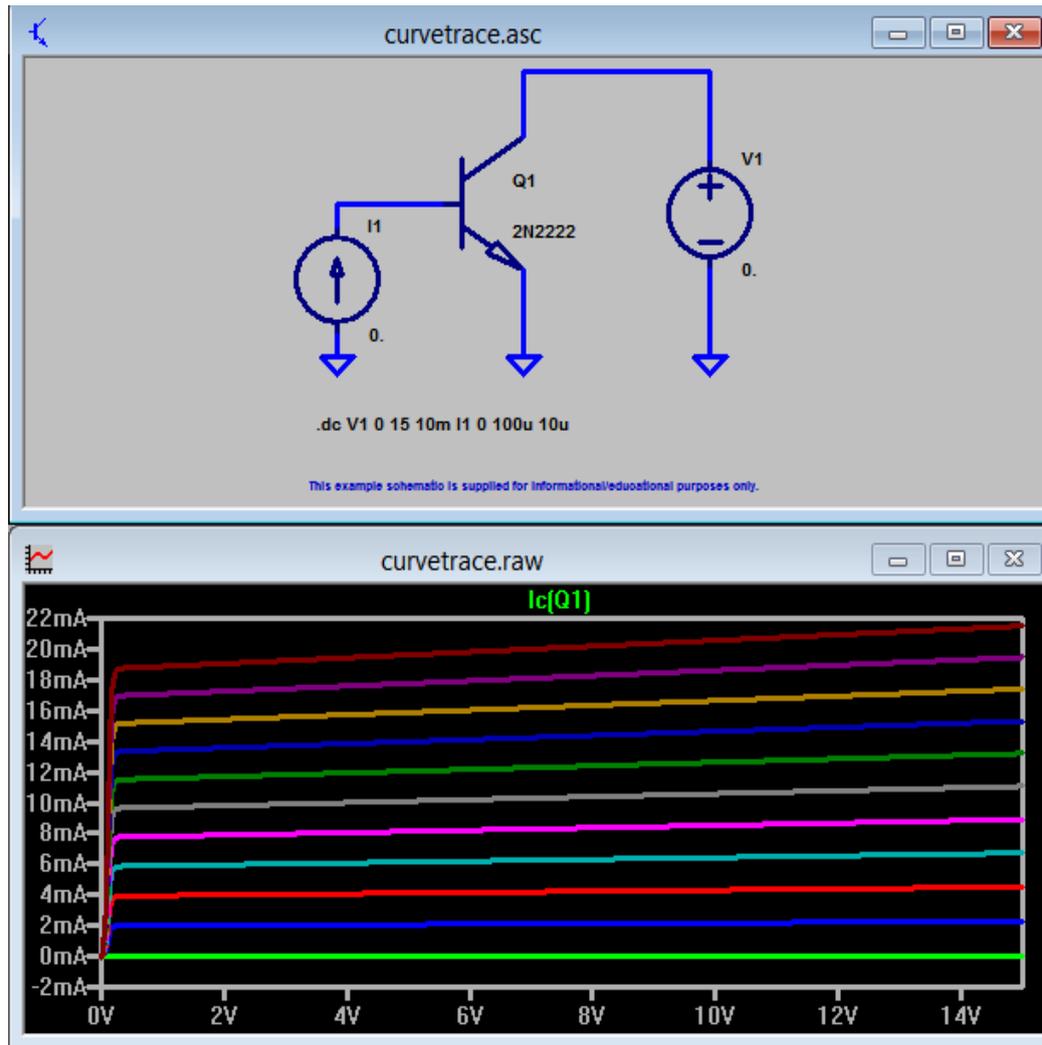
4. Auswerten



Vorstellung LT-Spice



Beispiel DC-Verhalten Transistor Kennlinien



AC Analysis DC sweep Noise DC Transfer DC op pnt

the DC operating point of a circuit while stepping independent sources. Capacitors are treated as open circuits and inductances as short circuits.

1st Source 2nd Source 3rd Source

Name of 1st Source to Sweep:

Type of Sweep:

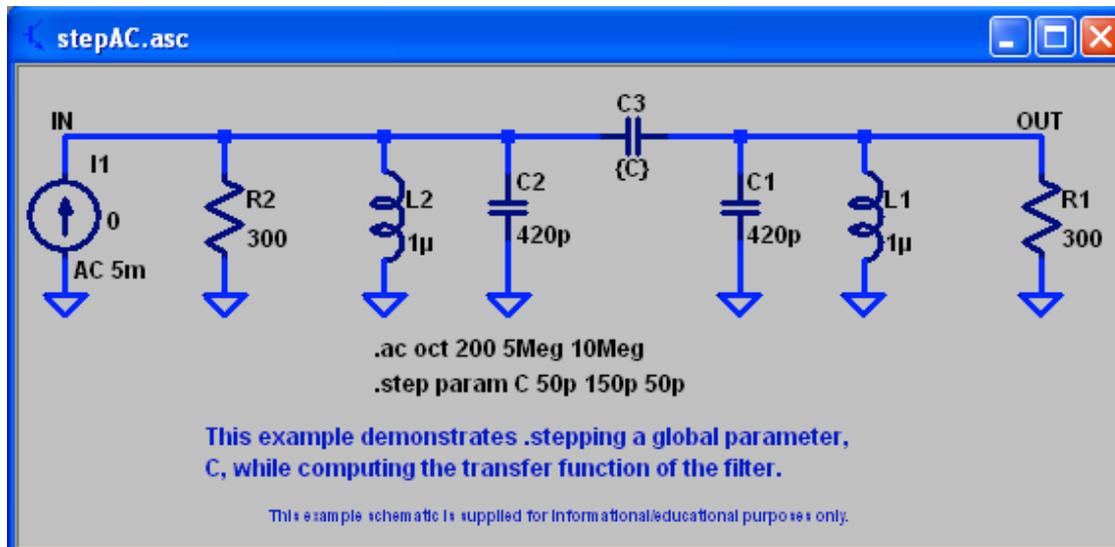
Start Value:

Stop Value:

Increment:



Beispiel AC-Analyse Frequenzgang



Transient AC Analysis DC sweep Noise DC Transfer DC c

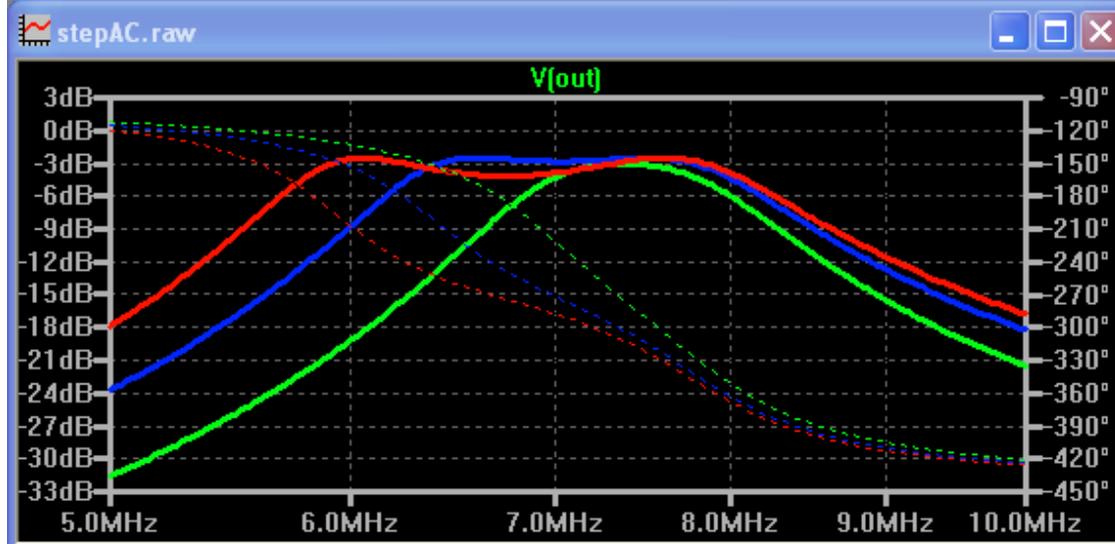
Compute the small signal AC behavior of the circuit linearized about point.

Type of Sweep:

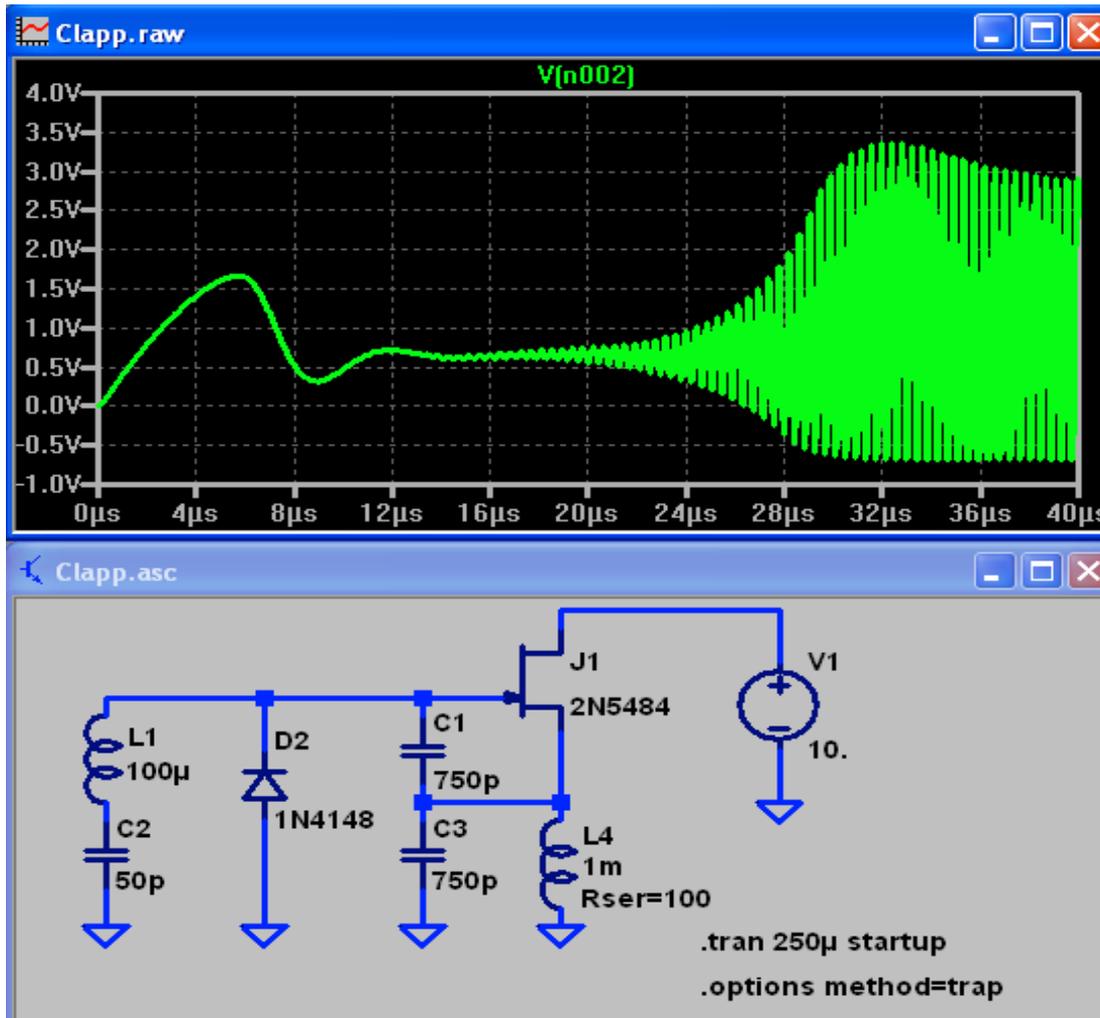
Number of points per octave:

Start Frequency:

Stop Frequency:



Beispiel Transienten Analyse Einschwingen Oszillator



Transient AC Analysis DC sweep Noise DC Transfer DC op

Perform a non-linear, time-domain simulation.

Stop Time: 250μ

Time to Start Saving Data:

Maximum Timestep:

Start external DC supply voltages at 0V:

Stop simulating if steady state is detected:

Don't reset T=0 when steady state is detected:

Step the load current source:

Skip Initial operating point solution:



Praxis Beispiele

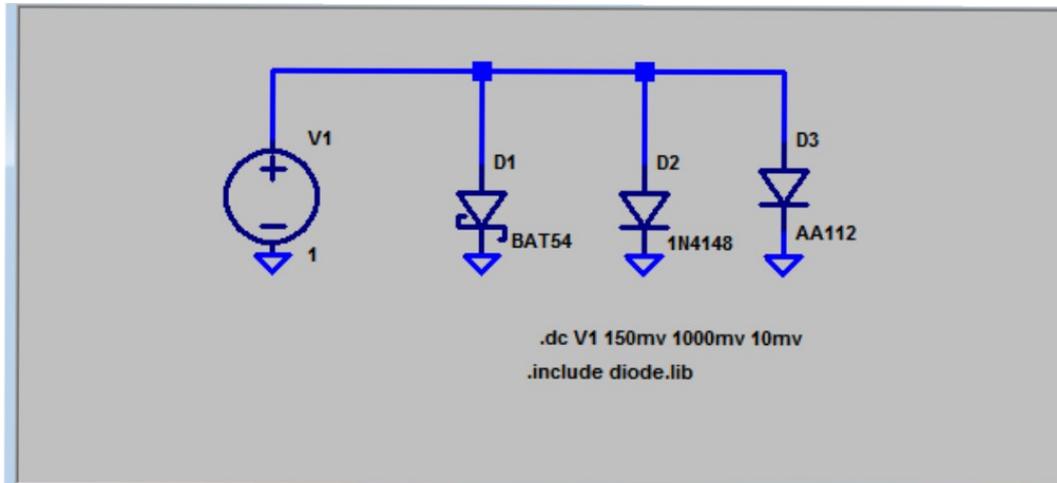
- ✓ Dioden Kennlinie
- ✓ Notchfilter Pager 147 MHz
- ✓ J-FET Verstärker:
 - ✓ Frequenzgang
 - ✓ S-Parameter
 - ✓ Rauschzahl
 - ✓ Intermodulation

Optional:

- ✓ Audio AGC
- ✓ Notch Filter mit Koaxkabel (70 cm)



Praxis Beispiel 1: I(U) Dioden Kennlinie



Transient AC Analysis DC sweep Noise DC Transfer DC op pnt

Compute the DC operating point of a circuit while stepping independent sources, treating capacitances as open circuits and inductances as short circuits.

1st Source 2nd Source 3rd Source

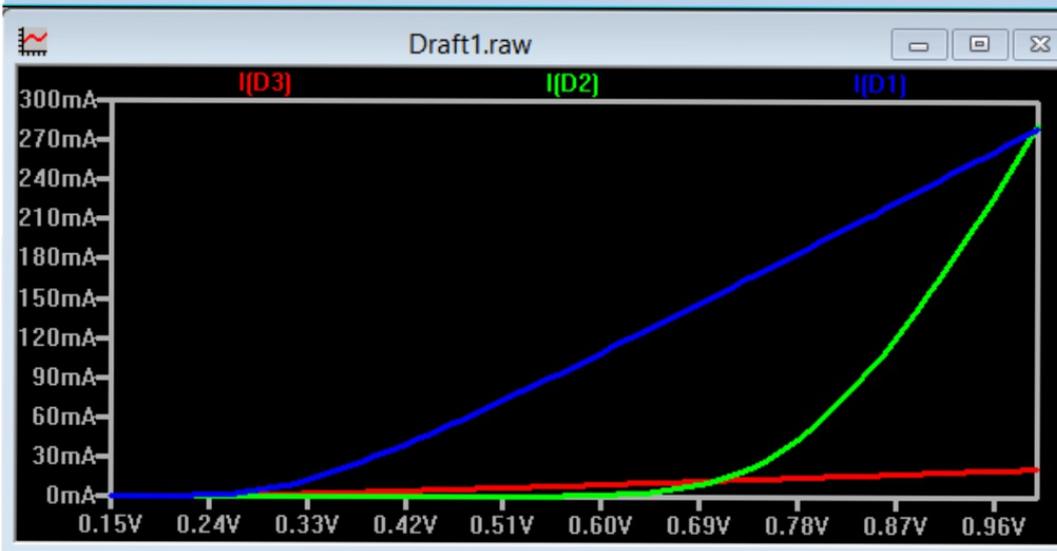
Name of 1st Source to Sweep: V1

Type of Sweep: Linear

Start Value: 150mv

Stop Value: 1000mv

Increment: 10mv

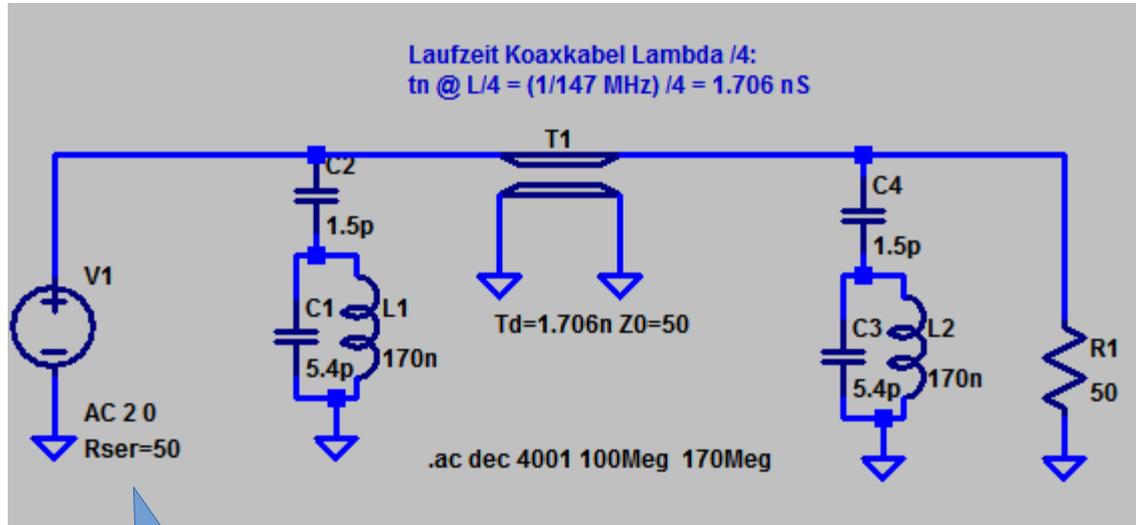


Germanium Diode AA112 in Library einbinden:

- Datei «Diode.lib» aus Internet
- . include diode.lib



Praxis Beispiel 2: 147 MHz Notchfilter (Pager)



AC Analysis DC sweep Noise DC Transfer DC

the small signal AC behavior of the circuit linearized about point.

Type of Sweep: Decade

Number of points per decade: 4001

Start Frequency: 100Meg

Stop Frequency: 170Meg

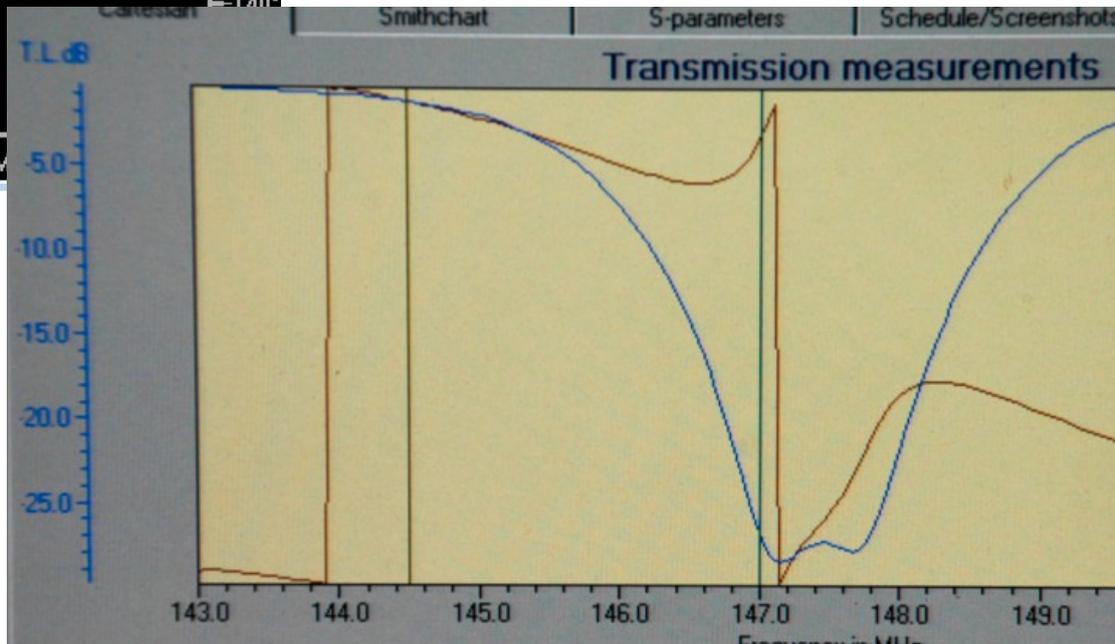
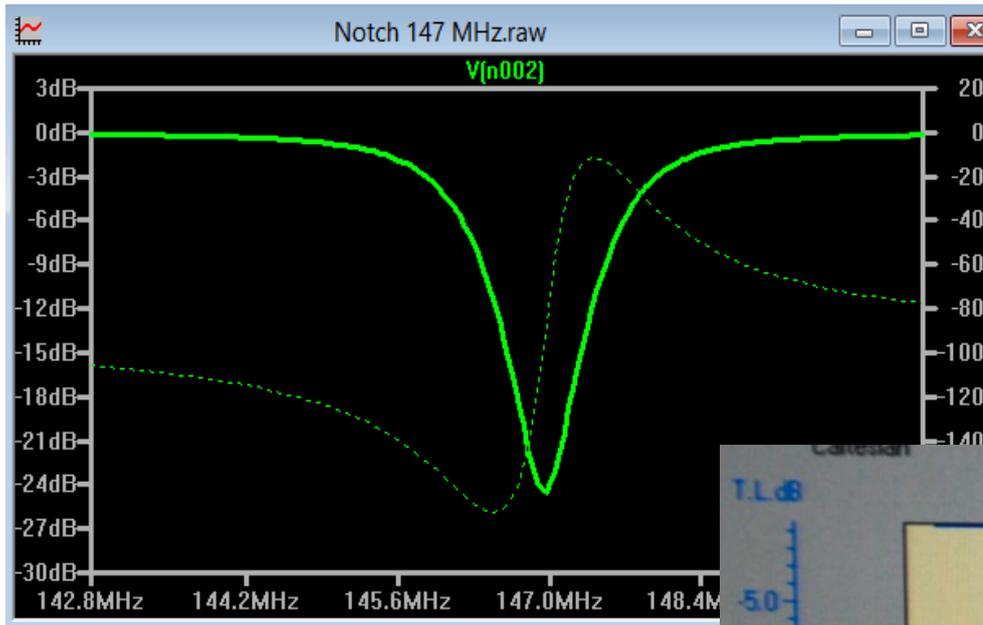
Trick: Spannung x2 -->
 1V bei Belastung mit
 50 Ohm



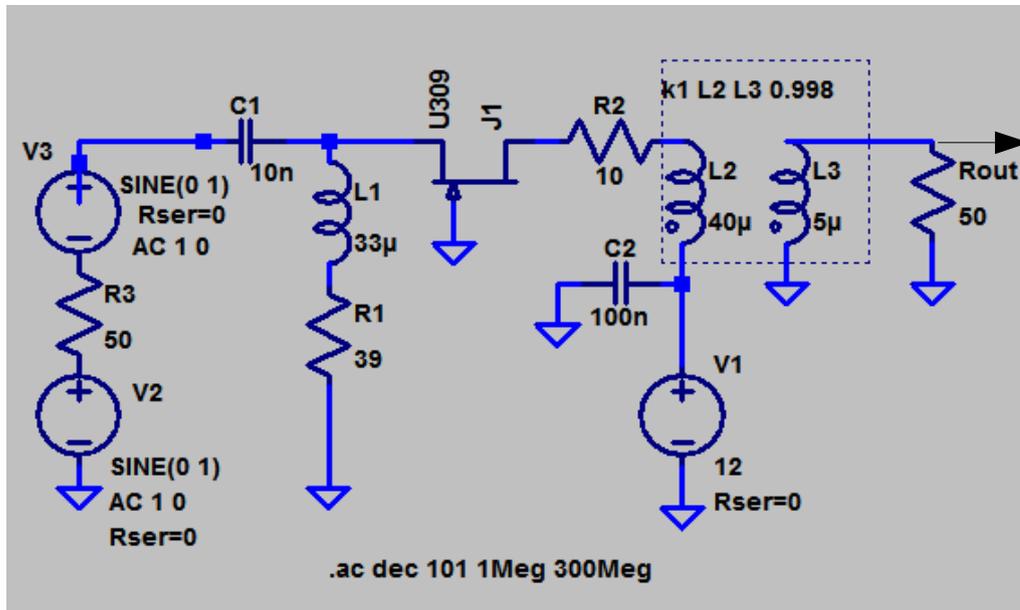
Vorstellung LT-Spice



Praxis Beispiel 2: 147 MHz Notchfilter - Simulation vs. Messung



Praxis Beispiel 4: J-FET Mischer Abschluss 50 Ohm 1..60 MHz



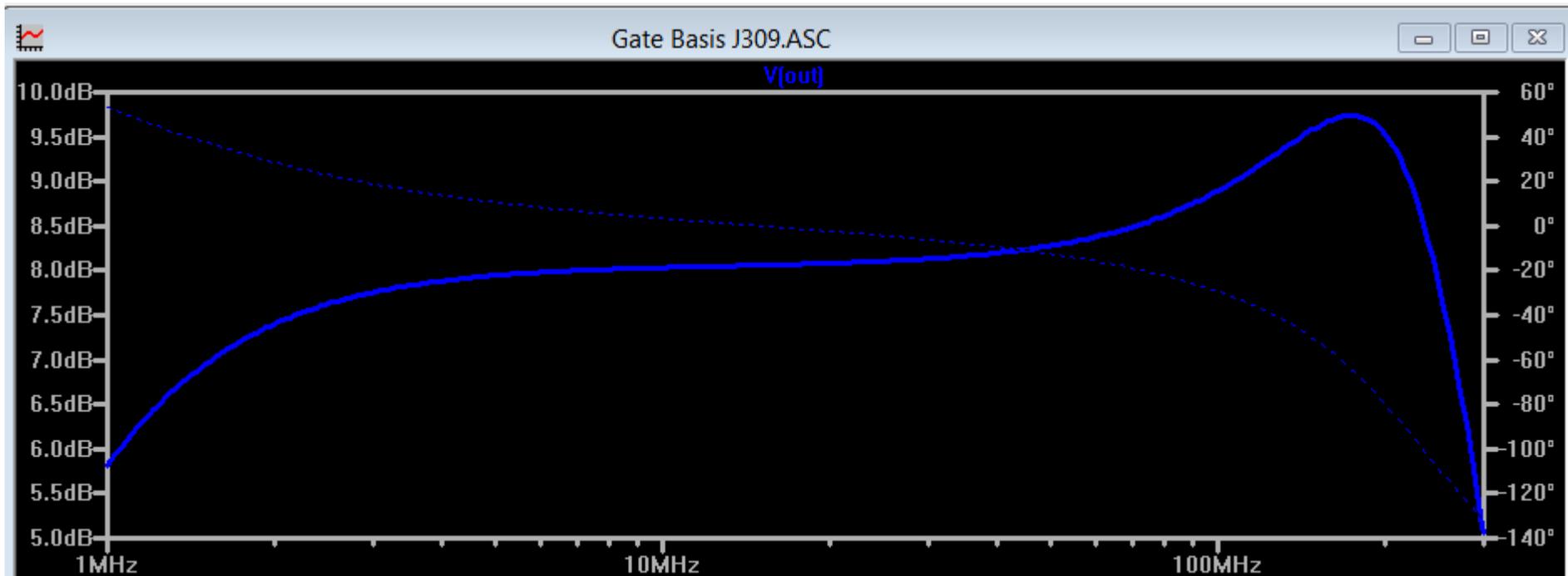
ZF Filter

- Gate-Basis Verstärker
- Ausgangs-Übertrager
- Entkopplung von AusgangsFilter
- Arbeitsstrom?
- Bandbreite?
- Anpassung?
- Intermodulation?
- Rauschzahl?

Übertrager: 2 gekoppelte Induktivitäten
Kopplungsgrad $k_1 = 0.998$



Praxis Beispiel 4: FET Verstärker Frequenzgang



Praxis Beispiel 4: FET Verstärker

Streu-Parameter



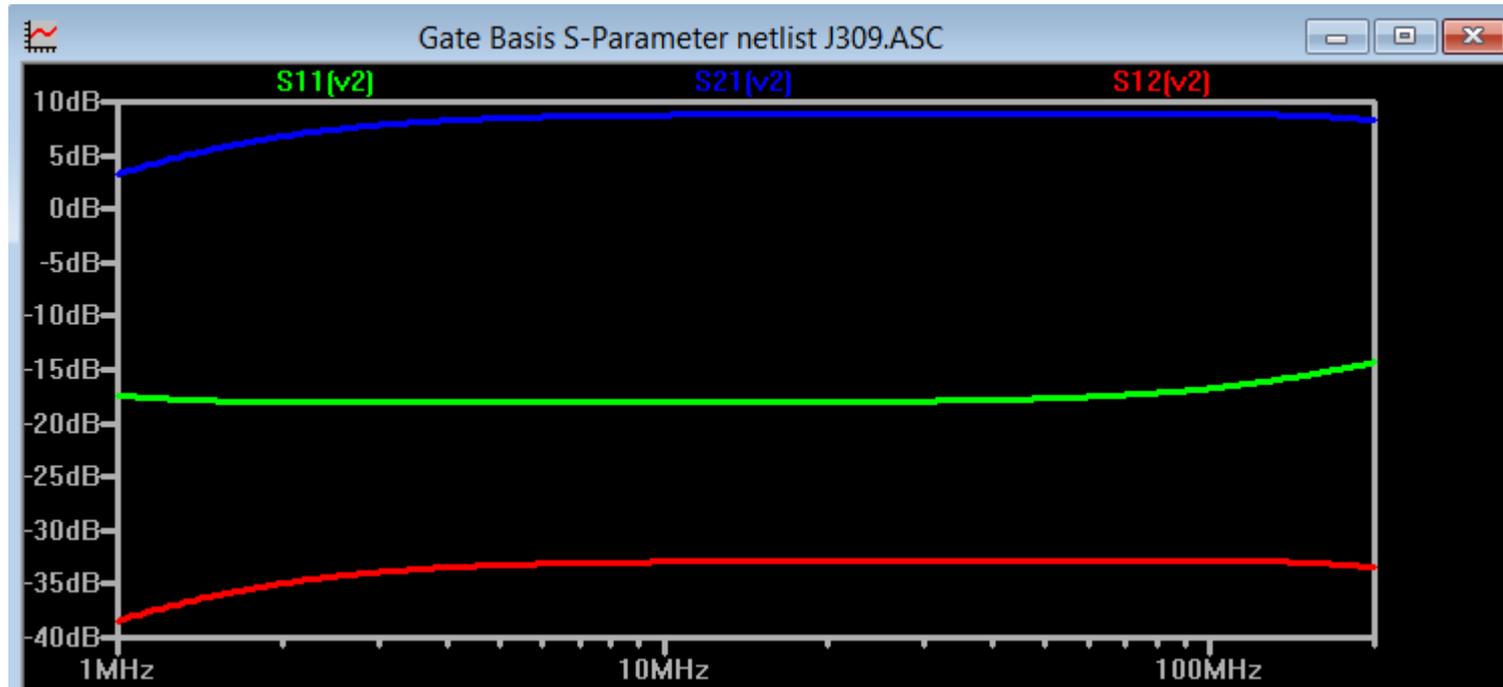
a_1, a_2 : Hinlaufende Welle
 S_{21} : Übertragungsfaktor
 S_{12} : Rückwärts Übertragungsfaktor
 S_{11} : Eingangs-Reflektionsfaktor
 S_{22} : Ausgangs-Reflektionsfaktor

S-Parameter berechnen mit:
.net I(Rout) V2



Praxis Beispiel 4: FET Verstärker

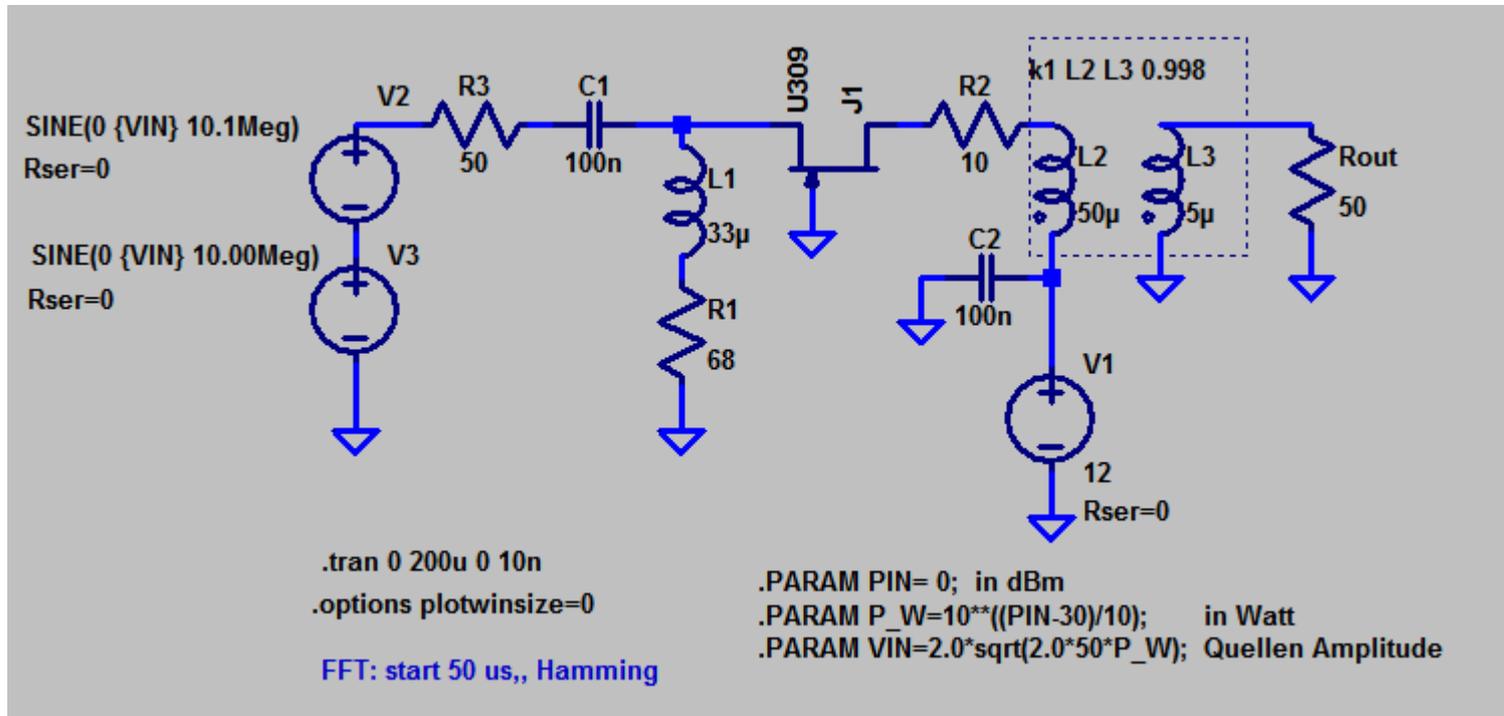
S-Parameter



- S21: Übertragungsfaktor
- S12: Rückwärts Übertragungsfaktor
- S11: Eingangs-Reflektionsfaktor
- S22: Ausgangs-Reflektionsfaktor



Praxis Beispiel 4: FET Verstärker Intermodulation

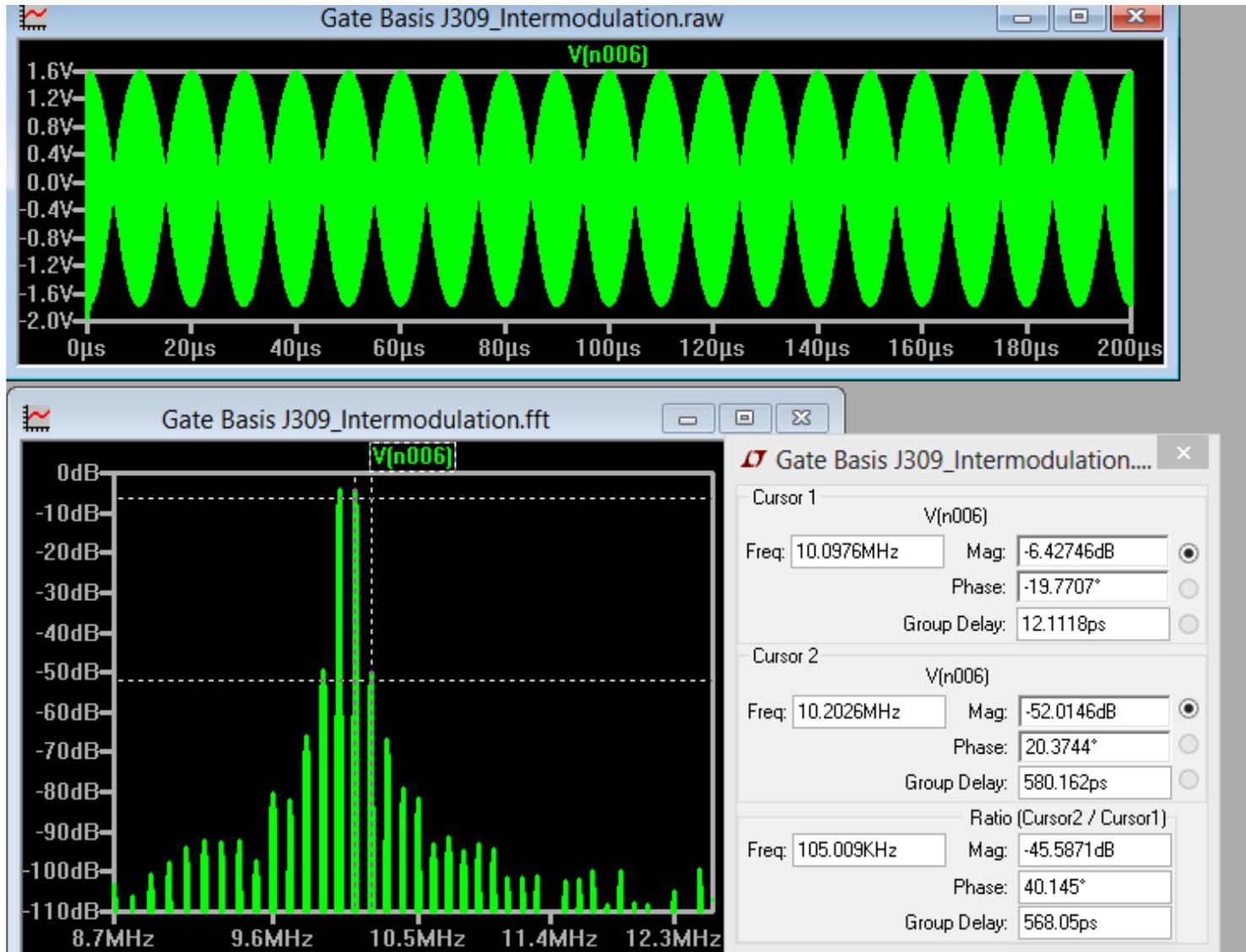


- 2 Spannungsquellen 10.0 und 10.1 MHz
- Parameter für Eingabe Eingangspegel in dBm
- Transienten Analyse
- FFT auf die Ausgangsspannung

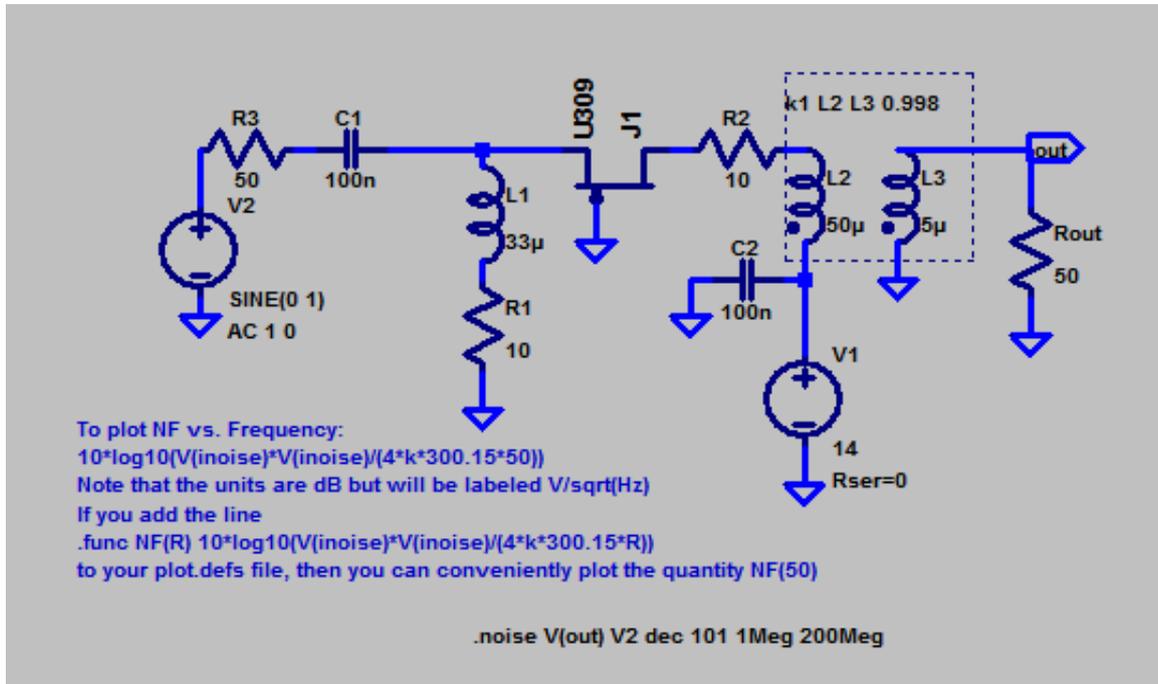


Praxis Beispiel 4: FET Verstärker

Intermodulation - FFT



Praxis Beispiel 4: FET Verstärker Rauschen



Transient AC Analysis DC sweep Noise DC Transfer DC c

Perform a stochastic noise analysis of the circuit linearized about point.

Output:

Input:

Type of Sweep:

Number of points per decade:

Start Frequency:

Stop Frequency:

Plotten der Rauschzahl mit einer Formel in Datei *plots.defs*:

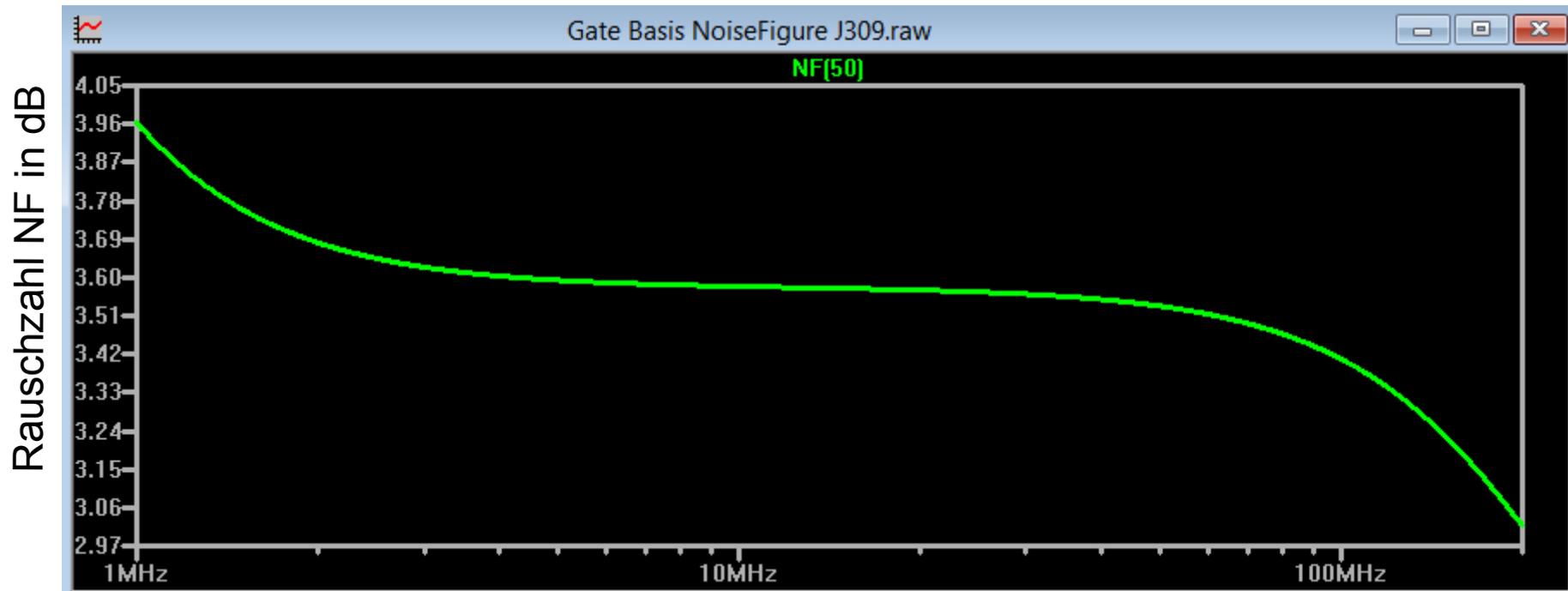
$$NF(R) \text{ in dB} = 10 \cdot \log_{10}(V(\text{inoise}) \cdot V(\text{inoise}) / R \cdot 4 \cdot k \cdot T \cdot B)$$

Siehe Tutorial von G. Kraus



Praxis Beispiel 4: FET Verstärker

Rauschzahl



Plotten der Rauschzahl mit einer Formel in Datei *plots.defs*:

$$\text{NF (R) in dB} = 10 * \log_{10}(\text{V(inoise)} * \text{V(inoise)} / \text{R} * 4 * \text{k} * \text{T} * \text{B})$$

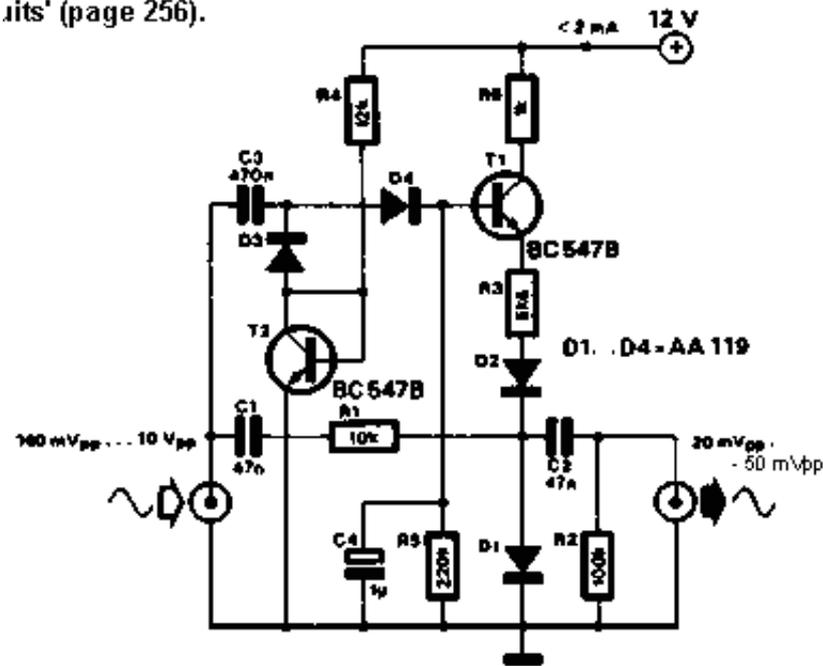
Siehe Tutorial von G. Kraus



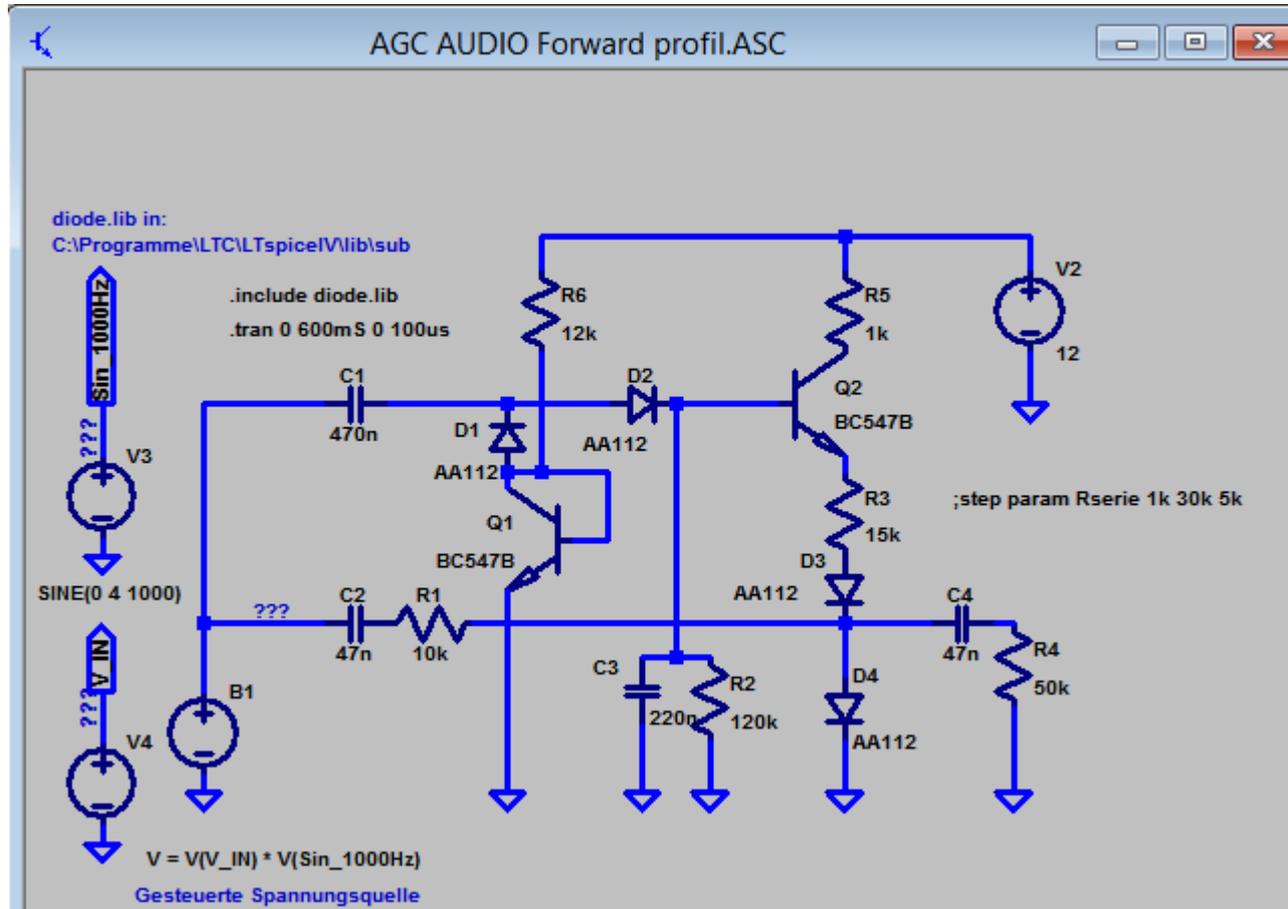
Praxis Beispiel 5: Audio AGC

- Quelle: Elektor 302 „240, mini compressor)

uits' (page 256).



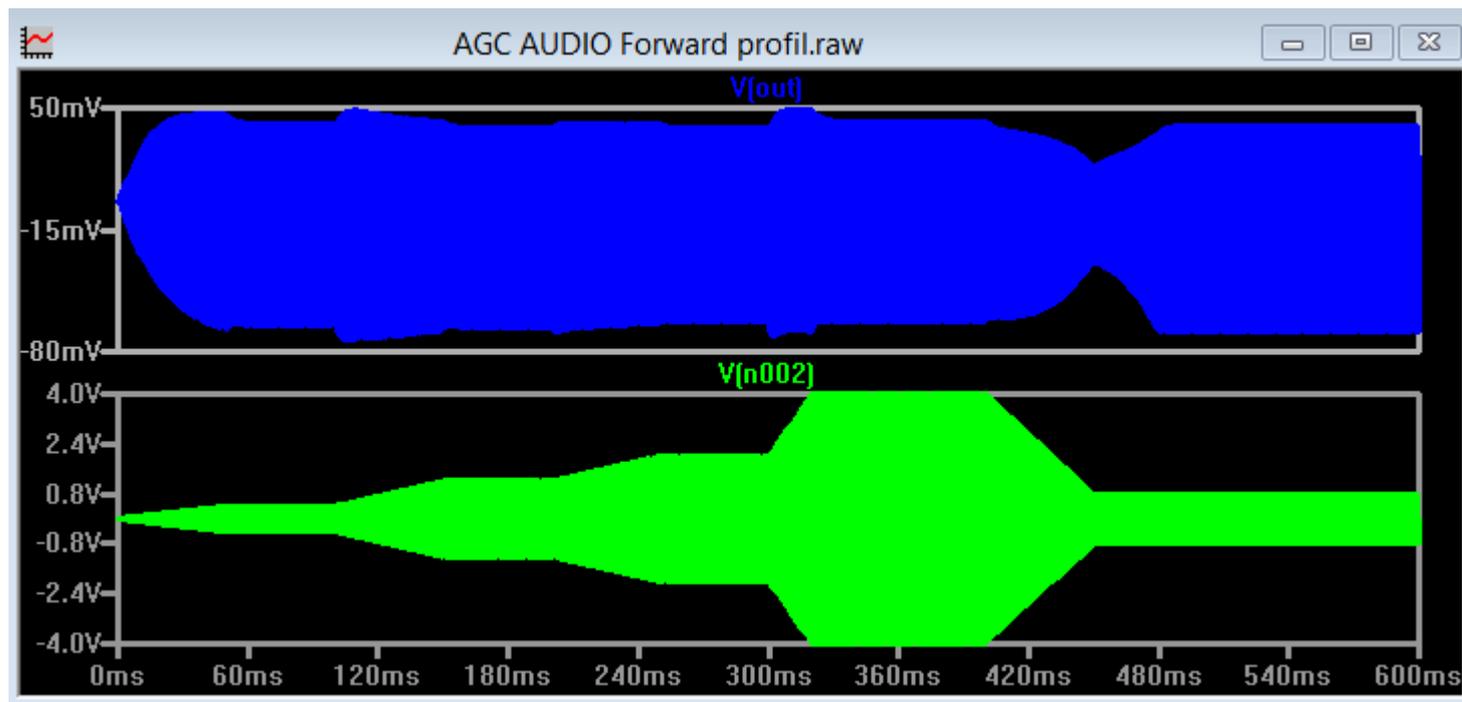
Praxis Beispiel 5: Audio AGC Schaltung



QSB Simulation:
Spannungsquelle B1 multipliziert 1 kHz Sinus
mit Signalstärke Profil in V4



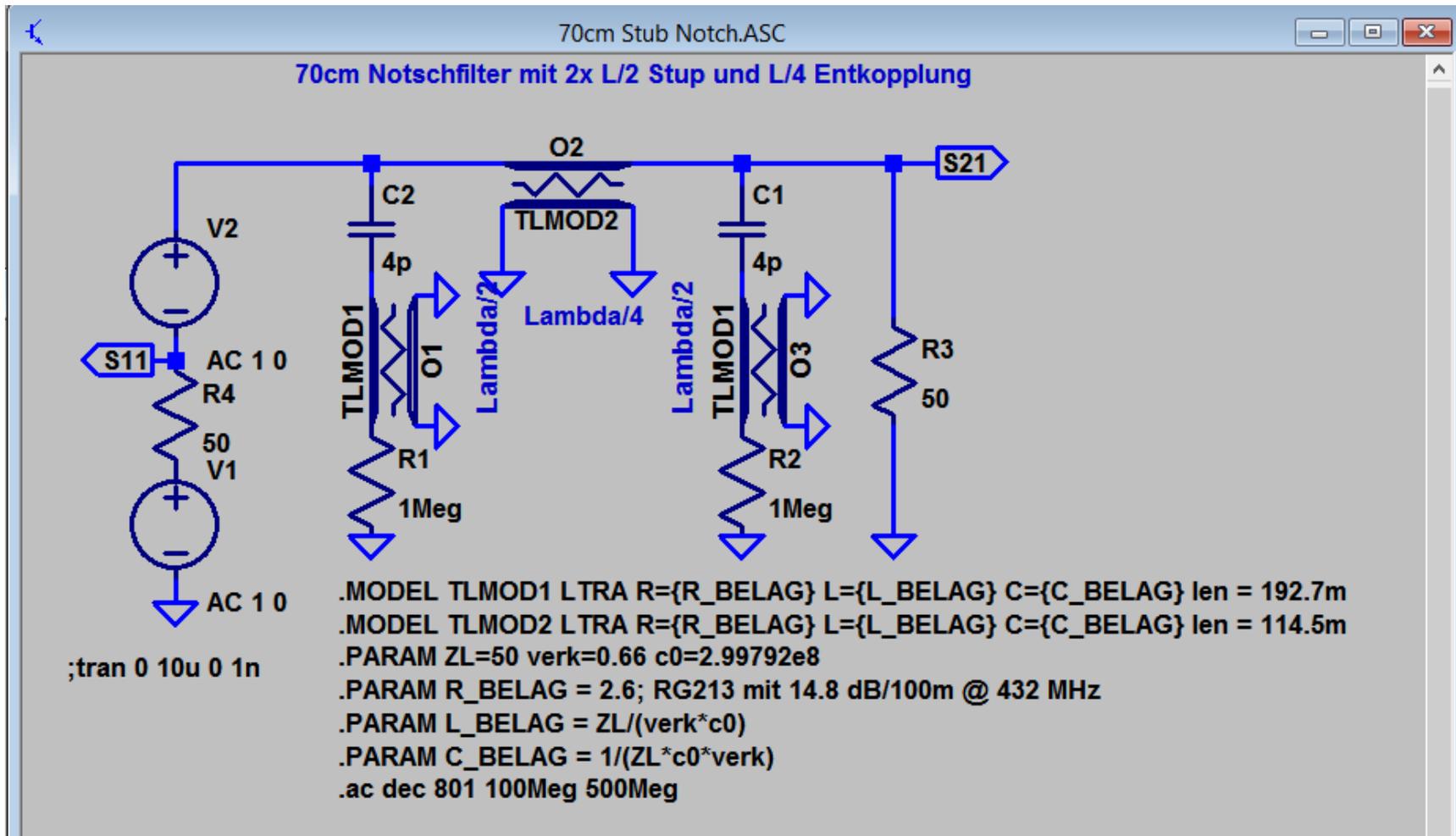
Praxis Beispiel 5: Audio AGC Simulation



Tipp: Ein- / Ausgabe als .WAV Datei ist möglich (lange Rechenzeit)



Praxis Beispiel 6: Coax Notch Filter



Ltspice kann noch viel mehr...

- Digitale Schaltungen (ideale Logik Bausteine) simulieren, auch gemischt
- Schaltnetzteile (seine Stärke)
- Impuls-Antwort
- Modulation / Demodulation
- Ein- und Ausgabe .WAV Sound Dateien
- Toleranz Analyse
- Eigene Bauteil-Modelle einbinden
- Eigene Bibliotheken erstellen
- Eigene Bausteine: „Sub-circuits“



Einsteigen...

- SW Download:
 - <http://www.linear.com/designtools/software/>
- Native: Windows 7, 8, MAC OSX
- Linux: mittels Wine
- ...Los gehts



Infos im Netz und Quellen

- LT-Spice IV: <http://www.linear.com/designtools/software/>
- **Gunthard Kraus (Tutorial!!, Bibliotheken, Ansoft Designer)**
<http://www.gunthard-kraus.de/>
- <http://elektronikbasteln.pl7.de>
Tutorial P-Spice: <http://elektronikbasteln.pl7.de/online-tutorial-schaltungssimulation-mit-pspice.html>
- Funkamateure LT-Spice Artikelreihe DD6AE: FA 9/2013 .. 01/2014
- Youspice - Spice Simulation Community <http://www.youspice.com>
- http://dl4aae.darc.de/vortrag_ham_radio_spice_dl4aae.pdf
- http://www.hb9f.ch/bastelecke/pdf/Vortraege/2012/LT_Spice_DC2PCC.pdf
- <http://tech.groups.yahoo.com/group/LTspice> (Digital-Baustein Bibliothek)
- https://home.zhaw.ch/~hhrt/LTspice/LTspice_Einfuehrung.pdf



Andere Simulations Programme

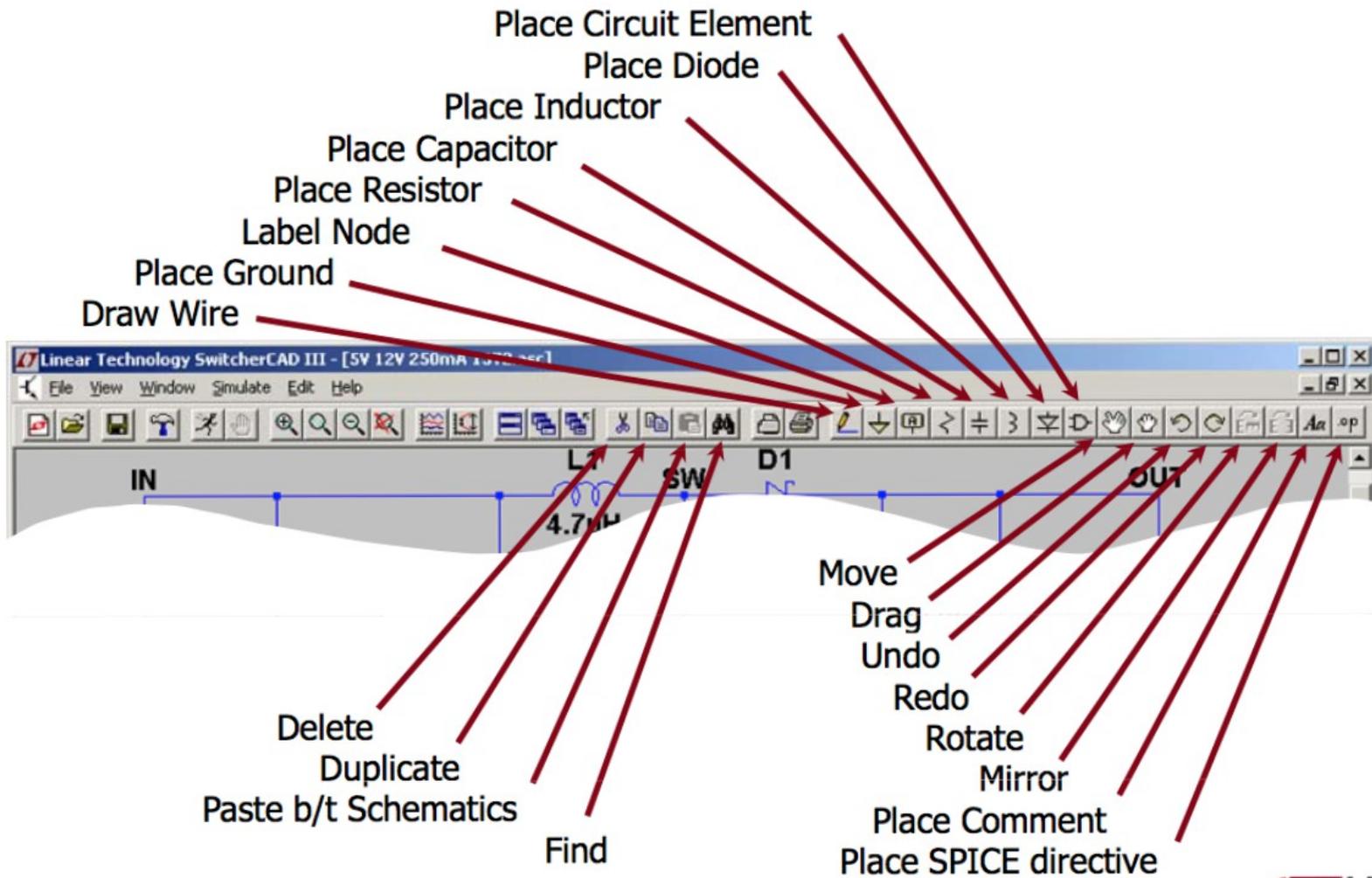
- Rfsim99 (gratis, sehr gut für HF Netzwerke)
- Pspice (student version)
- 5Spice (preiswert)
- Winspice (45 £)
- Qucs-Studio: <http://qucs.sourceforge.net/> (Open Source); DD6UM FA 7..9/2014
- Ansoft Designer (Studenten Version nur noch bei G. Krause)
- Und mehr...
-



... und nun viel Spass beim
Simulieren



Schaltplan Editor EN



© 2011 Linear Technology

