

# LTSpice Elektroniksimulationen

Eine kleine Einführung  
und diverse Beispiele

# LTSpice Elektroniksimulationen

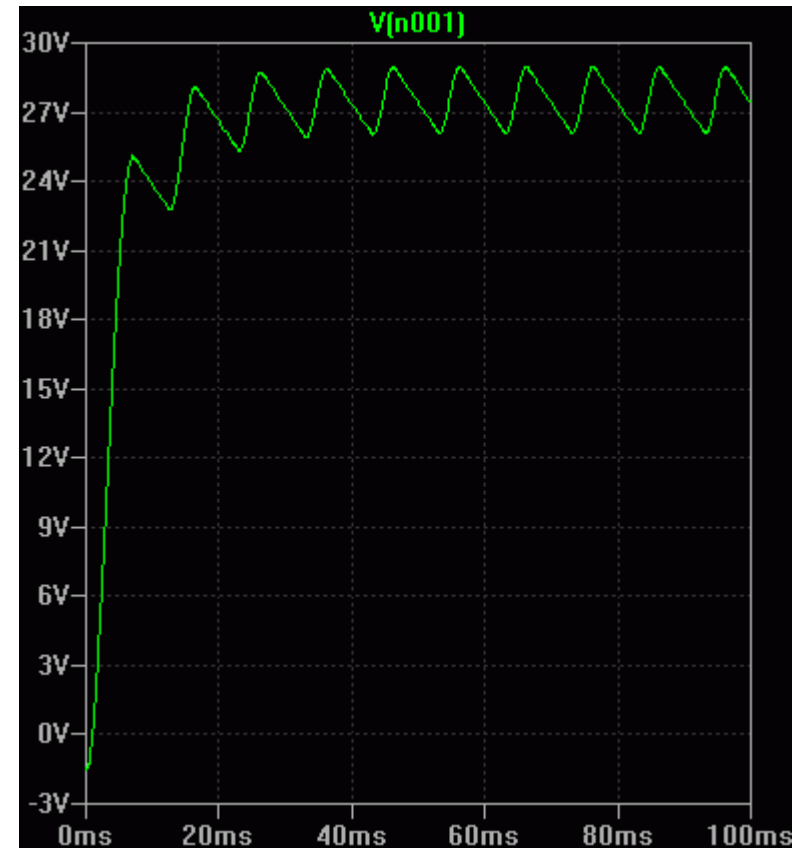
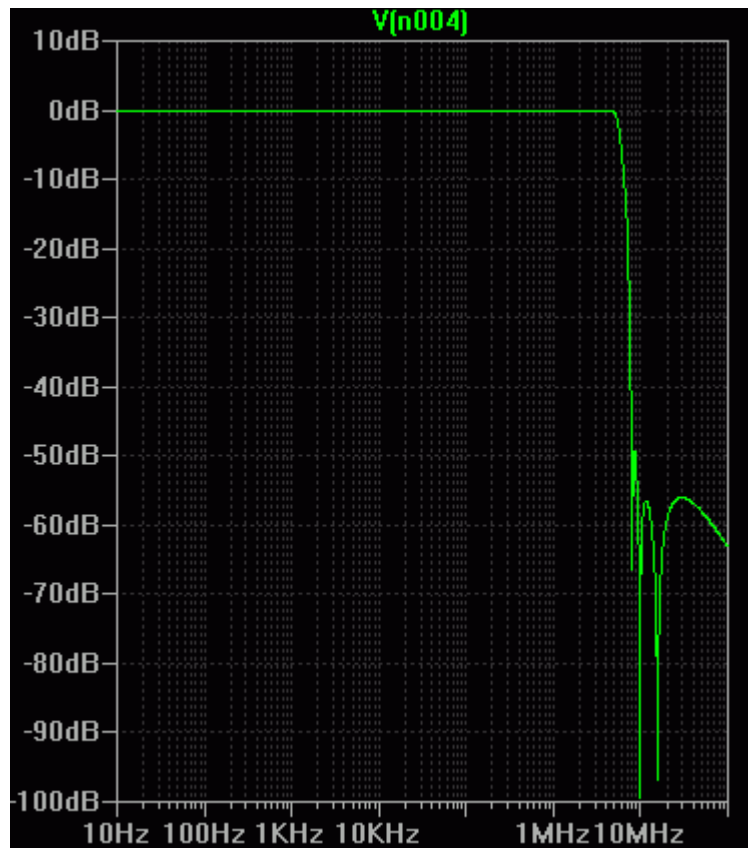
- LTSpice, was ist das ?
- Was kann man damit alles machen ?
- Was kann es nicht !
- Wie fange ich damit an ?
- Für fortgeschrittene...
- Weitere Beispiele
- Schlusswort

# LTSpice, was ist das ?

- LTSpice ist ein Elektroniksimulator, basierend auf Berkeley-Spice
- Entwickelt von der Firma Linear Technologies.
- In erster Linie gedacht um mit LT-Bausteine zu entwickeln und deren Verhalten zu simulieren.
- Aber so allgemein gestaltet dass es ohne weiteres kompatibel ist mit dem Industrie-Standard Pspice.
- Ein kostenloses Programm für jedermann.

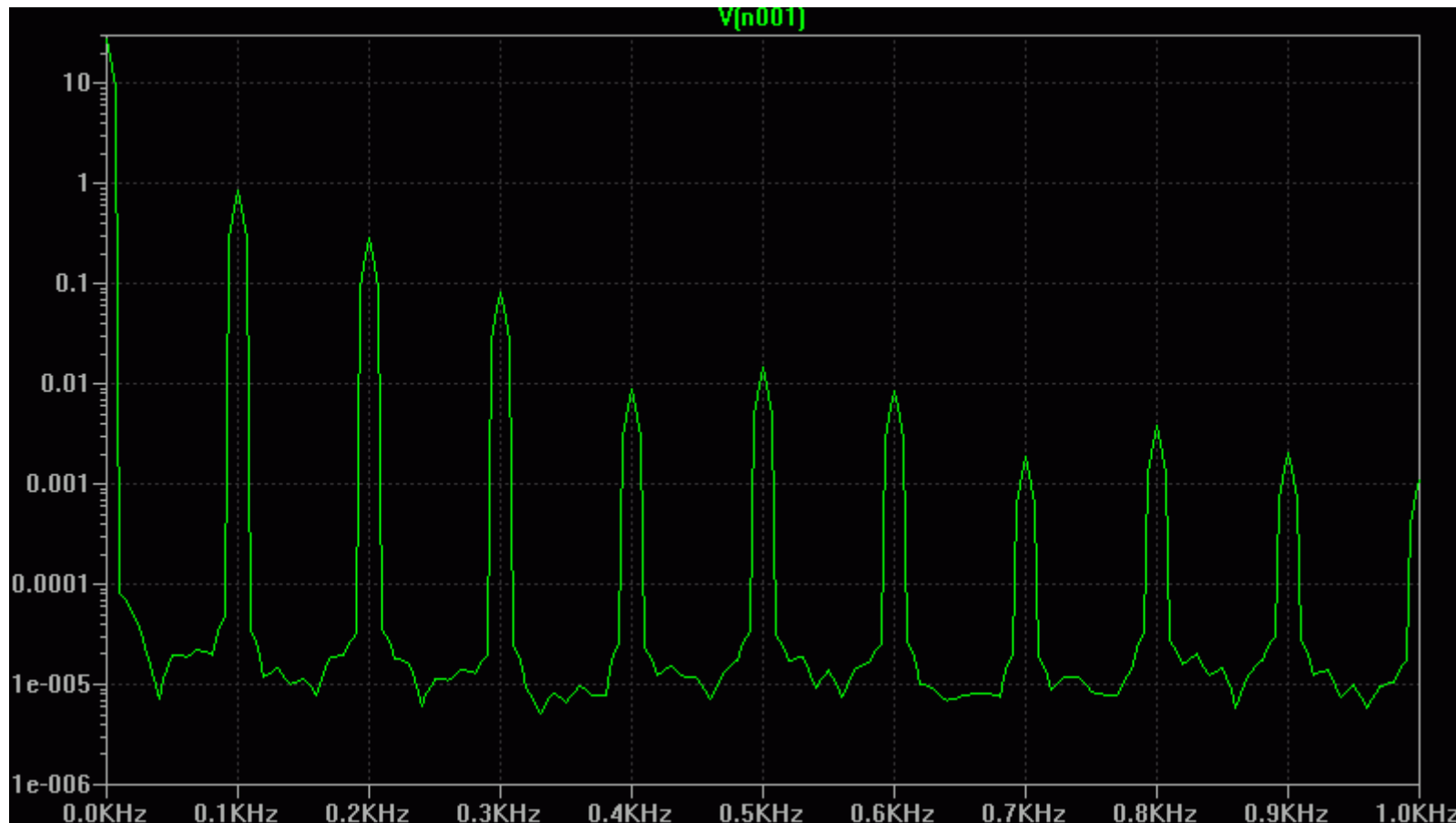
# Was kann man damit alles machen ?

- Elektronische Schaltungen simulieren
- Im Frequenzbereich oder Zeitbereich



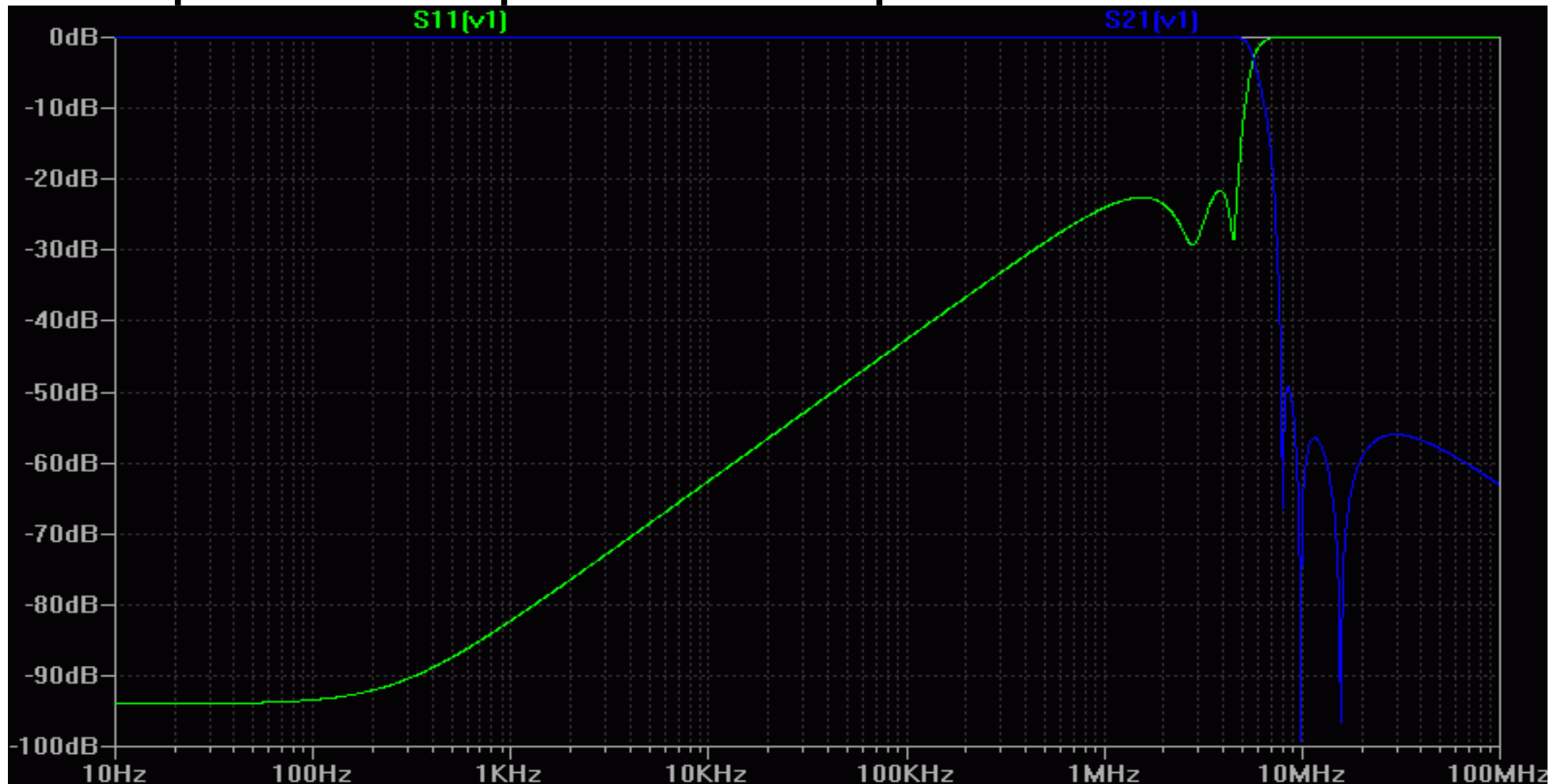
# Was kann man damit alles machen ?

- FFT-Analysen der simulationsergebnisse durchführen



# Was kann man damit alles machen ?

- S-parameter plots im Frequenzbereich



# Was kann es nicht !

- Feldsimulationen von EM-Felder
- Antennesimulationen
- Selbstständig Elektronik entwickeln.
-

# Wie fange ich damit an ?

- Programm herunterladen
  - <http://www.linear.com/designtools/software/#LTspice>
- Installieren
  - Win98SE,2000,XP,Windows 7
  - Linux / wine siehe LTSpice hilfe für details
- Loslegen.....



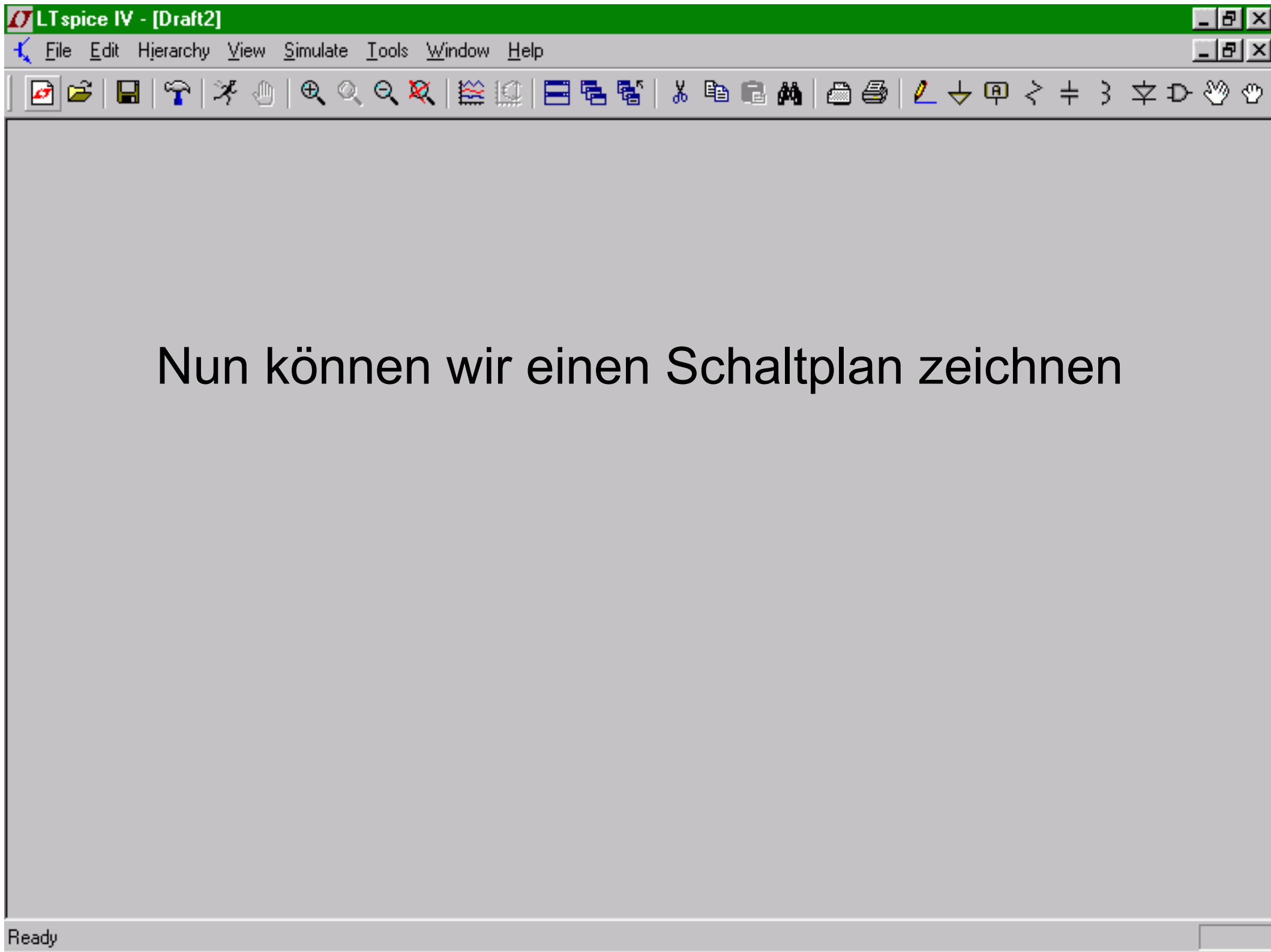


Dies ist der Startschirm

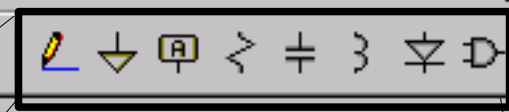
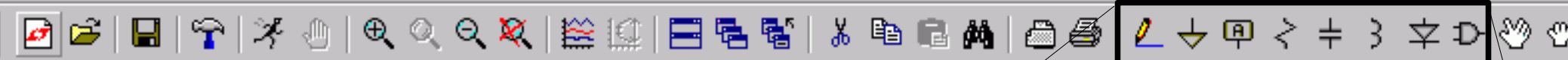
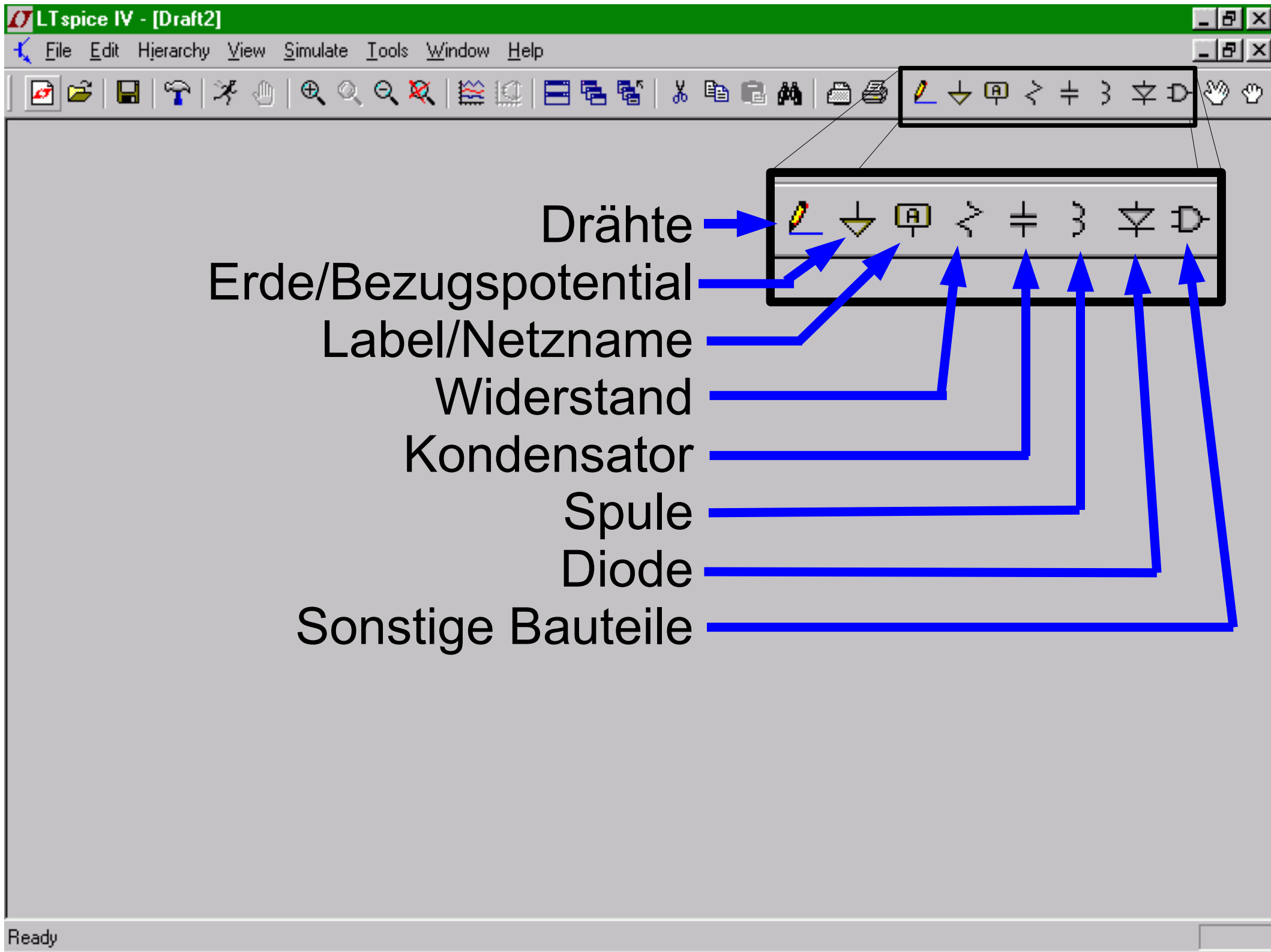


Zum öffnen bestehender  
LTSpice schaltpläne

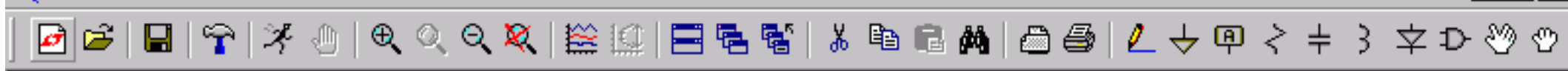
Für ein neuer Schaltplan



Nun können wir einen Schaltplan zeichnen



- Drähte →
- Erde/Bezugspotential →
- Label/Netzname →
- Widerstand →
- Kondensator →
- Spule →
- Diode →
- Sonstige Bauteile →



### Select Component Symbol

Top Directory: C:\PROGRAMME\LTCLTSPICEIV\lib\sym

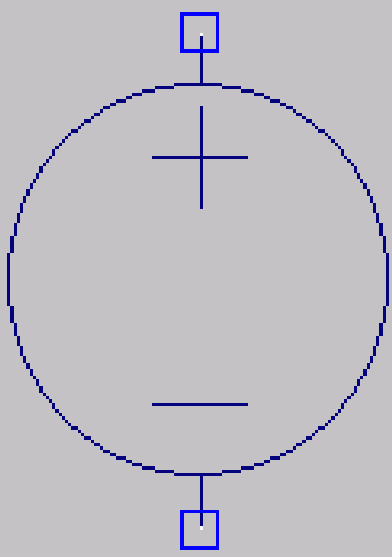
Voltage Source, either DC, AC, PULSE, SINE, PWL, EXP, or SFFM

C:\PROGRAMME\LTCLTSPICEIV\lib\sym\

[Comparators]	current	load2	pnp
[Digital]	diode	lpnp	pnp2
[FilterProducts]	e	ltline	pnp4
[Misc]	e2	mesfet	polcap
[Opamps]	f	njf	res
[Optos]	FerriteBead	nmos	res2
[PowerProducts]	FerriteBead2	nmos4	schottky
[References]	g	npn	sw
[SpecialFunctions]	g2	npn2	tline
bi	h	npn3	varactor
bi2	ind	npn4	<b>voltage</b>
bv	ind2	pf	zener
cap	LED	pmos	
csw	load	pmos4	

# Select Component Symbol

Top Directory: C:\PROGRAMME\LTCLTSPICE\lib\sym



Voltage Source, either DC, AC, PULSE, SINE, PWL, EXP, or SFFM

Open this macromodel's test fixture

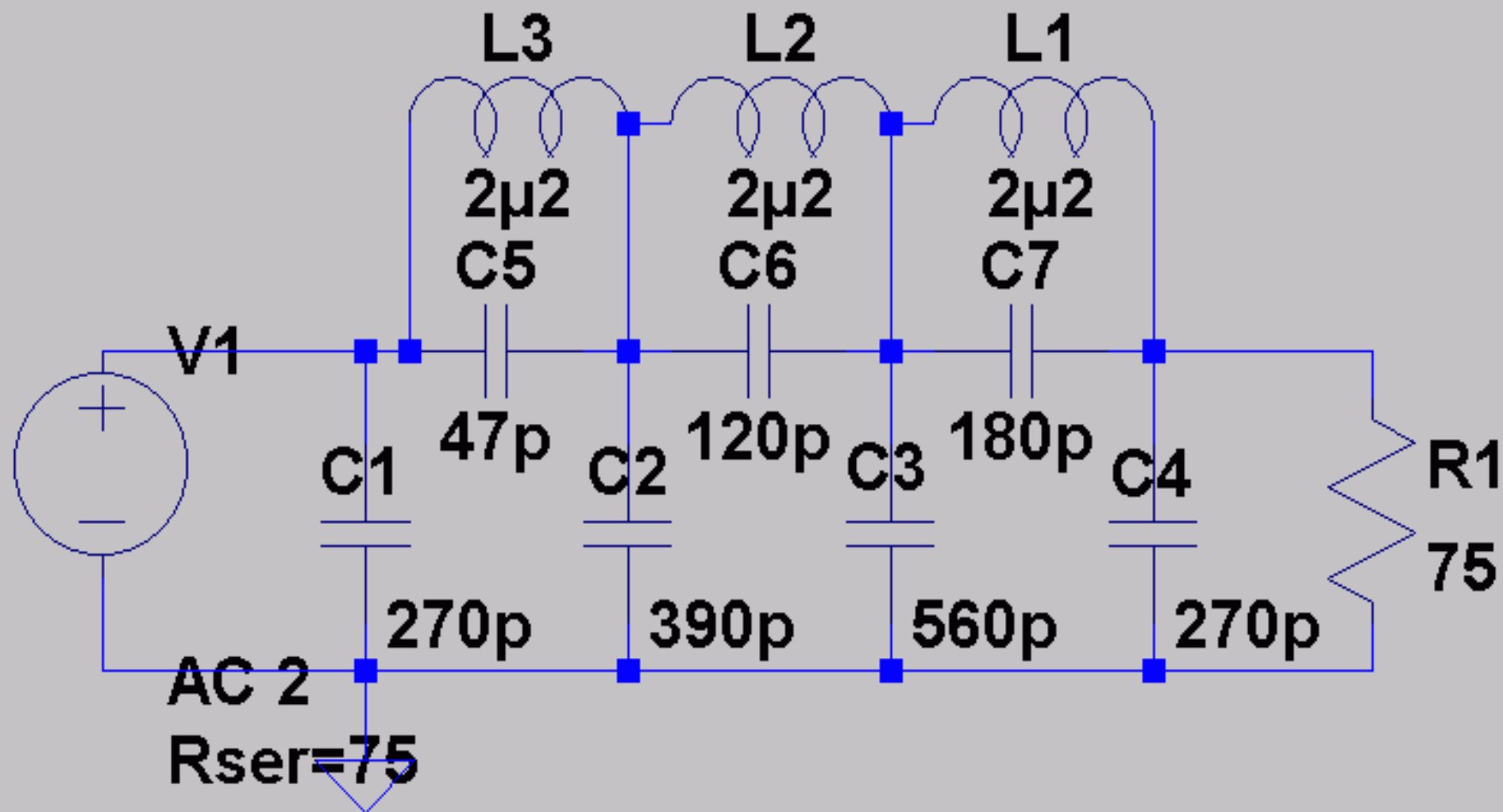
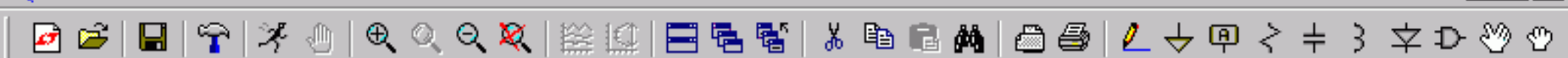
voltage

C:\PROGRAMME\LTCLTSPICE\lib\sym\

- |                    |              |        |                |
|--------------------|--------------|--------|----------------|
| [Comparators]      | current      | load2  | pnp            |
| [Digital]          | diode        | lpnp   | pnp2           |
| [FilterProducts]   | e            | lline  | pnp4           |
| [Misc]             | e2           | mesfet | polcap         |
| [Opamps]           | f            | njf    | res            |
| [Optos]            | FerriteBead  | nmos   | res2           |
| [PowerProducts]    | FerriteBead2 | nmos4  | schottky       |
| [References]       | g            | npn    | sw             |
| [SpecialFunctions] | g2           | npn2   | tline          |
| bi                 | h            | npn3   | varactor       |
| bi2                | ind          | npn4   | <b>voltage</b> |
| bv                 | ind2         | pjf    | zener          |
| cap                | LED          | pmos   |                |
| csw                | load         | pmos4  |                |

Cancel

OK



`.net I(R1) V1`

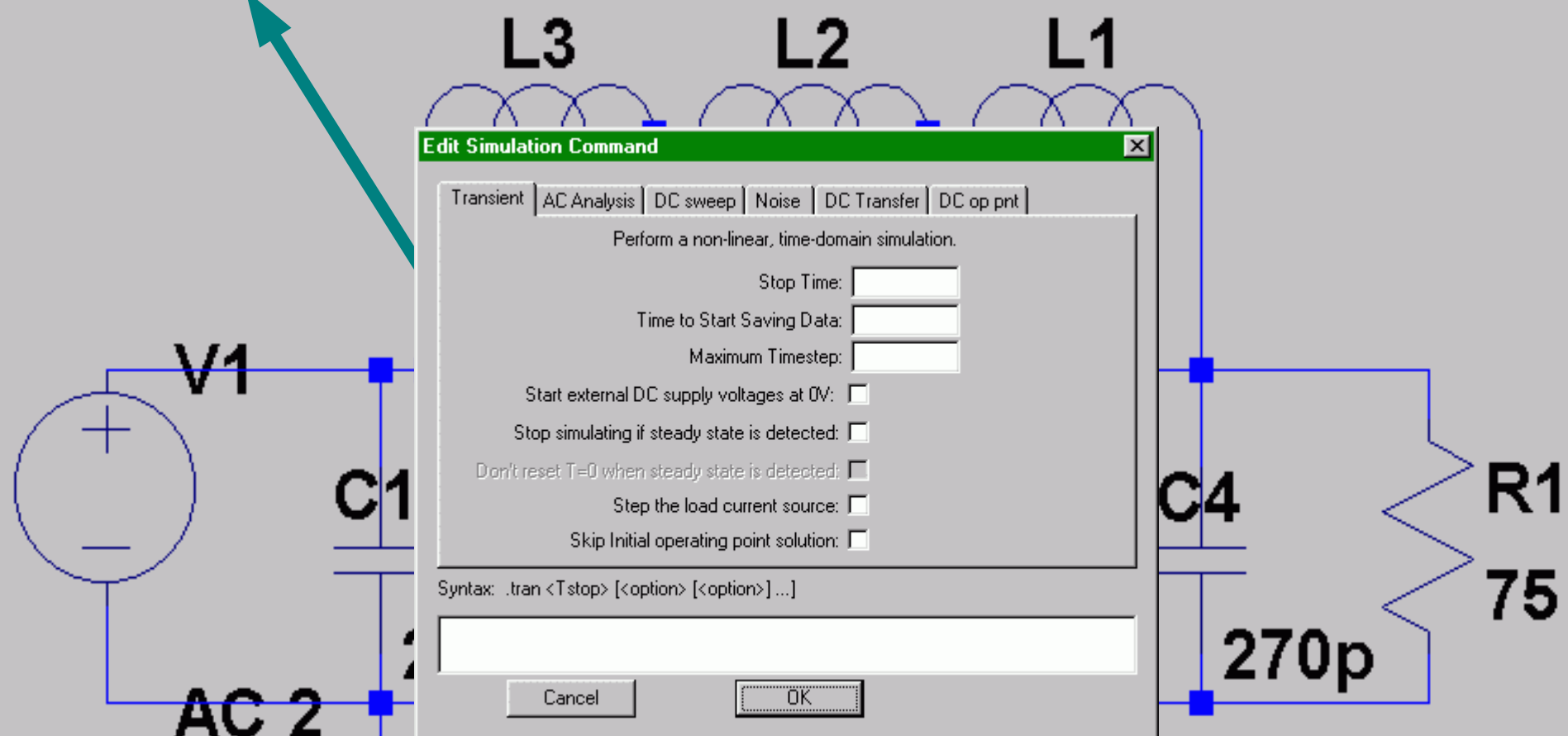
`.ac oct 101 10 100meg`



```
.net I(R1) V1
.ac oct 101 10 100meg
```

Wenn die Schaltung fertig gezeichnet ist, geht es an die Simulation !





```
.net I(R1) V1
.ac oct 101 10 100meg
```

Wenn die Schaltung fertig gezeichnet ist, geht es an die Simulation !

Transient

AC Analysis

DC sweep

Noise

DC Transfer

DC op pnt

Perform a non-linear, time-domain simulation.

Stop Time:

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:

Syntax: .tran <T stop> [<option> [<option>] ...]

Cancel

OK

Transient

AC Analysis

DC sweep

Noise

DC Transfer

DC op pnt

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

Type of Sweep: Octave



Number of points per octave: 101



Start Frequency: 10



Stop Frequency: 100meg

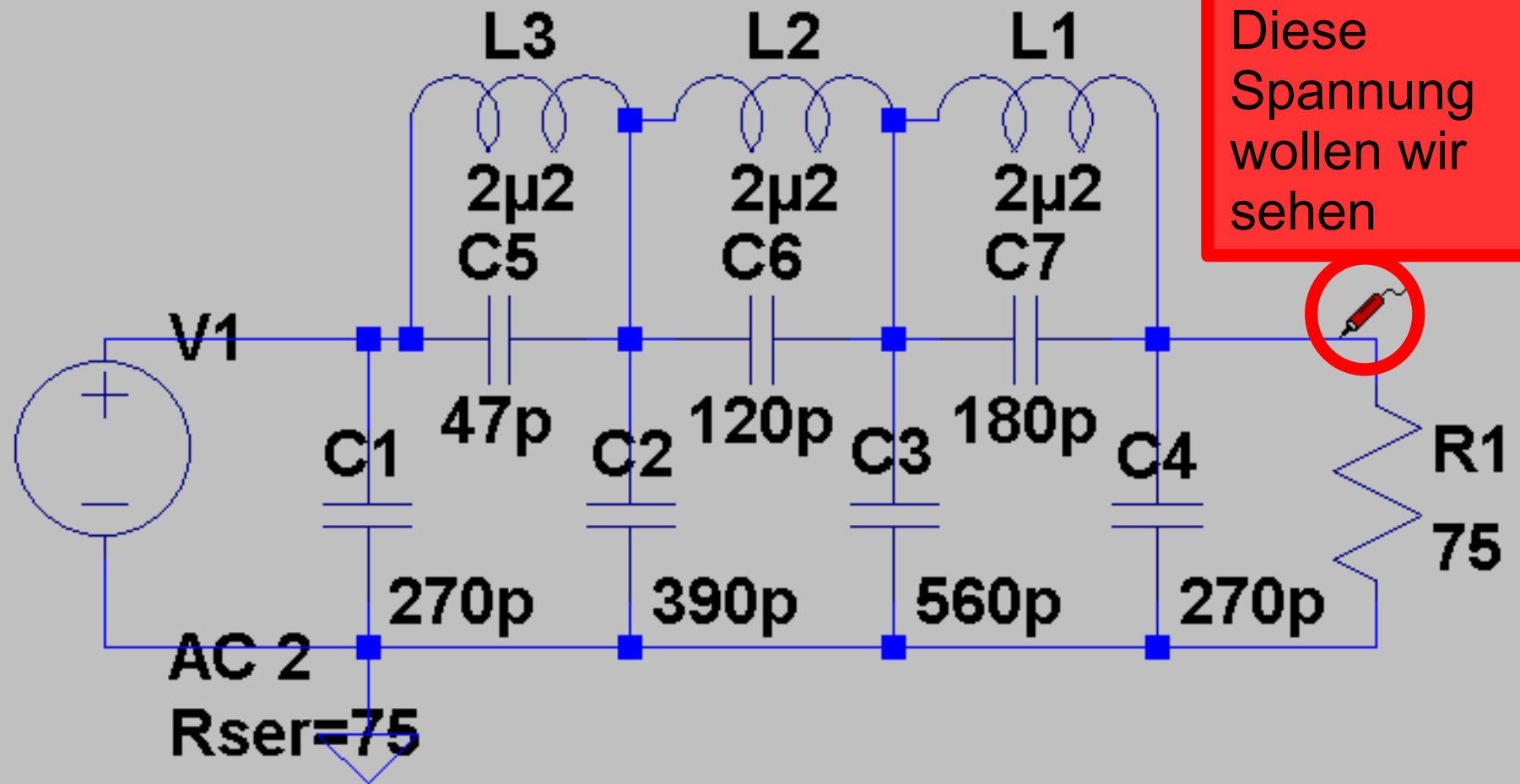


Syntax: .ac <oct, dec, lin> <Npoints> <StartFreq> <EndFreq>

.ac oct 101 10 100meg

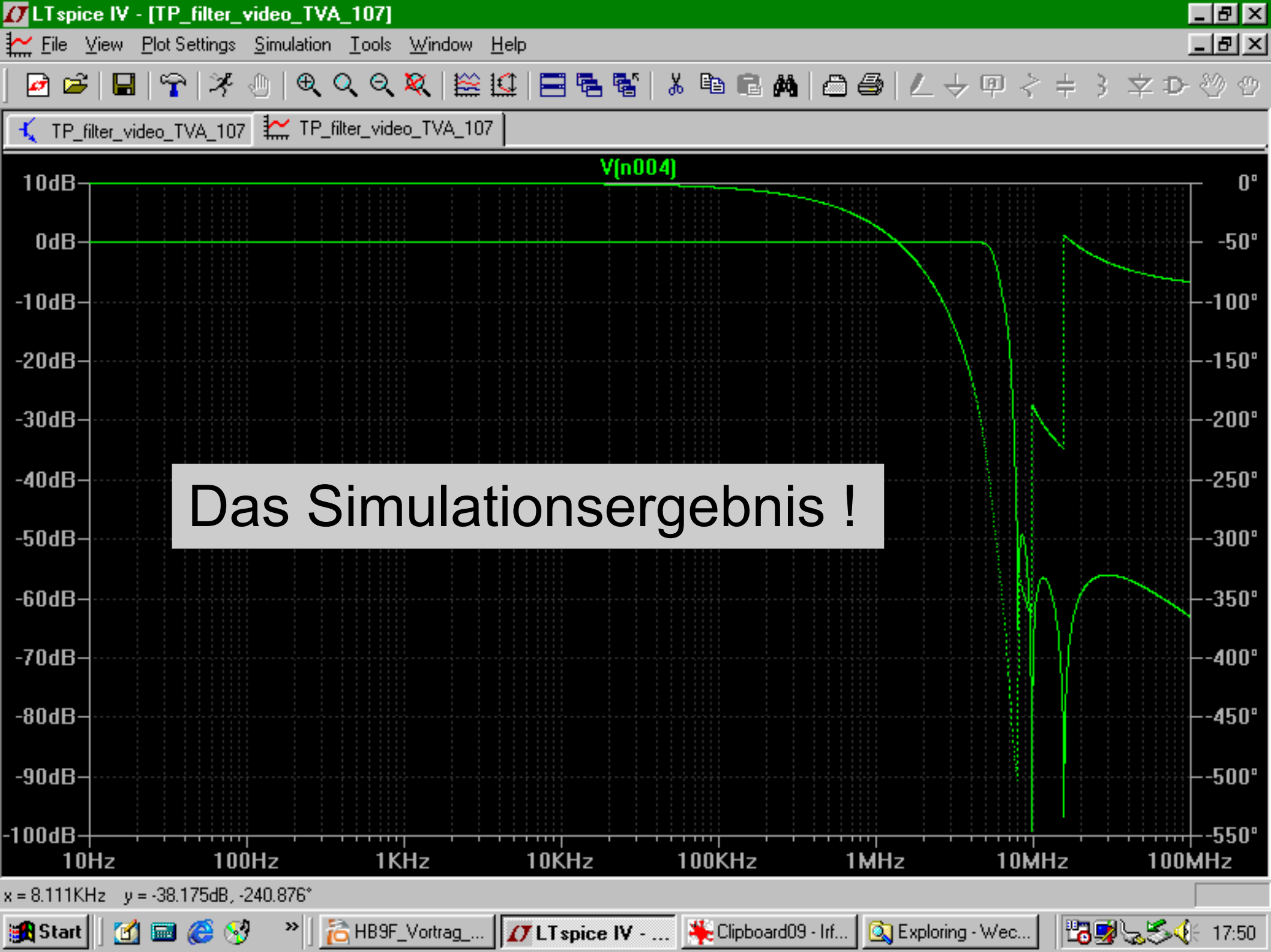
Cancel

OK



```
.net I(R1) V1  
.ac oct 101 10 100meg
```

Click to plot V(N004).



Das Simulationsergebnis !

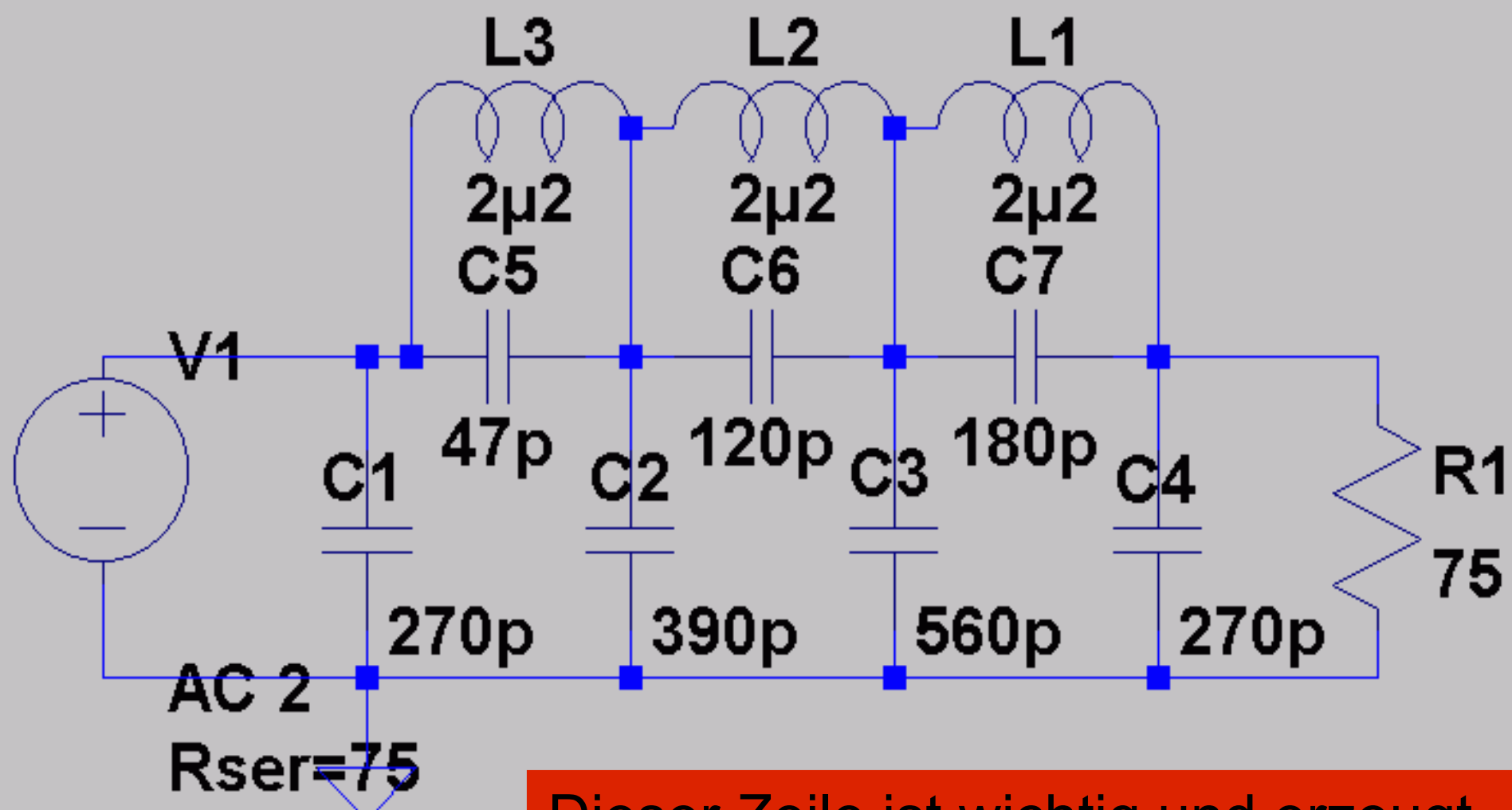
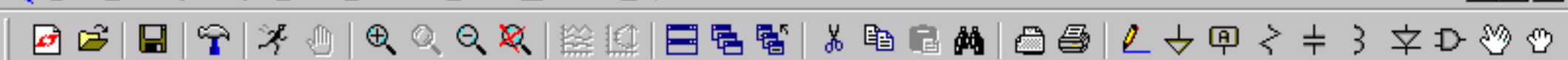
x = 8.111kHz y = -38.175dB, -240.876°

# Für Fortgeschrittene

- S-Parameter simulationen
- Ein (Bauteil)wert variieren
- Eine Wav-Datei als quelle oder ausgang benützen
- Simulieren mit „Fremdmodelle“
- Selber Modelle in die Standard-Modellbibliothek hinzufügen
- Selber Modelle erstellen

# S-Parameter Simulationen

- Kein Smith-diagramm zur darstellung S-parameters
- Betrag kann gewählt werden zwischen Linear und logarithmisch oder dB
- Phase kann mit angezeigt werden.
- Export in einen Textdatei ist möglich --> weitere verarbeitung in andere Programme möglich.

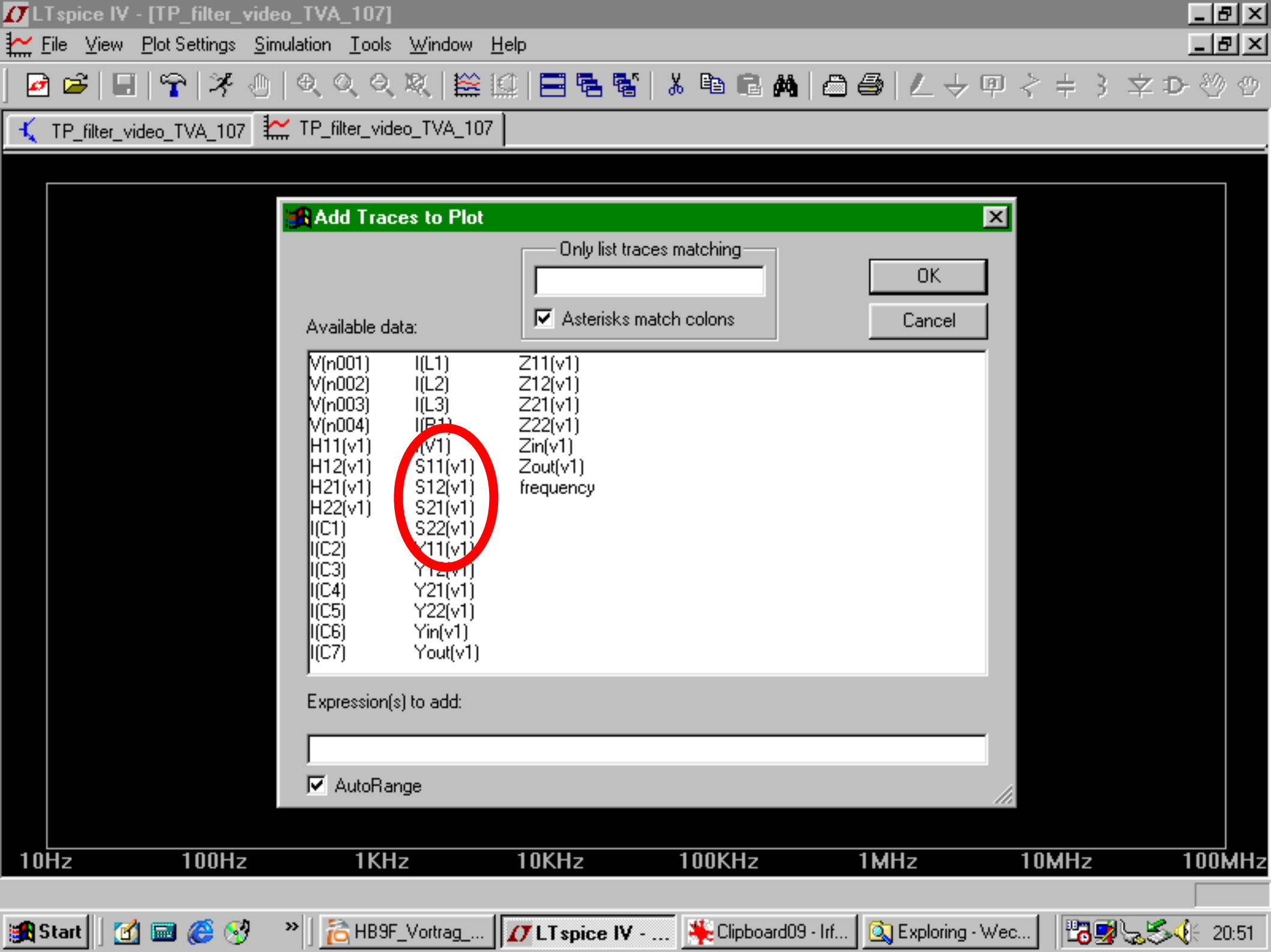


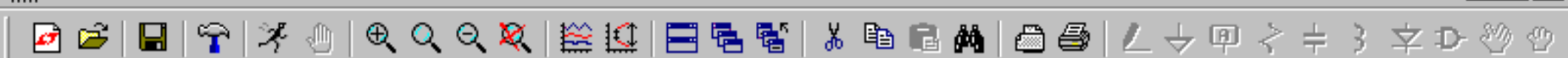
```
.net I(R1) V1
```

Dieser Zeile ist wichtig und erzeugt die S-parameter data.

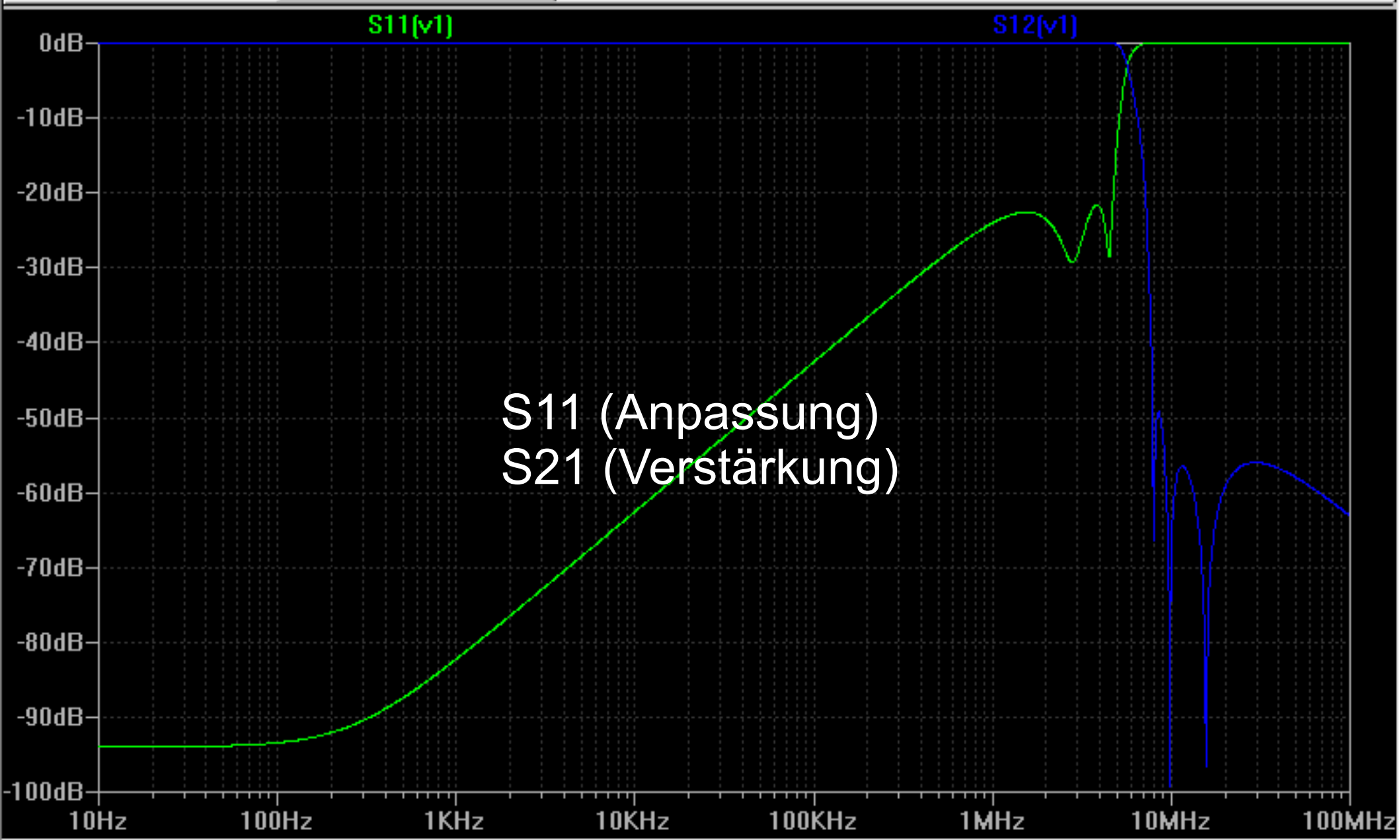
```
.ac oct 101 10 100meg
```







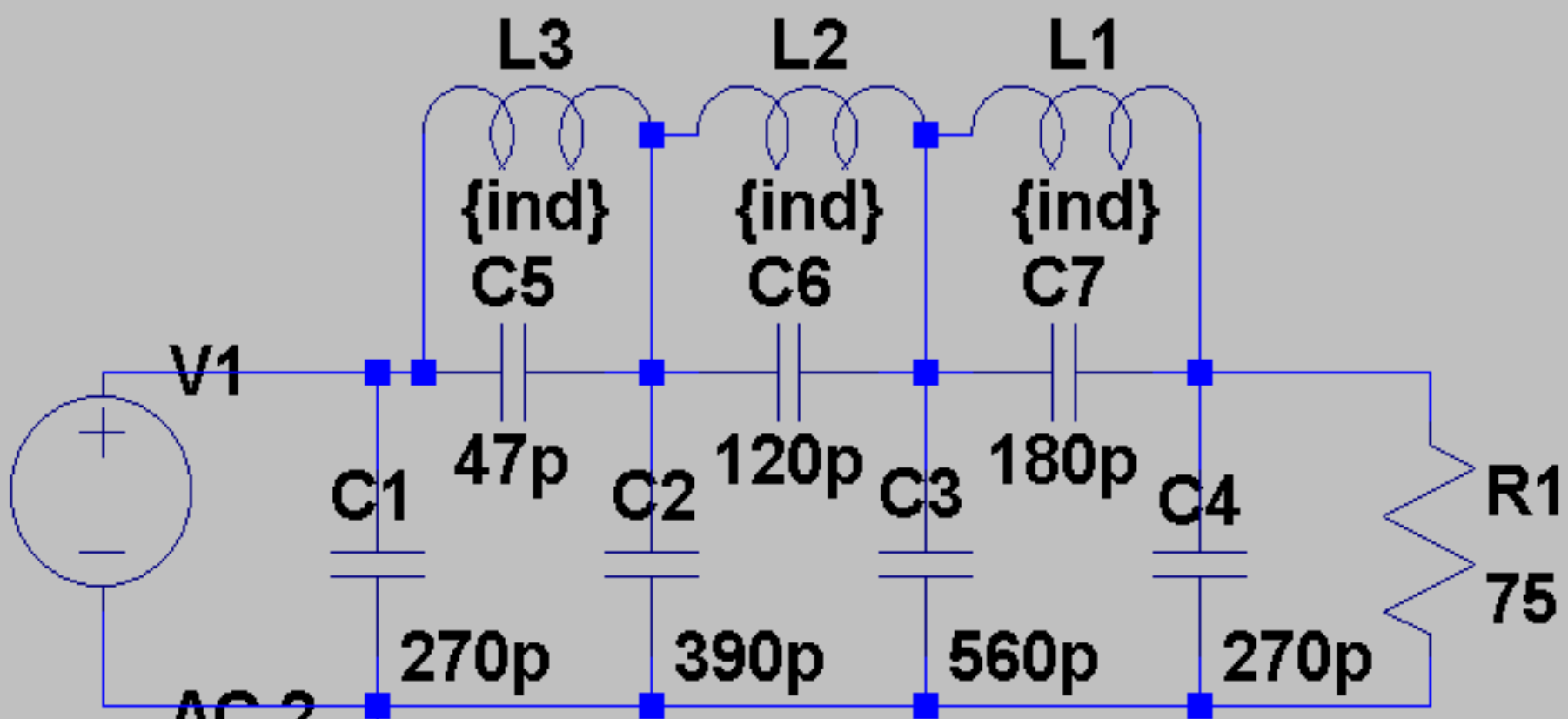
TP\_filter\_video\_TVA\_107 TP\_filter\_video\_TVA\_107



S11 (Anpassung)  
S21 (Verstärkung)

# Bauteilwerte variieren

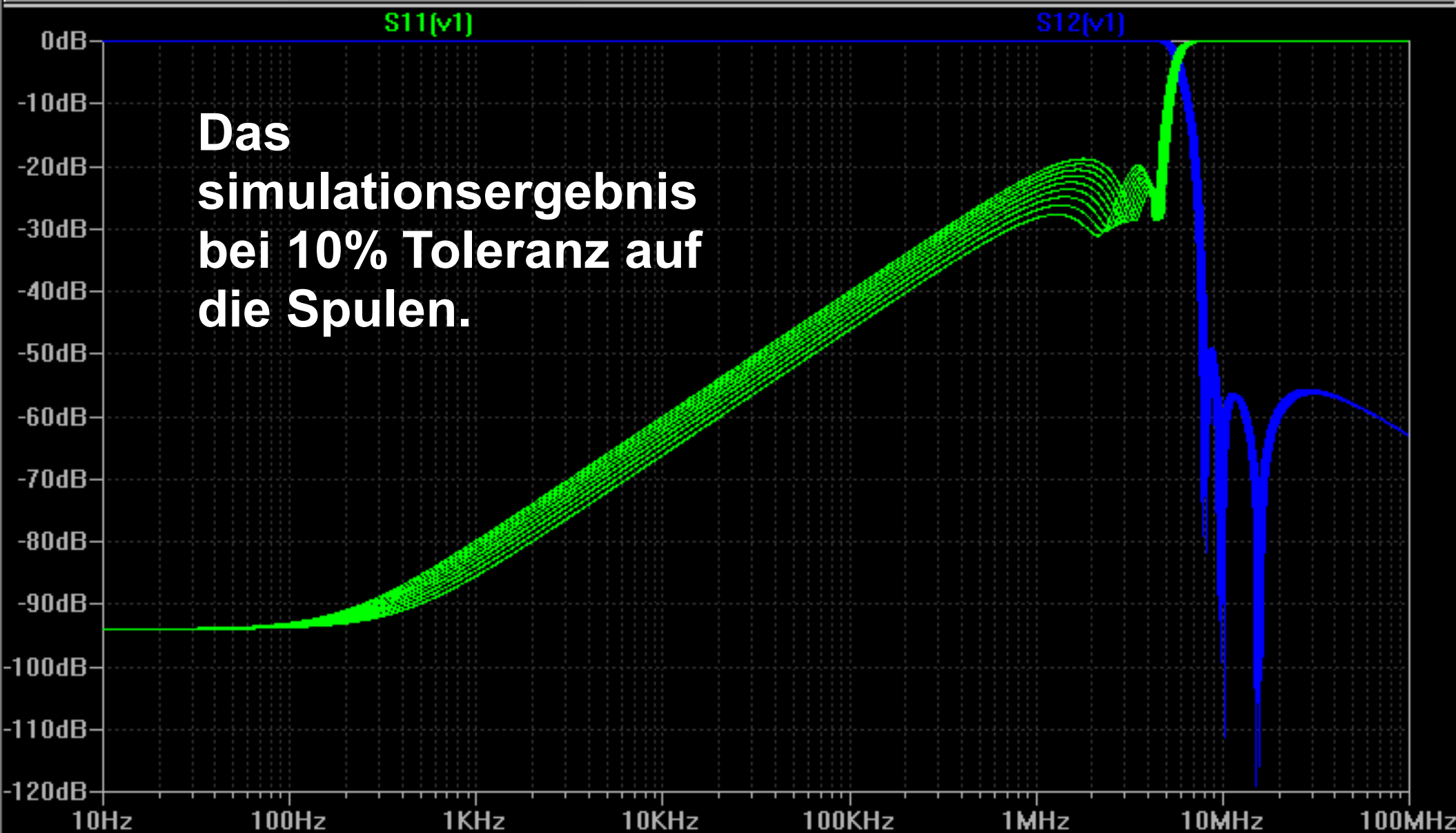
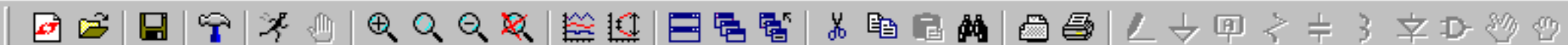
- Toleranzanalyse
- Optimaler wert suchen
- ...
- Max. 3 werte können variiert werden.
- Achtung ! Rechenzeit verlängert sich entsprechend, da jede wert (oder kombination von werte) einzeln durchgerechnet wird.



AC 2  
Rser=75

```
.param ind 2u2
.step param ind 2uH 2.4uH .05uH
```

```
.net I(R1) V1
.ac oct 101 10 100meg
```



**Das  
simulationsergebnis  
bei 10% Toleranz auf  
die Spulen.**

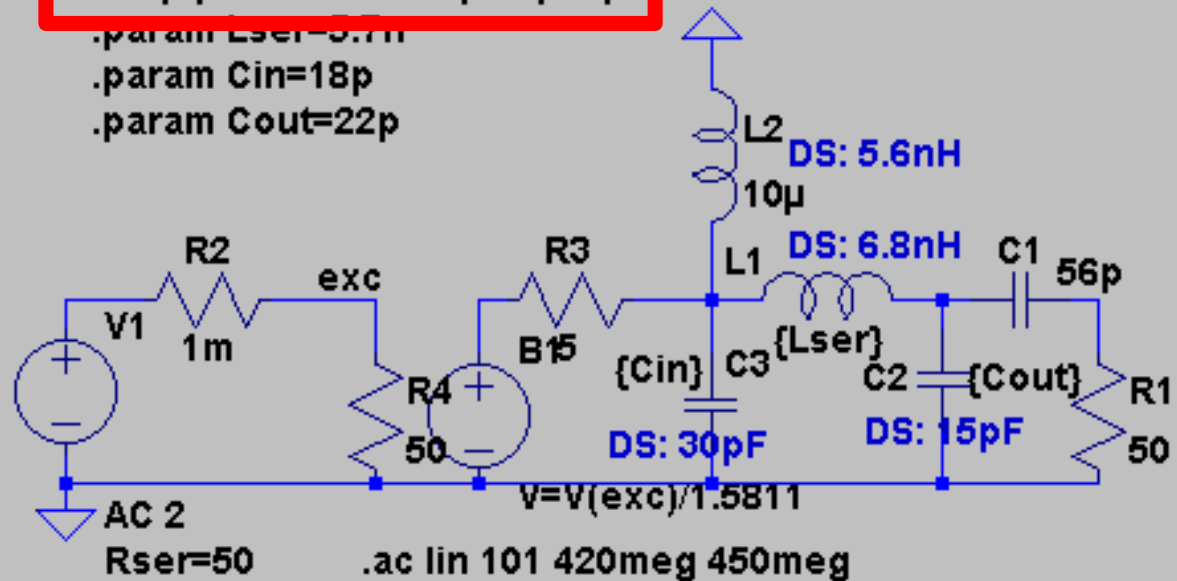
x = 29.890KHz y = -79.124dB



.net I(R1) V1 ; S-parameters, source V1, load R1

```
.step param Lser 5n 6n .1n
.step param Cin 17p 21p 1p
.step param Cout 20p 22p .5p
.param Lser=5.7n
.param Cin=18p
.param Cout=22p
```

3 Parameter variiert

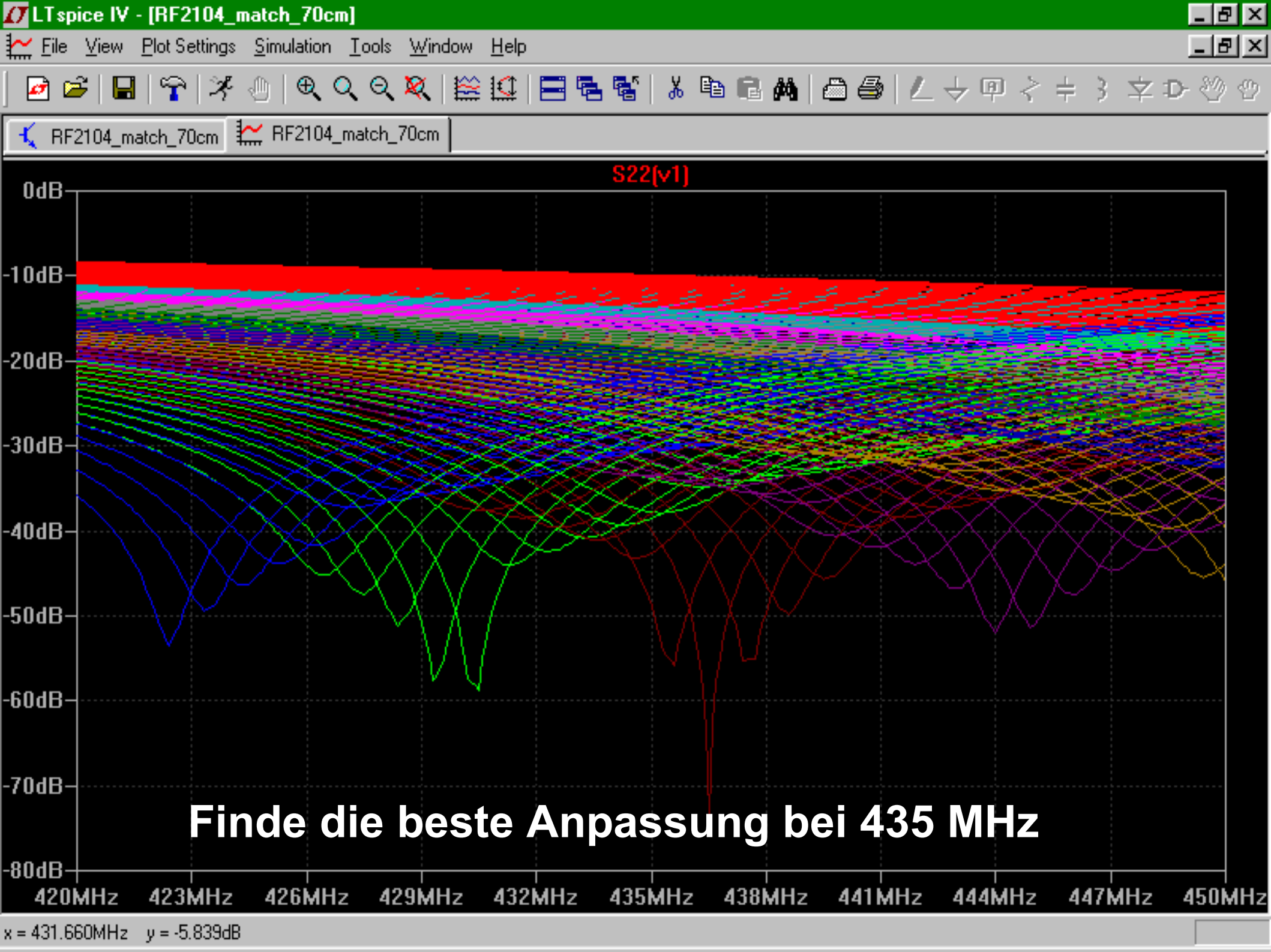


DS: datenblattwerte für anpassung bei 420 MHz.

Fein-optimum: Lser=5.5n;Cin=23.6p;Cout=21p;Lsupply=5.6nH

Grob-optimum: Lser=5.3n;Cin=22p;Cout=22p:Lsupply=5.6nH

Grob-optimum: Lser=5.7n;Cin=18p;Cout=22p:Lsupply=10uH



**Finde die beste Anpassung bei 435 MHz**

x = 431.660MHz y = -5.839dB

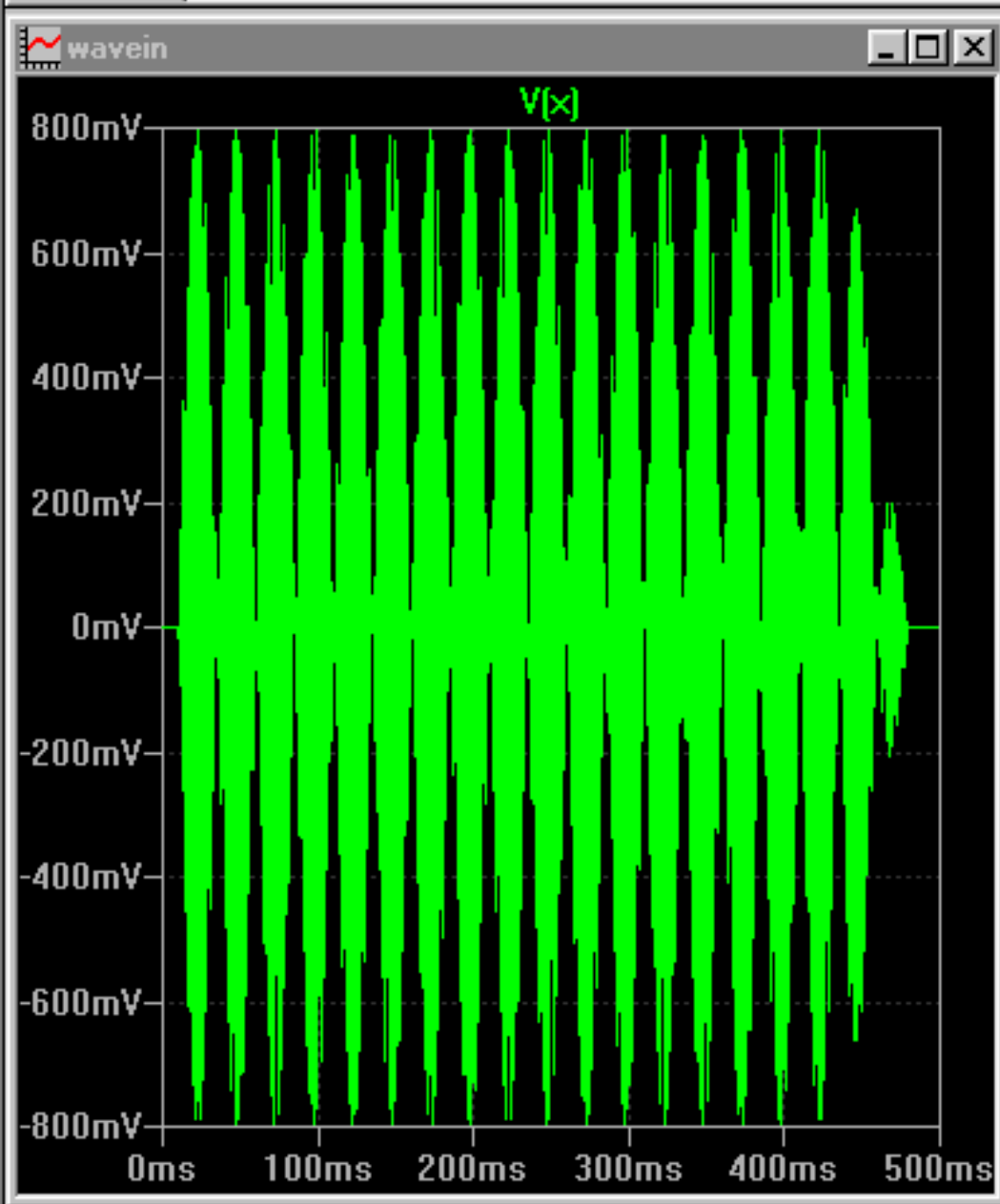
# Ein WAV-Datei als quelle oder Ausgabe benützen

- Effekte auf selbst aufgenommene Signale untersuchen
- Willkürliche Signalformen erzeugen und über die Soundkarte abspielen





wavein wavein



This demonstrates using a .wav file

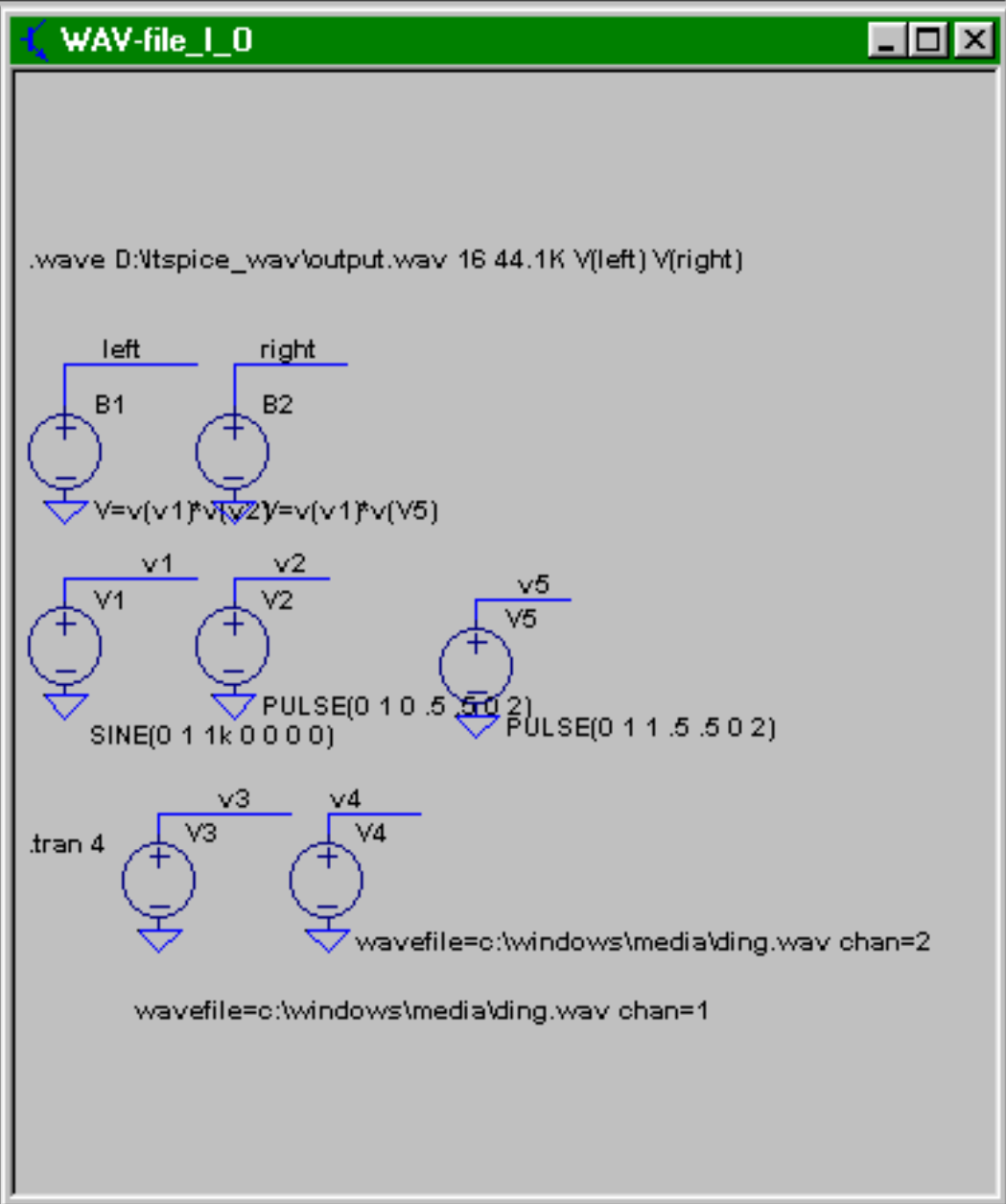
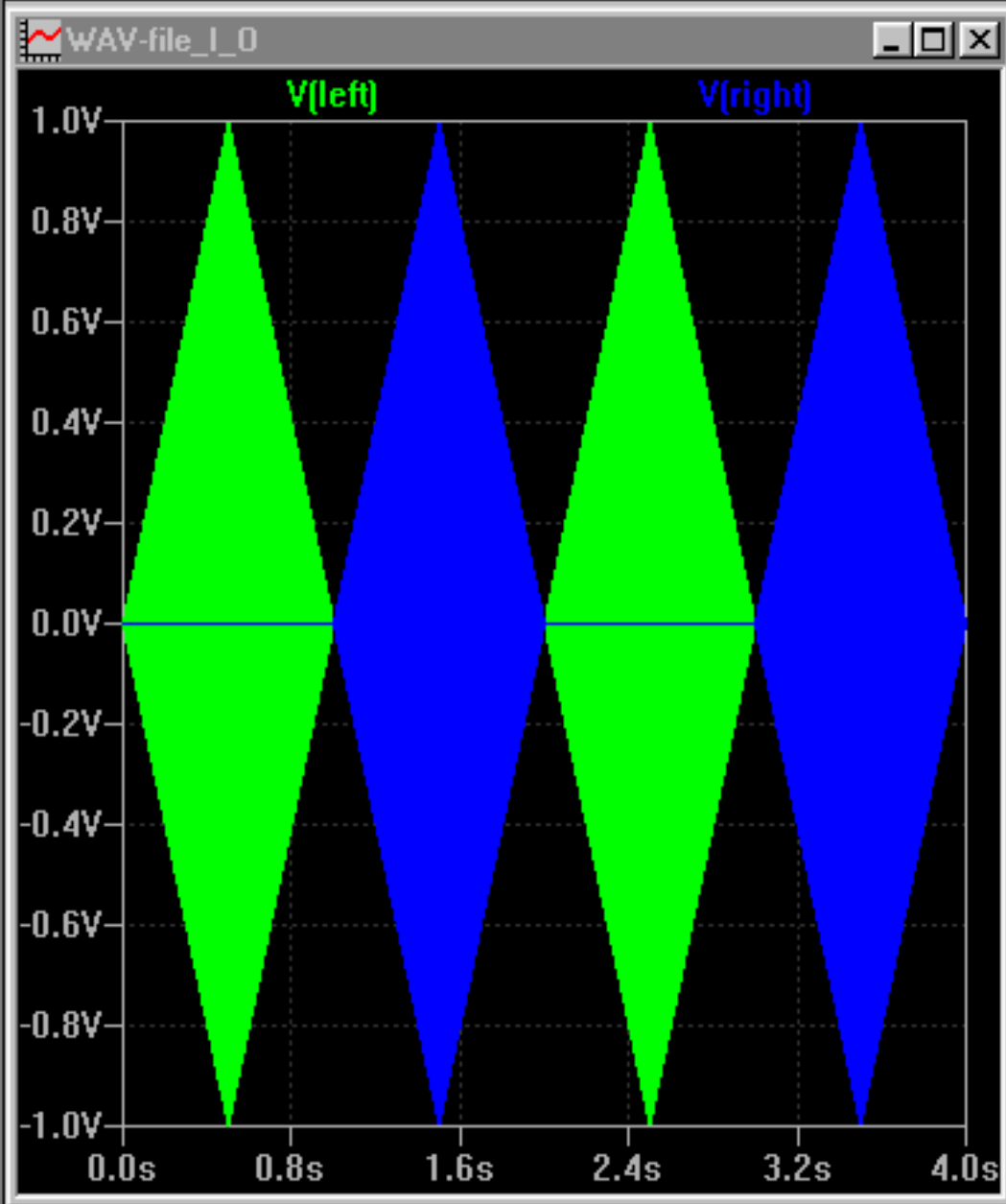
`wavefile=.iring.wav chan=0`

`.tran .5`

This example schematic is supplied for informati



WAV-file\_1\_0 | WAV-file\_1\_0

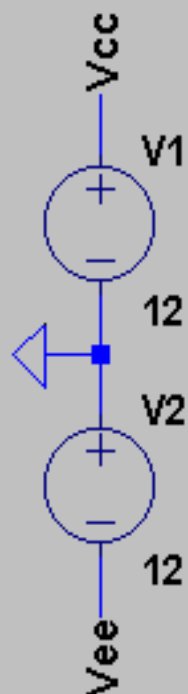


# Simulieren mit „Fremdmodelle“

- Linear Technologies fügt nur die „eigene“ Bauteile in ihren Standardbibliotheken.
- Es steht jeder Benutzer frei selber Modelle von Fremdherstellern hinzuzufügen.
- Entweder man nimmt sie einfach mal schnell in eine Schaltung mit auf.
- Oder man fügt sie die Standardbibliotheken hinzu.

# Fremdmodelle in die Schaltung aufnehmen.

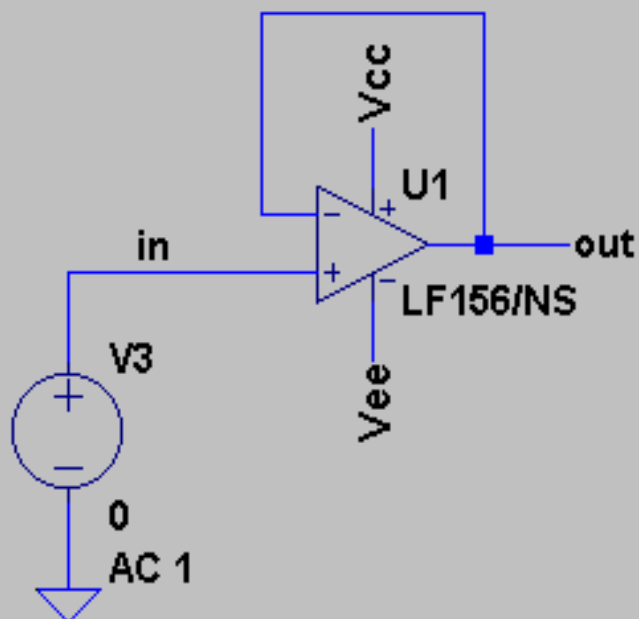
- Viele Bauteilhersteller bieten auf ihre Webseiten Spice-modelle ihre Bauteile an.
- Gunthard Kraus hat eine grosse Sammlung von Spice-Modelle zusammengetragen und auf seine Webseiten veröffentlicht.



```
.inc lf156.mod
```

```
.ac oct 50 1 10meg
```

**Diese Datei muss am selben ort zu finden sein als das Schema, oder man stellt sie in das lib verzeichnis von LTSPice**





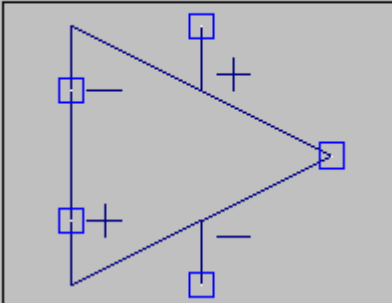
Vcc

`.inc lf156.mod`

`.ac oct 50 1 10meg`

**Select Component Symbol**

Top Directory: C:\PROGRAMME\LTSPICE\lib\sym



Basic Operational Amplifier symbol for use with subcircuits in the file ./lib/sub/LTC.lib. You must give the value a name and include this file.

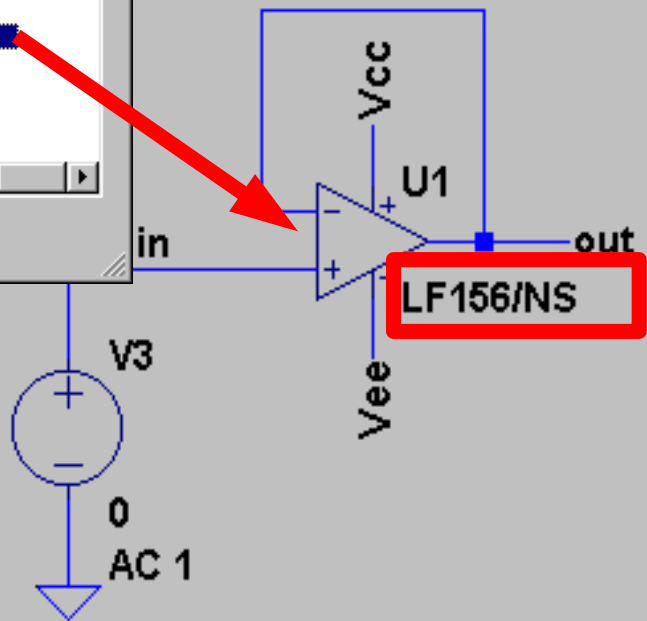
Open this macromodel's test fixture

opamp2

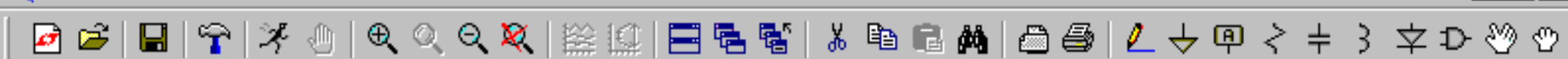
C:\PROGRAMME\LTSPICE\lib\sym\Opamps\

LTC6087	LTC6400-26	LTC6910-2
LTC6088	LTC6401-20	LTC6910-3
LTC6101	LTC6401-26	LTC6911-1
LTC6102	LTC6401-8	LTC6911-2
LTC6103	LTC6403-1	LTC7652
LTC6241	LTC6404-1	opamp
LTC6244	LTC6404-2	<b>opamp2</b>
LTC6246	LTC6404-4	UniversalOpamp2
LTC6247	LTC6405	
LTC6248	LTC6406	
LTC6400-20	LTC6910-1	

Cancel OK



**LF156/NS**



`.inc lf156.mod`

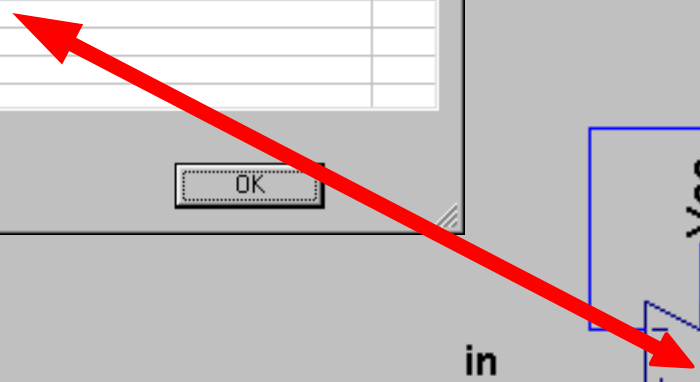
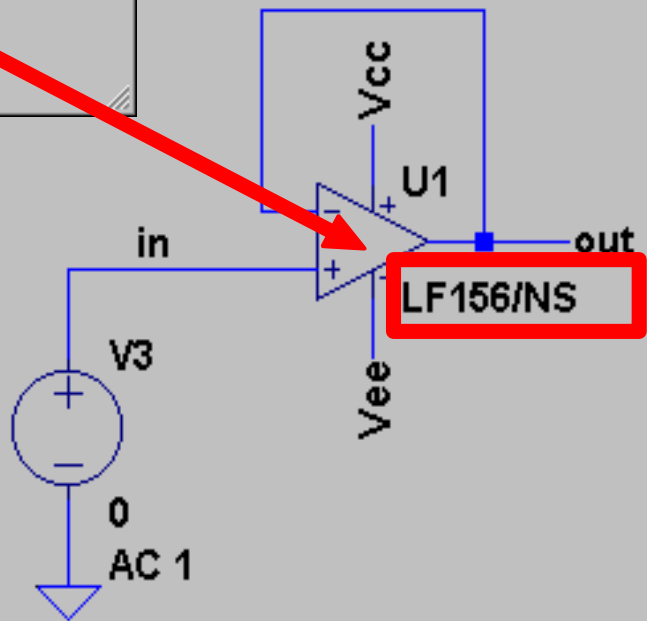
`.ac oct 50 1 10meg`

Component Attribute Editor

Open Symbol: C:\Programme\LTSpice\lib\sym\opamps\opamp2.asy

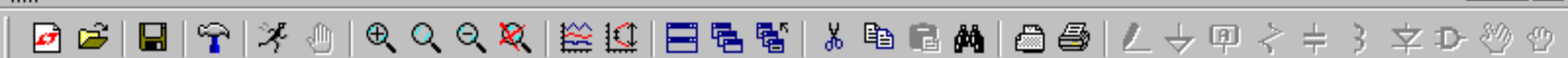
Attribute	Value	Vis.
Prefix	X	
InstName	U1	X
SpiceModel		
Value	LF156/NS	X
Value2		
SpiceLine		
SpiceLine2		

Cancel OK

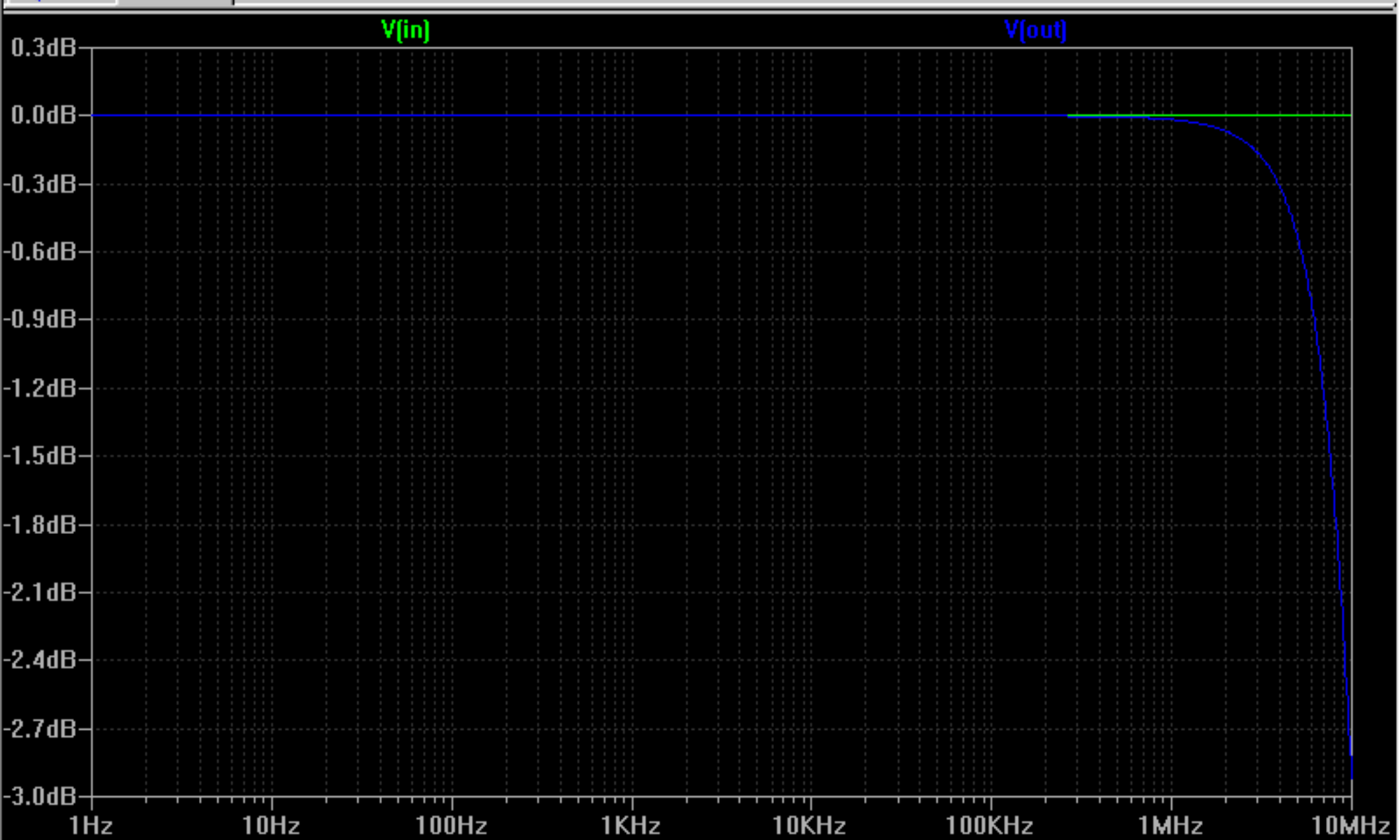








LF156 LF156



x = 1.728KHz y = -454.745mdB

# Selber Modelle in die Standard-Modellbibliothek hinzufügen

- Selber Modelle in die Standard-Modellbibliothek hinzufügen
- Nach vorhergehenden Vorgang jeden Transistor- und Diodentyp einbauen ist etwas umständlich
- Man hat die Bauteile viel schneller im Schema

```
*SRC=S1A;DI_S1A;Diodes;Si; 50.0V 1.00A 3.00us Diodes Inc. Rectifier
.MODEL DI_S1A D ( IS=7.31e-018 RS=42.0m BU=50.0 IBU=5.00u
+ CJO=42.4p M=0.333 N=0.775 TT=4.32u )
```

```
*SRC=S1AB;DI_S1AB;Diodes;Si; 50.0V 1.00A 3.00us Diodes Inc. Rectifier
.MODEL DI_S1AB D ( IS=7.31e-018 RS=42.0m BU=50.0 IBU=5.00u
+ CJO=42.4p M=0.333 N=0.775 TT=4.32u )
```

```
*SRC=S1B;DI_S1B;Diodes;Si; 100V 1.00A 3.00us Diodes Inc. Rectifier
.MODEL DI_S1B D ( IS=7.31e-018 RS=42.0m BU=100 IBU=5.00u
+ CJO=42.4p M=0.333 N=0.775 TT=4.32u )
```

```
*SRC=S1BB;DI_S1BB;Diodes;Si; 100V 1.00A 3.00us Diodes Inc. Rectifier
.MODEL DI_S1BB D ( IS=7.31e-018 RS=42.0m BU=100 IBU=5.00u
+ CJO=42.4p M=0.333 N=0.775 TT=4.32u )
```

```
*SRC=S1D;DI_S1D;Diodes;Si; 200V 1.00A 3.00us Diodes Inc. Rectifier
.MODEL DI_S1D D ( IS=7.31e-018 RS=42.0m BU=200 IBU=5.00u
+ CJO=42.4p M=0.333 N=0.775 TT=4.32u )
```

```
*SRC=S1DB;DI_S1DB;Diodes;Si; 200V 1.00A 3.00us Diodes Inc. Rectifier
.MODEL DI_S1DB D ( IS=7.31e-018 RS=42.0m BU=200 IBU=5.00u
+ CJO=42.4p M=0.333 N=0.775 TT=4.32u )
```

```
*SRC=S1G;DI_S1G;Diodes;Si; 400V 1.00A 3.00us Diodes Inc. Rectifier
.MODEL DI_S1G D ( IS=7.31e-018 RS=42.0m BU=400 IBU=5.00u
+ CJO=42.4p M=0.333 N=0.775 TT=4.32u )
```

```
*****
*SRC=10A01;DI_10A01;Diodes;Si; 50.0V 10.0A 3.00us Diodes Inc. 10A Rectifier
.MODEL DI_10A01 D ( IS=844n RS=2.06m BU=50.0 IBU=10.0u
+ CJO=277p M=0.333 N=2.06 TT=4.32u )
*****
```

**\* Infineon diodes added**

```
.model DIE-BAR63 D(Is=60E-18 N=1.02 Rs=.45 Xti=3 Eg=1.11 Cjo=.19p M=.15 Uj=.25 Fc=.5 Bv=50 Ibv=50)
.MODEL DIE-BAT62 D(IS=250.0n N=1.04 RS=190.0 XTI=1.5 EG=0.53 CJO=284.2f M=0.17 UJ=0.224 FC=0.5 TT=10.0)
.MODEL DIE-BAT18 D(IS=185f RS=.30 N=1.305 BV=70 IBV=.1n CJO=1.17p UJ=.12 M=.096 TT=125n Iave=100)
.MODEL DIE-BAT64 D(IS=4.7n N=1.022 RS=1.6 XTI=2 EG=0.69 CJO=5.7p M=0.445 UJ=0.436 FC=0.5 TT=10.0)
.MODEL DIE-BAT17 D(IS=3.33n N=1.009 RS=2.65 XTI=2.0 EG=0.69 CJO=398f M=0.21 UJ=0.224 FC=0.5 TT=3)
.MODEL DIE-BAT15 D(IS=74.0n N=1.07 RS=5.0 XTI=1.5 EG=0.59 CJO=138.5f M=0.138 UJ=0.224 FC=0.5 TT=10.0)
```

**\*Diodes inc models added DC2PCC 20.02.2011**

```
.MODEL MUR120 D ( IS=7.06e-017 RS=73.4m BV=200 IBV=2.00u CJO=49.9p M=0.333 N=0.700 TT=36.0n Iave=100)
.MODEL PDU340 D ( IS=3.74u RS=25.9m BV=400 IBV=10.0u CJO=86.2p M=0.333 N=2.58 TT=72.0n Iave=3 Upk=1)
.MODEL PDU420 D ( IS=189n RS=10.5m BV=400 IBV=5.00u CJO=276p M=0.333 N=1.73 TT=36.0n Iave=4 Upk=1)
.MODEL PDU540 D ( IS=2.68u RS=8.33m BV=400 IBV=10.0u CJO=196p M=0.333 N=2.27 TT=50.4n Iave=5 Upk=1)
.MODEL PDU620 D ( IS=190n RS=9.91m BV=200 IBV=5.00u CJO=402p M=0.333 N=1.69 TT=36.0n Iave=6 Upk=1)
.MODEL PDU620CT D ( IS=7.48n RS=19.5m BV=200 IBV=5.00u CJO=223p M=0.333 N=1.42 TT=36.0n Iave=3)
.MODEL PR1001G D ( IS=5.00n RS=29.8m BV=50.0 IBV=5.00u CJO=27.8p M=0.333 N=1.72 TT=216n Iave=1)
.MODEL PR1002G D ( IS=5.00n RS=29.8m BV=100 IBV=5.00u CJO=27.8p M=0.333 N=1.72 TT=216n Iave=1)
.MODEL PR1003G D ( IS=5.00n RS=29.8m BV=200 IBV=5.00u CJO=27.8p M=0.333 N=1.72 TT=216n Iave=1)
.MODEL PR1004G D ( IS=5.00n RS=29.8m BV=400 IBV=5.00u CJO=27.8p M=0.333 N=1.72 TT=216n Iave=1)
.MODEL PR1005G D ( IS=5.00n RS=29.8m BV=600 IBV=5.00u CJO=19.9p M=0.333 N=1.72 TT=360n Iave=1)
.MODEL PR1006G D ( IS=5.00n RS=29.8m BV=800 IBV=5.00u CJO=19.9p M=0.333 N=1.72 TT=720n Iave=1)
.MODEL PR1007G D ( IS=5.00n RS=29.8m BV=1.00k IBV=5.00u CJO=19.9p M=0.333 N=1.72 TT=720n Iave=1)
.MODEL PR6001 D ( IS=863n RS=12.6m BV=50.0 IBV=10.0u CJO=663p M=0.333 N=1.70 TT=216n Iave=6 Upk=1)
.MODEL SF10AG D ( IS=1.42n RS=42.0m BV=50.0 IBV=10.0u CJO=139p M=0.333 N=1.70 TT=50.4n Iave=1)
.MODEL SF10BG D ( IS=1.42n RS=42.0m BV=100 IBV=10.0u CJO=139p M=0.333 N=1.70 TT=50.4n Iave=1)
.MODEL SF10CG D ( IS=1.42n RS=42.0m BV=150 IBV=10.0u CJO=139p M=0.333 N=1.70 TT=50.4n Iave=1)
.MODEL SF10DG D ( IS=1.42n RS=42.0m BV=200 IBV=10.0u CJO=139p M=0.333 N=1.70 TT=50.4n Iave=1)
.MODEL SF10FG D ( IS=50.9p RS=75.5m BV=300 IBV=10.0u CJO=139p M=0.333 N=1.70 TT=57.6n Iave=1 Upk=1)
.MODEL SF10GG D ( IS=50.9p RS=75.5m BV=400 IBV=10.0u CJO=139p M=0.333 N=1.70 TT=57.6n Iave=1 Upk=1)
```



BAR63-03W limiter\_ersatz\_HP8569B\_teil2 limiter\_ersatz\_HP8569B\_teil2 standard

**\*Added by DC2PCC 20.02.2011**

```
.model 2n3866 NPN(IS = 9.798605E-15 BF = 145.568899 NF = 1.007933 UAF = 64.3030691 IKF = 0.36612
.MODEL BFR96 NPN(IS = 2.44463E-015 BF = 9.80000E+001 NF = 9.87224E-001 UAF = 2.66948E+001 IKF =
.MODEL BFR134 NPN(IS = 6.26489E-015 BF = 1.42485E+002 NF = 1.00616E+000 UAF = 4.48500E+001 IKF =
.MODEL BFW92A NPN(IS = 2.429E-16 BF = 93.26 NF = 0.9912 UAF = 39.71 IKF = 0.2681 ISE = 2.40
```

**\*Some Philips transistors****\*Added by DC2PCC 13.03.2011**

\*

```
.MODEL QBC368 NPN(IS=2.474E-13 NF=0.9998 ISE=4.403E-14 NE=1.400 BF=196.2 IKF=4.8360 UAF=127.5 NR
.MODEL QBC546A NPN(IS=1.533E-14 NF=1.002 ISE=7.932E-16 NE=1.436 BF=178.7 IKF=0.1
.MODEL QBC557C PNP(IS=5.826E-14 NF=1.009 ISE=3.884E-15 NE=1.408 BF=516.7 IKF=0.0
.MODEL QBC546B NPN(IS=2.39E-14 NF=1.008 ISE=3.545E-15 NE=1.541 BF=294.3 IKF=0.13
.MODEL BC327-40 PNP(IS = 2.077E-13 NF = 1.005 ISE = 1.411E-14 NE = 1.3 BF = 449.8 IKF = 0.36 UAF
```

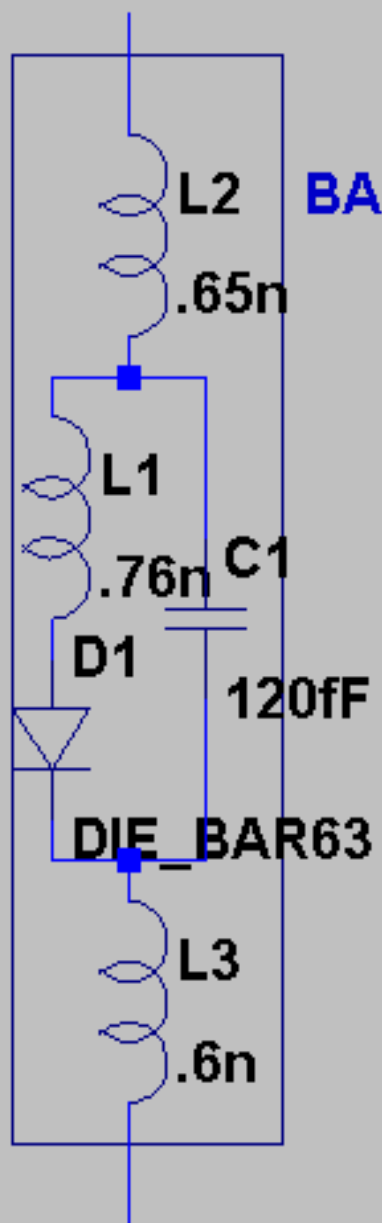
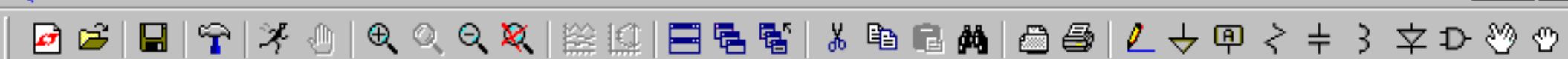
\*\*

```
.MODEL QBC547B NPN(
+ IS=2.39E-14
+ NF=1.008
+ ISE=3.545E-15
+ NE=1.541
+ BF=294.3
+ IKF=0.1357
+ UAF=63.2
+ NR=1.004
+ ISC=6.272E-14
+ NC=1.243
+ BR=7.946
```



# Selber Modelle erstellen

- Im Standard-Bibliothek ist es nicht möglich eventuelle parasitäre Eigenschaften vom Gehäuse zu berücksichtigen.

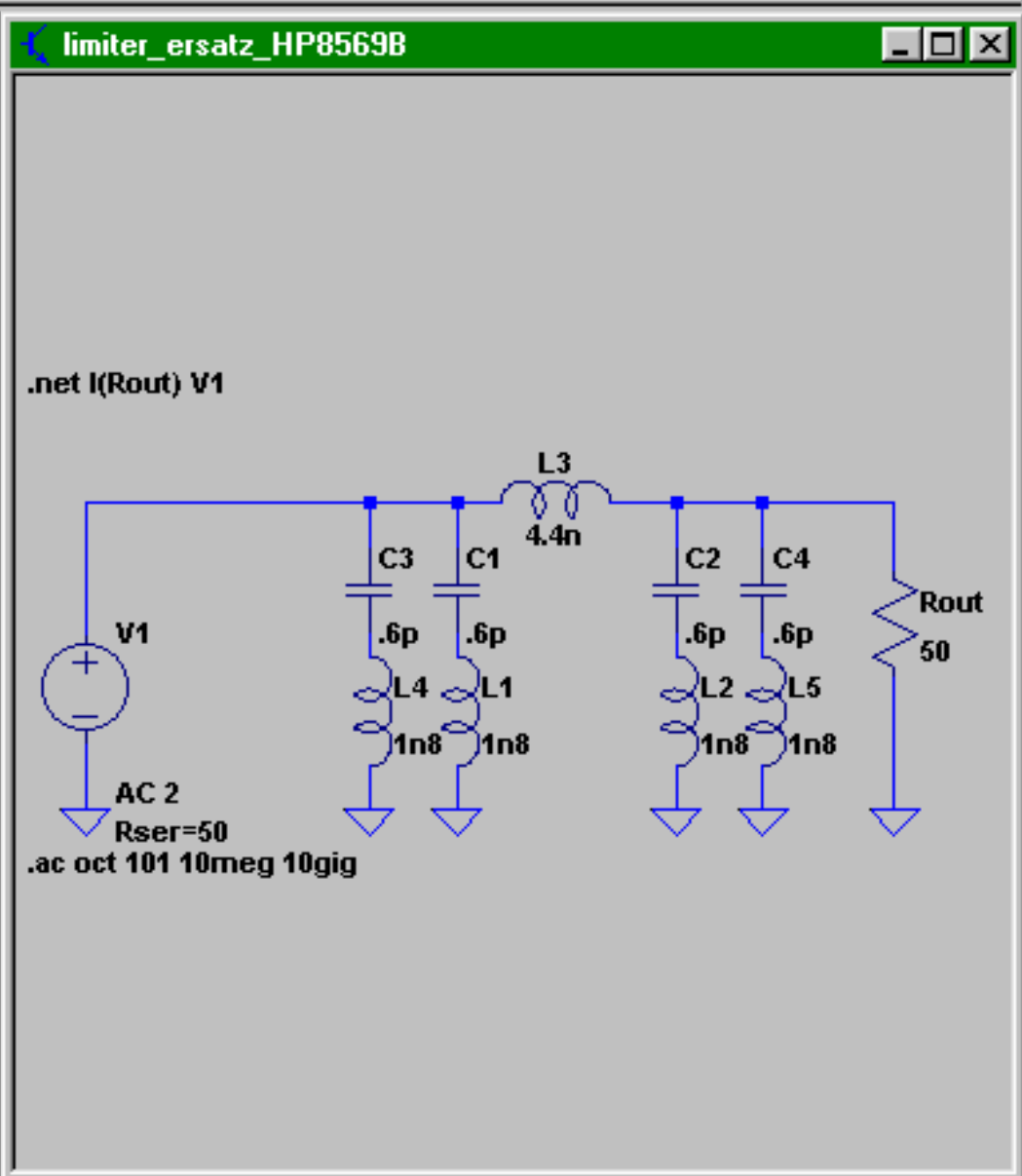
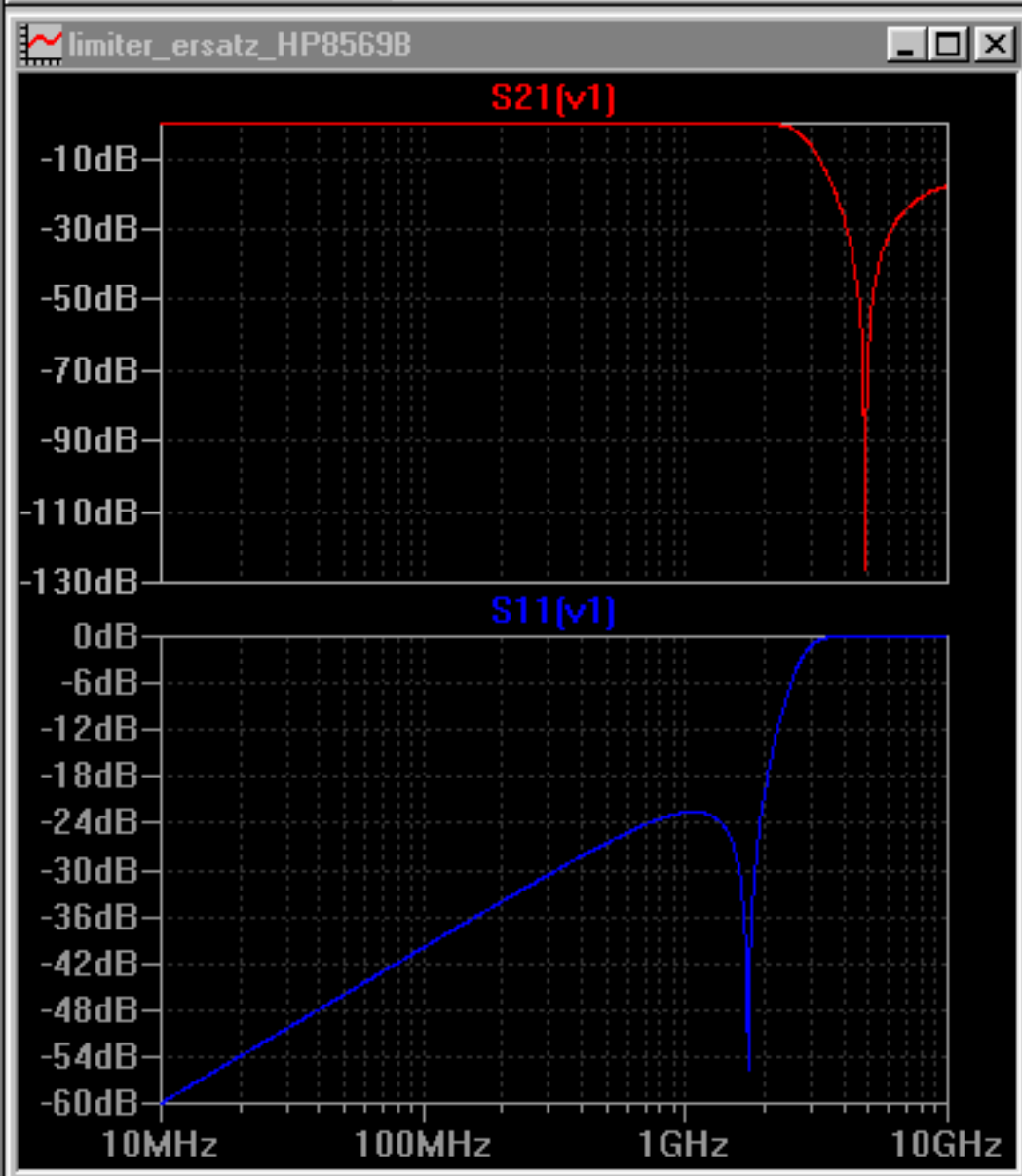


**BAR-63+SOT323 package parasitics**





limiter\_ersatz\_HP8569B limiter\_ersatz\_HP8569B



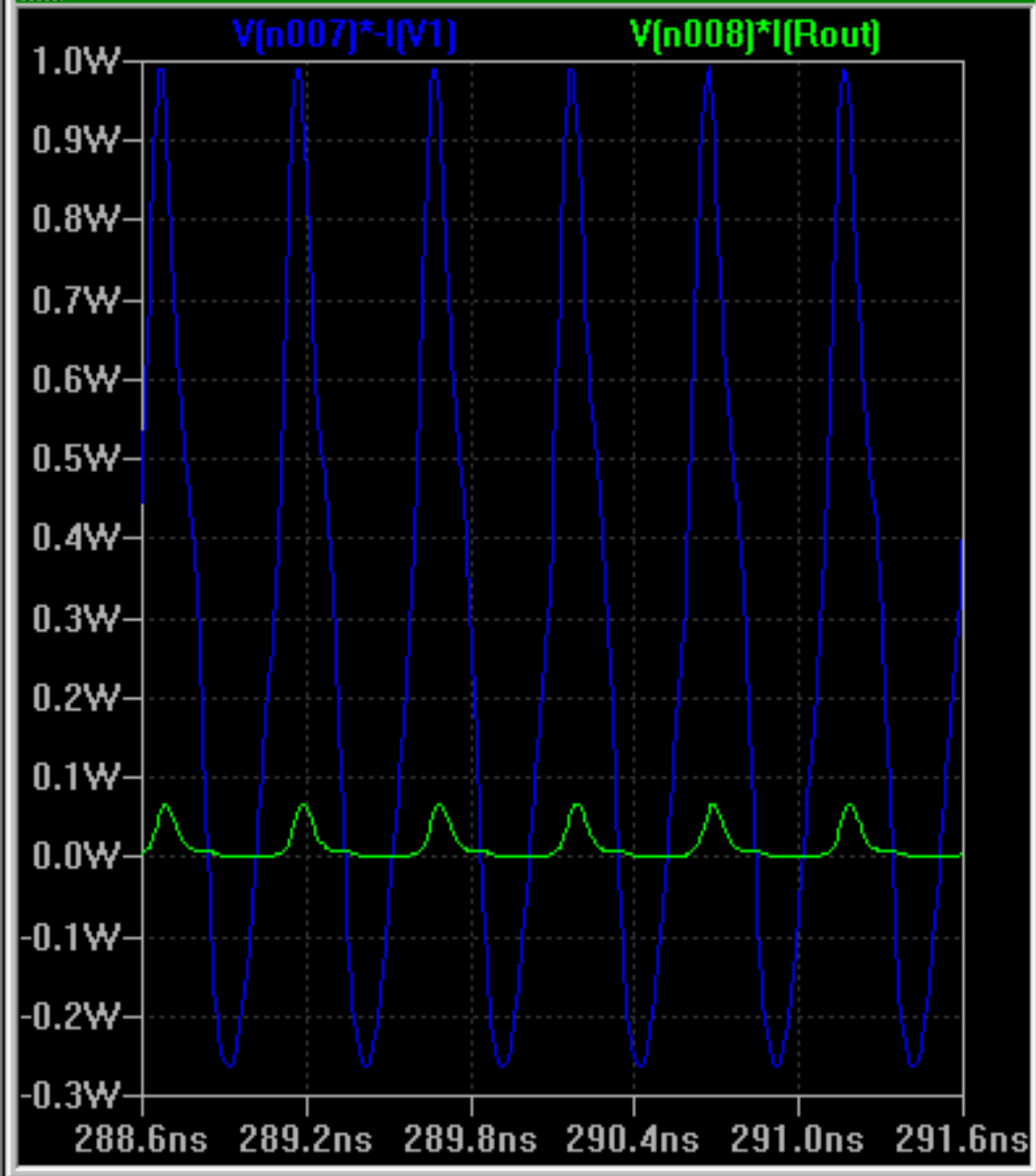
# Ein paar Beispiele

- S-parameter-simulation und nicht-lineare simulation. --> Limiter ersatz
- Komplexe Signale zusammensetzen aus einfache Signale
- Tiefpassfilter für 70cm (oberwellenunterdrückung)
- Boost-wandler 12V auf 85V mit NE555



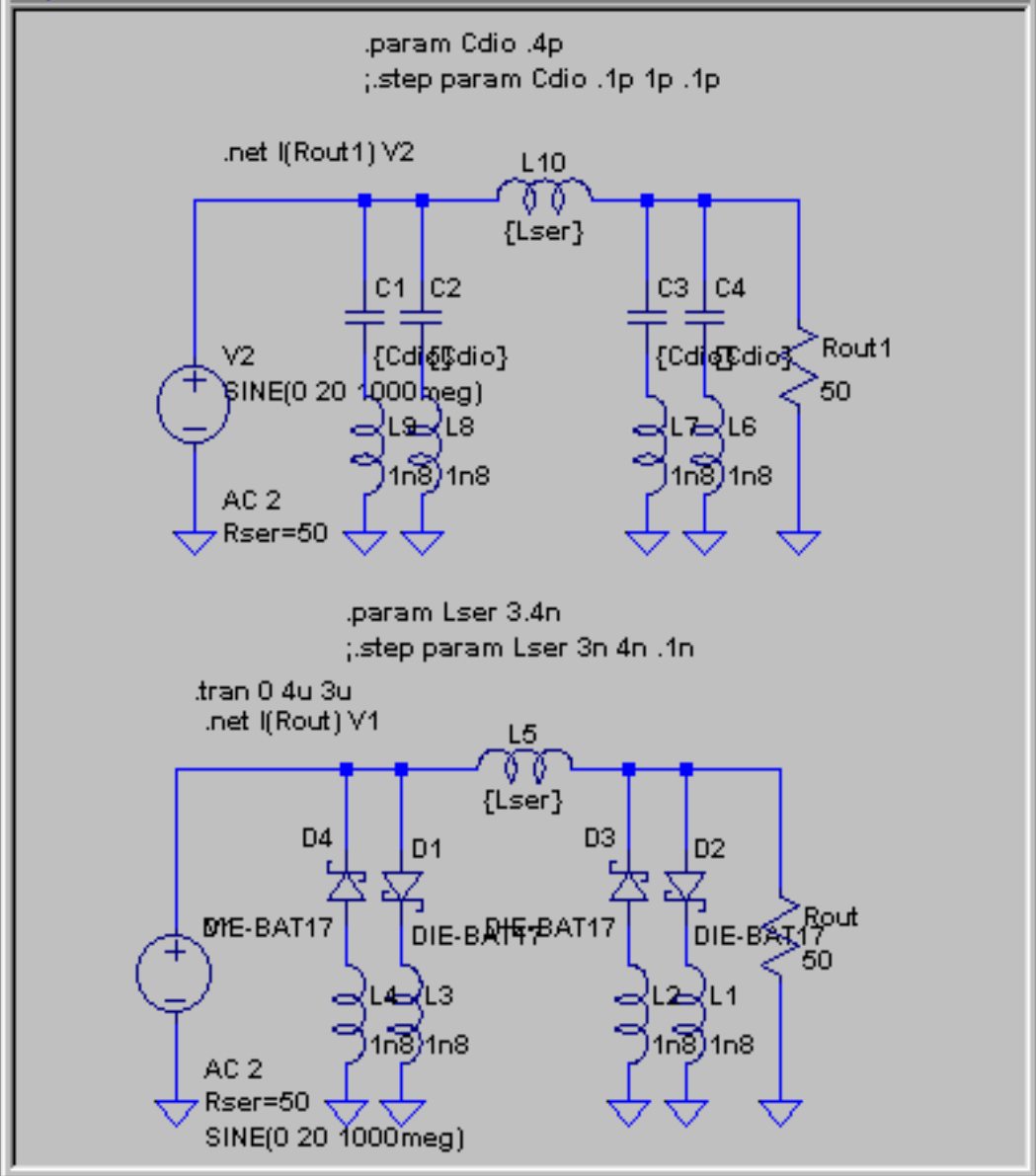
limiter\_ersatz\_HP8569B\_teil2 limiter\_ersatz\_HP8569B\_teil2

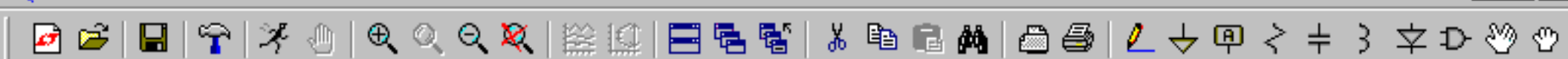
limiter\_ersatz\_HP8569B\_teil2



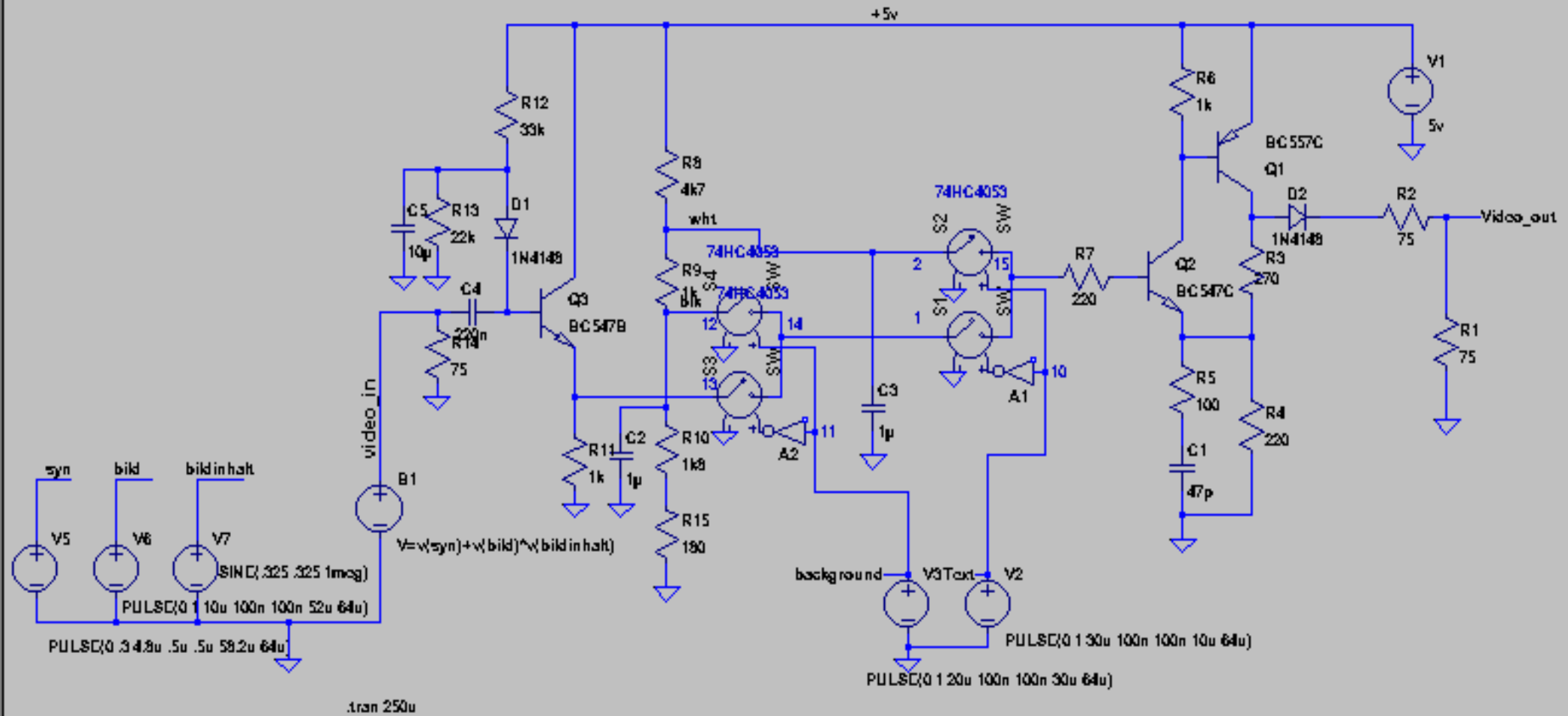
x = 289.221ns y = 0.747W

limiter\_ersatz\_HP8569B\_teil2



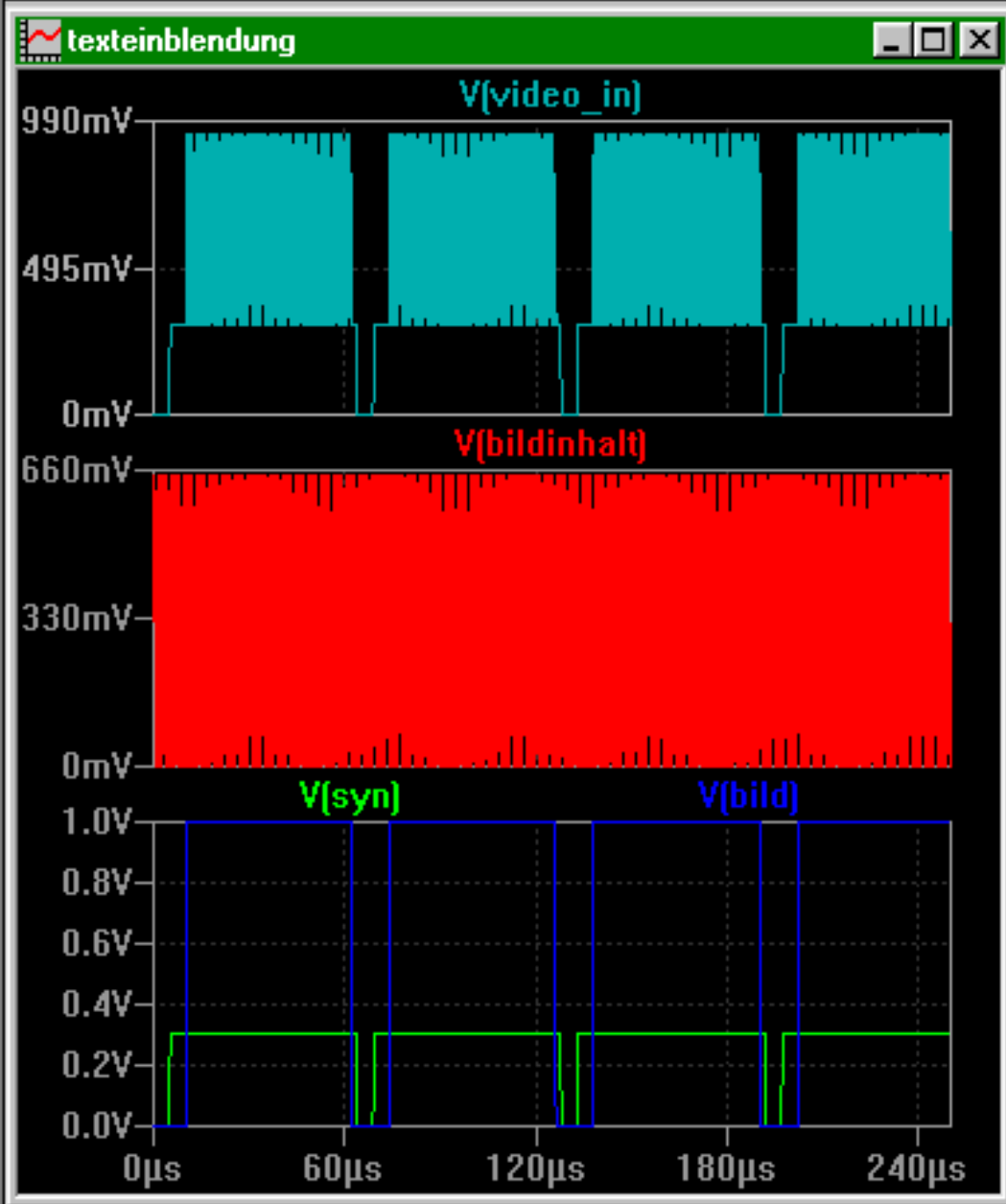


model SW SW(Ron=40 Roff=1meg Vt=.5 Vh=.3)

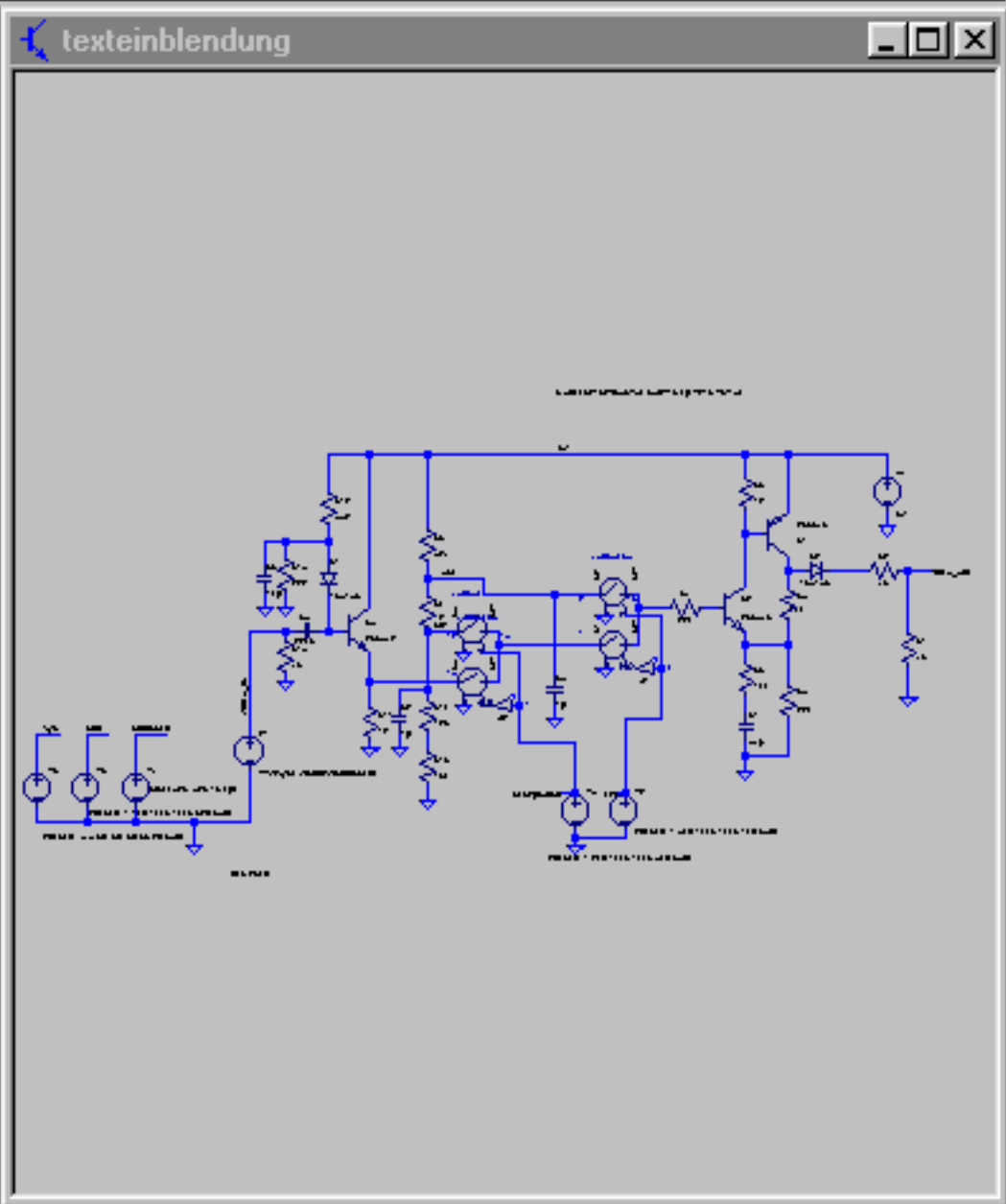




texteinblendung texteinblendung



x = 111.46 $\mu$ s y = 377.14mV



440MHz\_tiefpass

Cursor 1

S11(v4)

Freq: 430MHz Mag: -21.7588dB

Phase: -173.023°

Group Delay: 4.28146ns

Cursor 2

S21(v4)

Freq: 860.5MHz Mag: -72.774dB

Phase: -408.179°

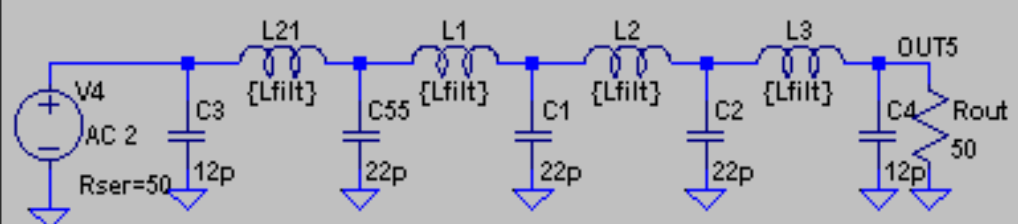
Group Delay: 190.246ps

Ratio (Cursor2 / Cursor1)

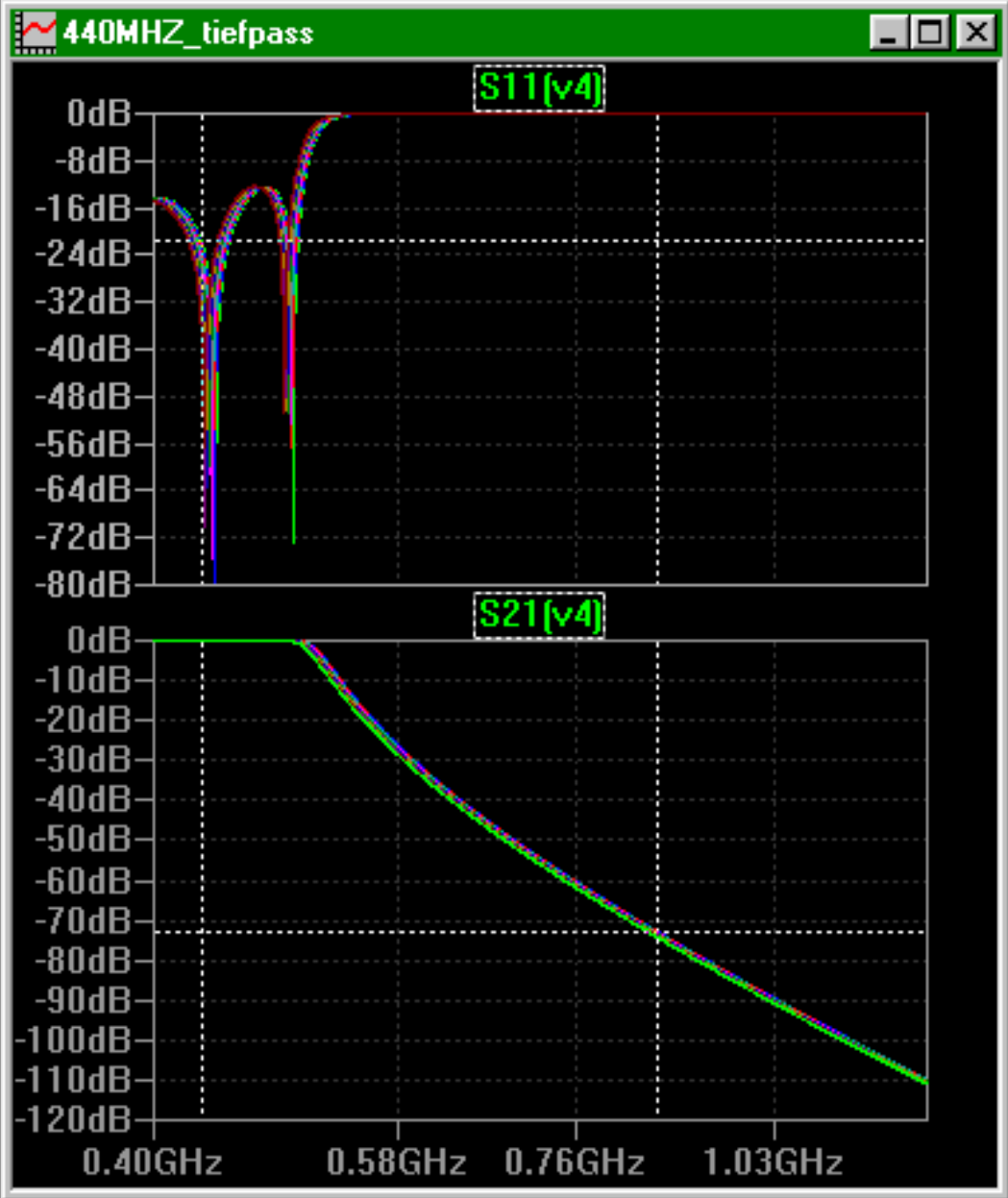
Freq: 430.5MHz Mag: -51.0152dB

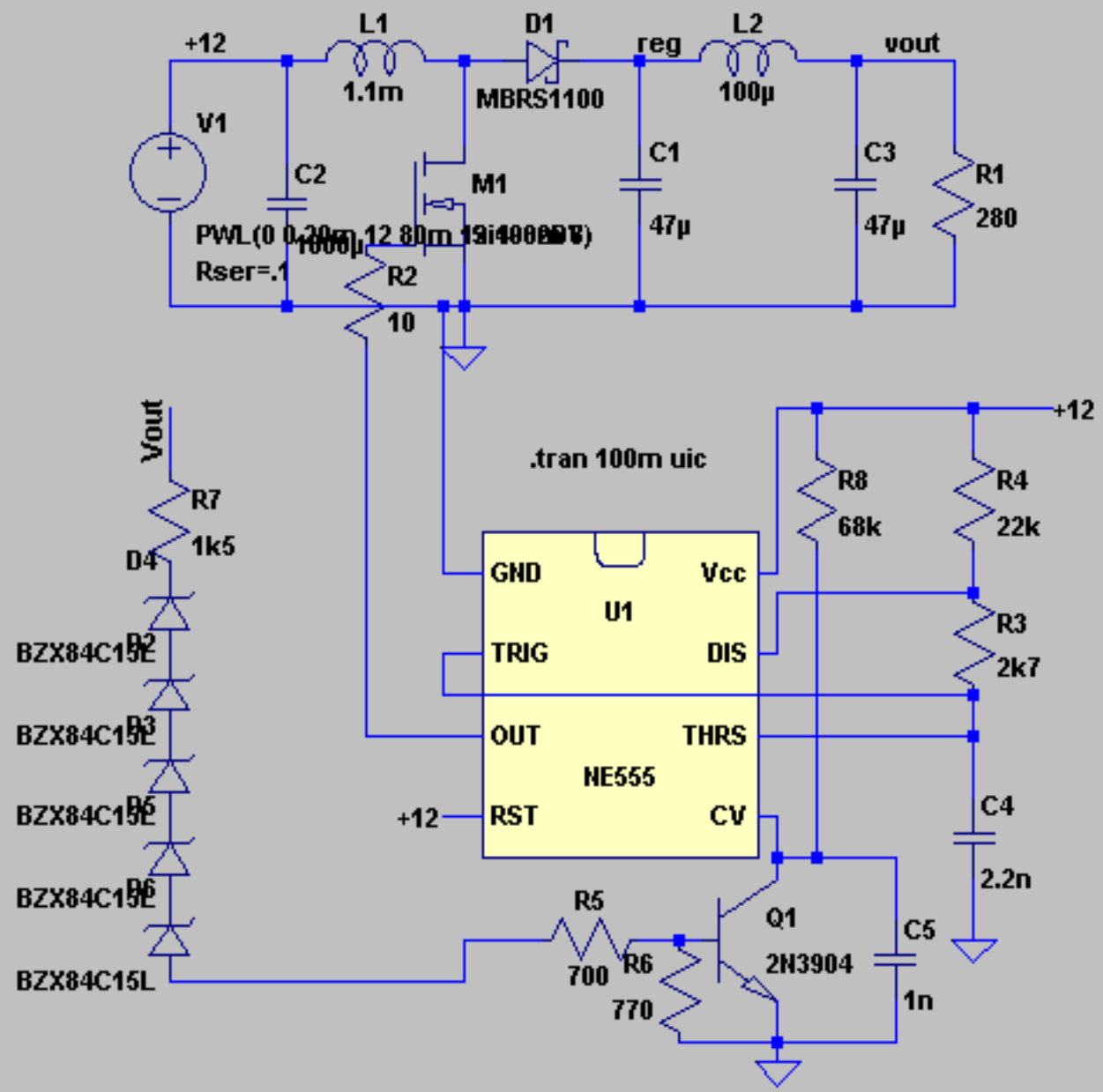
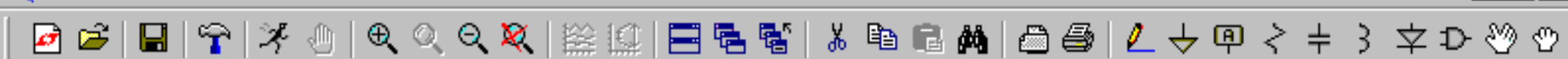
Phase: 124.844°

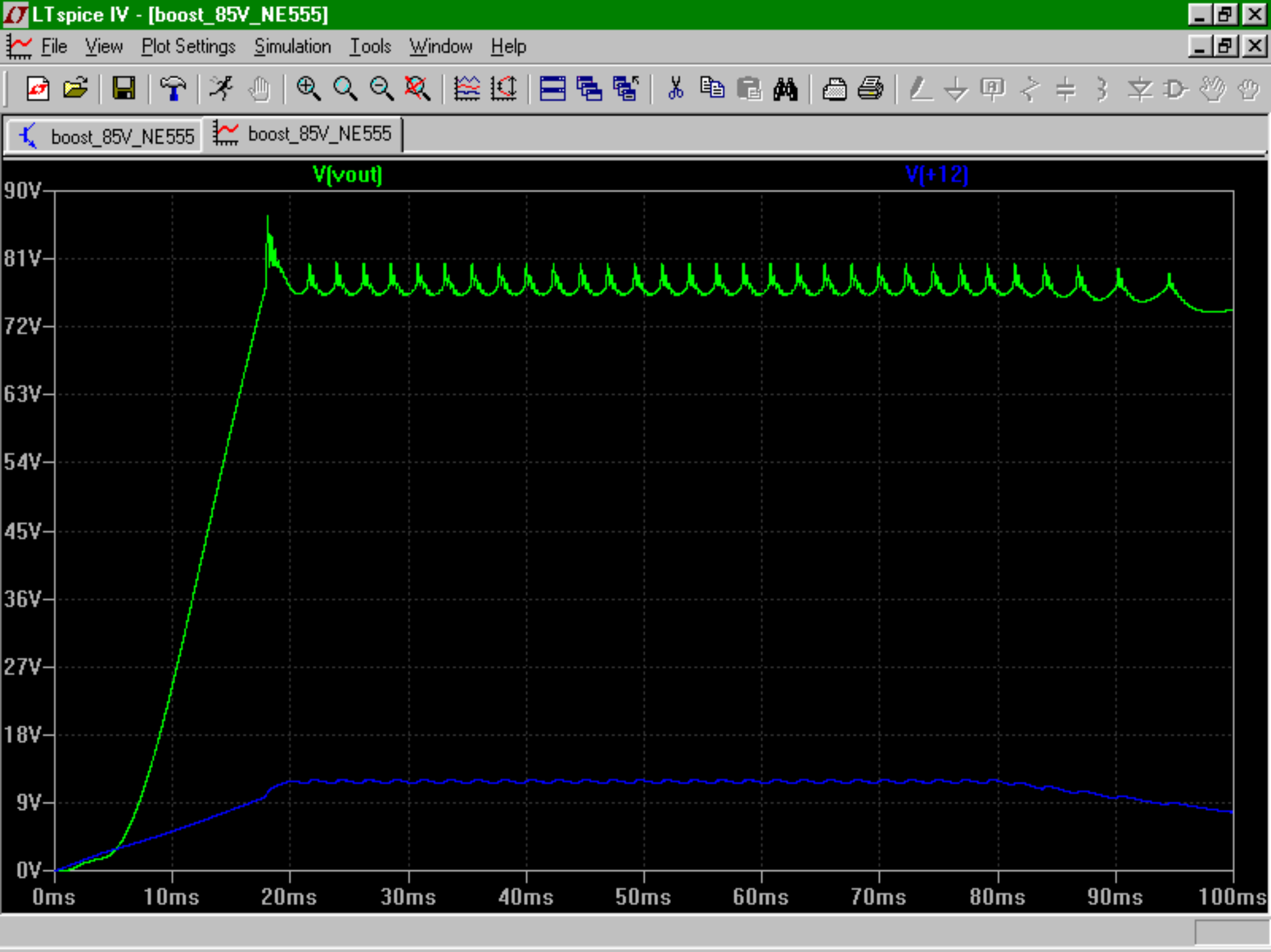
Group Delay: -4.09122ns



```
.net I(Rout) V4 ; Rin & Rout determined from V3 and Rout
.ac lin 1801 400meg 1300Meg
```



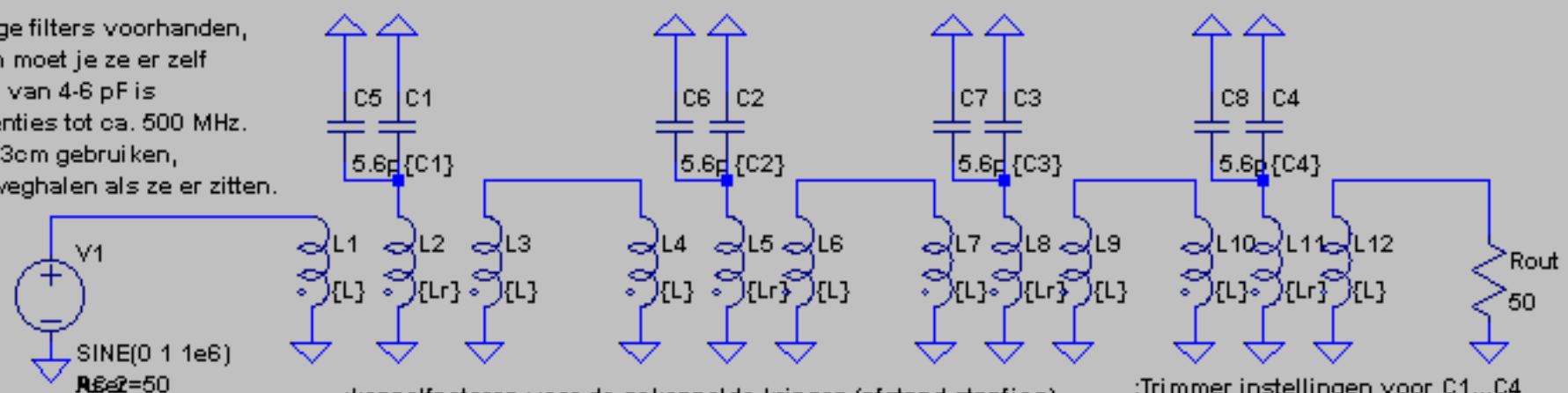








;C5...C8 zijn in sommige filters voorhanden,  
 ;Voor gebruik op 70cm moet je ze er zelf  
 ;bijzetten, een waarde van 4-6 pF is  
 ;bruikbaar voor frequenties tot ca. 500 MHz.  
 ;Wil je het filter voor 23cm gebruiken,  
 ;dan moet je ze juist weghalen als ze er zitten.



```
.ac lin 1000 420Meg 450meg
;Sweep parameters, via het menu instelbaar

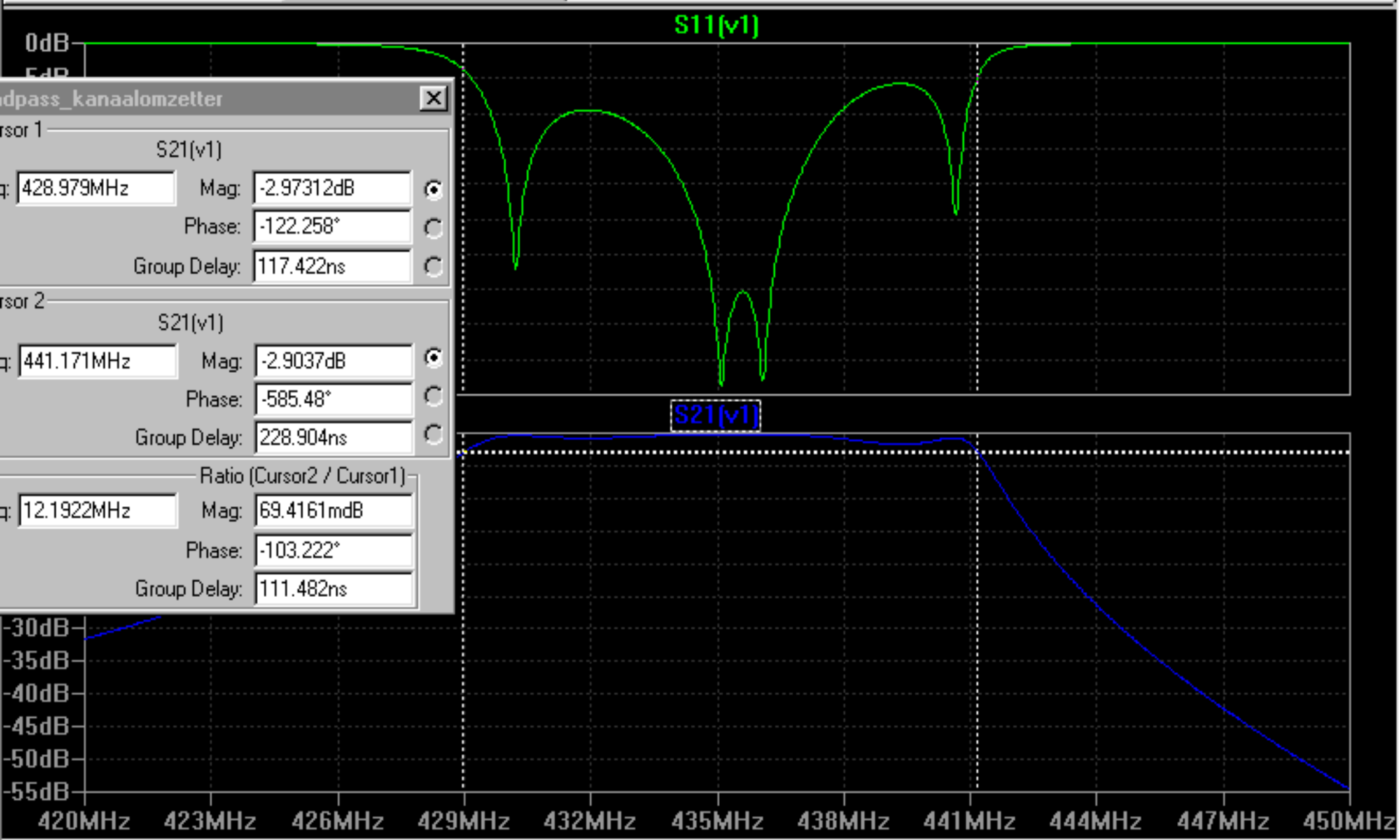
;Dit commando is nodig om de
;S-parameters te genereren.
.net l(Rout) V1 Rin=50 Rout=50
```

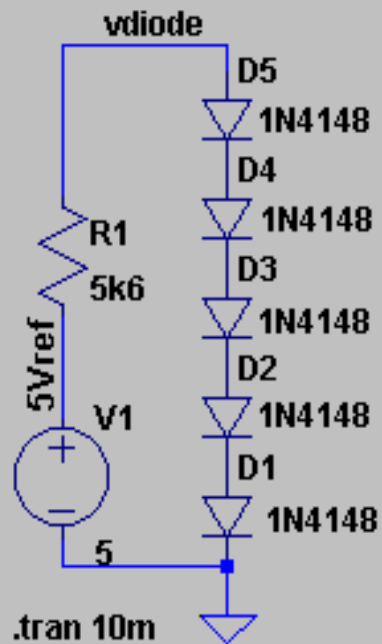
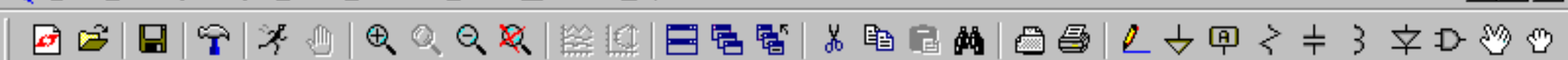
```
;koppelfactoren voor de gekoppelde kringen (afstand staafjes)
K1 L1 L2 L3 .2
K2 L4 L5 L6 .2
K3 L7 L8 L9 .2
K4 L10 L11 L12 .2

;inductiviteiten van de staafjes (geschat)
.param L=20nH
.param Lr=15nH
```

```
;Trimmer instellingen voor C1...C4
.param C1=3.65pF
.param C2=3.65pF
.param C3=3.65pF
.param C4=3.65pF
```

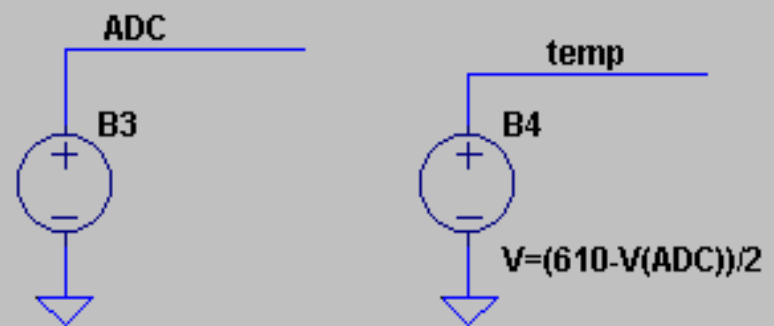
ik heb deze factoren geschat adhv een afgeregeld filter.  
 je kunt ze in de praktijk variëren door ze heen en weer te buigen.  
 ;Dit heeft invloed op de bandbreedte van het filter.



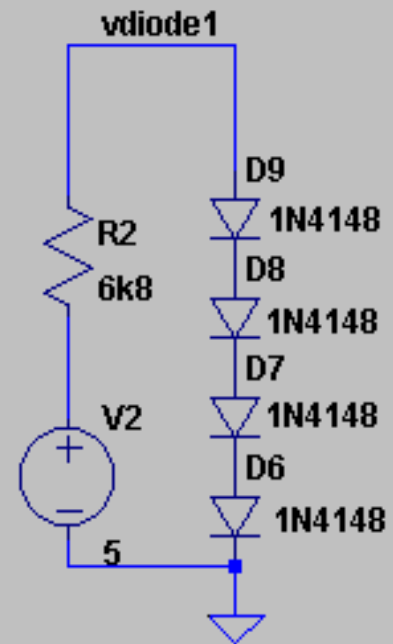


`.step temp 0 150 50`

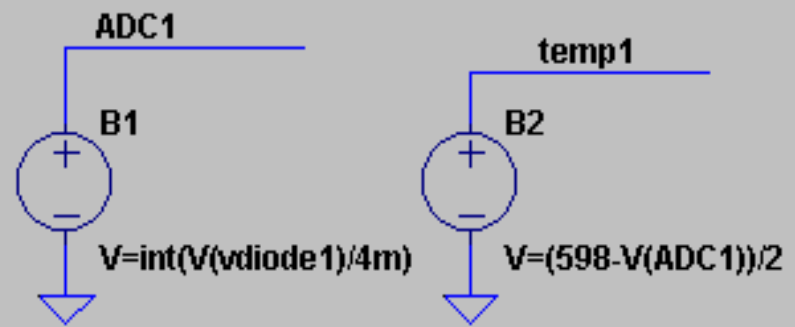
1024 steps @ 5 V means 4,88 mV/step.  
This setup does about 9,76 mV/deg C.  
Meaning each ADC step is 0,5°C



$$V = \text{int}(V(\text{vdiode}) / (V(5\text{vref}) / 1024))$$



1024 steps @ 4.096 V means 4 mV/step.  
This setup does about 8 mV/deg C.  
Meaning each ADC step is 0,5°C



# Schlusswort

- Selbst ist der Funkamateurl !
- Mithilfe vom Tutorial von Gunthard Kraus kann sich jeder gut einarbeiten.

# Links, referenzen, usw.

- Das Programm zum Herunterladen:
- <http://www.linear.com/designtools/software/#LTspice>
- Einen Tutorial zum leichten Einstieg
- [http://www.elektronikschule.de/~krausg/LTSwitcherCAD/index\\_LTSwitcherCAD.html](http://www.elektronikschule.de/~krausg/LTSwitcherCAD/index_LTSwitcherCAD.html)
- Eine grosse Sammlung Spice-Modelle
- [http://www.elektronikschule.de/~krausg/Spice\\_Model\\_CD/](http://www.elektronikschule.de/~krausg/Spice_Model_CD/)