

## Vorlesung 1: 06.03.2008

### Einführung

#### Definition Lernziele

- Erkennen der Möglichkeiten und Grenzen der Schaltungssimulation
- Vorbereitung der Schaltungen für die Simulation
- Parametrierung von Modellen der unterschiedlichsten Schaltungselemente; Kontrolle ihrer Funktion durch Testsimulationen
- Entwicklung von Simulationsprogrammen für allgemeine elektrische Netzwerke, analoge, kleine digitale und industrieelektronische Schaltungen; Überprüfung der Simulationsergebnisse auf ihre Plausibilität.

#### Lehrinhalt

- Einstieg in die PSpice-Simulation mit **ORCAD** Release 9.x
- Bauelementebeschreibung vom Widerstand über Halbleiter, Quellen bis zu beliebig komplexen Bauteilen, z.B. Operationsverstärker
- Beschreibung der Programmsyntax
- Entwicklung von Testprogrammen zur Kontrolle des Bauteilverhaltens
- Darstellung der Simulationsergebnisse und deren Übernahme in die Textverarbeitung
- Simulation von Gleichstrom- und Wechselstromnetzen, auch in komplexer Beschreibung und in Frequenzabhängigkeit einschl. Ortskurven und Fouriertransformation
- Simulation einfacher industrieelektronischer Schaltungen
- Darstellung von fehlerhaften Simulationen

#### Prüfungsanforderungen nach Tiefe und Breite

Kenntnisse über die Simulation elektrischer Netzwerke und elektronischer Schaltungen mit PSpice. Handhabung des Simulationsprogramms, Beschreibung der Bauelemente und Parameter, Darstellung und Weiterverarbeitung von Simulationsergebnissen der Gleichstrom-, Wechselstrom-, Einschwing- und Fourieranalyse mit Plausibilitätskontrollen und Fehlererkennung.

### Arbeiten mit PSpice im Netz der FH-OOW

- wie starte ich das Programm ( Einloggen, Programm aufrufen, Beispiele kopieren)
- wo finde ich die Beispiele nach dem Kopiervorgang
- Editor ( Struktur eines Programmlistings am Beispiel des ersten Beispiels (Demo1)
- Demo1... Beschreibung ... Bauteile platzieren
- Demo2 ... incl. Nyquist
- Demo4 ... Rush-effekt ( Darstellung mit verschiedenen Einschaltwinkeln →  
Spannungsquelle einmal mit phase=0 sonst phase=90°)
- Demo6... Beispiel funktioniert nicht, da noch auf die fehlende Library (... Warnecke)  
verwiesen wird... Lösung : Library entfernen und das Beispiel funktioniert  
einwandfrei.

#### **Starten des Programmes:**

Menü → FH-Netz-E – Software  
→ J- Anwendungssoftware  
→ OrCad Lite 9.2  
→ Capture Lite Edition

Wenn noch nicht geschehen sind alle Beispiele aus dem LEK – Labor folgendermaßen auf die lokale Platte zu kopieren :

Menü → FH-Netz-E – Software  
→ J- Anwendungssoftware  
→ OrCad Lite 9.2  
→ LEK-Demos auf C: laden

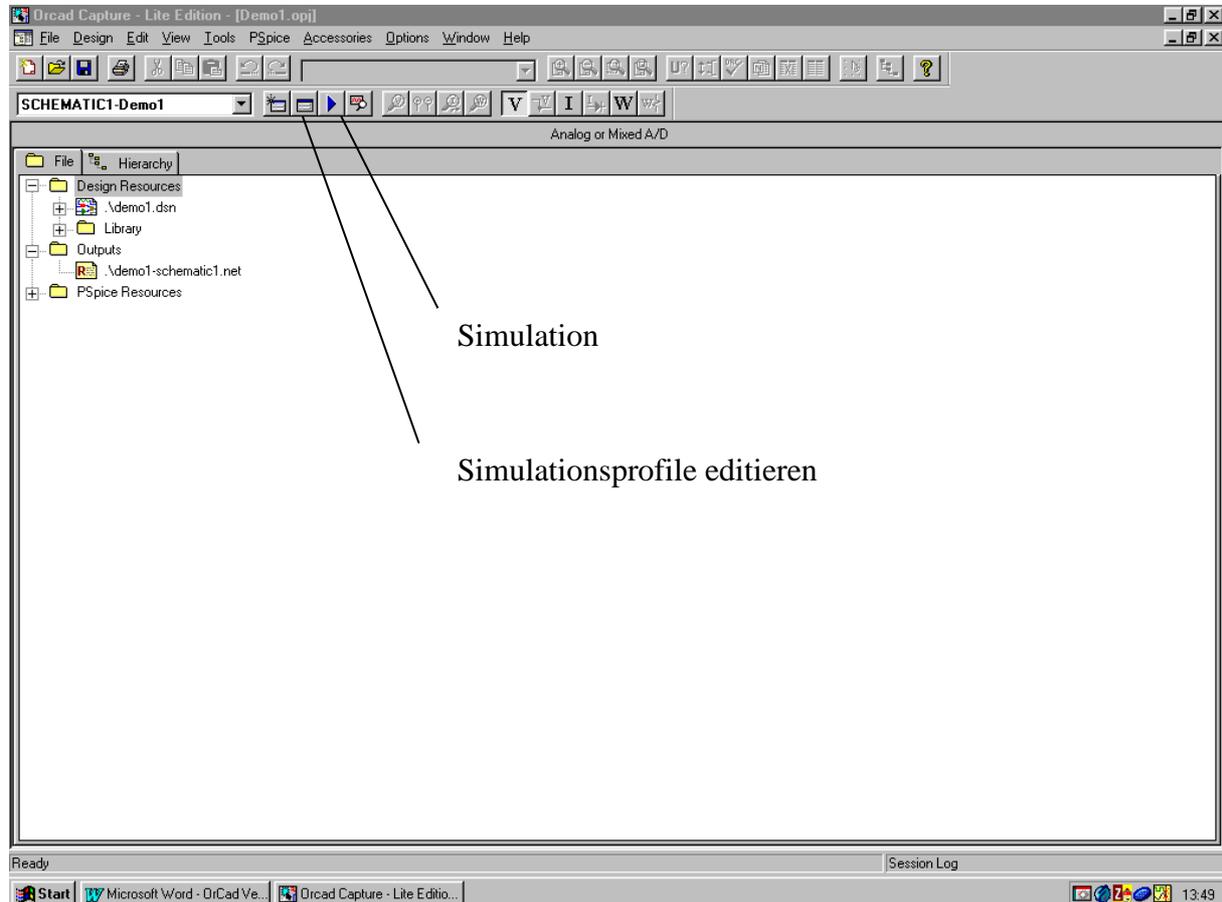
Achtung : je nach verwendetem Betriebssystem ist der Schreibschutz der Beispieldaten zu entfernen !

Die Beispiele werden z.B. ab dem Temp – Verzeichnis als Baumstruktur abgespeichert ( jedes Beispiel hat ein eigenes Verzeichnis... keine Verpflichtung, jedoch übersichtlicher)

In OrCad Capture ( Session log )

File → Open → Projekt → ( neues Verzeichnis anwählen und die erscheinende \*.OBJ – Datei auswählen ( Doppelklick oder Öffnen nach dem markieren )

Es erscheint eine Struktur...



Schematic1 – Page1 = Schaltbild

Starten der Simulation mit dem Button



Berechnung wird gestartet... nach erfolgter Berechnung erscheint der sogenannte Postprozessor „Probe“ . In diesem Fenster werden alle Signale dargestellt die von uns voreingestellt wurden ( der Simulator ist so einzustellen, das alle dargestellten Signale sowie Labels... automatisch wieder eingestellt werden!

Kurze Einführung in die Bedienung...

Folgende Menüpunkte sind sichtbar

File	Edit	View	Simulation	Trace	Plot	Tools	Window		Help
------	------	------	------------	-------	------	-------	--------	--	------

### 1) Menüpunkt Trace

- add Trace ... neue Signale zeigen
- delete all Traces ... alle Signale löschen
- undelete Traces ... Signale wieder herstellen
- FFT Fourier ... Darstellung der Zeitfunktion im Frequenzbereich ( FFT durchführen )
- Performance Analysis
- Cursor-Display... Cursor einblenden
- Macros
- Goal Funktions
- Eval Goal Funktions

### 2) Menüpunkt Plot

- Axis settings ... Einstellung der Achsen
- Add Y-Achsis ... zusätzliche Y-Achse einblenden
- Delete Y – Achsis .. zusätzliche Y-Achse wieder löschen
- Add Plot to Window neues Fenster öffnen
- Delete Plot (aktives) Fenster löschen
- Unsynchronize X-Achsis X-Achsen der verschiedenen Plots sind einzeln einstellbar
- Digital Size
- Label Grafiken beschriften und Meßpunkte markieren...

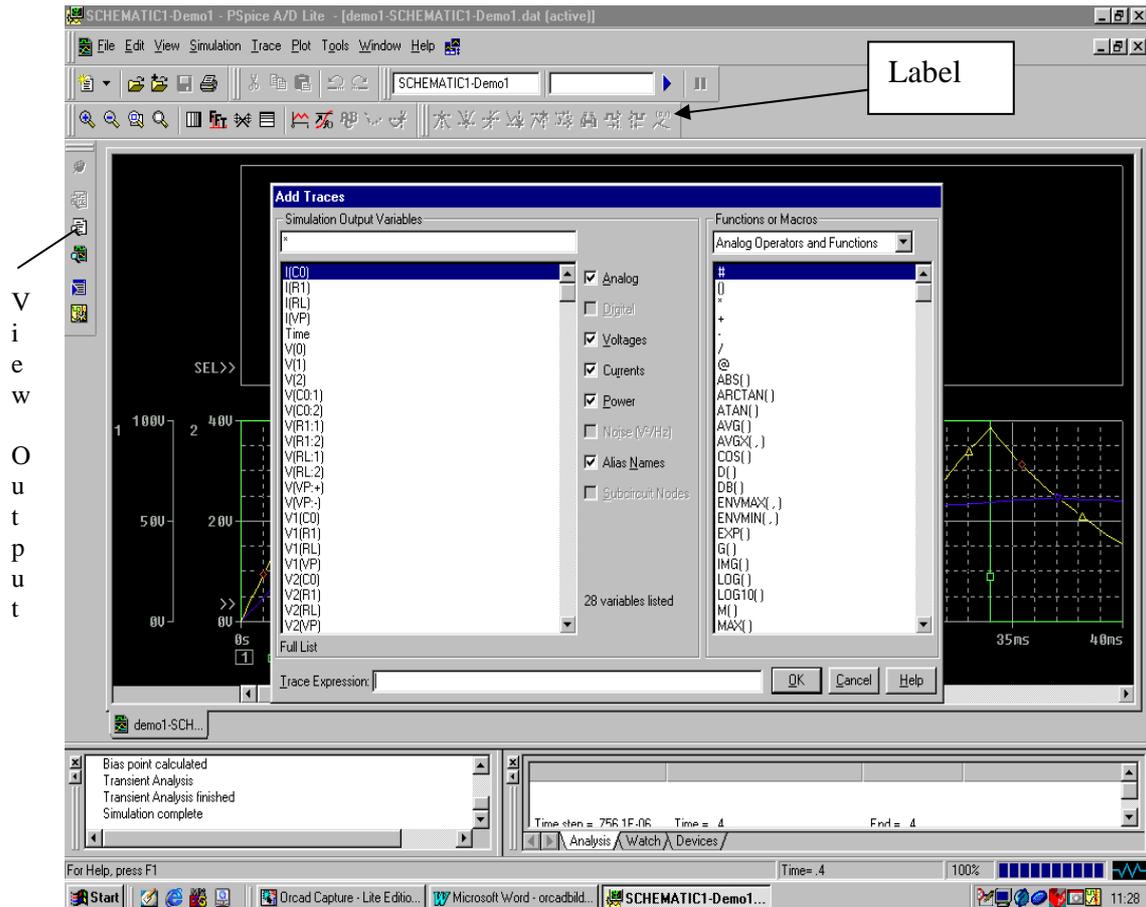
### 3) Window

- New Window
- Close
- Close All
- Cascade
- Tile Horizontally
- Tile Vertically
- Tile
- Display Control
- **Copy to Clipboard** **Ergebnisse in die Zwischenablage**

Achtung : Probe – Fenster bleibt mit allen Einstellungen stehen !!

### Vorführung einiger Simulationen :

- Demo1 Transientenanalyse
- Demo2 AC-Analyse
- Demo 3 DC-Analyse
- Demo 4 Transientenanalyse ( Simulation von realen Spulen )
- Demo 6 gemischte Digital/Analoge Schaltung
- In Probe
- Plot→ Label→ Text + Arrow zum Beschriften
- Plot→ Add Plot to Window ( Trace add... I(L1)
- Plot→ Unsynchronize Y – Achsis
- Button FFT→ Ergebnis der FFT darstellen



Start der Simulation :

→ Im Probe – Fenster 3.ter Button auf der linken Seite =View Simulation Output File  
Oder über View→Output File ( für die Ergebnisse durch Print )

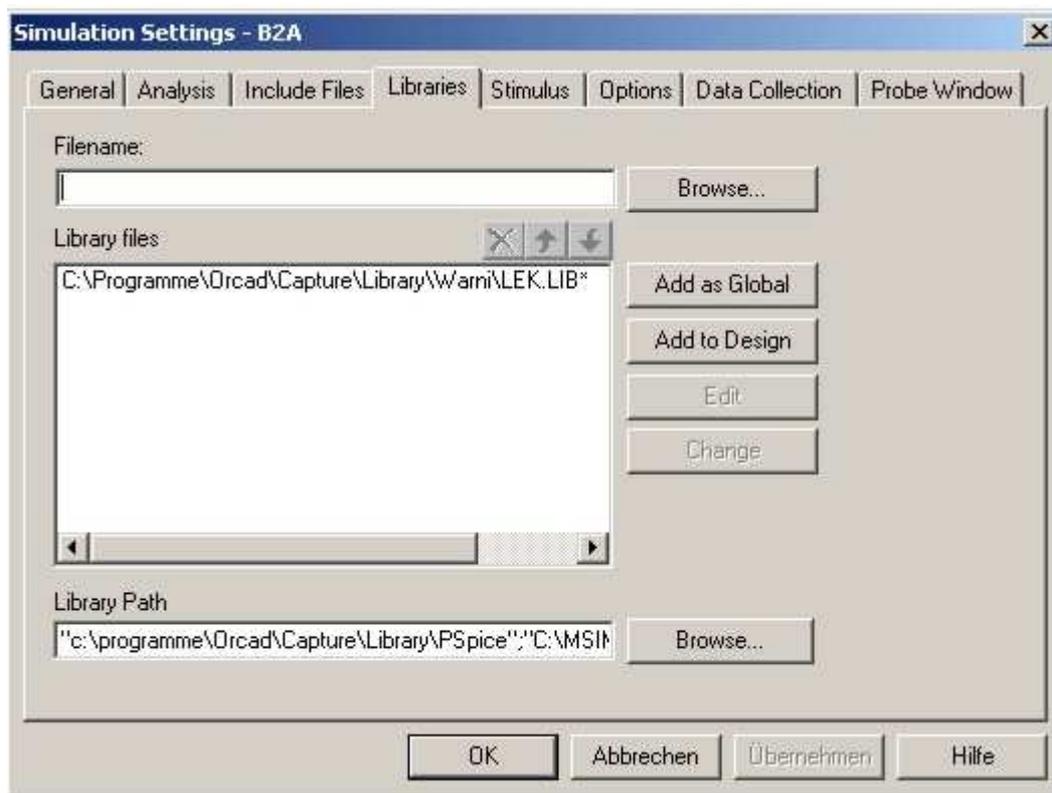
Ein paar Tipps zur Einbindung der Library!!!

Die Library's "Lek.lib + Lek.olb" in den Standard Ordner von Orcad's Library's hineinkopieren (Pfad ist meistens C:\Programm Files\Orcad\Capture\Library\PSpice....oder dementsprechend wo das Programm installiert wurde).

Danach rufen Sie EINE (egal welche...) Simulation in OrCad auf (OrCad öffnen, Project öffnen..).

Nach dem Sie das geöffnete Project vor sich haben, drücken Sie den Button "Edit Simulation Settings", das ist der Button wo Sie die Analyse-Daten mit einstellen (Trans, Ac-Sweep etc. ..) !!

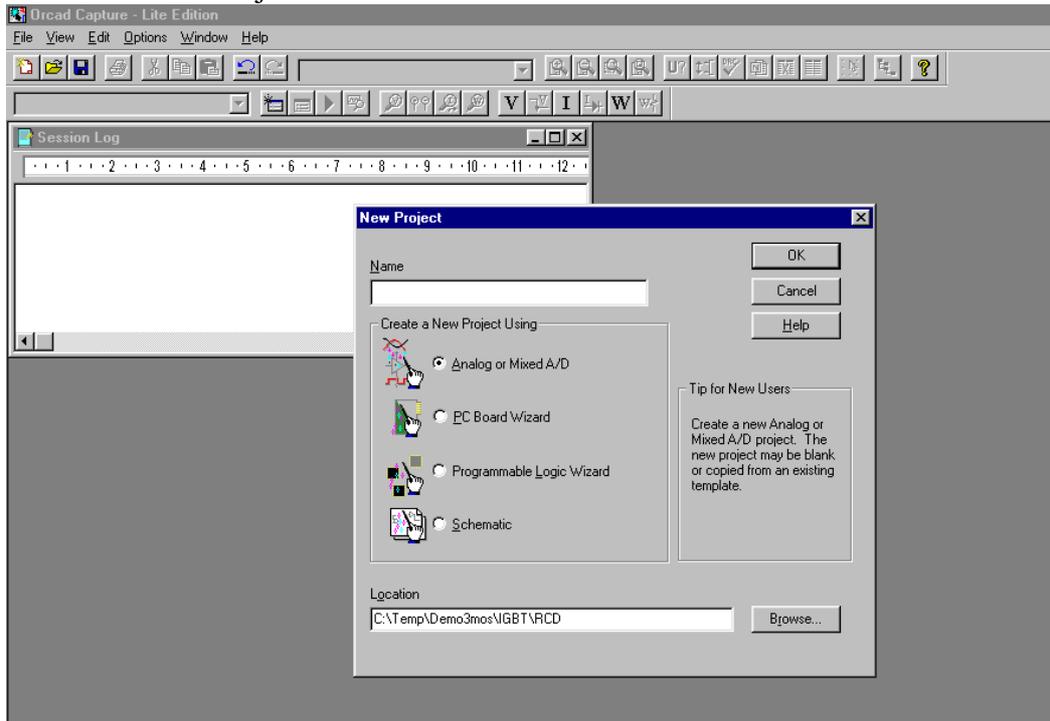
In diesem Feld drücken Sie den Button "Libraries".



Dort löschen Sie erst einmal **ALLE** bisher eingebundenen Libraries raus und binden danach die "Lek.lib" ein . Wichtig ist, daß Sie beim Einbinden den Button "Add as global" drücken ! Das heißt nämlich, daß die anderen Projekte (Simulationen) automatisch diese gleiche Library Einstellung benutzen und Sie nicht alle "Settings" von Hand ändern müssen.

Neues Projekt erzeugen....

File → New → Projekt



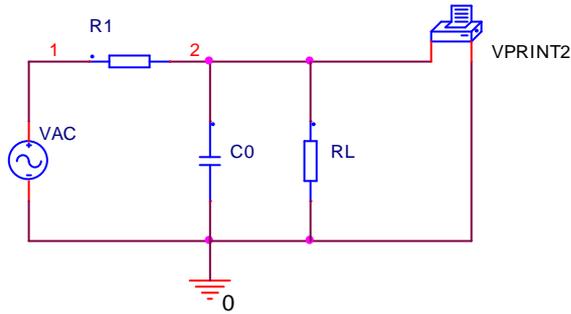
Hier ist es sehr wichtig, als Einstellung „Analog or Mixed A/D“ auszuwählen, da die Grundeinstellung „Schematic“ nur die Zeichnung darstellt und danach keine Simulation möglich ist !

Einfache Modelle ( nahezu Ideal ) zur ersten Verwendung sehr häufig sinnvoll !!

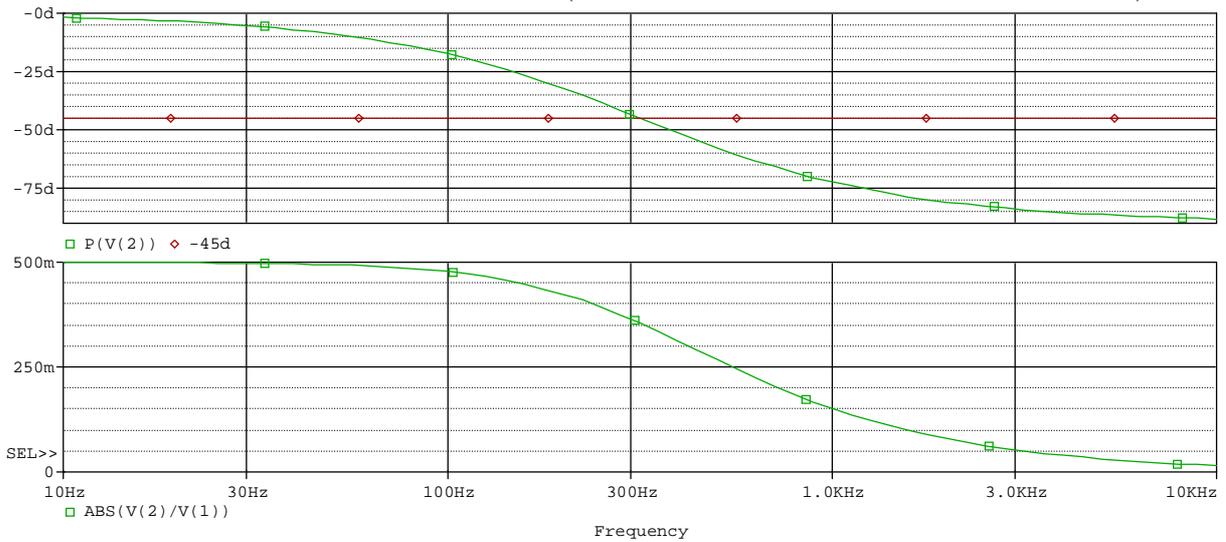
„breakout“ Bauteil	Bauteil	In dem Programm PSpice verwendete Buchstaben
BBREAK	GaAsFET	B
CBREAK	Kondensator	C
DBREAK <sub>x</sub>	Diode	D
JBREAK <sub>x</sub> *	JFET	J
KBREAK	gekoppelte Induktivitäten	K
LBREAK	Induktivität	L
MBREAK <sub>x</sub> *	MOSFET	M
QBREAK <sub>x</sub> *	bipolarer Transistor	Q
RBREAK	Widerstand	R
SBREAK	spannungsgesteuerter Schalter	S
TBREAK	transmission line	T
WBREAK	stromgesteuerter Schalter	W
XFRM_NONLINEAR	Transformator	K and L
ZBREAKN	IGBT	Z

**PSPice Demonstrationen (Experimentalvorlesung)**

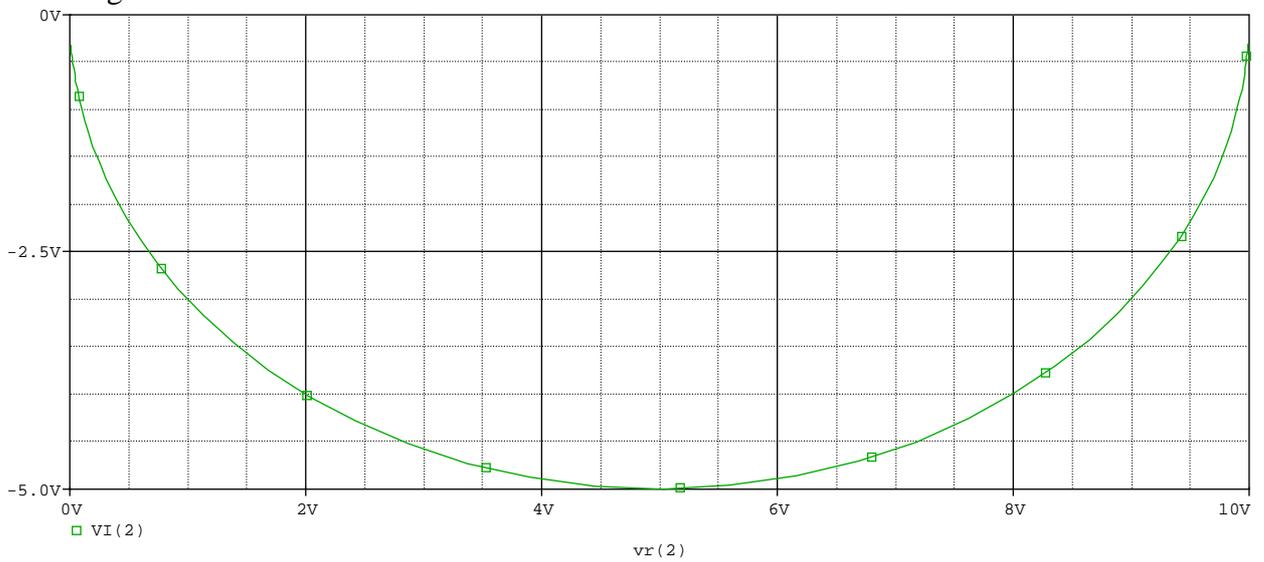
1) Demo2



( Der Drucker VPRINT ist als Bauteil zu suchen )



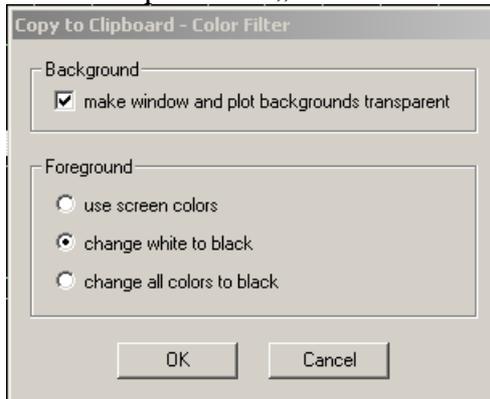
**Darstellung der Ortskurve**



Rechenpunkte, Mathematische Funktionen z.B. AVG,RMS...

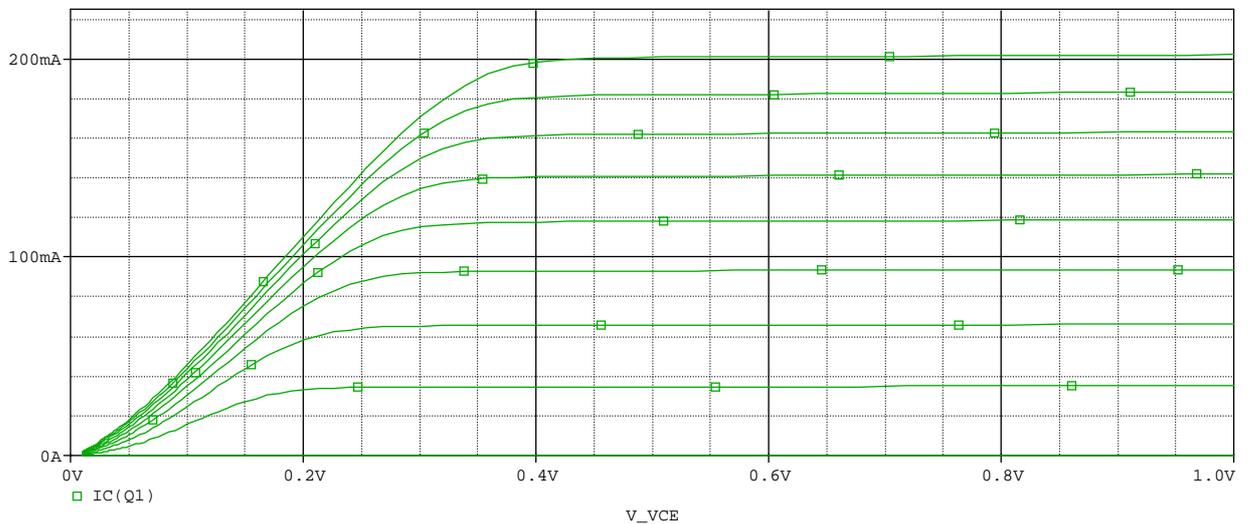
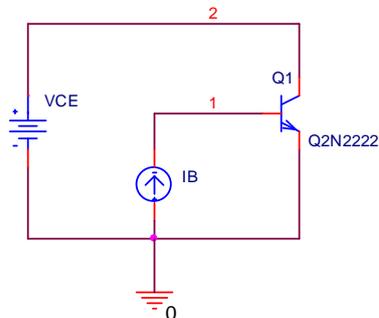
Einbinden eines Simulationsergebnisses in Word (oder andere Applikationen)

→ im Postprozessor „Probe“ den Menüpunkt „Window“ → „copy to Clipboard“ auswählen



Die Einstellungen sollten wie in dem nebenstehenden Bild dargestellt, mit OK bestätigt werden. Das Ergebnis kann dann in die geforderte Applikation eingefügt werden, da es sich nun in der Zwischenablage befindet....

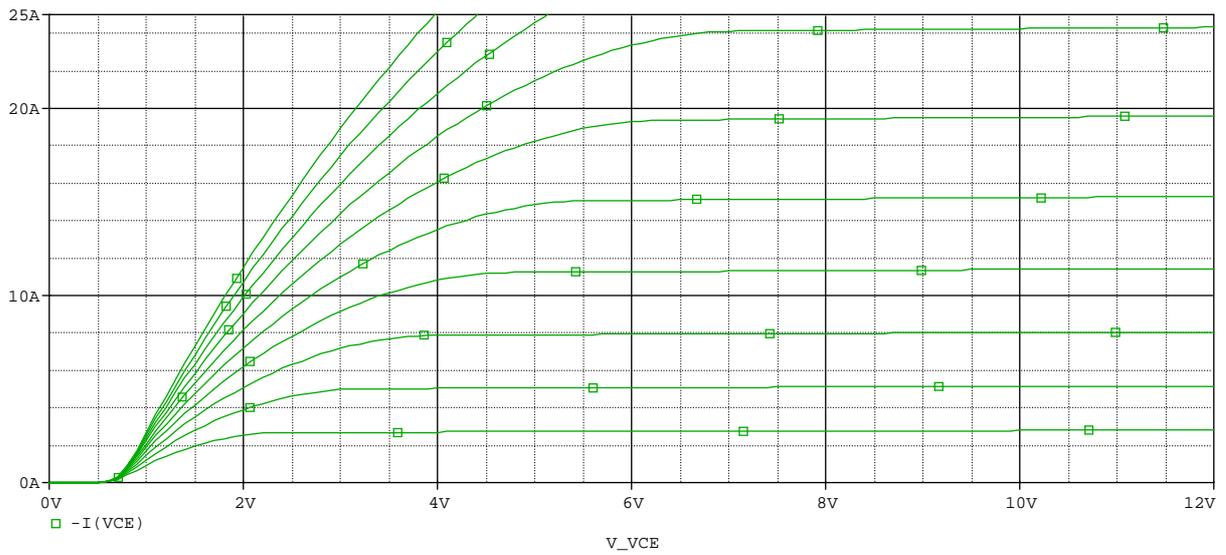
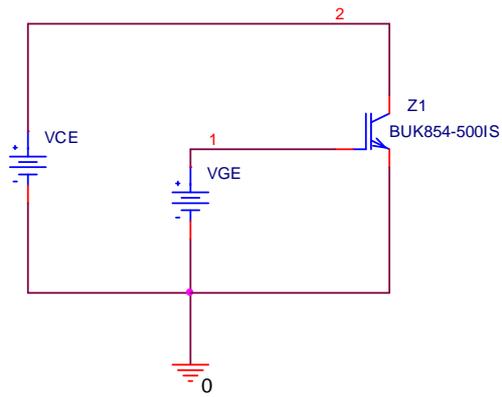
Ausgangskennlinienfeld eines bipolaren Transistors ( DEMO3 )



Schaltverhalten einer Diode

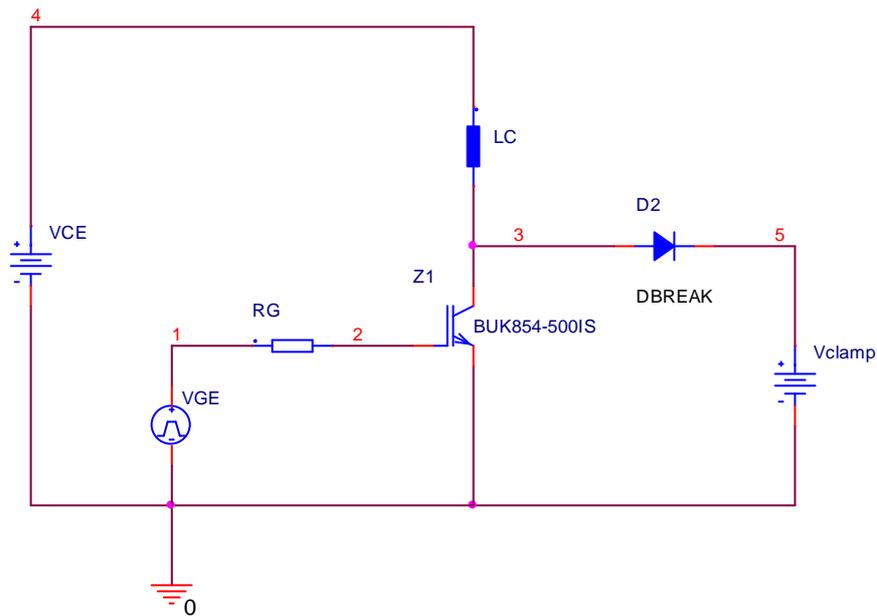
Nicht realisierbar... TT hat keinen Einfluss !!! Datei dperr...

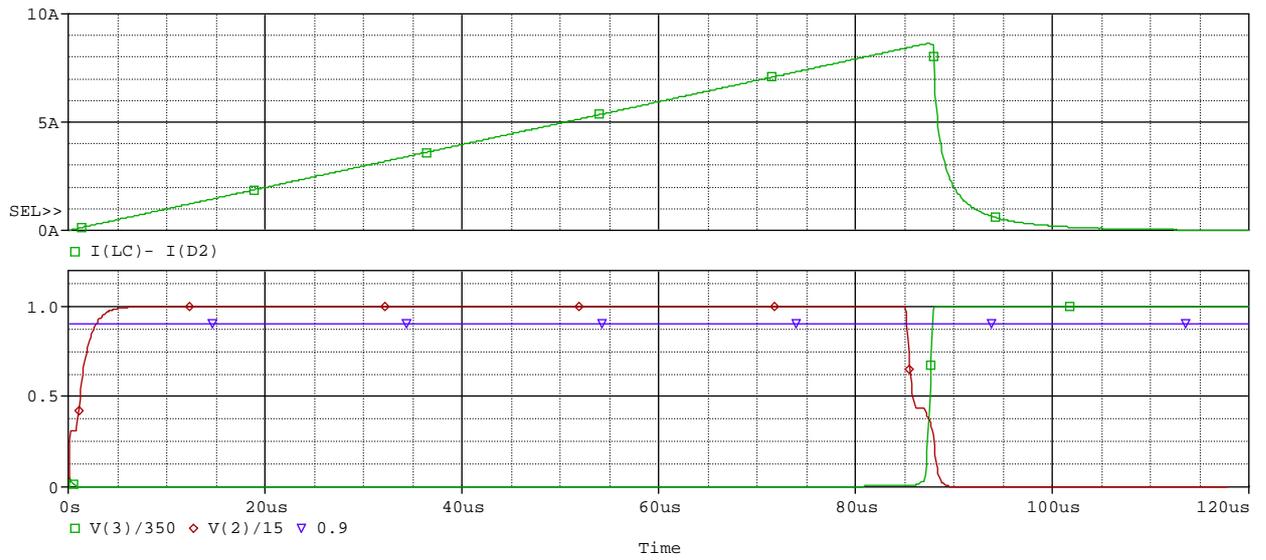
Ausgangskennlinienfeld eines IGBT Verzeichnis IGBTTEST



Schaltverhalten eines IGBT an induktiver Last

Verzeichnis : IGBTDYN ( Achtung : Diode Dclamp entfernen und durch dbreak ersetzen (= D2) )

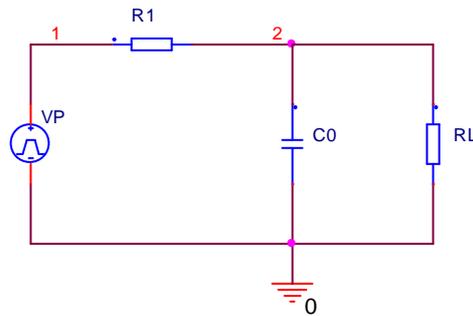




**Vorlesung 2 : 14.03.2008 ( Transientenanalyse ; Demo1 )**

Demo1 editieren → was wird dargestellt-→ Bauteile anklicken ... properties  
 Wie bekomme ich es hin, das bestimmte Werte an dem Bauteil mit angezeigt werden ?  
 Bauteil anklicken ... properties ... alles markieren, was mit in dem Schematics dargestellt werden soll.... und unter Display ( rechte Maustaste ??? ) die entsprechenden Marker setzen !  
 Demo 1 aufrufen und entsprechend editieren !!!

Original : Verzeichnis : demo1



Pulsquelle editieren und Werte erläutern :

A	
	SCHEMATIC1 : PAGE1
Reference	R1
Value	100
BiasValue Power	
Source Part	DIN-R.Normal
TOLERANCE	

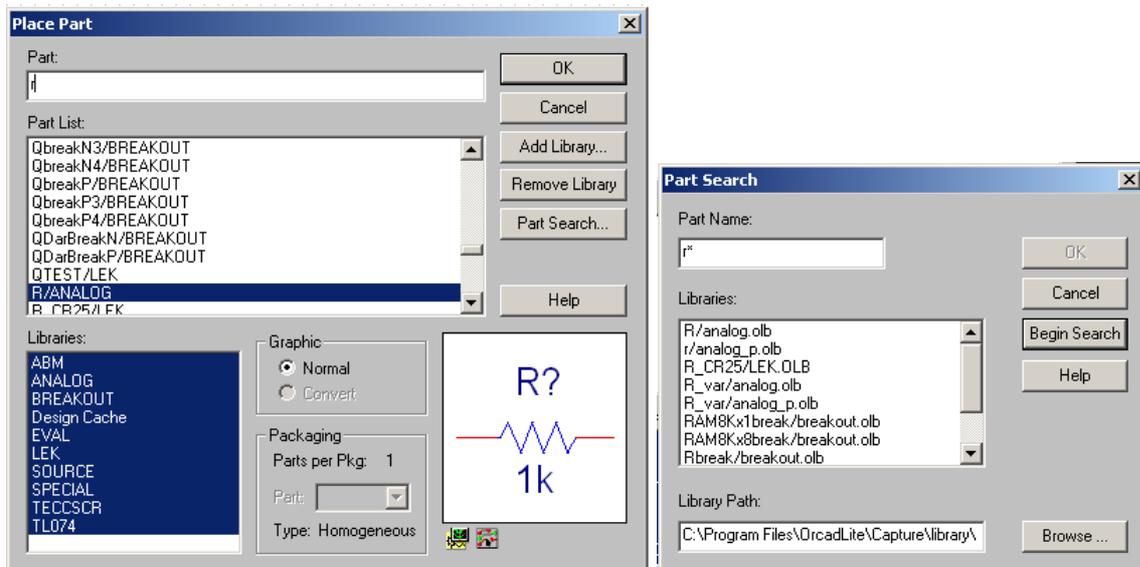
A	
	SCHEMATIC1 : PAGE1
Reference	C0
Value	100u
IC	0V
Source Part	DIN-C.Normal
TOLERANCE	

A	
	SCHEMATIC1 : PAGE1
Reference	VP
Value	VPULSE
AC	
BiasValue Power	
DC	100
PER	10M
PW	4M
Source Part	VPULSE.Normal
TD	0
TF	500N
TR	500N
V1	0
V2	100

per= Periodendauer ( hier 10ms )  
 pw = Pulsweite ( hier 4ms )  
 TD=delay time ( hier 0 )  
 TF=Fall time ( hier 500ns)  
 TR=RiseTime ( hier 500ns )  
 V1=Startwert der Pulsspannung ( hier 0V)

V2=Endwert der Pulsspannung ( hier 100V)  
 DC=Spannungswert für eine eventuelle DC-Analyse ( hier 100V )  
 AC=Spannungswert für eine eventuelle AC-Analyse

Bauteile holen... → Part search...



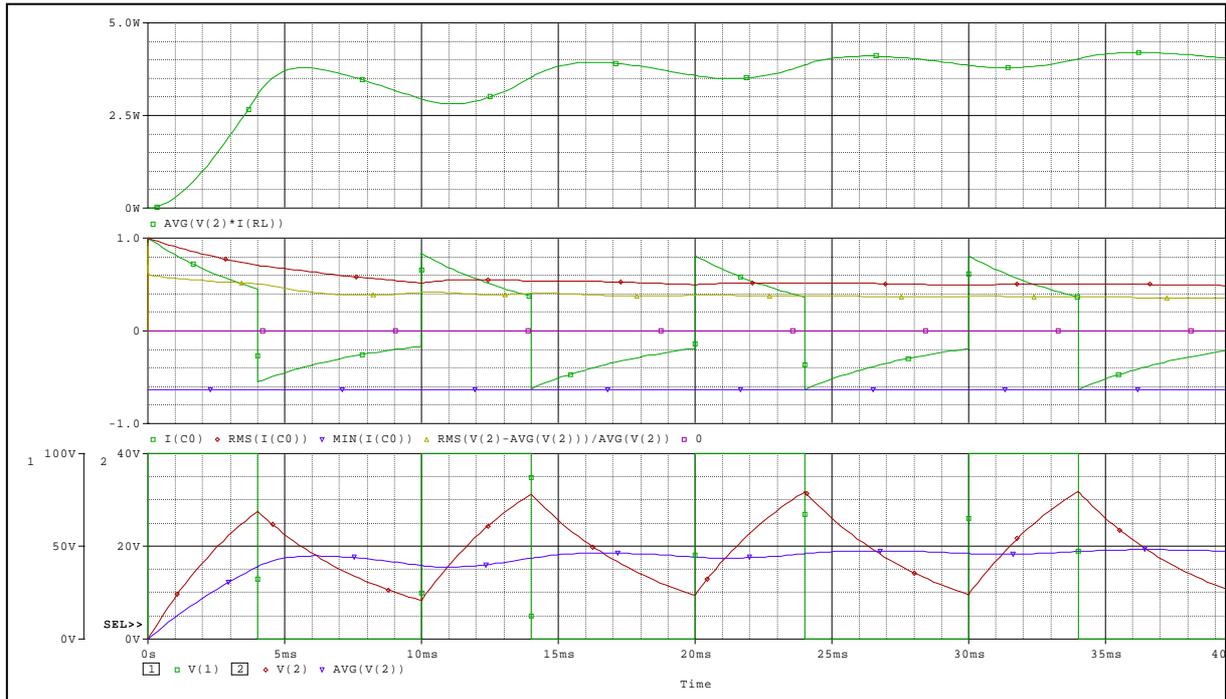
Wenn der Name des Bauteiles nur teilweise bekannt ist kann man mit sogenannten „Wildcards“ arbeiten : R\* listet z.B. alle Bauteile auf, die mit R beginnen aber eventuell noch aus weiteren Ziffern bestehen . Wenn das Bauteil nicht sofort angezeigt wird ist der Button „Part Search...“ und danach der Button „Begin Search“ zu drücken.

Weitere Aufgaben :

- Programmoberfläche erläutern
- Definition der Simulationsumgebung
- arbeiten mit dem Postprozessor Probe
- beschriften der Knoten....

Bedeutung der wichtigsten Symbole auf der rechten Bildschirmseite :

Symbol	Bedeutung
	Place Part = Bauteil plazieren
	Place wire = Verbindungsleitung einzeichnen
	Place net alias = Eingabe der Knotenbezeichnungen
	Place Line = Linie zeichnen
	Place polyline = Polygonzug zeichnen
	Place rectangle = Rechteck zeichnen
	Place ellipse = Elipse zeichnen
	Place arc = Kreisbogen zeichnen
	Place Text = Text einfügen

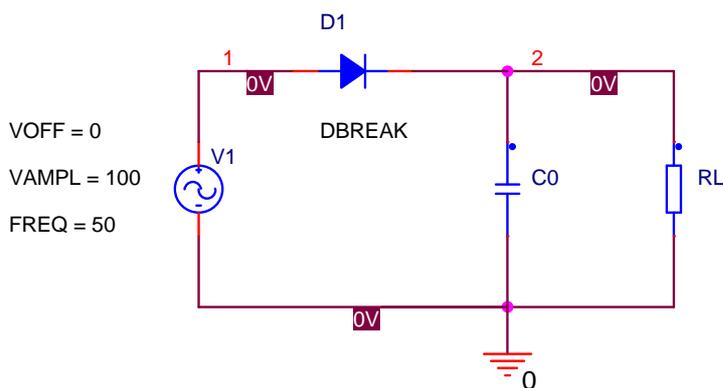


Darstellung des Ergebnisses und entsprechende Interpretation :

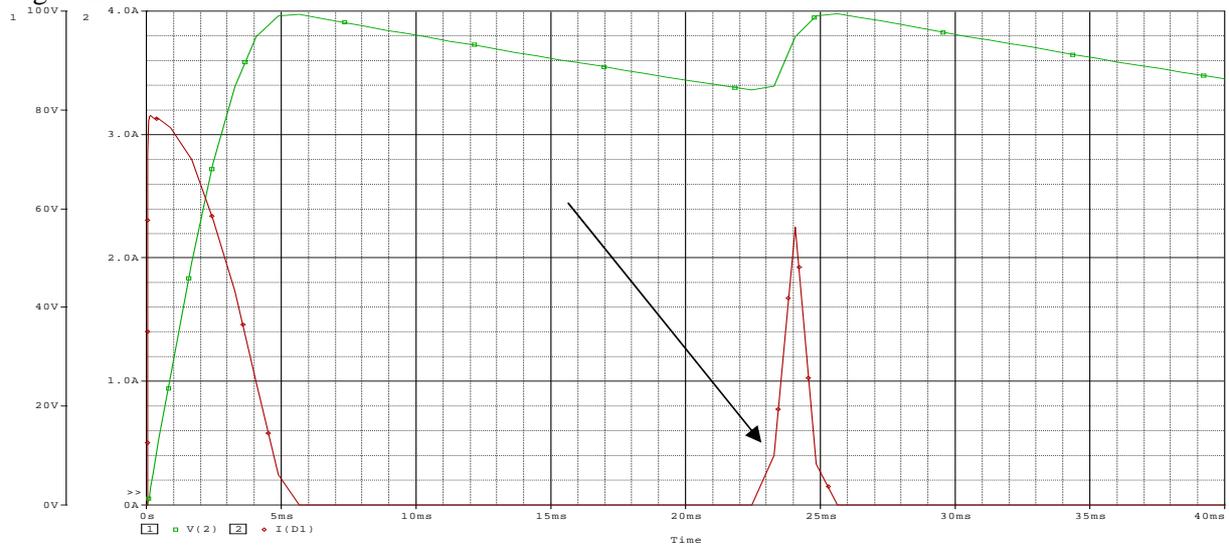
Bedeutung der Kürzel : RMS(Effektivwert),AVG(Arithmetischer Mittelwert),MIN(Minimalwert),MAX(Maximalwert),...

### Erste Übung für die Studenten ( eventuell mit Unterstützung )...

1. Austausch der Pulsquelle (VPULSE) durch eine Sinusquelle (VSIN)
2. Austausch des Widerstandes durch eine Diode(ideale Diode) vom Typ dbreak...
3. Einstellen der Parameter für die Sinusquelle : Amplitude 100V, Frequenz 50Hz, kein Offset...

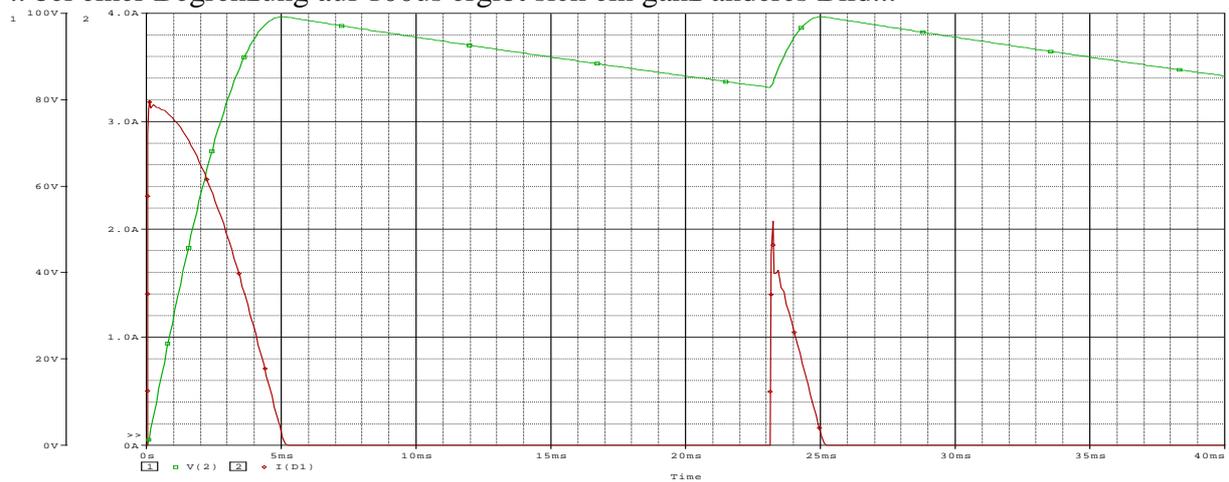


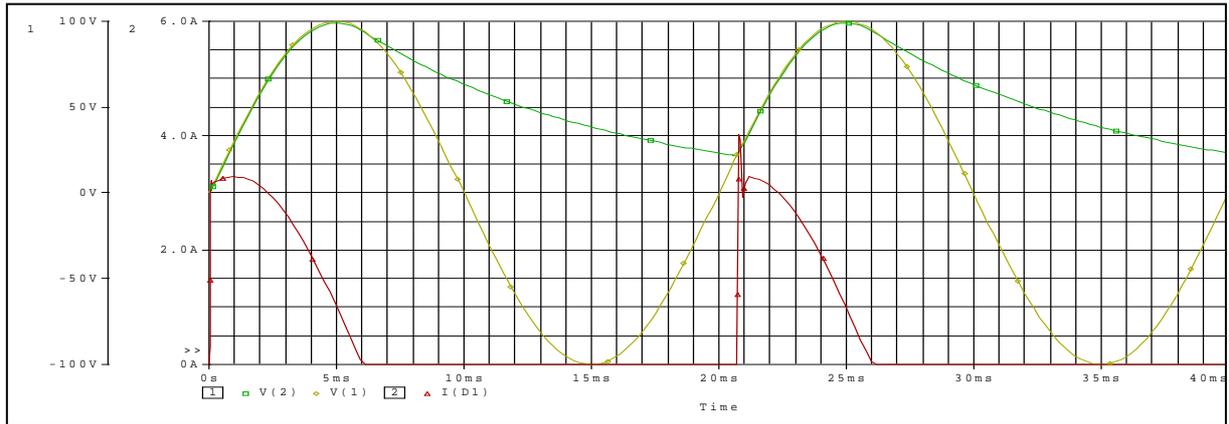
Sind alle Änderungen nachvollzogen worden, so sollte sich das folgende Bild (mit  $RL=1000\ \Omega$ ) ergeben :



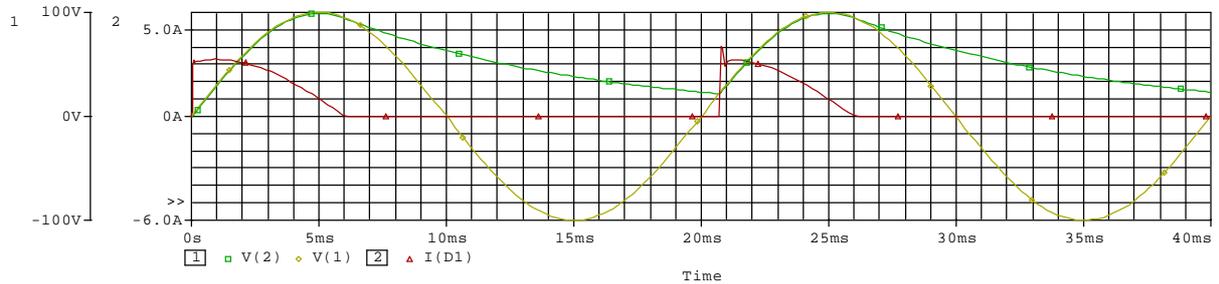
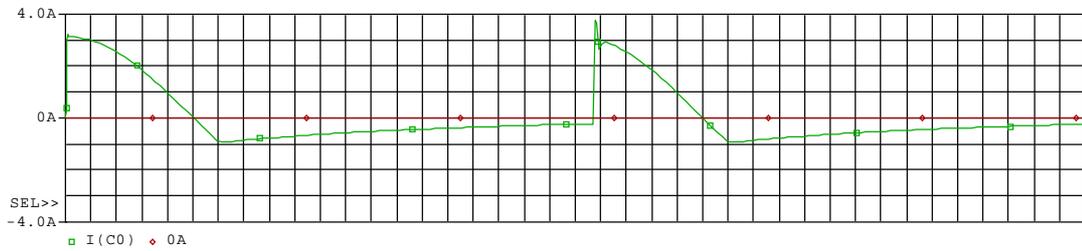
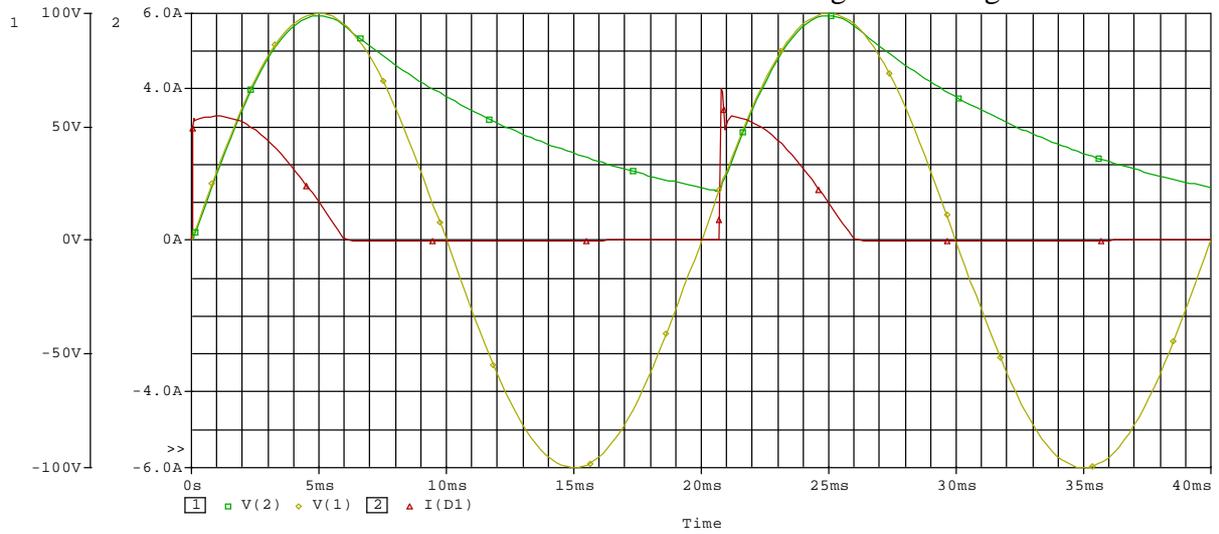
Die „Ecken“ im Bild ergeben sich durch eine fehlerhafte Simulation bedingt durch eine zu große Schrittweite ( nicht begrenzt )

.. bei einer Begrenzung auf 100us ergibt sich ein ganz anderes Bild...



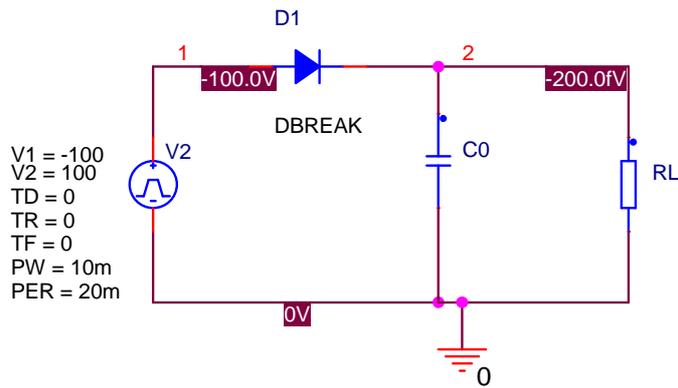


Wenn der Widerstand seinen alten Wert von 100 Ohm behält ergibt sich folgendes ..



Selbstverständlich kann man hier auch ohne Glättungskondensatur die Simulation laufen lassen !

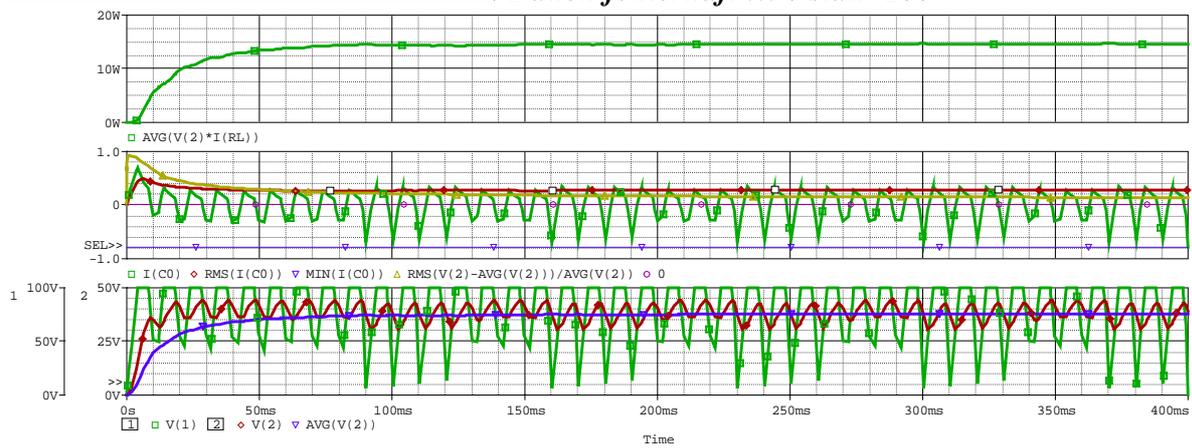
Wieder Pulsquelle einführen... ( erläutern diverser Fehlerquellen )



Setzen der Anstiegszeit (tr) und der Abfallzeit (tf) auf 0 → **Erwartung : unendliche Steigung bei den Umschaltvorgängen...**

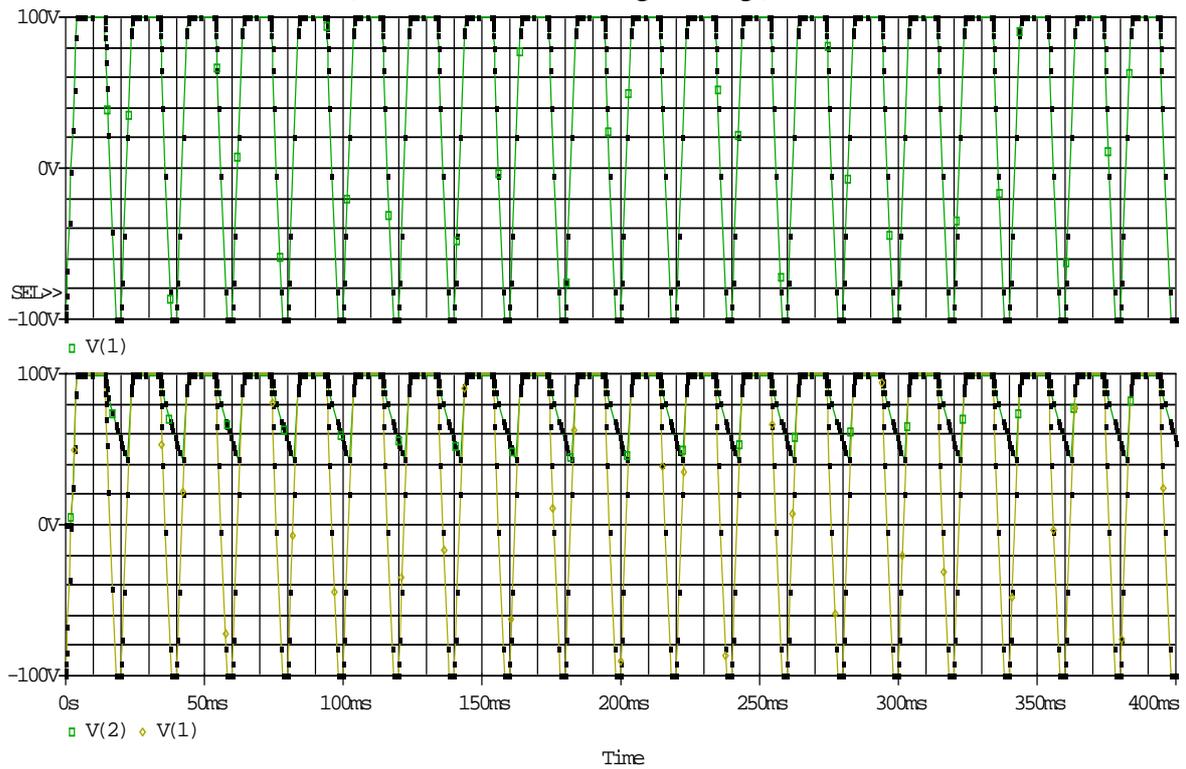
A	
SCHEMATIC1 : PAGE1	
Reference	VP
Value	VPULSE
T9	
AC	0
BiasValue Power	
DC	0
PER	10M
PW	4M
Source Part	VPULSE.Normal
TD	0
TF	0
TR	0
V1	0
V2	100

**V1 auch fehlerhaft ... 0 statt -100**



**Fehler : falsche Schrittweite (genau wie im vorherigen Beispiel mit der Angabe  $tr=tf=0$ )**

Simulation von 0 bis 400ms ( ohne Schrittweitenbegrenzung )



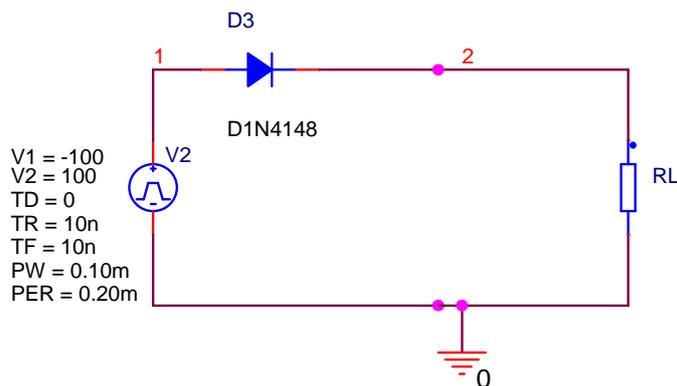
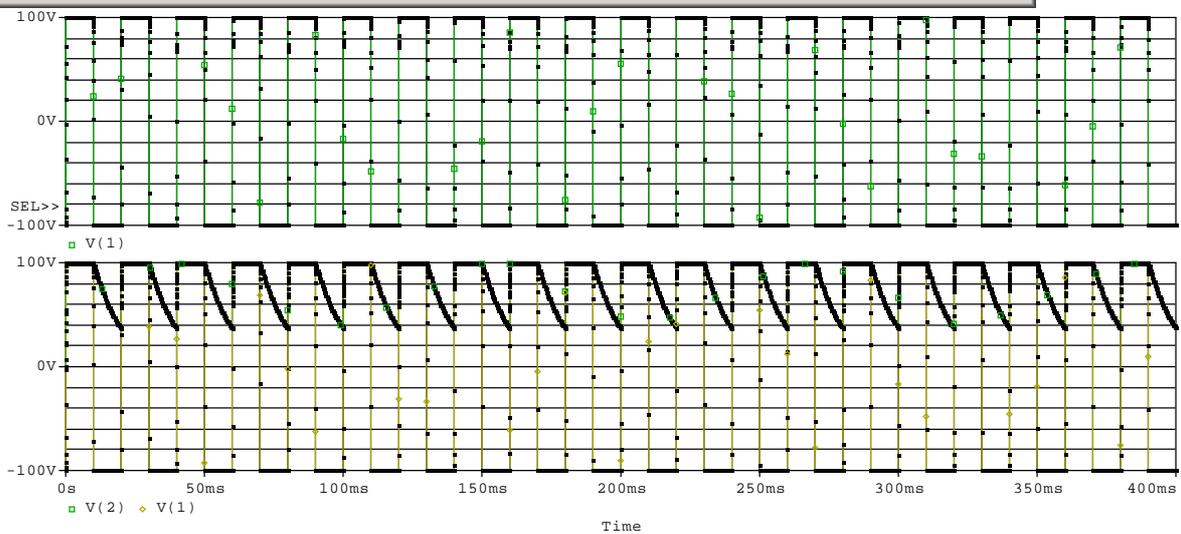
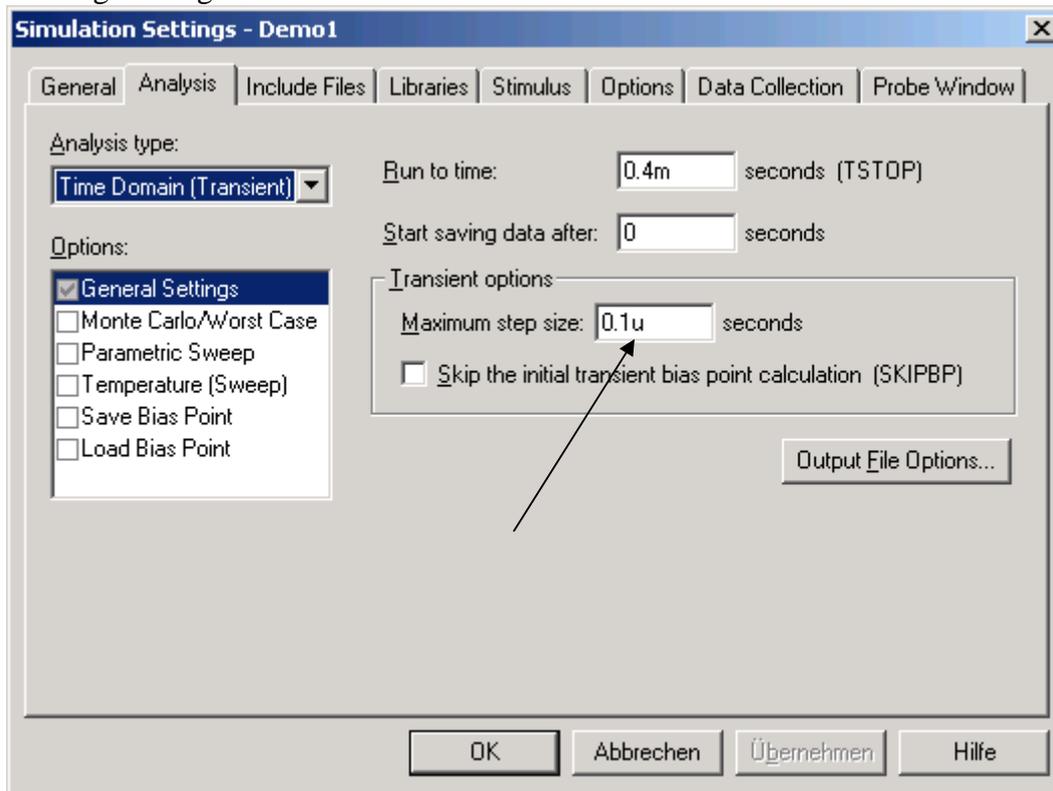
Es ergibt sich eine Anstiegszeit , die von der jeweils aktuellen Schrittweite des Simulators abhängig ist...

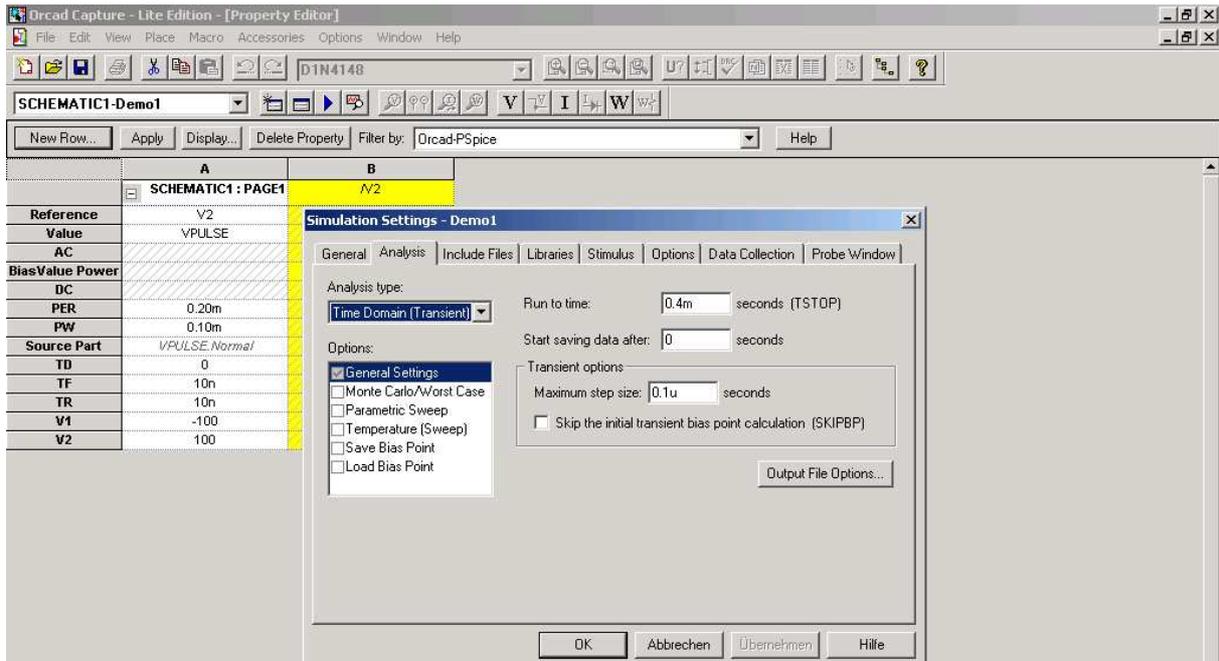
$$\frac{t_{End} - t_{Start}}{50} = \frac{400ms - 0ms}{50} = 8ms$$

Also ergeben sich hier Zeiten von ca. 8ms ( und nicht wie erwartet 0 )

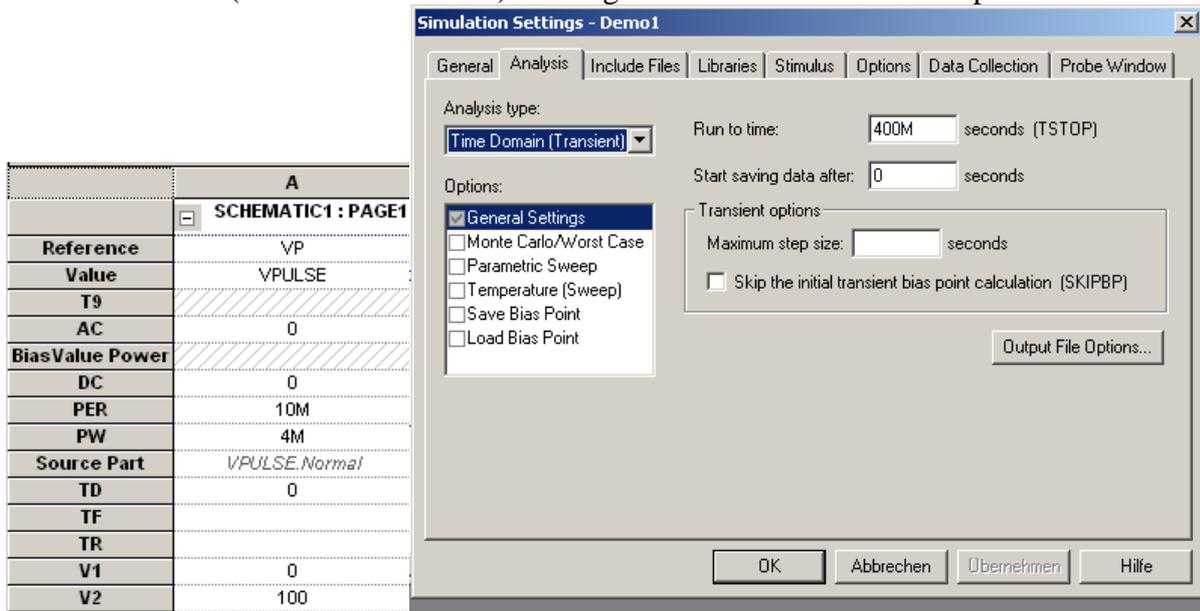
Bei einer Begrenzung der maximalen Schrittweite aus 0,1us ergibt sich das folgende Bild :

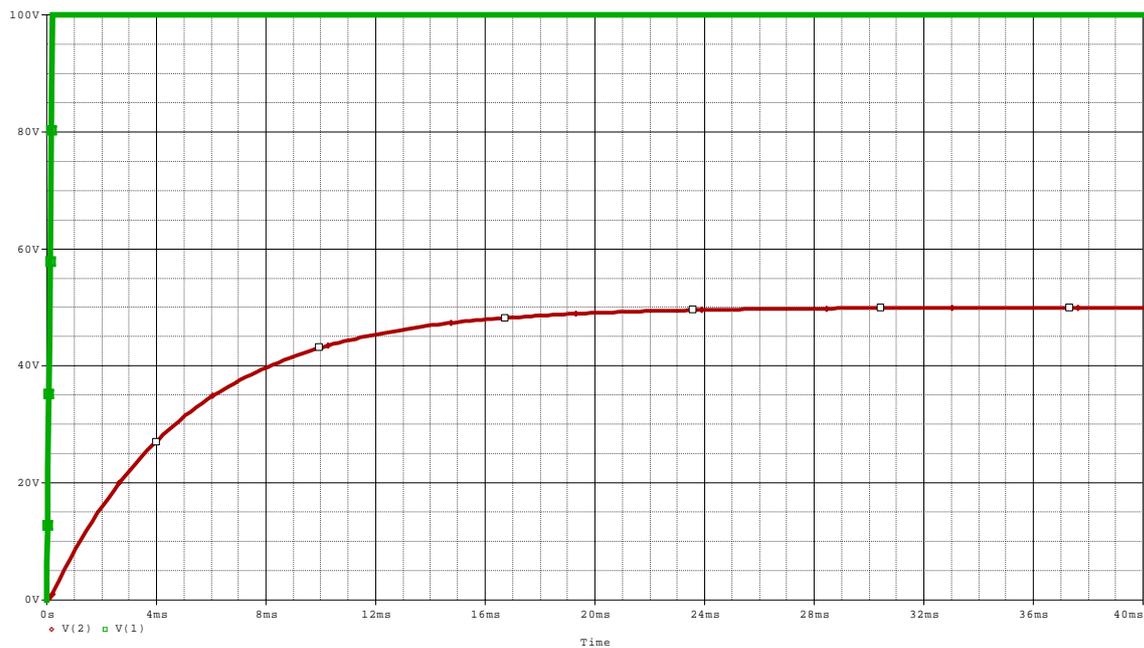
mit Begrenzung : 0.1us





Tr + tf entfernen ( nicht auf 0 setzen...) und Ergebnis ansehen.... nur ein Impuls...



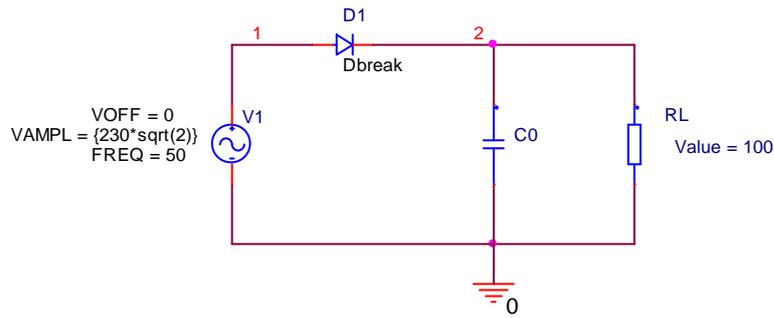


Tr+tf auf 0 setzen.... Ergebnis ansehen... Anstiegszeit = 0,2ms ( siehe max. Stepsize=200us)  
Danach auch noch stepsize weglassen... Anstiegszeit nun 0,4ms ( obwohl die Zeiten ja auf Null gesetzt waren... )

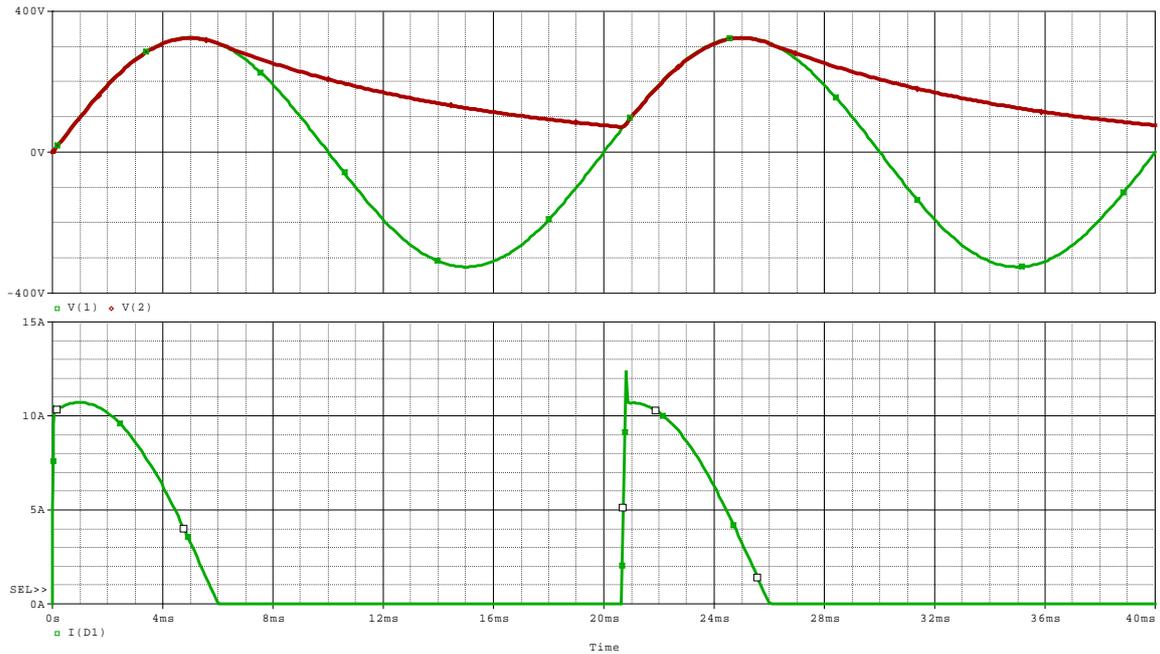
+ weiteres bis ca. ½ Std. vor Schluß...

danach eigenes Beispiel von den Studenten erzeugen....( Pulsquelle ohne tr und tf )

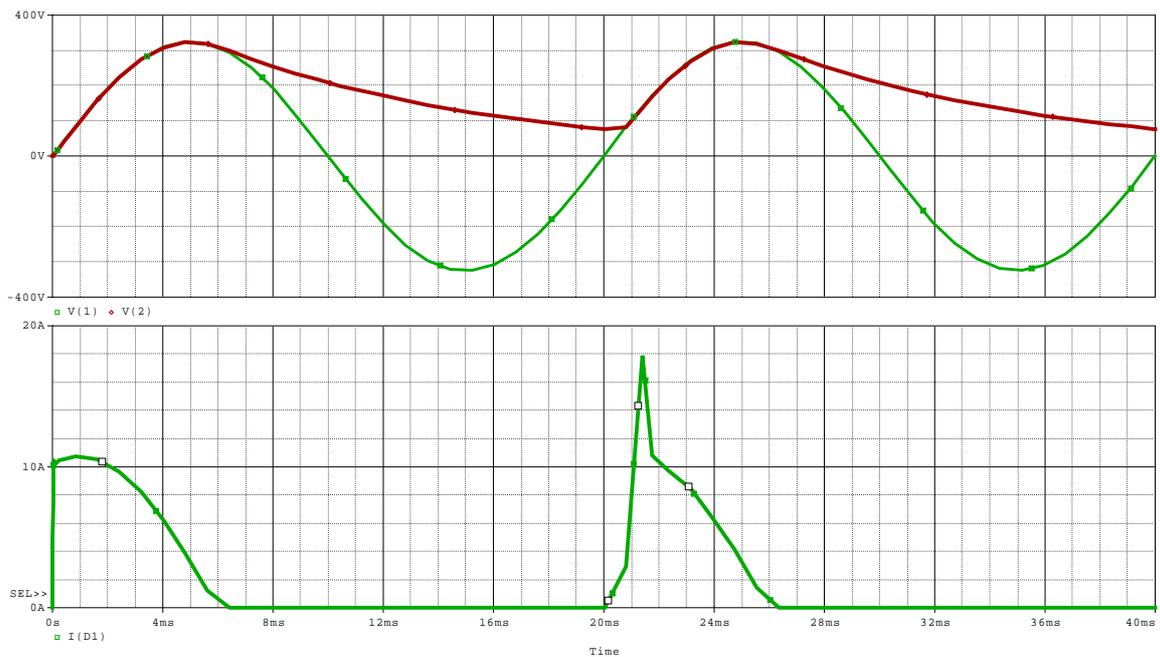
Beispiel der Vorlesung...



Mit einer Schrittweitenbegrenzung von 100us ergibt sich das folgende Bild:



Wird die Schrittweitenbegrenzung entfernt, so ergibt sich das folgende (fehlerhafte) Bild:



**Vorlesung 3 am 20.03.2008**

Schreibschutz der Beispiele aufheben .

Demo 2 aufrufen

→ AC-Quelle erläutern... nur für sinusförmige Größen !!!

→ printer (VPRINT1 bzw. VPRINT2 )

→ Display werte s.o

Ortskurve + Frequenzgang

Genauigkeit der Messergebnisse für die Mittelspannungsebene unter Optionen... Output...

→ Anzahl der signifikanten Stellen ( NUMDGT ) unter „Simulation Profiles“ einstellen

→ Printer → Eigenschaften Phase,Real,Imag,Mag : Bedeutung s.u

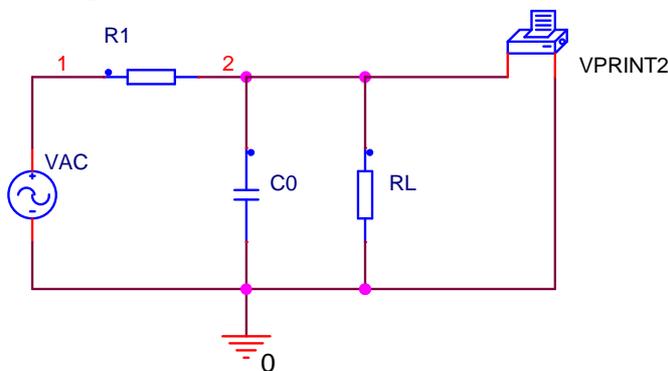
Buch Seite 200 : Netz1ac + diverses

Netz2ac ( Netzimpedanzverlauf ) ... Netz in (auf) Fehmarn

Themen : Reihen und Parallelresonanzen

Datei : PSpice\_Vorlesung\_3\DEMO2\Original

a) Beispiel : Demo2



Demo2 zeigt eine Wechselspannungsanalyse für ein RC-Glied als Tiefpaß. Die sinusförmige Wechselspannungsquelle wird im Frequenzbereich von 10 Hz bis 10kHz verändert. Gerechnet werden wieder die Zweiggrößen nach Betrag, Phase, Real- und Imaginärteil. Die Darstellung kann sowohl grafisch frequenzabhängig als Betrags- und Phasengang erfolgen als auch tabellarisch als Zahlenwerte für die jeweiligen Frequenzen.

Die Parameter der AC-Spannungsquelle :

	A
	SCHEMATIC1 : PAGE1
Reference	VAC
Value	20
ACMAG	20
ACPHASE	
Bias Value Power	
DC	0Vdc
Source Part	VAC.Normal

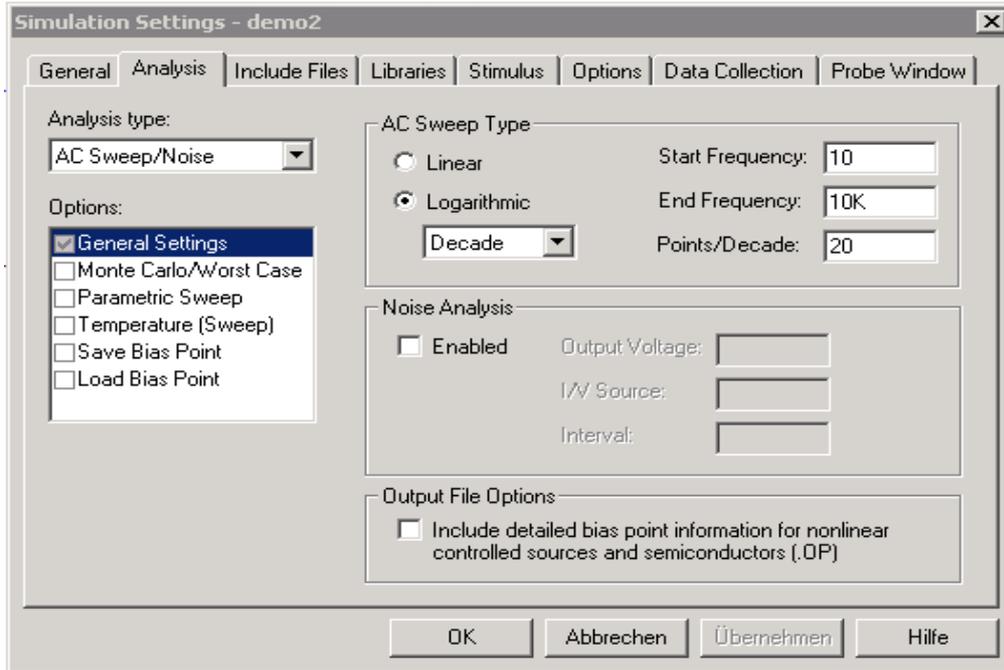
Normalerweise genügt es hier den Wert für Value einzutragen

ACMAG = Betrag des Wechselspannungssignales

ACPHASE = Winkel des Wechselspannungssignals ( Phasenverschiebung )

***Diese Quelle gilt nur für sinusförmige Signale***

Definition der Umgebungsbedingungen



Bedeutung der oben angegebenen Daten :

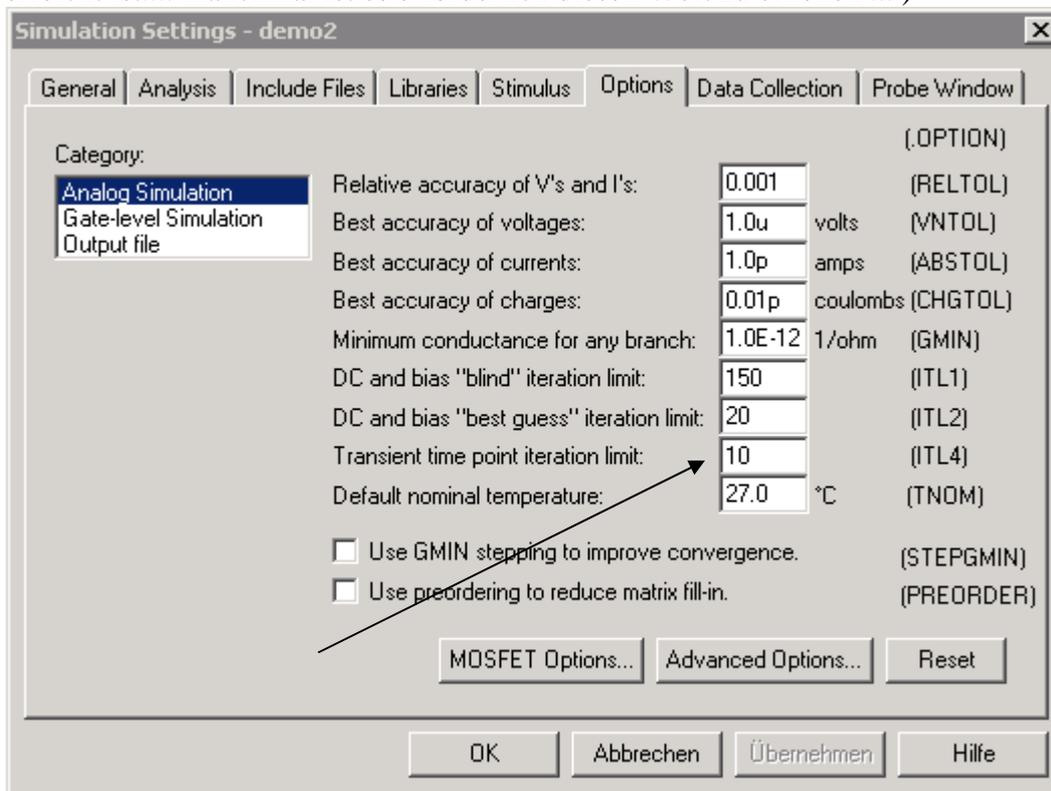
Startfrequenz : 10Hz

Endfrequenz : 10kHz

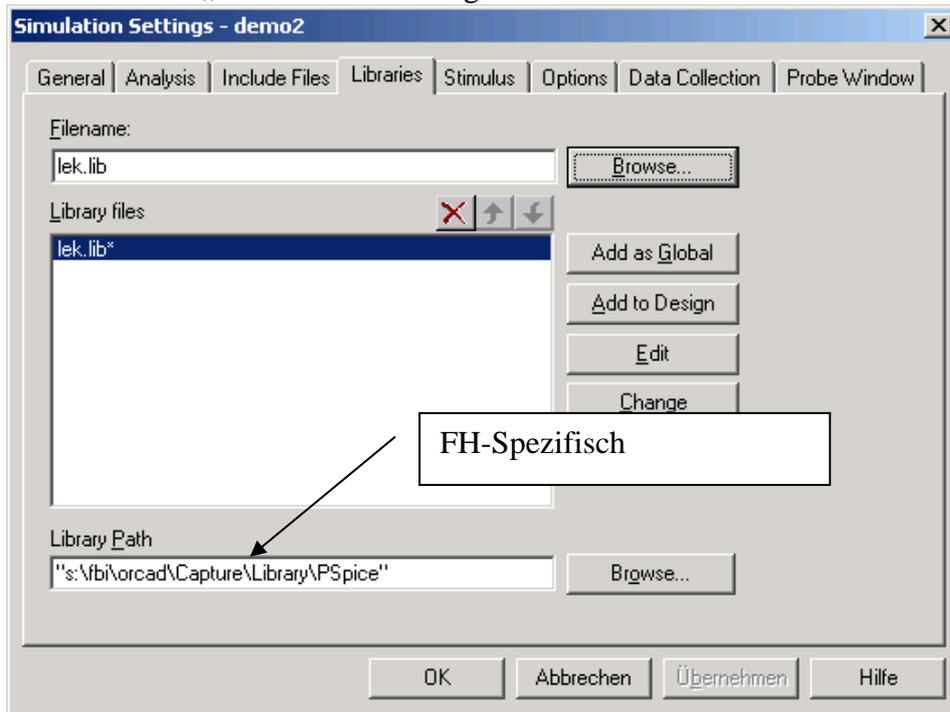
Variation der Frequenz : Logarithmisch

Rechenpunkte ( pro Dekade ) : 20

Erläuterung des Parameters ITL4 ( max. Anzahl der Iterationen bis die geforderte Genauigkeit erreicht ist.... manchmal ist es erforderlich diesen Wert zu erhöhen ... )



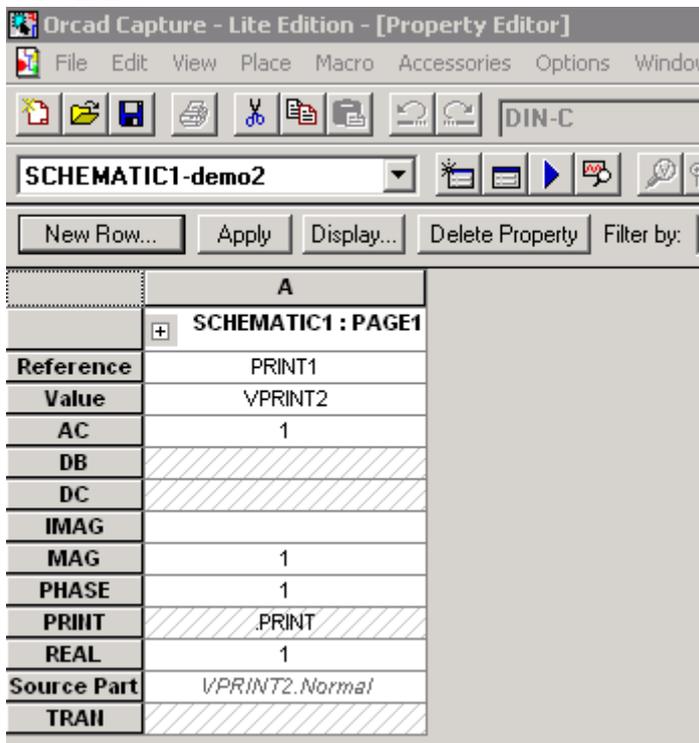
Notwendiger Eintrag der FH-Library... ( Der Stern nach dem Dateinamen bedeutet, dass diese Bibliothek mit „Add as Global“ eingeführt wurde.



Definition des „Druckers“ ...

Drucker markieren und mit Edit Properties folgendermaßen einstellen :

Alle Werte, die in die „OUT“-Datei geschrieben werden sollen sind mit einer „1“ zu versehen...



MAG = Betrag

IMAG = Imaginärteil

REAL = Realteil

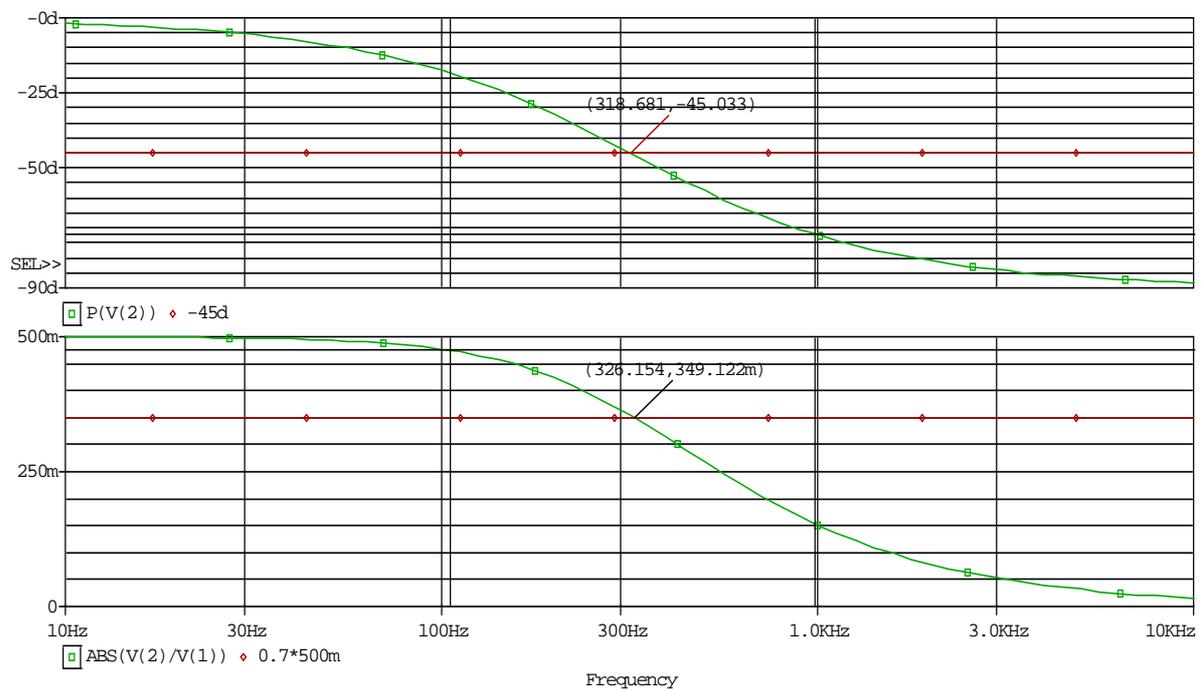
IMAG = Betrag des Imaginärteiles

Weitere Printer :

VPRINT1 :		Mißt die Spannung gegen den Bezugspunkt
VPRINT2 :	 VPRINT2	Mißt die Spannung zwischen zwei Punkten
IPRINT :	 IPRINT	Mißt den Strom

Anmerkung : Die oben angegebenen Printer befinden sich in der Library „Spezial“

Darstellung des Frequenzganges des angegebenen Tiefpasses



Im oberen Fenster wird der Phasengang und im unteren der Betragsgang dargestellt .

Auszug aus der „Out“-Datei

\*\*\*\* AC ANALYSIS

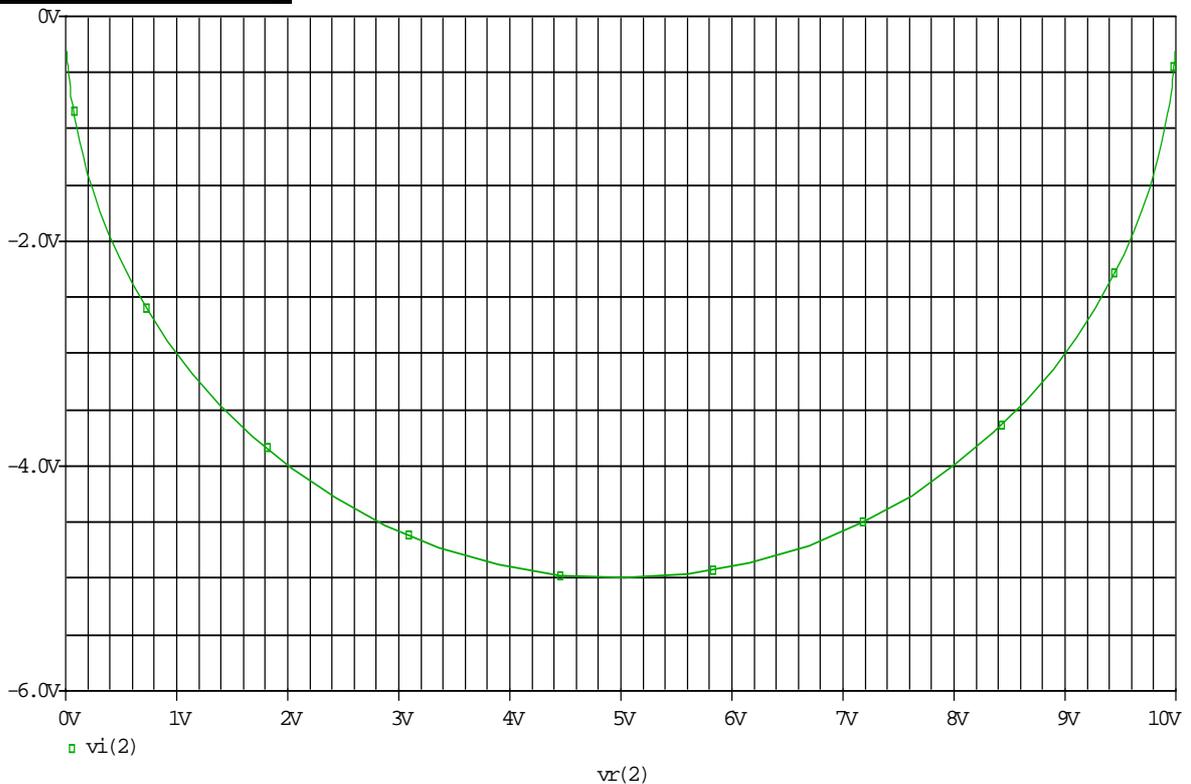
TEMPERATURE = 27.000 DEG C

\*\*\*\*\*

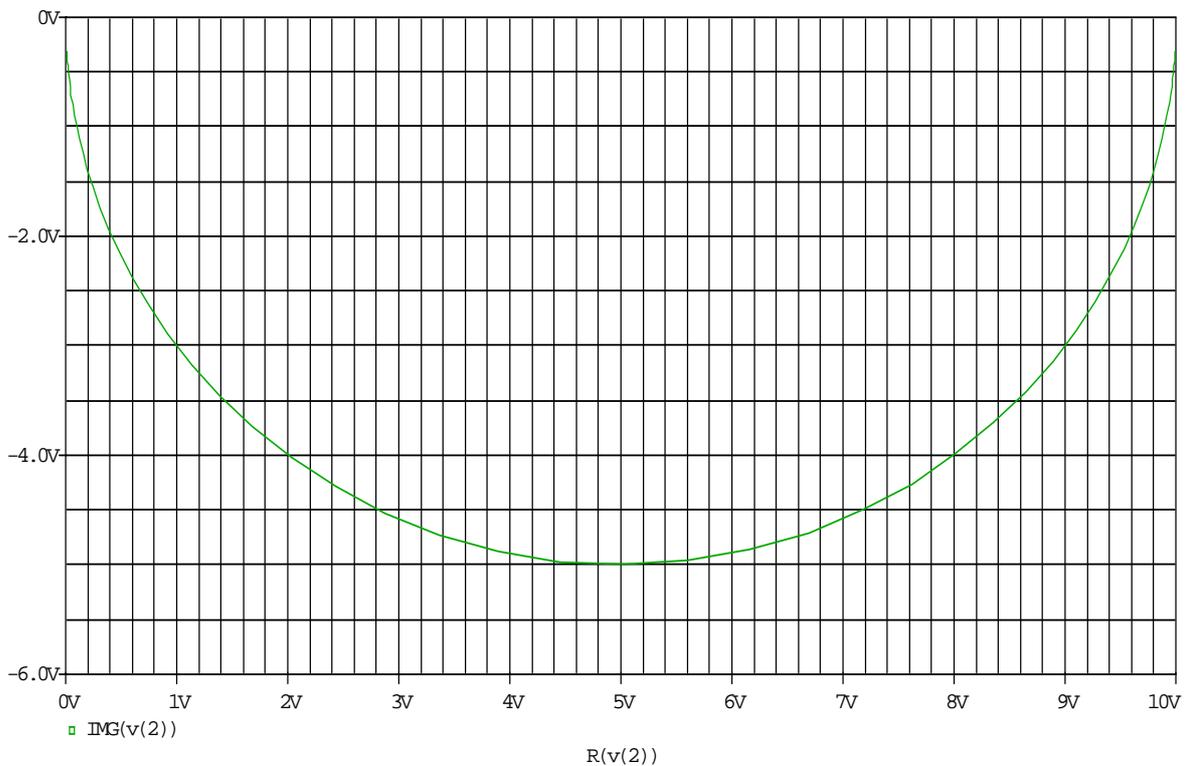
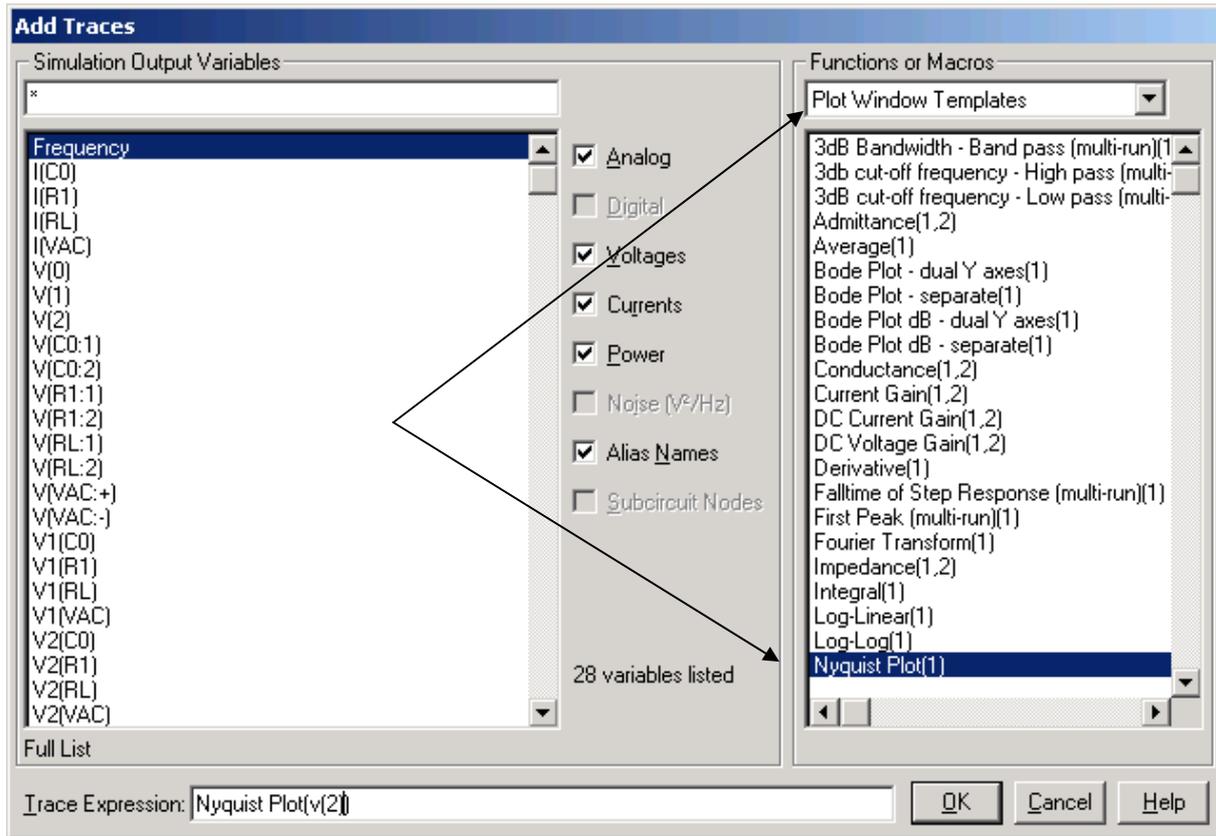
FREQ	VM(2,0)	VP(2,0)	VR(2,0)	VI(2,0)
1.000E+01	9.995E+00	-1.799E+00	9.990E+00	-3.139E-01
1.122E+01	9.994E+00	-2.019E+00	9.988E+00	-3.521E-01
1.259E+01	9.992E+00	-2.265E+00	9.984E+00	-3.949E-01
1.413E+01	9.990E+00	-2.541E+00	9.980E+00	-4.429E-01
1.585E+01	9.988E+00	-2.850E+00	9.975E+00	-4.967E-01
1.778E+01	9.984E+00	-3.198E+00	9.969E+00	-5.569E-01
1.995E+01	9.980E+00	-3.587E+00	9.961E+00	-6.244E-01
2.239E+01	9.975E+00	-4.023E+00	9.951E+00	-6.999E-01
2.512E+01	9.969E+00	-4.512E+00	9.938E+00	-7.842E-01
2.818E+01	9.961E+00	-5.060E+00	9.922E+00	-8.785E-01
3.162E+01	9.951E+00	-5.673E+00	9.902E+00	-9.838E-01
3.548E+01	9.938E+00	-6.360E+00	9.877E+00	-1.101E+00
3.981E+01	9.923E+00	-7.129E+00	9.846E+00	-1.231E+00
4.467E+01	9.903E+00	-7.988E+00	9.807E+00	-1.376E+00
5.012E+01	9.878E+00	-8.948E+00	9.758E+00	-1.536E+00
5.623E+01	9.848E+00	-1.002E+01	9.697E+00	-1.713E+00

...

**Ortskurvendarstellung**



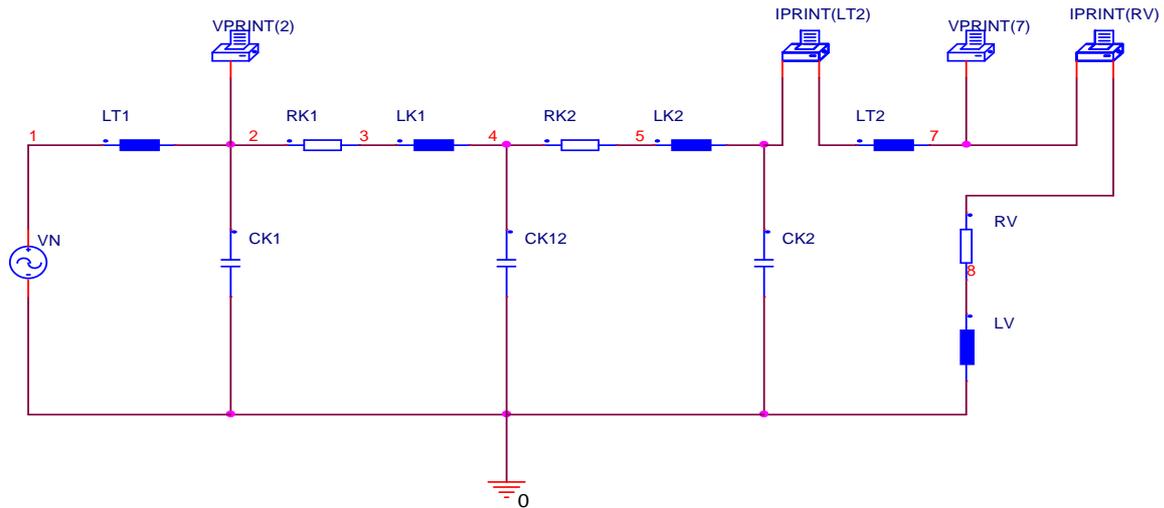
Einfache Methode um Ortskurven darzustellen



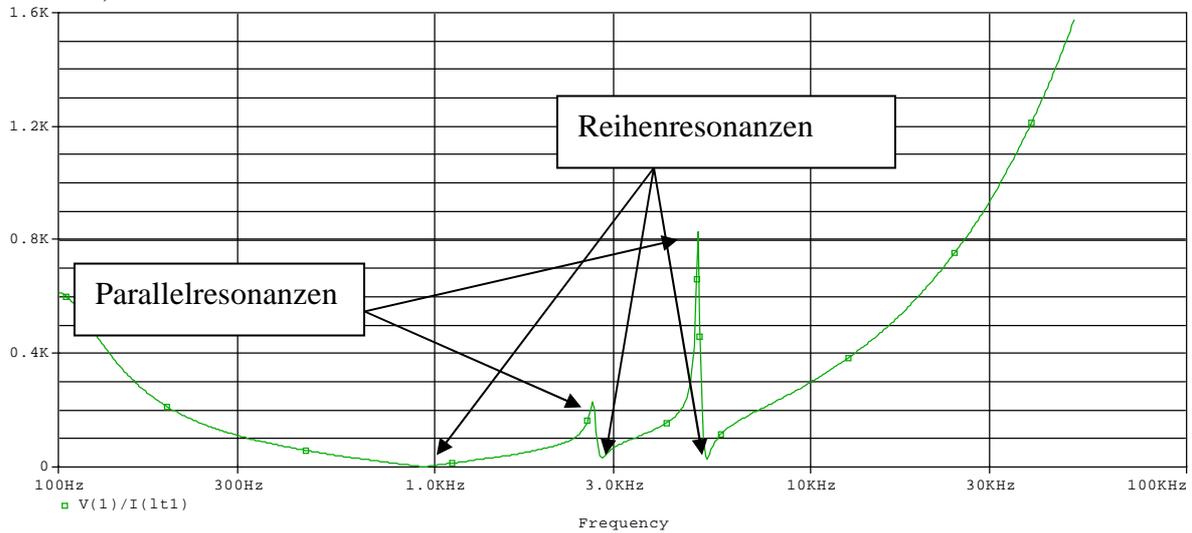
Anmerkung :

$R(V(2))$  = Realteil der Spannung V2 ;  $IMG(V(2))$  = Imaginärteil der Spannung V2

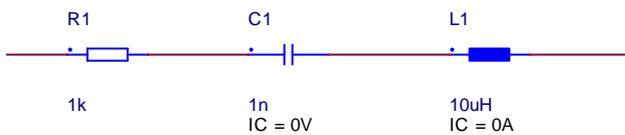
Weiteres Beispiel : Datei : Netz2ac ( Netz auf Fehmann )



Darstellung der Impedanz als Funktion der Frequenz ( mit 200 Punkten pro Dekade gerechnet)

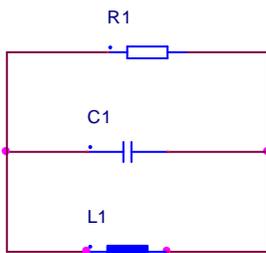


Frage : Was ist eine Reihenresonanz.... Was ist eine Parallelresonanz



$$\underline{Z} = R + j(\omega L + 1/\omega C)$$

→ Imaginärteil (Klammer) wird Null ... Reihenresonanz ( minimaler Scheinwiderstand)



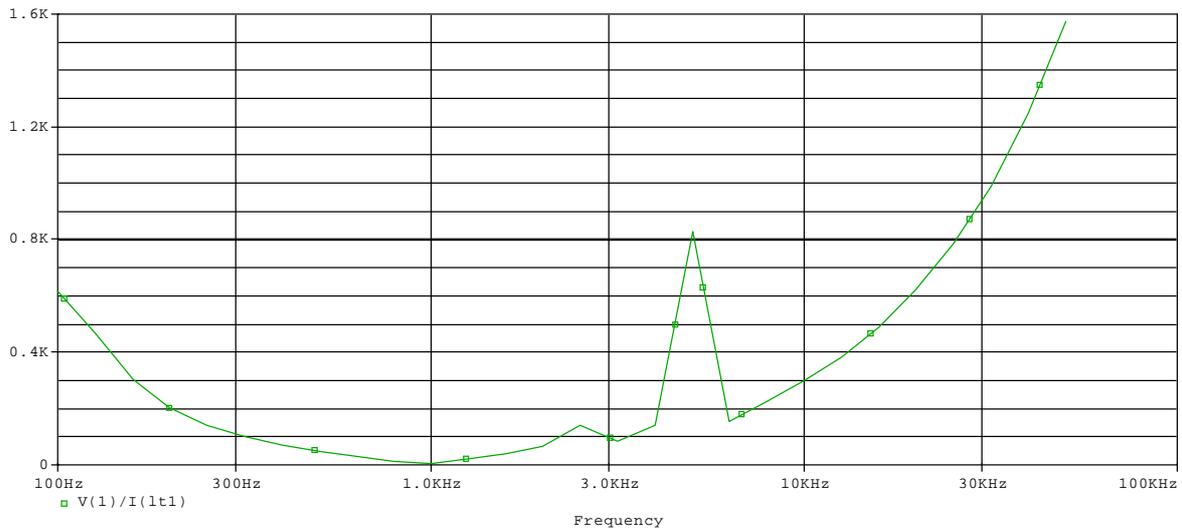
$$\underline{Y} = \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) : \text{Parallelresonanz} \rightarrow \text{Leitwert wird minimal d.h}$$

Impedanz Z wird maximal

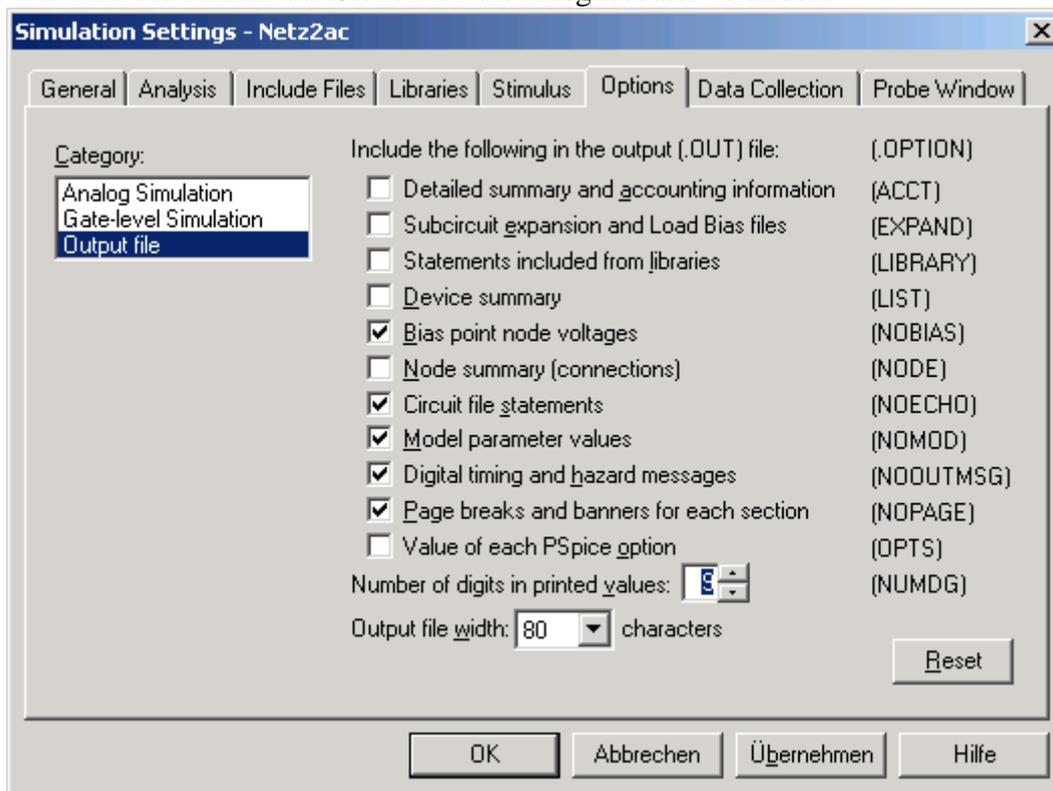
$$Y=1/Z$$

**Fehlersimulation :**

Mit 10 Werte pro Dekade ergibt sich folgendes Ergebnis → Feststellung : zu ungenau..



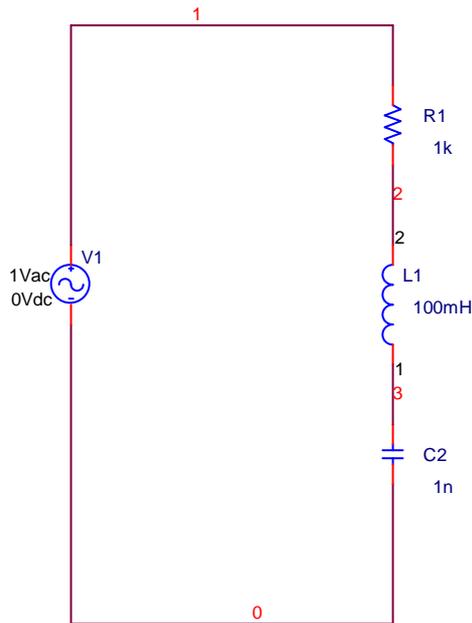
Wie wird die Anzahl der Stellen für die Ausgabedatei verändert



Die Angabe von NUMDG ( hier 9 ) bedeutet dass mit einer Genauigkeit von 9 signifikanten Stellen gearbeitet wird.

Übung Studenten :

Es ist der folgende Reihenschwingkreis zu simulieren :



C2 eventuell 10nF

Hinweise :

Startfrequenz : 1 Hz

Endfrequenz : 1GHz

200 Punkte pro Dekade

Aufgaben

- Darstellung der Ortskurve
- Darstellung der Impedanz  $Z$  als Funktion der Frequenz ( $Z=f(f)$ )
- Ermittlung der Resonanzstelle
- Was passiert, wenn bei einer logarithmischen Punkteverteilung bei der Berechnung als Startfrequenz 0 Hz gewählt wurde ( Interpretieren Sie die Fehlermeldung )

Weitere mögliche Beispiele :

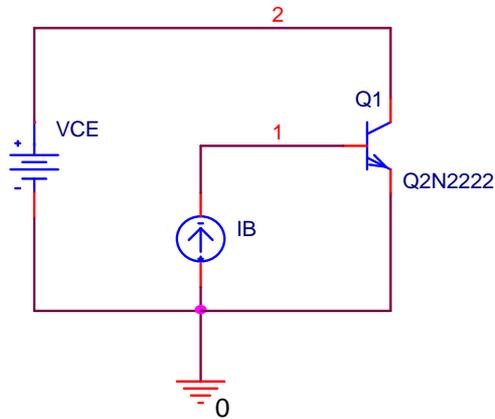
Ausgangskennlinie eines IGBT Verzeichnis : IGBTTEST

Frage : Worst case – Analyse : Verzeichnis „Worst“

**Vorlesung 4 am 27.03.2008**

Buch .DC Gleichstromanalyse = Seite 215

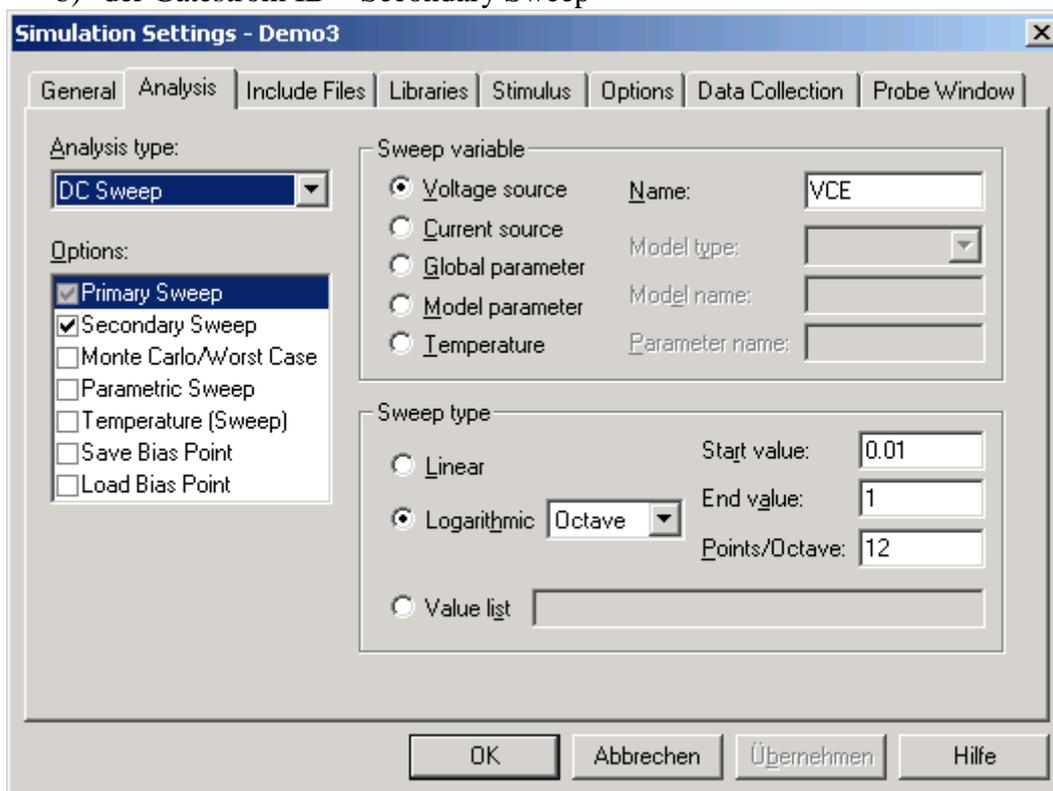
Thema : DC\_Analyse = Berechnung des Gleichstromarbeitspunktes in Abhängigkeit variabler Quellen.

Vorführung : **Demo3** ( Ausgangskennlinie eines bipolaren Transistors mit  $i_c=f(u_{CE})$  )

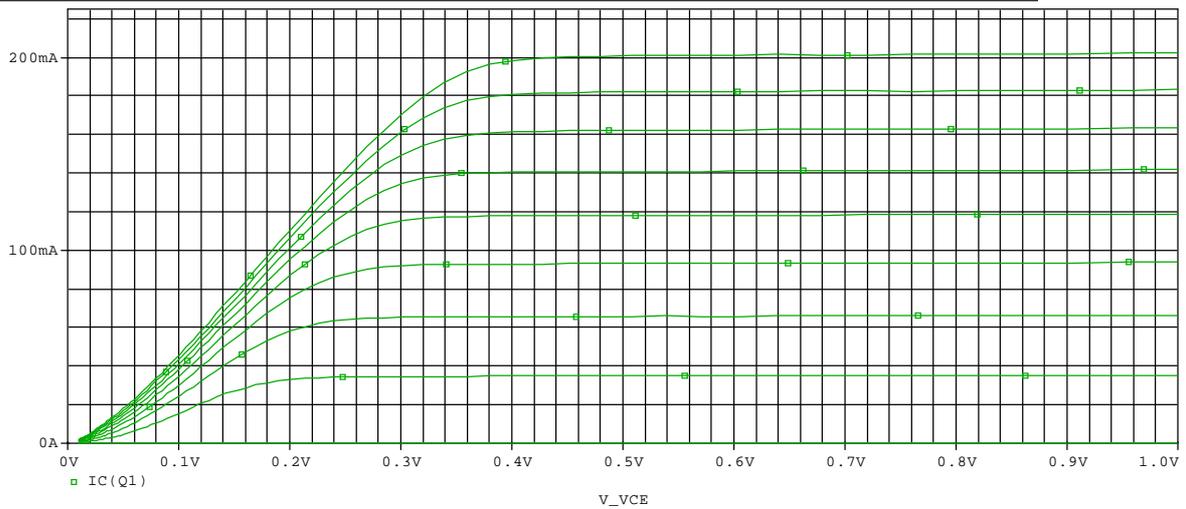
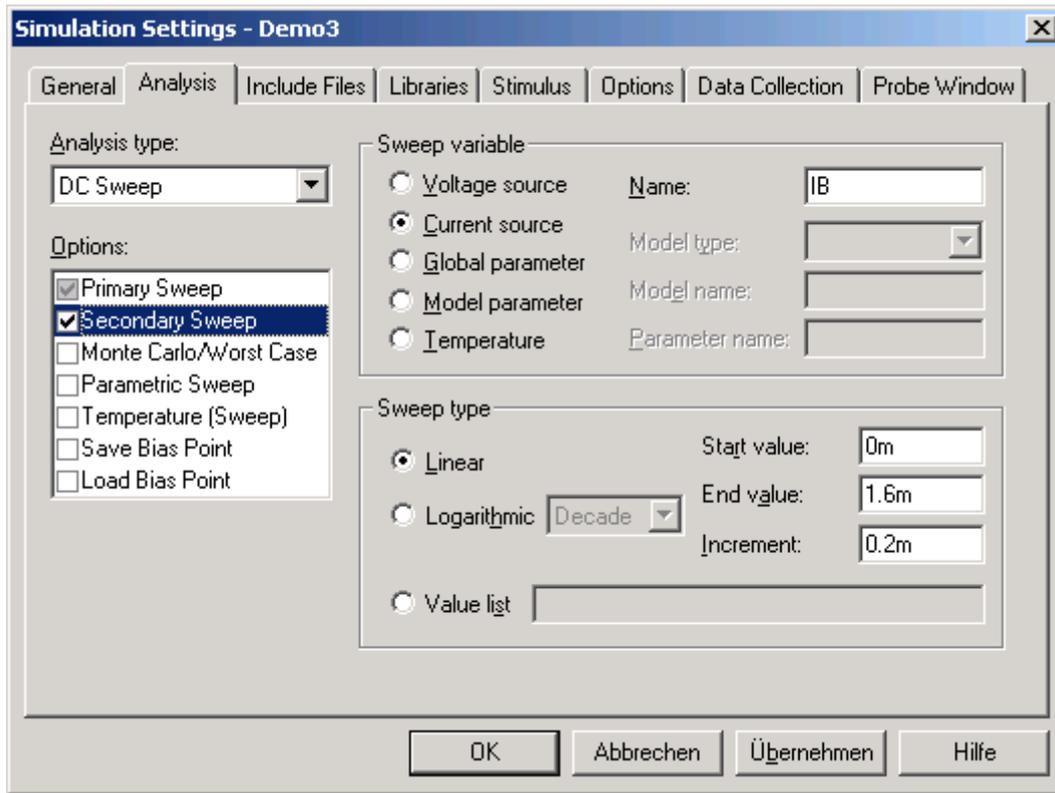
Achtung : Einbaurichtung der Stromquelle beachten !

Es müssen 2 Größen variiert werden ...

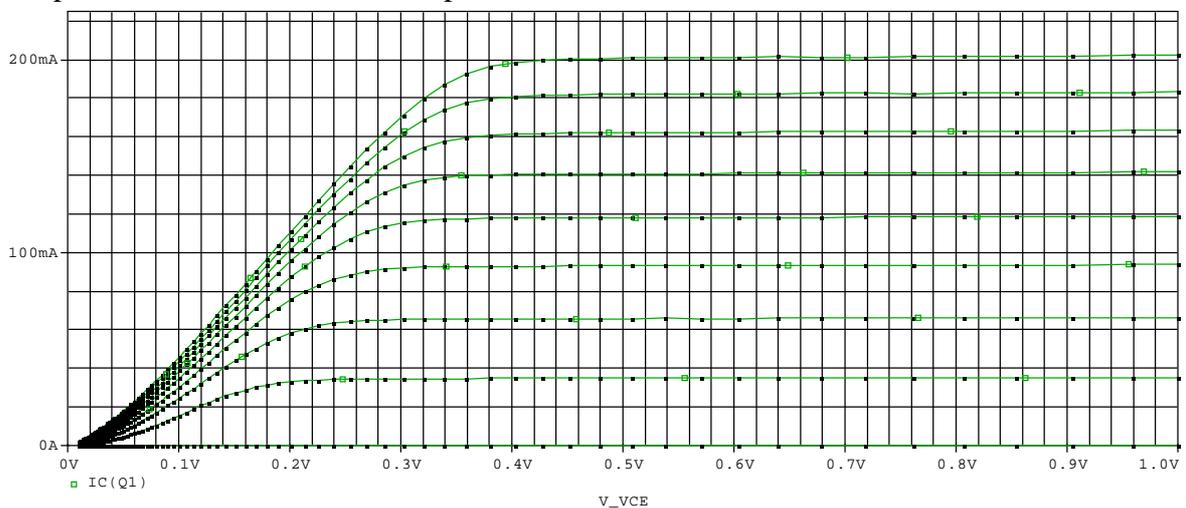
- die Spannung  $U_{CE}$  an dem Transistor = Primary Sweep
- der Gatestrom  $I_B$  = Secondary Sweep



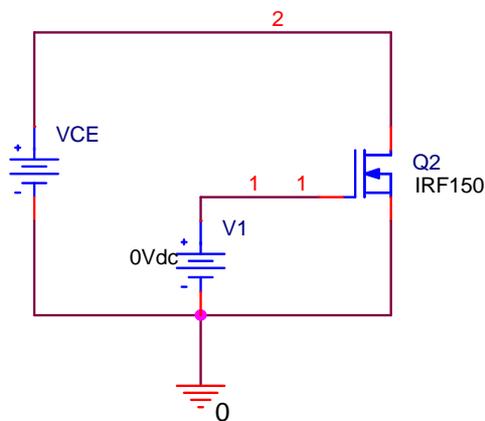
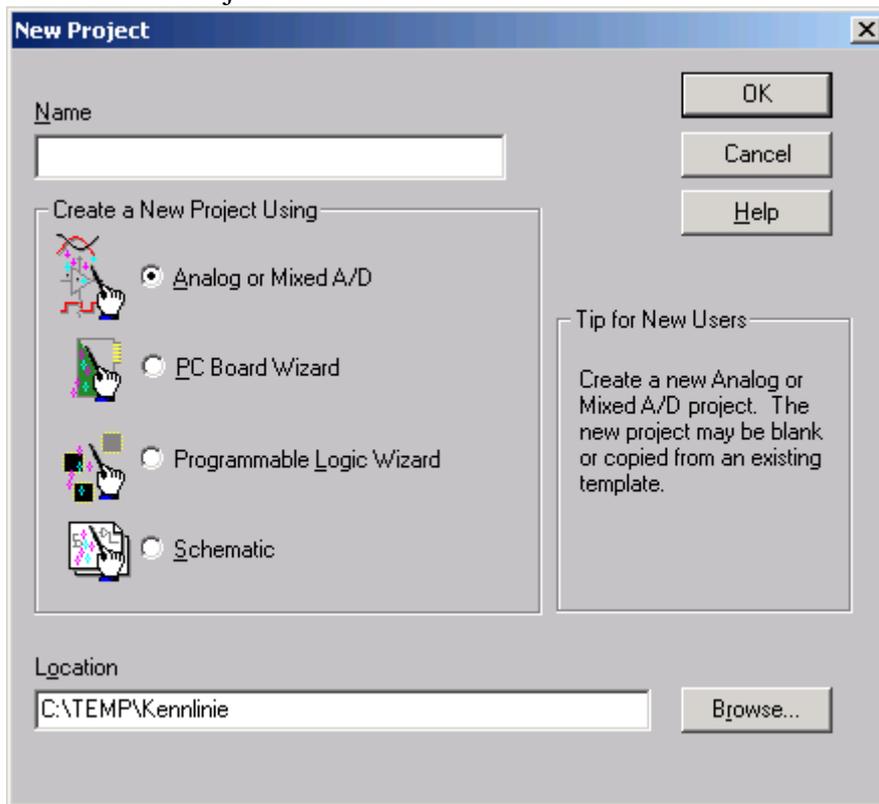
Einstellung : Linear Start 0.01 End 1 increment 0.1 führt zu eckiger Darstellung ...



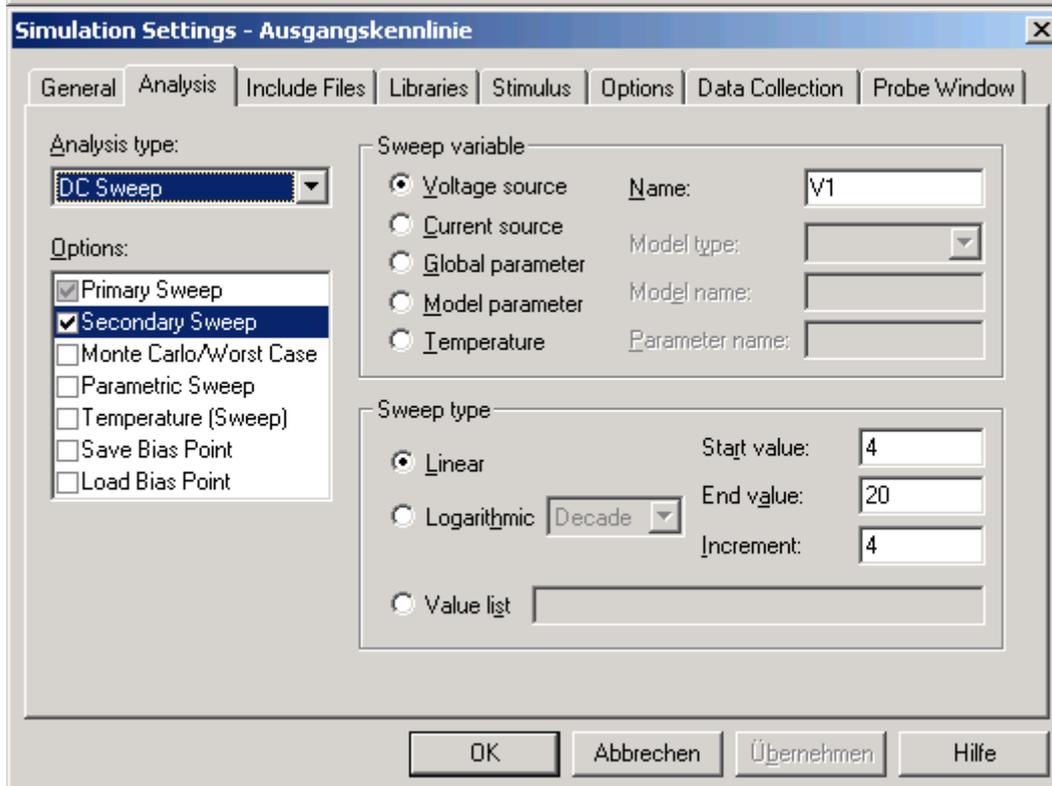
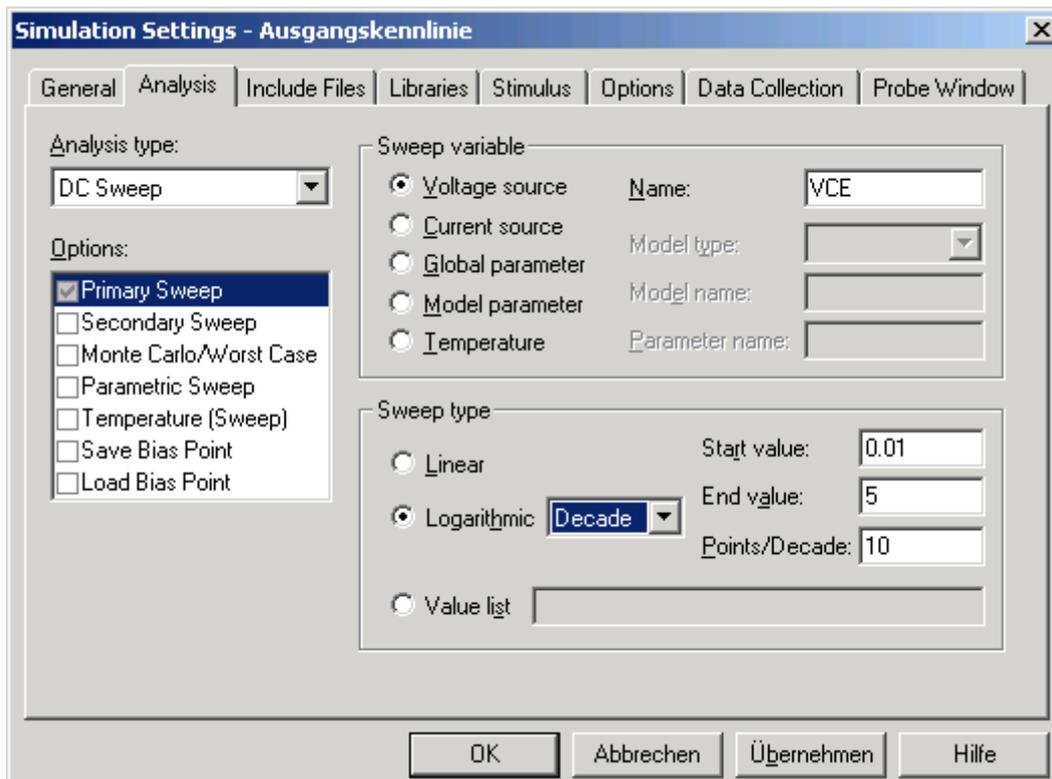
Datenpunkte darstellen.... Variation per Oktave



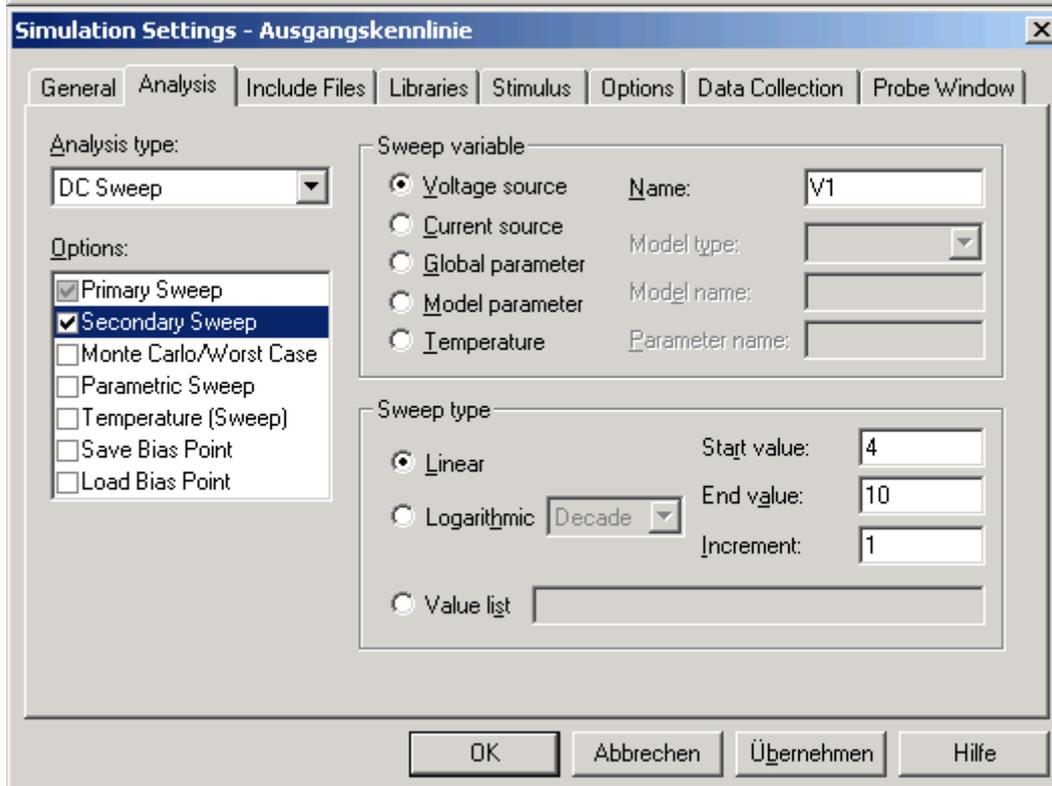
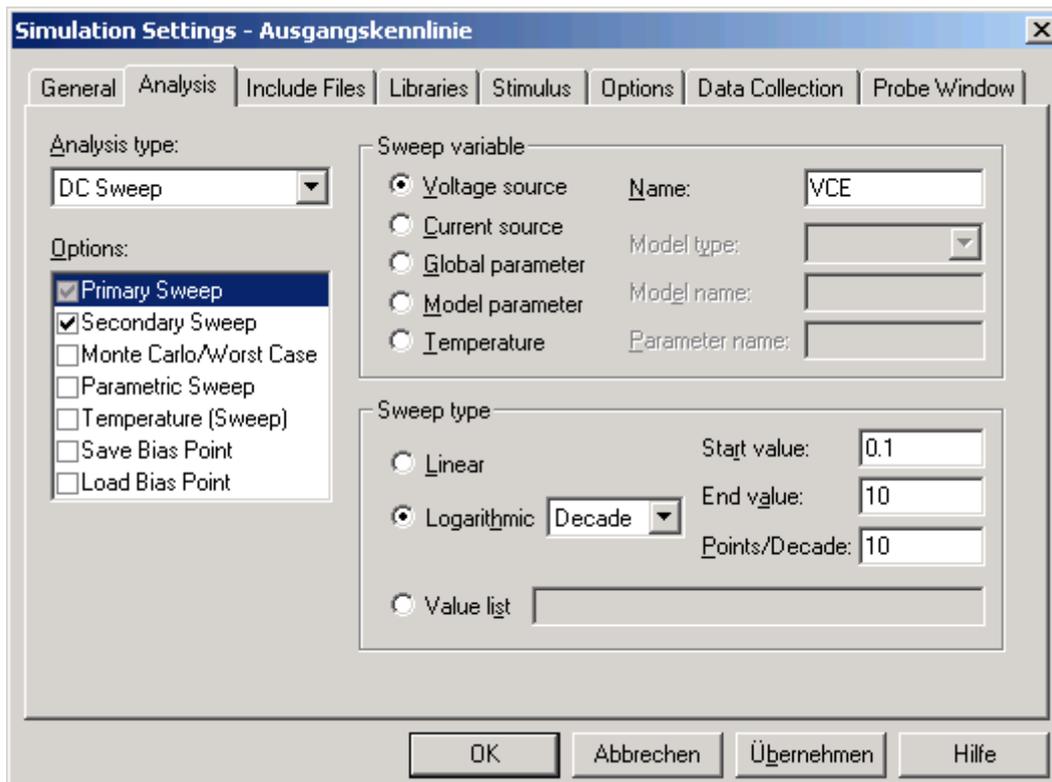
Aufgabe : Aus Demo3 neues Projekt erzeugen... mit IRF150 als Transistor (Mosfet)  
File→New→Projekt

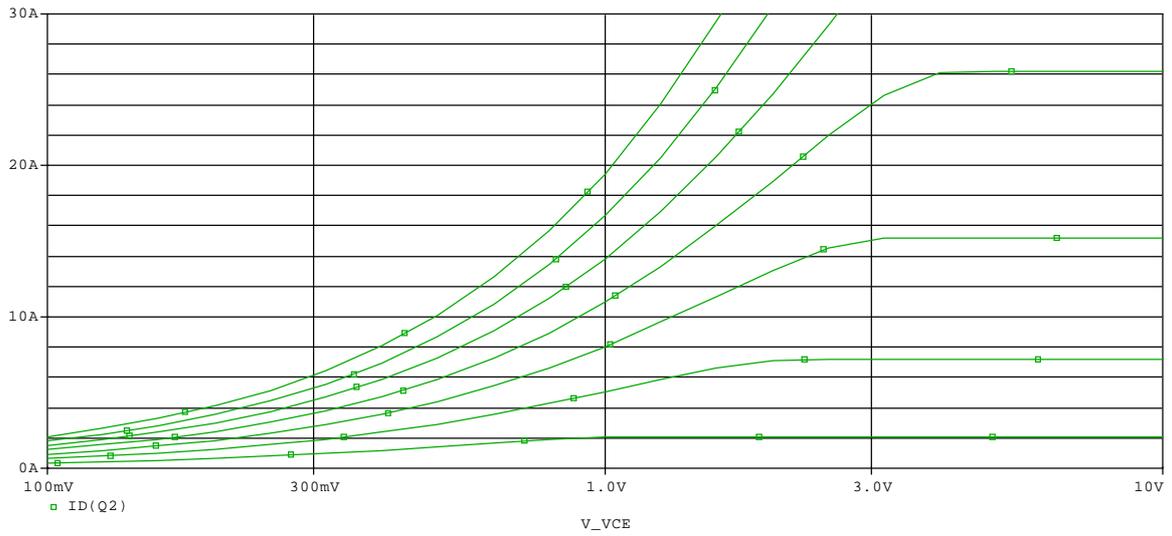


Verzeichnis : IRF150 + Verzeichnis Ausgangskennlinie

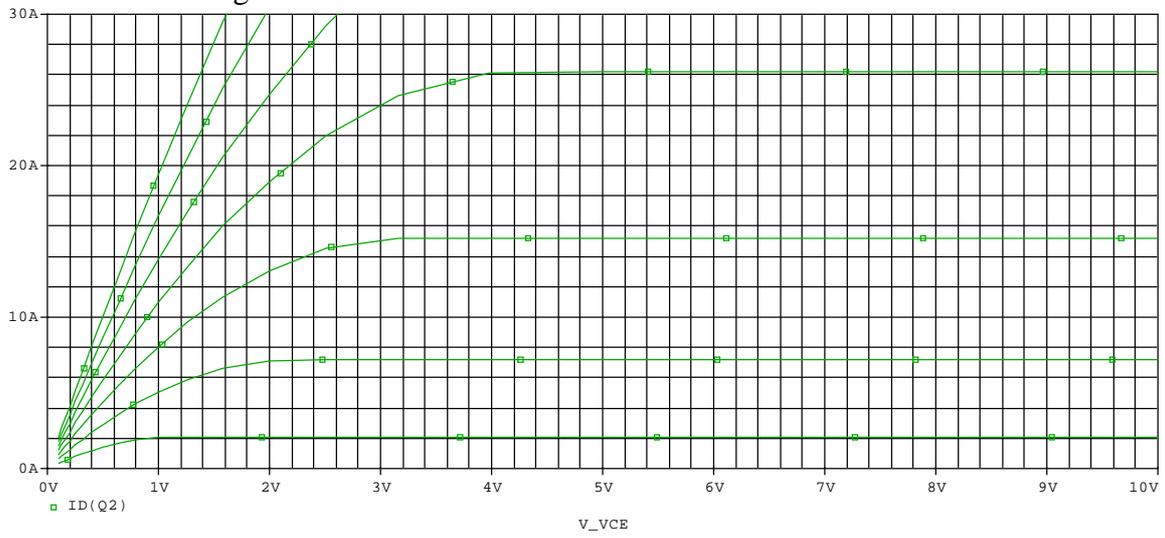


ergibt dummes Ergebnis...

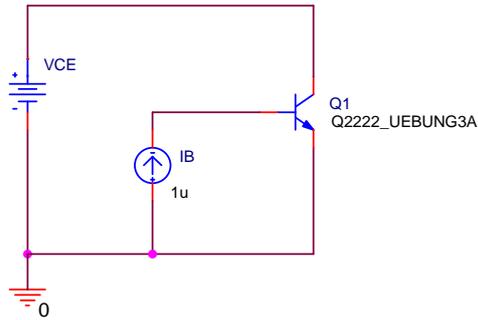




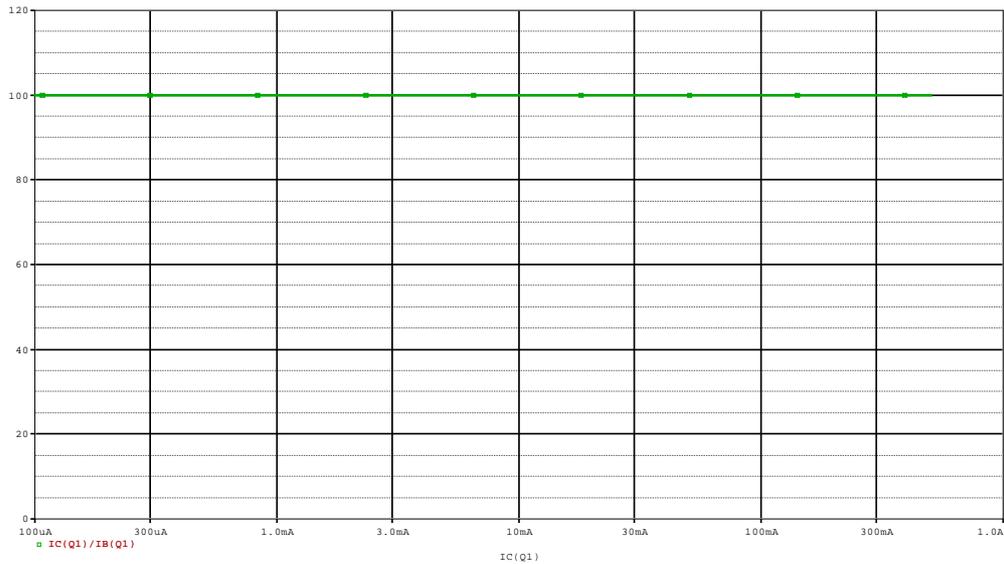
X-Achse ist noch logarithmisch .



Beispiel : uebung3a



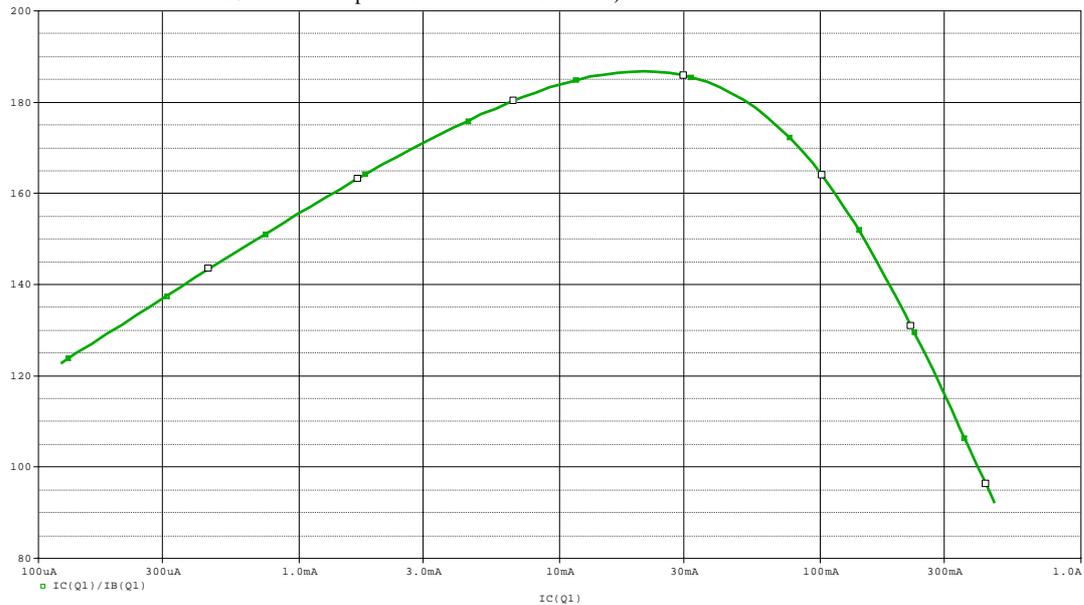
.MODEL Q2222\_Uebung3A NPN(IS=100E-18 BF=100 NF=1 BR=1 NR=1)  
 Feste Verstärkung von : BF=100



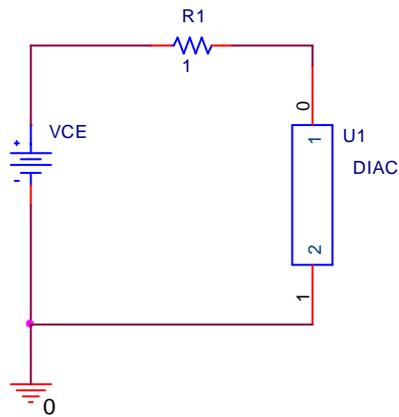
**Uebung3b**

...Edit Model...

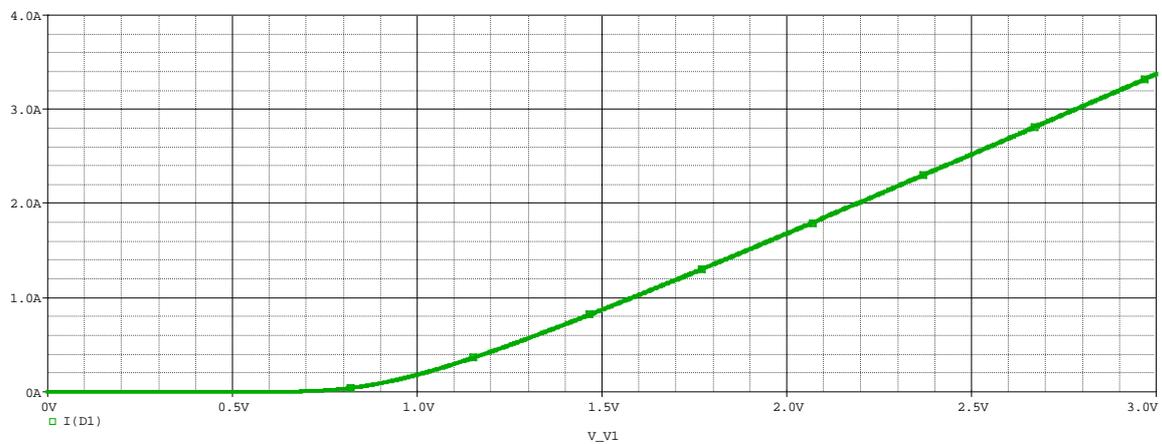
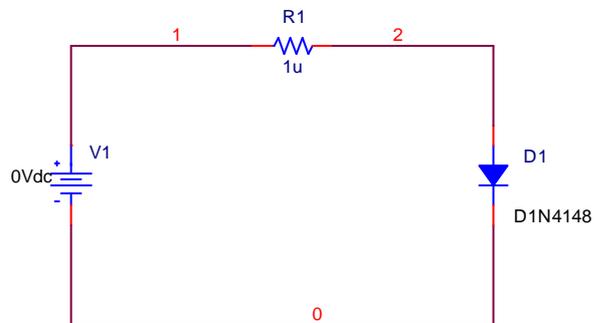
```
.model Q2N2222 NPN(Is=14.34f Xti=3 Eg=1.11 Vaf=74.03 Bf=255.9 Ne=1.307
+ Ise=14.34f Ikf=-.2847 Xtb=1.5 Br=6.092 Nc=2 Isc=0 Ikr=0 Rc=1
+ Cjc=7.306p Mjc=.3416 Vjc=.75 Fc=.5 Cje=22.01p Mje=.377 Vje=.75
+ Tr=46.91n Tf=411.1p Itf=.6 Vtf=1.7 Xtf=3 Rb=10)
```



Verzeichnis uebung3b\uebung3b = Diac aus dem Internet



Weitere behandelte Themen :  
Diodenkennlinie



Ausgangskennlinienfeld IRF150

Widerstand als Funktion der Temperatur ( Verzeichnis RTEST)

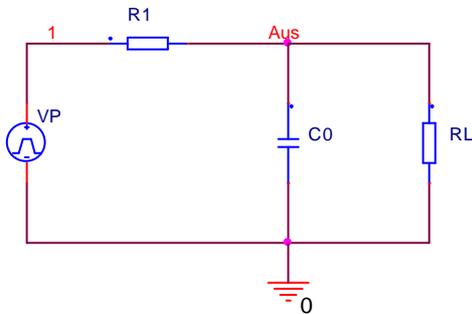
**Vorlesung 5 :Fourieranalyse am 03.04.2008**

Anmerkungen :

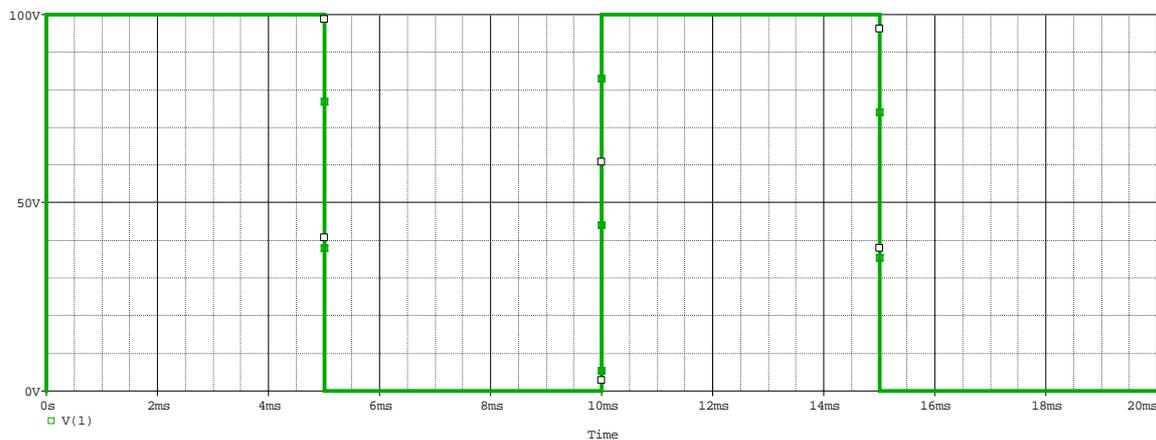
- Die Fourieranalyse ist nur im Zusammenhang mit der Transientenanalyse möglich !
- Für eine korrekte Berechnung der Frequenzwerte ist es erforderlich **eine ganze Anzahl von Perioden** berechnen zu lassen ( z.B 2,4,8,16,32 Perioden )

Verwendbare Beispiele : Demo1 ; Demo4

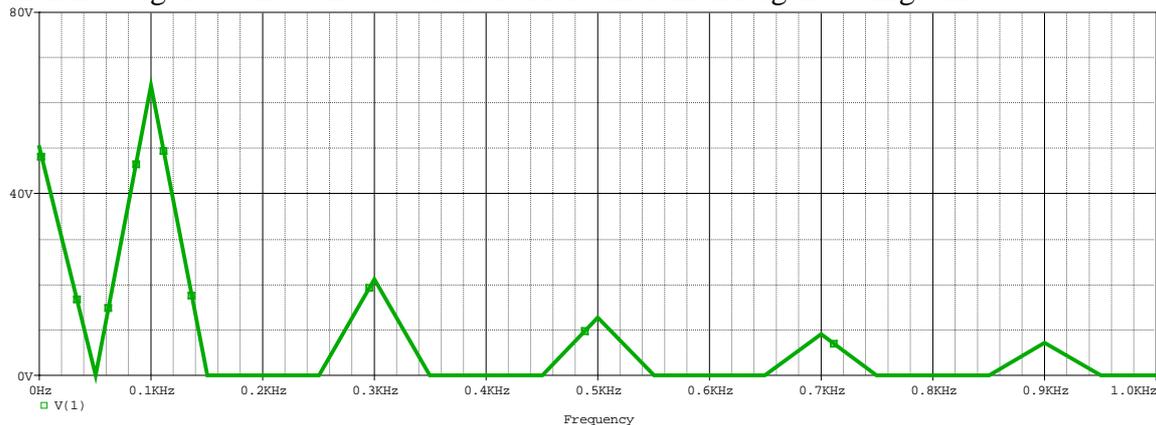
Verwendetes Beispiel : Demo1



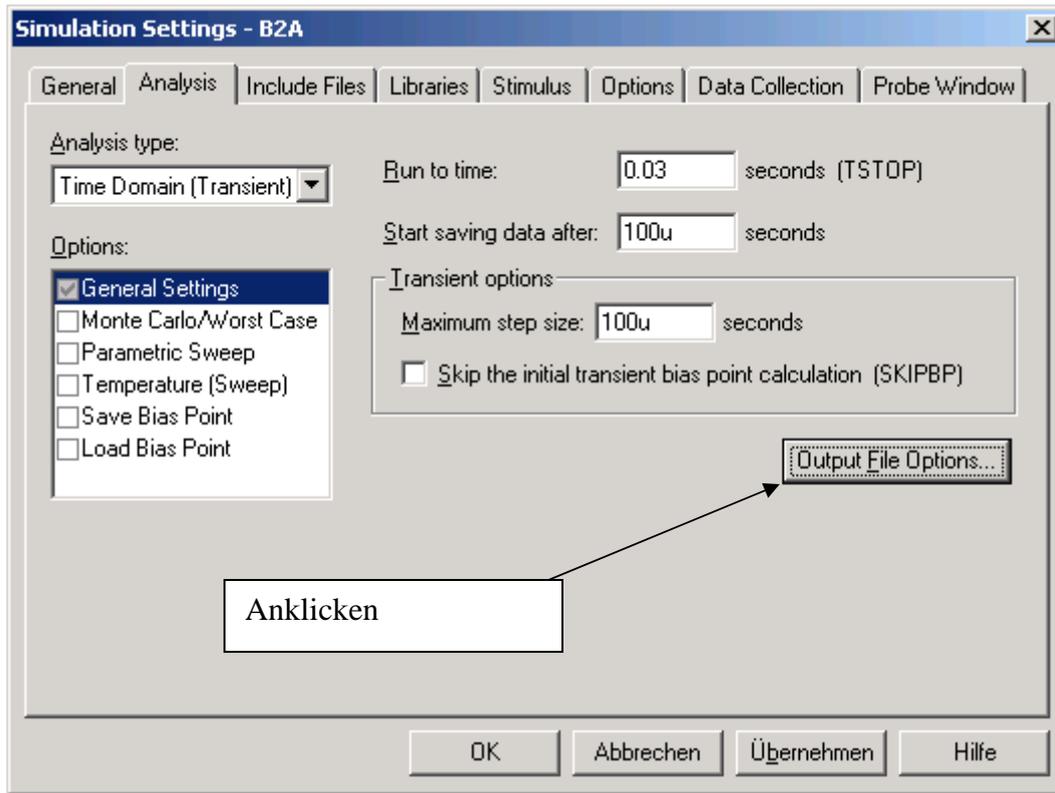
Darstellung der Eingangsspannung ( V(1) )



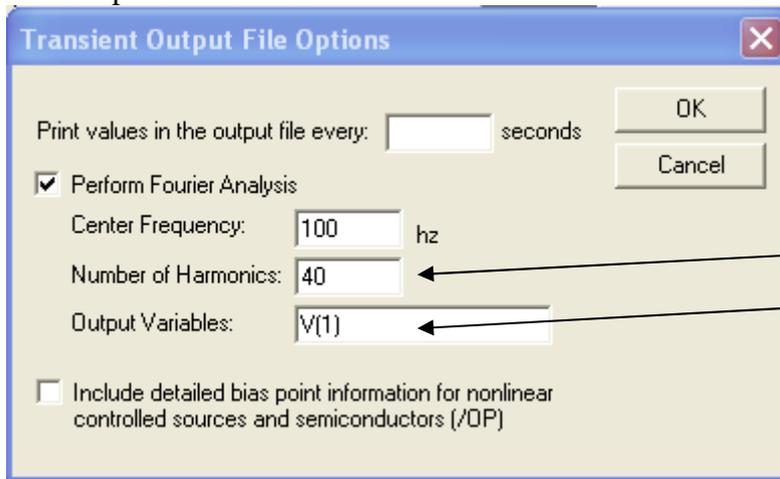
Durch Betätigen des Buttons  für die FFT erhält man folgendes Ergebnis :



*Die Schrittweite zwischen den Frequenzwerten ergibt sich durch die Anzahl der berechneten Perioden ( 10 Perioden ergeben eine Schrittweite von 1/10 der Grundfrequenz )  
Sollen die Werte für die fft auch für andere Programme zur Verfügung stehen können diese folgendermaßen erzeugt werden : ( **hier ist eine andere Simulation verwendet ...** )*



Beispiel für Demo1



Anzahl der zu berechnenden OS  
Ausgabevariable

Ergibt folgende Daten in der „OUT“ – Datei

```

**** 10/31/06 14:12:00 ***** PSpice Lite (Mar 2000) *****

** Profile: "SCHEMATIC1-Demo1" [ F:\Beispiele\Demo1\demo1-schematic1-demo1.sim ]

****      FOURIER ANALYSIS                      TEMPERATURE = 27.000 DEG C

*****
FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)
DC COMPONENT = 4.010000E+01

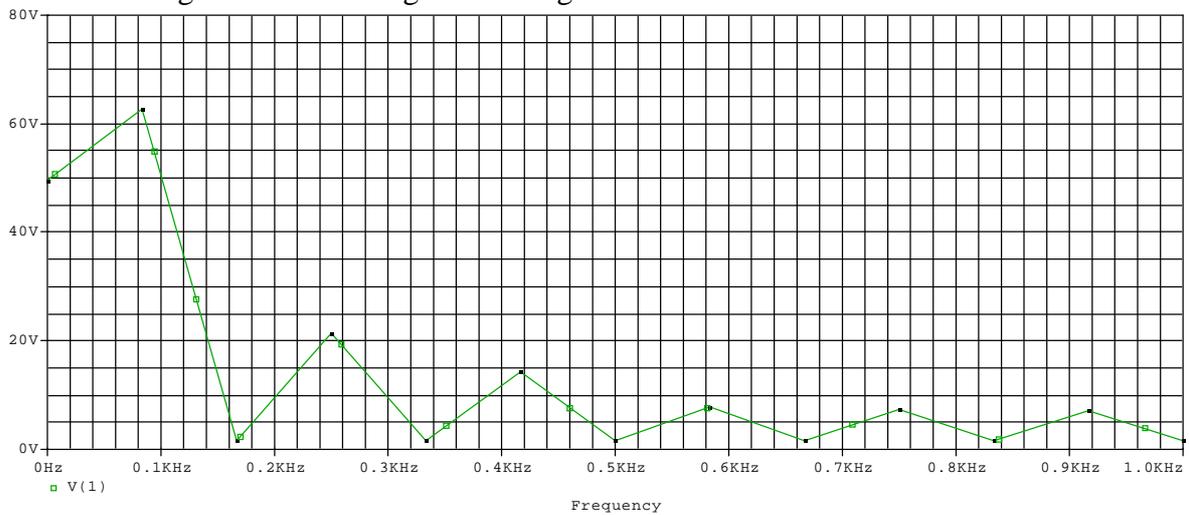
HARMONIC    FREQUENCY    FOURIER    NORMALIZED    PHASE    NORMALIZED
  NO          (HZ)        COMPONENT  COMPONENT    (DEG)    PHASE (DEG)

1          1.000E+02    6.061E+01    1.000E+00    1.638E+01    0.000E+00 = Grundschiwingung
2          2.000E+02    1.855E+01    3.061E-01    -5.727E+01    -9.003E+01
3          3.000E+02    1.264E+01    2.086E-01    4.920E+01    5.478E-02
4          4.000E+02    1.509E+01    2.490E-01    -2.451E+01    -9.004E+01
5          5.000E+02    2.000E-01    3.300E-03    9.000E+01    8.092E+00
6          6.000E+02    1.018E+01    1.679E-01    8.317E+00    -8.997E+01
7          7.000E+02    5.206E+00    8.589E-02    -6.573E+01    -1.804E+02
8          8.000E+02    4.857E+00    8.013E-02    4.142E+01    -8.963E+01
    
```

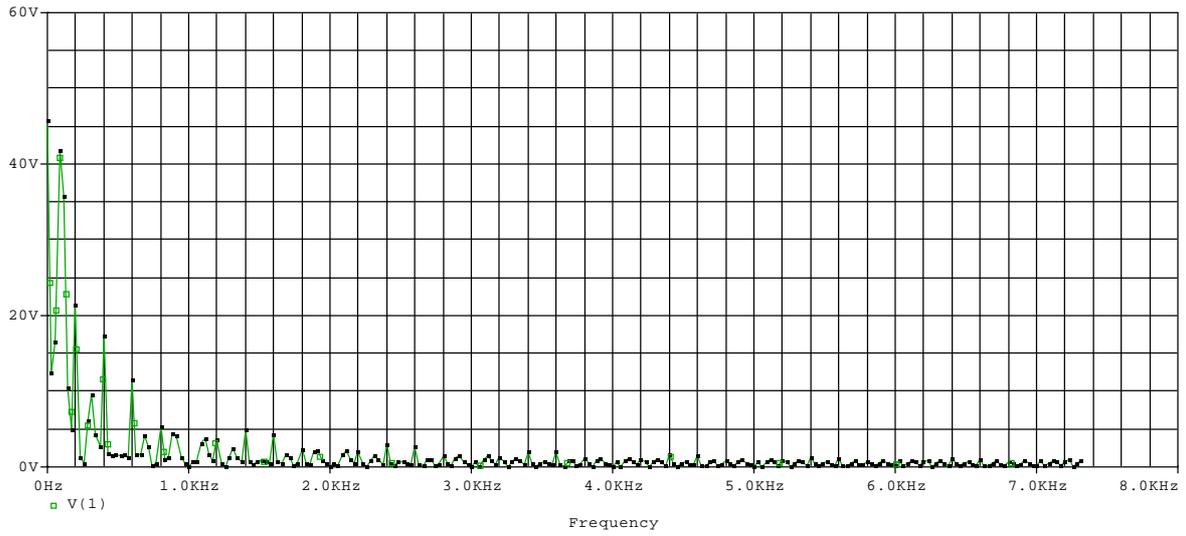
9	9.000E+02	6.707E+00	1.107E-01	-3.279E+01	-1.802E+02
10	1.000E+03	2.000E-01	3.300E-03	9.000E+01	-7.382E+01
11	1.100E+03	5.613E+00	9.260E-02	2.411E-01	-1.800E+02
12	1.200E+03	3.000E+00	4.950E-02	-7.465E+01	-2.712E+02
13	1.300E+03	3.067E+00	5.060E-02	3.382E+01	-1.791E+02
14	1.400E+03	4.333E+00	7.149E-02	-4.127E+01	-2.706E+02
15	1.500E+03	2.000E-01	3.300E-03	9.000E+01	-1.557E+02
16	1.600E+03	3.916E+00	6.460E-02	-7.924E+00	-2.700E+02
17	1.700E+03	2.110E+00	3.482E-02	-8.409E+01	-3.626E+02
18	1.800E+03	2.275E+00	3.754E-02	2.629E+01	-2.686E+02
19	1.900E+03	3.228E+00	5.326E-02	-5.002E+01	-3.613E+02
20	2.000E+03	2.000E-01	3.300E-03	9.000E+01	-2.376E+02
21	2.100E+03	3.042E+00	5.018E-02	-1.625E+01	-3.603E+02
22	2.200E+03	1.645E+00	2.713E-02	-9.404E+01	-4.544E+02
23	2.300E+03	1.832E+00	3.022E-02	1.872E+01	-3.581E+02
24	2.400E+03	2.605E+00	4.298E-02	-5.908E+01	-4.522E+02
25	2.500E+03	2.000E-01	3.300E-03	9.000E+01	-3.195E+02
26	2.600E+03	2.519E+00	4.156E-02	-2.481E+01	-4.507E+02
27	2.700E+03	1.373E+00	2.265E-02	-1.044E+02	-5.467E+02
28	2.800E+03	1.551E+00	2.559E-02	1.099E+01	-4.477E+02
29	2.900E+03	2.220E+00	3.663E-02	-6.845E+01	-5.435E+02
30	3.000E+03	2.000E-01	3.300E-03	9.000E+01	-4.014E+02
31	3.100E+03	2.183E+00	3.601E-02	-3.365E+01	-5.415E+02
32	3.200E+03	1.209E+00	1.994E-02	-1.151E+02	-6.393E+02
33	3.300E+03	1.362E+00	2.246E-02	3.009E+00	-5.376E+02
34	3.400E+03	1.975E+00	3.258E-02	-7.811E+01	-6.351E+02
35	3.500E+03	2.000E-01	3.300E-03	9.000E+01	-4.834E+02
36	3.600E+03	1.961E+00	3.236E-02	-4.280E+01	-6.325E+02
37	3.700E+03	1.113E+00	1.837E-02	-1.258E+02	-7.320E+02
38	3.800E+03	1.230E+00	2.029E-02	-5.338E+00	-6.278E+02
39	3.900E+03	1.822E+00	3.006E-02	-8.800E+01	-7.269E+02
40	4.000E+03	2.000E-01	3.300E-03	9.000E+01	-5.653E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 5.459585E+01 PERCENT

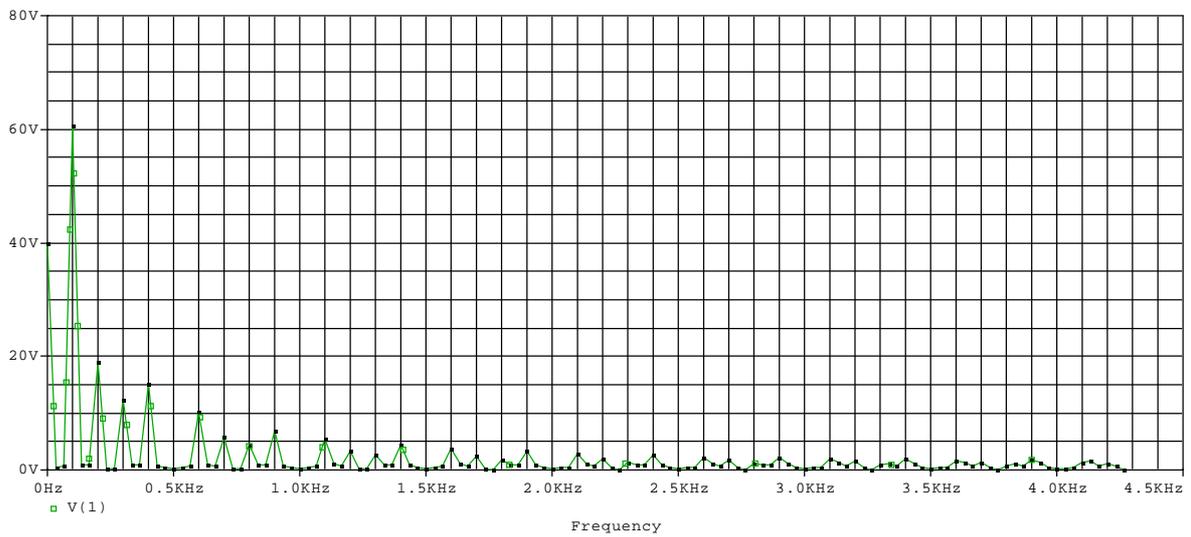
wenn bis 12ms gerechnet wird ergibt sich folgendes



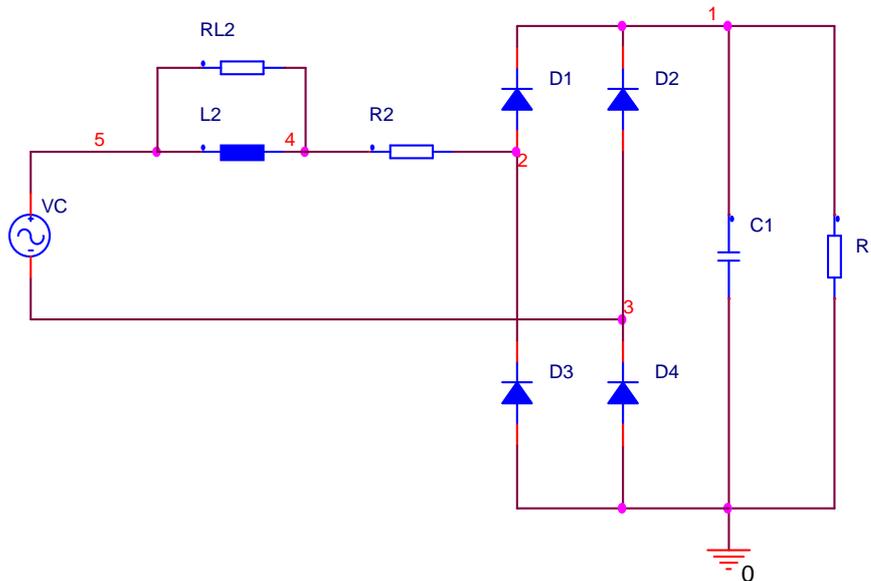
verschiedene Varianten testen...



bis 35ms rechnen und mit „restrict data“ auf 30ms einschränken...



a) B2a



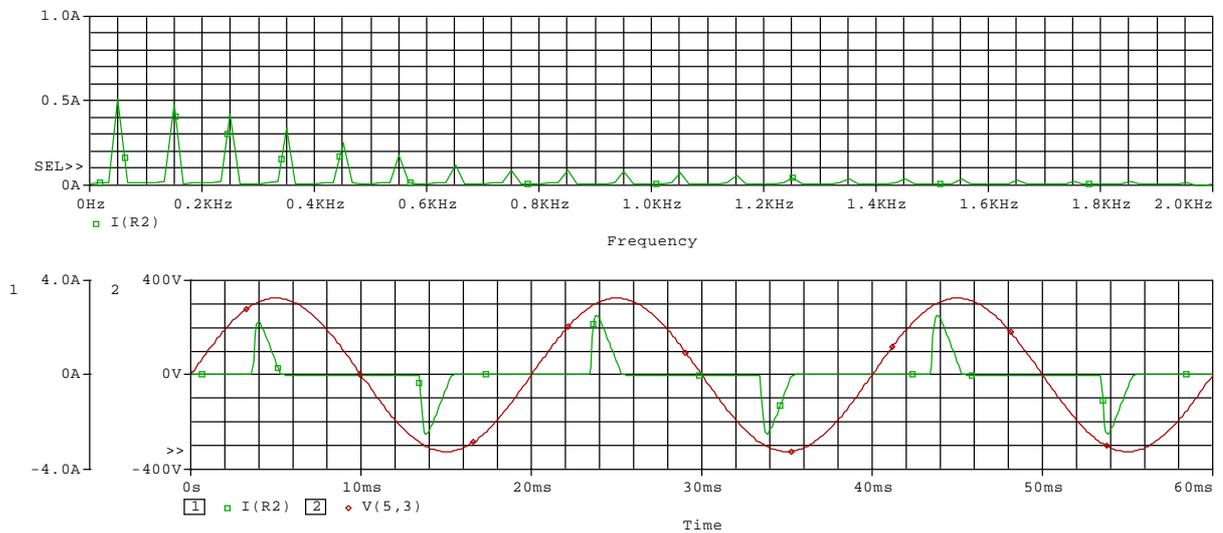
... Fehler in der Schaltung... Sperrspannung der Dioden nur 100V...

Lösungsansatz : Strom IR2 ansehen ( eventuell mit IR1 vergleichen) → offensichtlich muß der Strom irgendwo anders fließen...

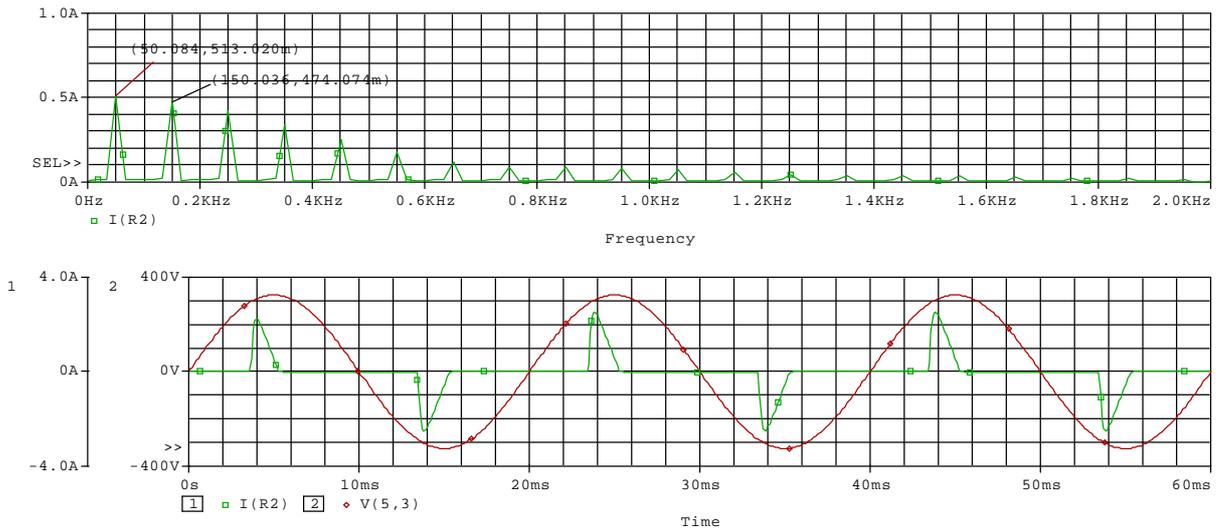
→ im Simulationsmodell die Durchbruchspannung auf 1000V ändern !

Achtung.. leider kann das Modell nur einmal nach einer Änderung abgespeichert werden...

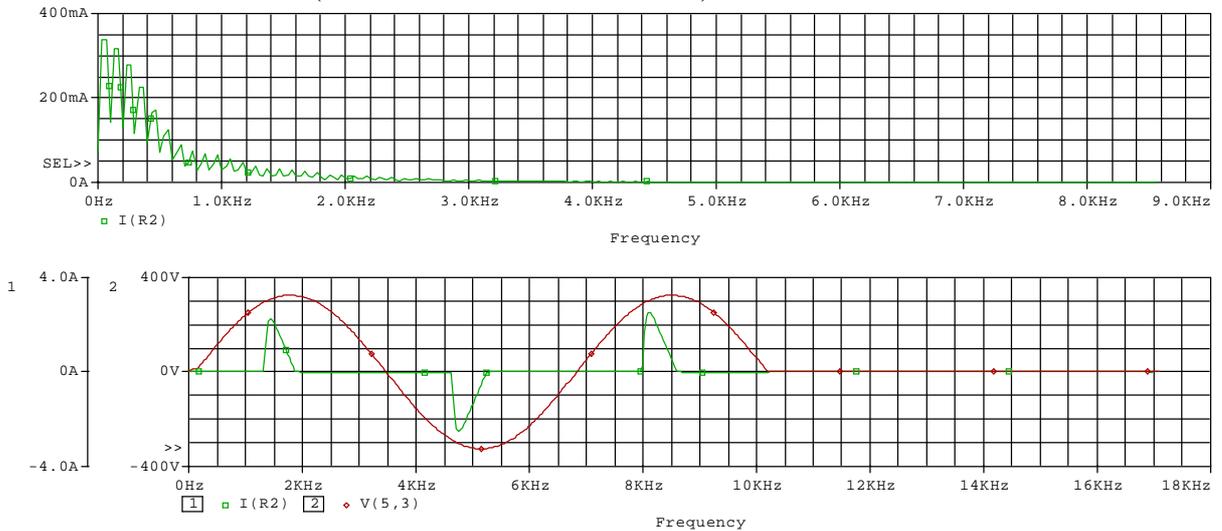
Umgehung : in das Verzeichnis gehen und die entsprechende LIB-Datei löschen !



Zusätzliche Erläuterungen : am Kondensator... IC=310 ... Startbedingung : der Kondensator sei auf 310V aufgeladen



Fehlerhafte Simulation ( falsches Fenster für die FFT )



**Axis Settings**

X Axis | Y Axis | X Grid | Y Grid

Data Range

- Auto Range
- User Defined

100us to 30ms

Use Data

- Full
- Restricted (analog)

10ms to 30ms

Scale

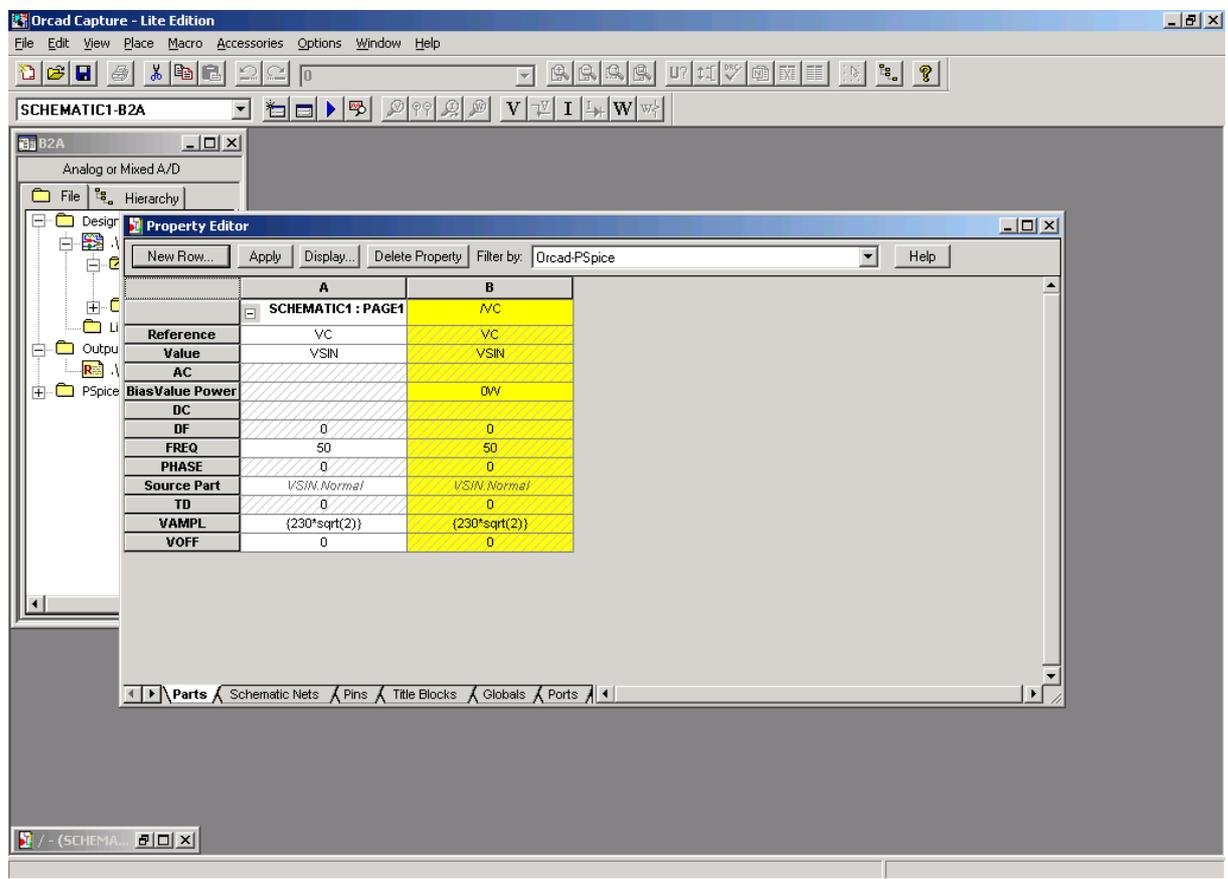
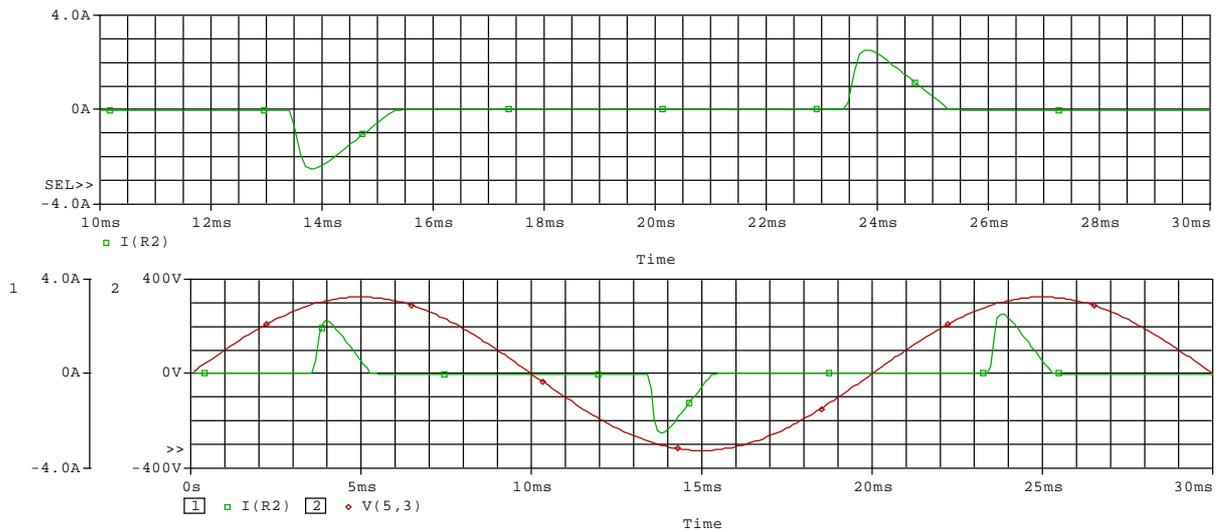
- Linear
- Log

Processing Options

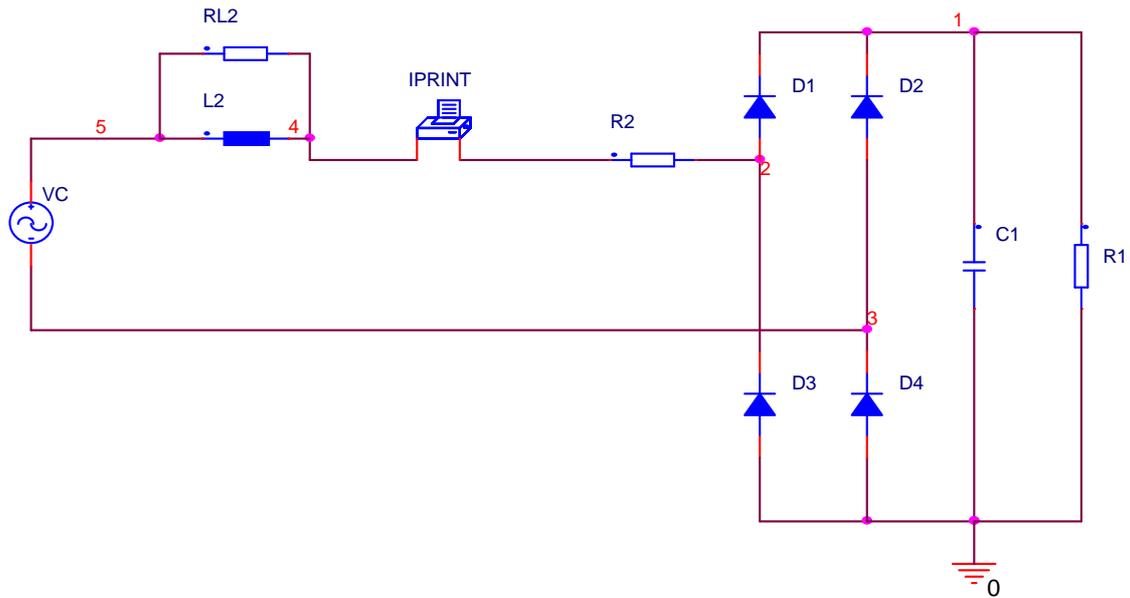
- Fourjer
- Performance Analysis

Axis Variable...

OK Cancel Save As Default Reset Defaults Help

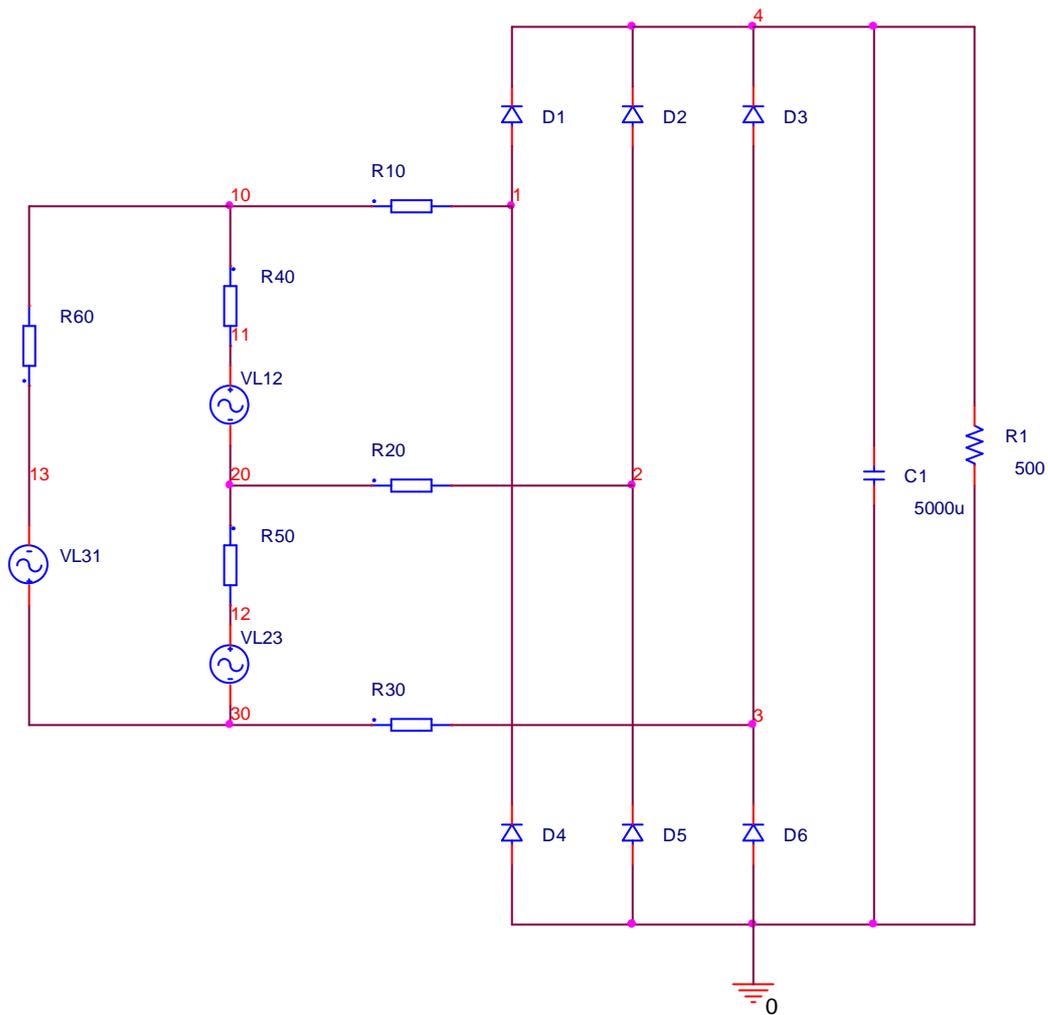


Thema : EN 61000-3-2 (Oberschwingungen... )  
 Dafür FFT-Werte in die Datei schreiben...

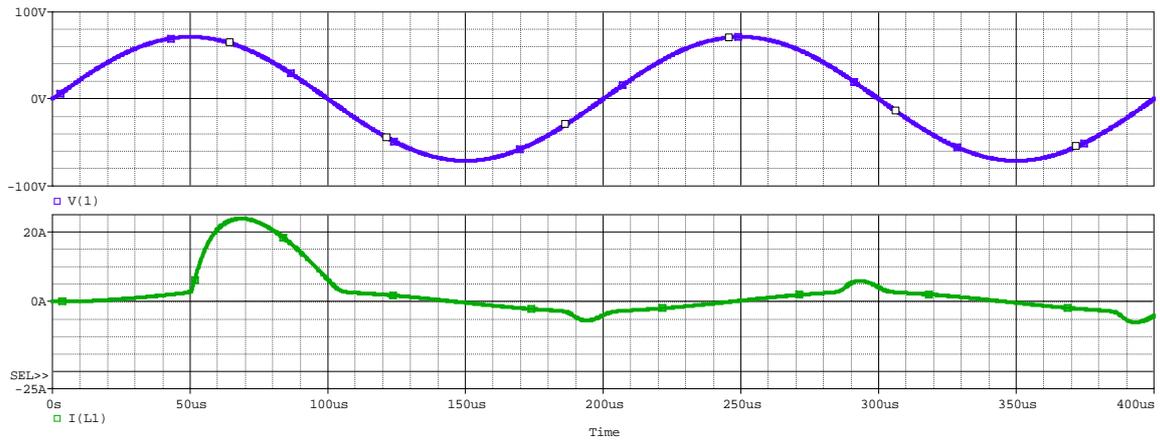
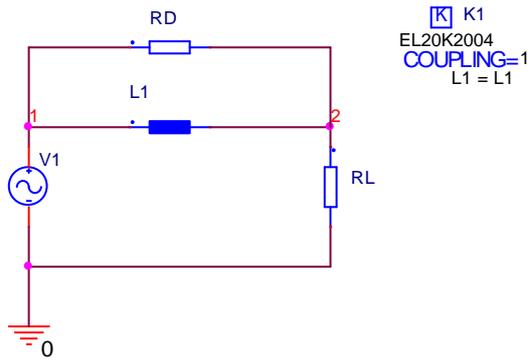


B6 – Schaltung ( Normal ) ändern in folgende Schaltung...

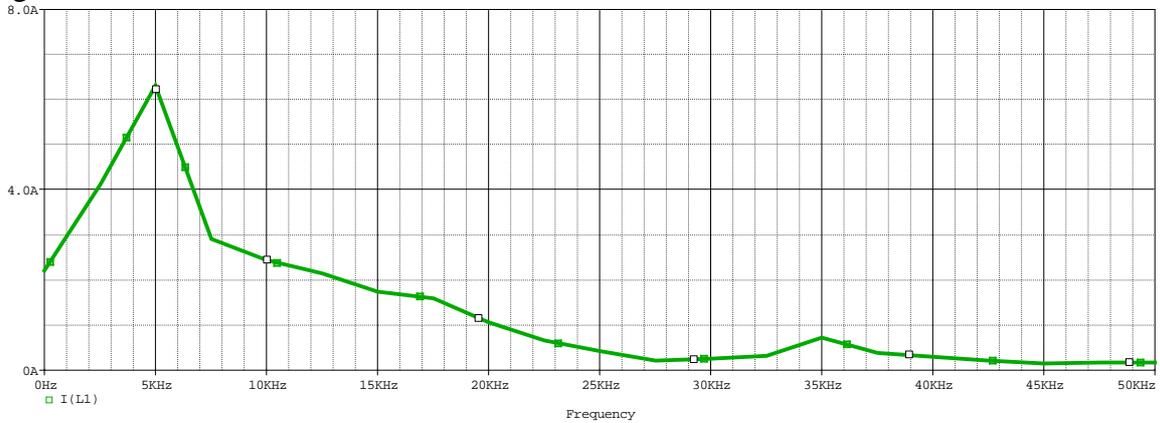
→ mit kapazitiver Glättung  $C=5000\mu\text{F}$  (vorgeladen auf 550V) und ohmscher Belastung mit  $500\ \Omega$



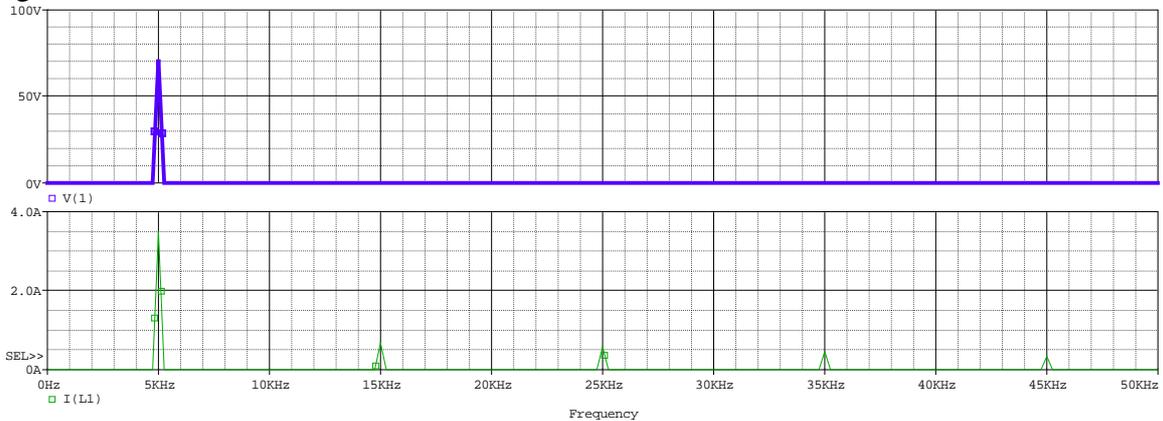
Demo4 → Problem .... Einschwingvorgang



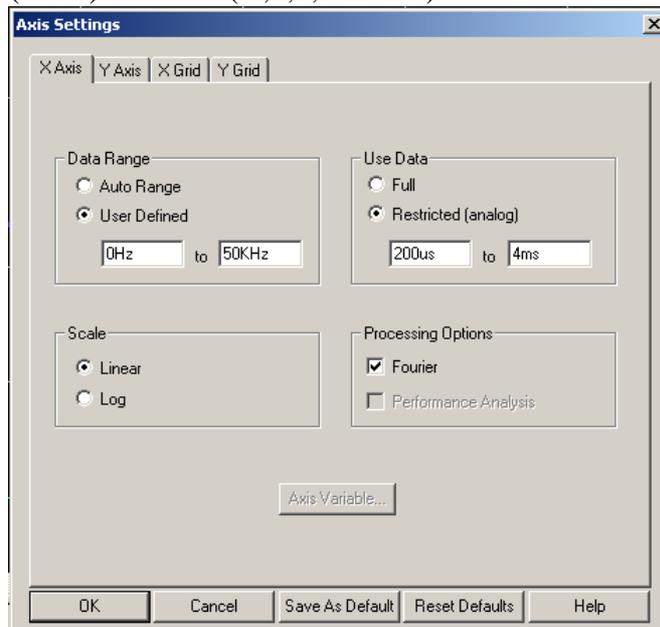
Ergebnis der FFT



Ergebnis bei einer Simulation von 200µs bis 4ms = 19 Perioden



Deutlich sind hier nur die erwarteten ungradzahligen Vielfachen der Grundschwingung (5kHz) zu sehen ( 3,5,7,9-te OS )



**Quellen : 10.04.2008**

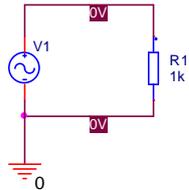
Verzeichnis : Beisp2\_Sei55... siehe altes Skript  
 ... Eigene Quelle erstellen mit 45° Anschnittwinkel (ohne Dämpfung...)

Thema Quellen (Seite 50)

1) Vorführungen

Verzeichnis : Beisp2\_Sei55 SIN S54 (Buch)

a) Schaltbild

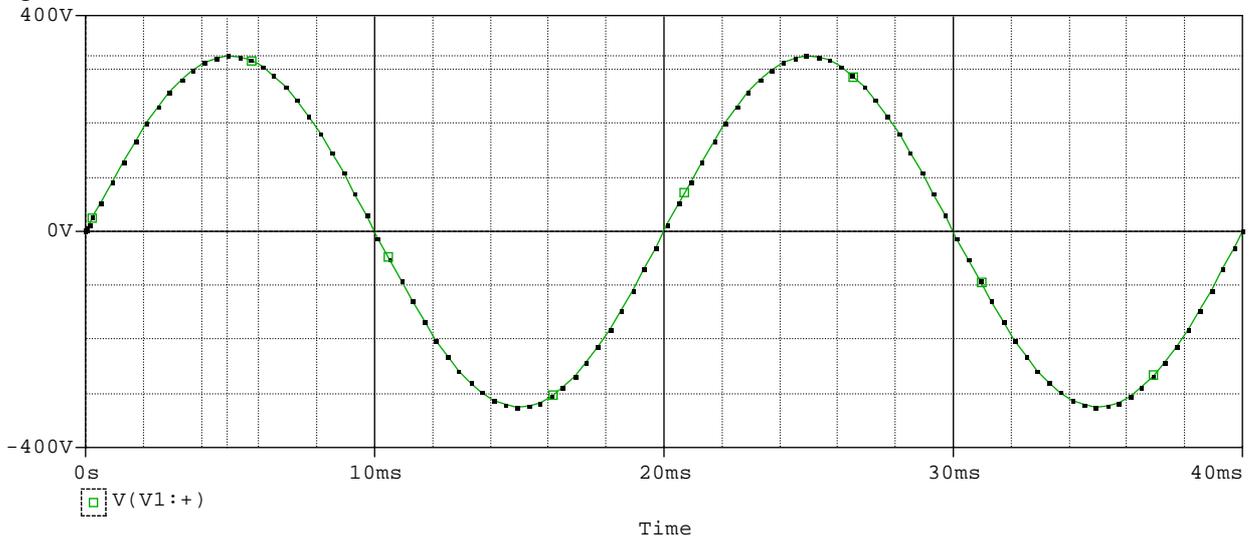


b) Einstellungen der Quelle (Änderungen vornehmen, so das sich eine “normale” Sinusschwingung (mit  $f=50\text{Hz}$  und  $U_{\text{eff}}=230\text{V}$ ) ergibt)

	A	B
	SCHMATIC1 : PA	V1
Reference	V1	V1
Value	VSIN	VSIN
AC		
BiasValue Power		0W
DC		
DF	0	0
FREQ	50	50
PHASE	0	0
Source Part	VSIN, Normal	VSIN, Normal
TD	0	0
VAMPL	{230*sqrt(2)}	{230*sqrt(2)}
VOFF	0	0

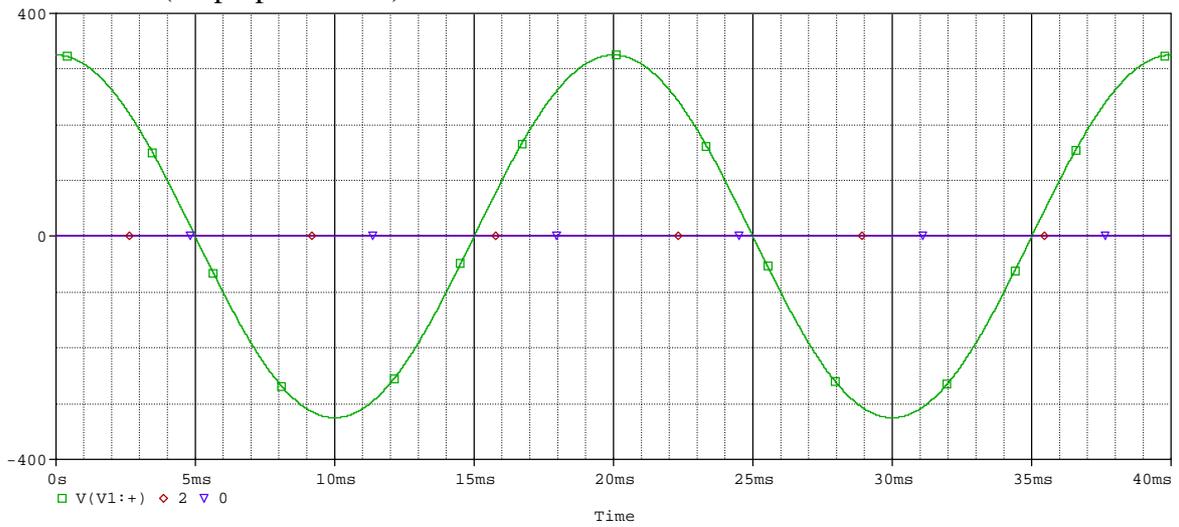
Wert der Amplitude :  $\{230 \cdot \text{SQRT}(2)\}$  = normale Netzspannung

c) Ergebnis



Einfluß der möglichen Parameter darstellen

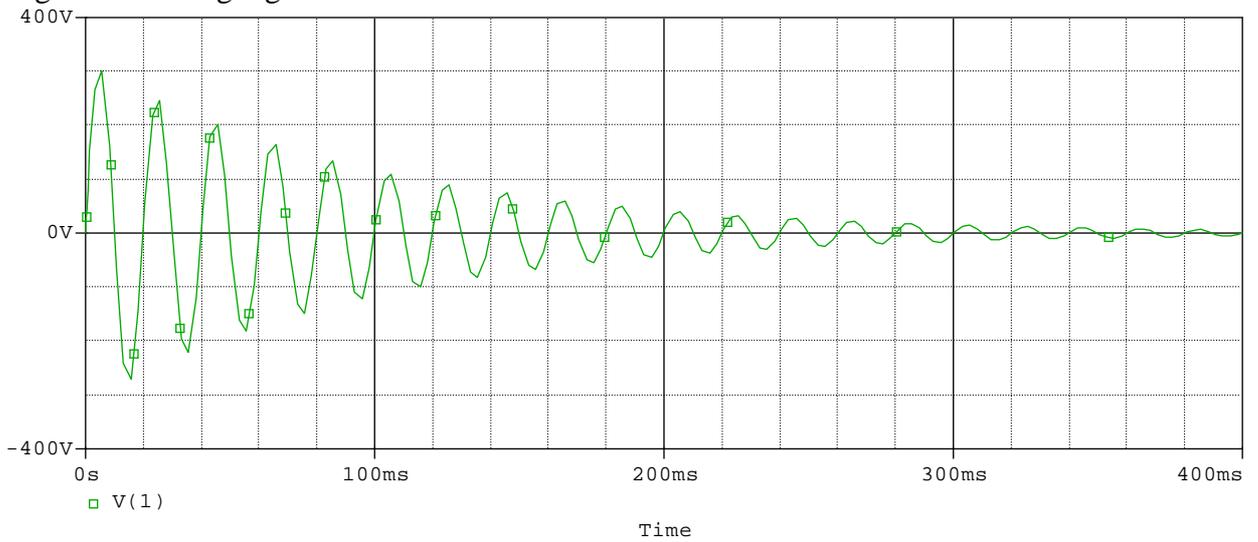
Phasenwinkel ( Bsp.: phase=90°)



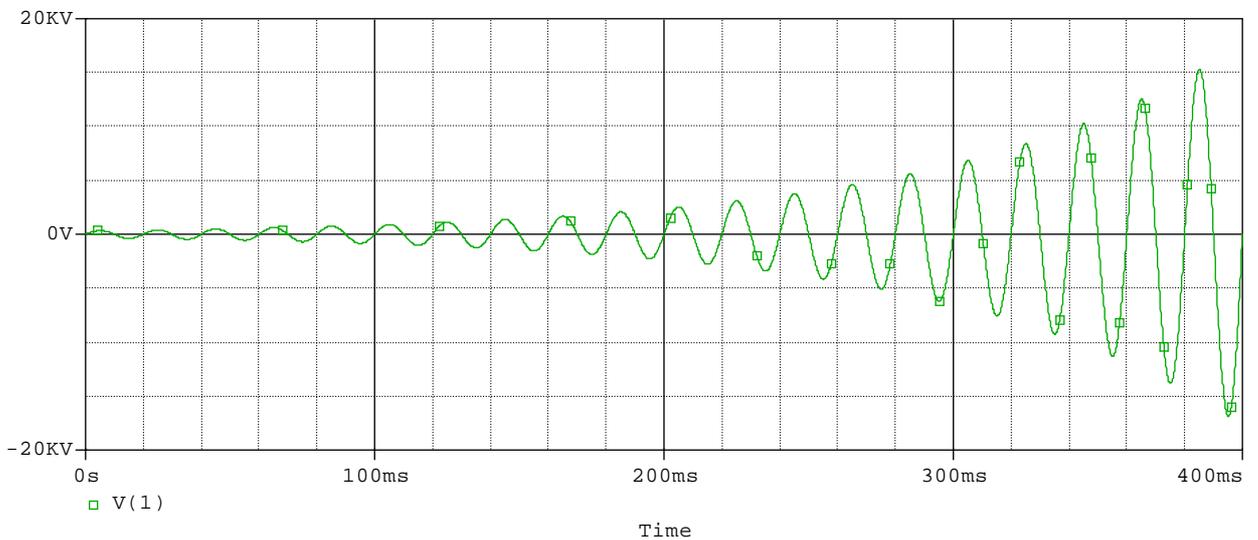
a) Dämpfungsfaktor DF ( Beispiel3\_Seite56=Original ; Vorlesung6\sinus\abklink s.u)

A1) DF=10

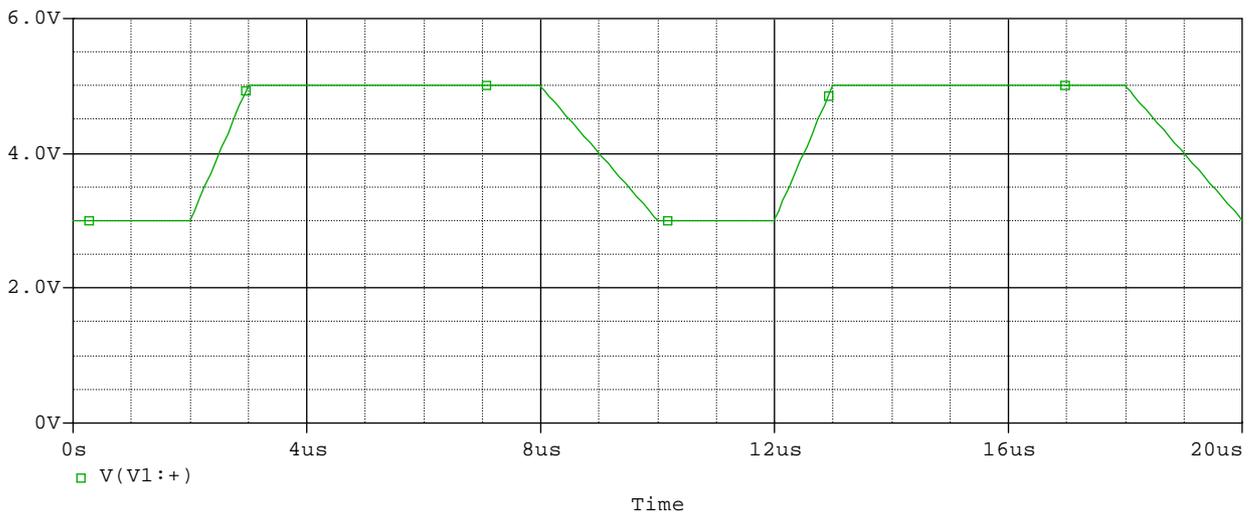
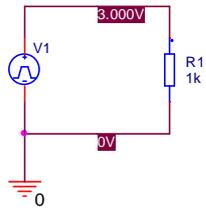
abklingende Schwingung



A2) DF=-10 = größer werdende Schwingung



Pulsquelle (Pulse) (Beisp4\_Sei57)

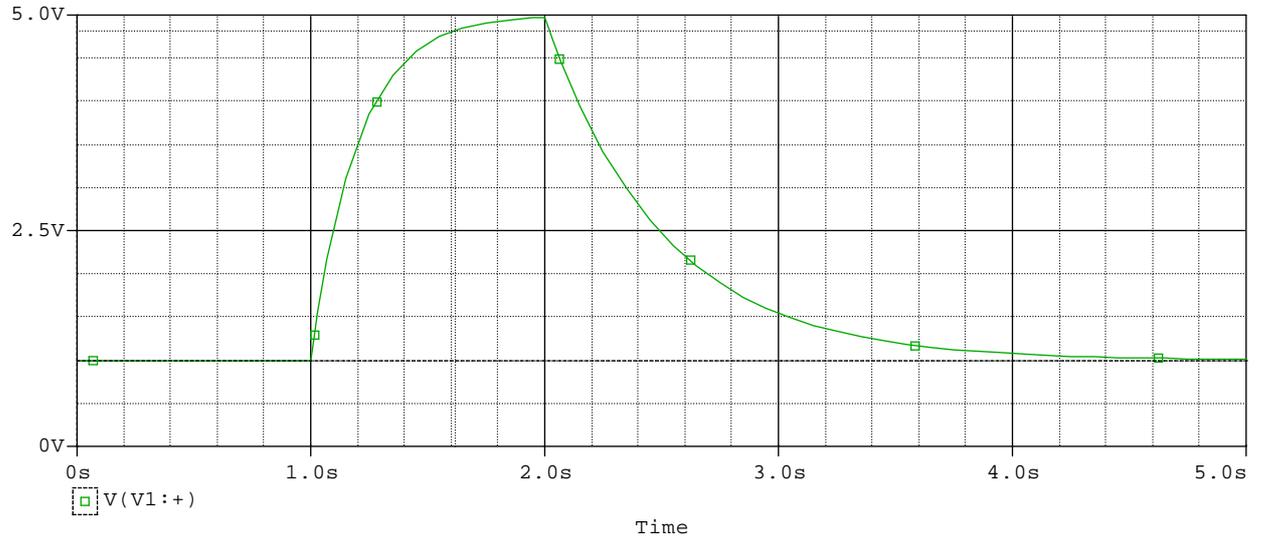
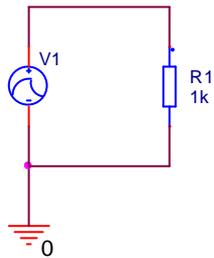


Vergrößerte Darstellung ( unsinniges Bild... Fehler nicht nachvollziehbar )

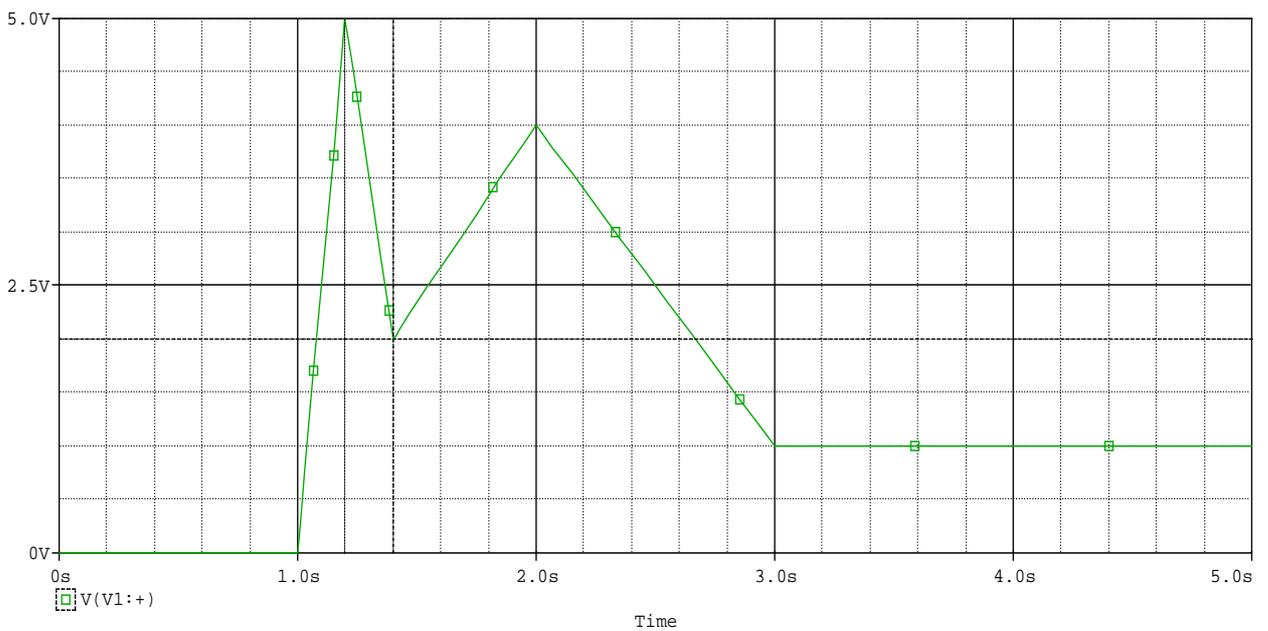
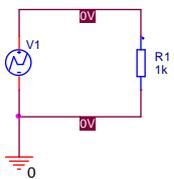


Übung : Erzeugen einer Dreiecksspannung mit einer Amplitude von 3V ( Bipolar )und einer Periodendauer von 10us ( Tastverhältnis 1:1 ) .... Lösung Dreieck

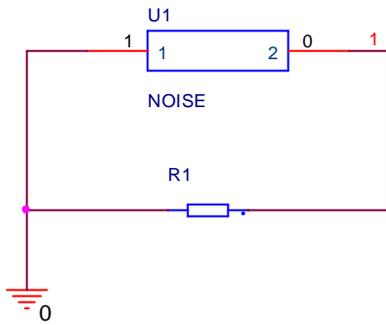
Exponentialquellen : Verzeichnis Beisp5\_Sei58



Benutzerdefinierbare Funktion PWL = Beisp6\_Sei60



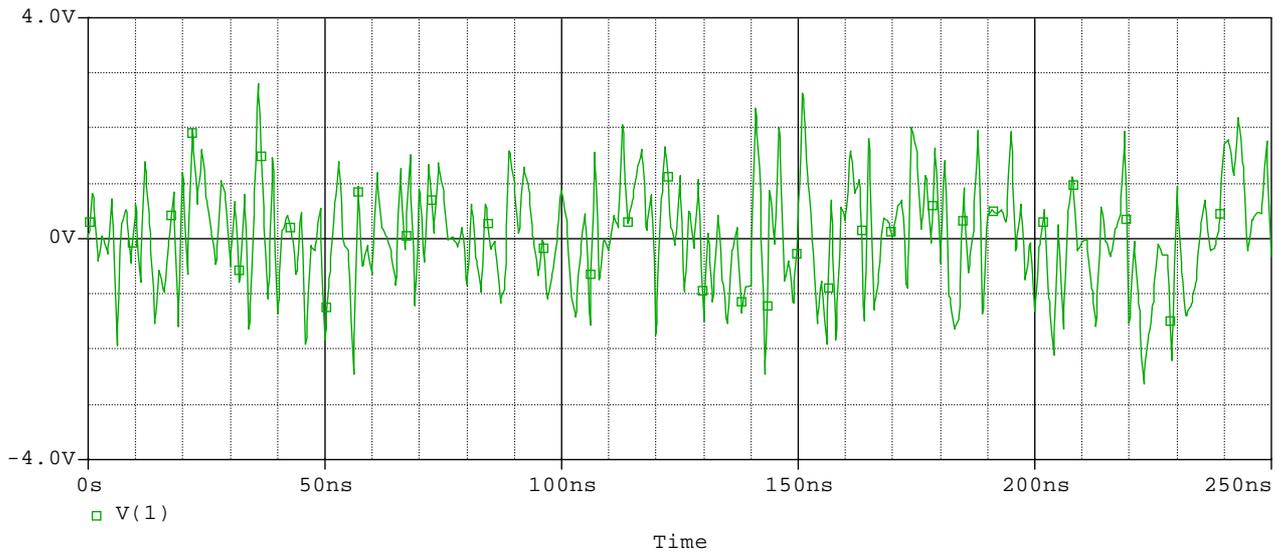
Rauschquelle = Noise



Unterprogramm ansehen... Noise anklicken.. rechte Maustaste ...edit PSpice-Model... Wurde mit einem kleinen Basic-Programm mit der Zufallsfunktion erstellt...)

Definiert als Unterprogramm ( .subckt)

```
.subckt noise 2 1
*Source Nodes :+ -
VNOISE 2 1 pwl(0,0 0)
+ 1.000E-09 8.1398E-01 2.000E-09 -4.0594E-01
+ 3.000E-09 5.3966E-02 4.000E-09 -2.6163E-01
+ 5.000E-09 7.2712E-01 6.000E-09 -1.9273E+00
+ 7.000E-09 2.3774E-01 8.000E-09 5.3256E-01
+ 9.000E-09 -4.4738E-01 1.000E-08 6.1602E-01
+ 1.100E-08 -7.9895E-01 1.200E-08 1.3836E+00
+ 1.300E-08 2.7484E-01 1.400E-08 -1.5416E+00
+ 1.500E-08 -5.7172E-01 1.600E-08 -9.7404E-01
+ 1.700E-08 -1.2183E-01 1.800E-08 8.3428E-01
+ 1.900E-08 -1.5962E+00 2.000E-08 1.1939E+00
+ 2.100E-08 -6.5302E-01 2.200E-08 1.9780E+00
+ 2.300E-08 6.1199E-01 2.400E-08 1.6219E+00
+ 2.500E-08 6.6564E-01 2.600E-08 1.2382E-01
+ 2.700E-08 -4.6278E-01 2.800E-08 1.0443E+00
+ 2.900E-08 8.1853E-01 3.000E-08 -4.9374E-01
+ 3.100E-08 6.6386E-01 3.200E-08 -8.0462E-01
+ 3.300E-08 7.9002E-01 3.400E-08 -1.6403E+00
+ 3.500E-08 4.7630E-01 3.600E-08 2.8096E+00
+ 3.700E-08 5.6449E-01 3.800E-08 -1.0816E+00
+ 3.900E-08 1.4589E+00 4.000E-08 -1.3786E+00
+ 4.100E-08 1.2632E-01 4.200E-08 4.1678E-01
+ 4.300E-08 9.6042E-02 4.400E-08 -6.3495E-01
+ 4.500E-08 4.5987E-01 4.600E-08 -1.9107E+00
+ 4.700E-08 -1.2790E-01 4.800E-08 -2.2505E-01
+ 4.900E-08 5.4953E-01 5.000E-08 -1.8298E+00
+ 5.100E-08 -7.2855E-01 5.200E-08 5.8550E-01
+ 5.300E-08 1.3797E+00 5.400E-08 -1.0606E-01
+ 5.500E-08 -2.2154E-01 5.600E-08 -2.4690E+00
+ 5.700E-08 9.3465E-01 5.800E-08 -5.0512E-01
+ 5.900E-08 -1.2248E-01 6.000E-08 -6.5401E-01
+ 6.100E-08 1.1989E+00 6.200E-08 2.0741E-01
+ 6.300E-08 5.2993E-02 6.400E-08 -2.3532E-01
+ 6.500E-08 -8.4331E-01 6.600E-08 1.2659E+00
+ 6.700E-08 -2.1074E-01 6.800E-08 1.5215E+00
+ 6.900E-08 -1.2075E+00 7.000E-08 9.0466E-01
+ 7.100E-08 -4.2931E-01 7.200E-08 1.3509E+00
+ 7.300E-08 9.0642E-02 7.400E-08 1.3582E+00
+ 7.500E-08 8.8166E-01 7.600E-08 -1.2915E-02
+ 7.700E-08 3.5523E-02 7.800E-08 -1.3929E-01
+ 7.900E-08 2.0654E-01 8.000E-08 -8.3543E-01
+ 8.100E-08 6.1151E-01 8.200E-08 -3.5328E-01
+ 8.300E-08 -9.7028E-01 8.400E-08 6.1769E-01
+ 8.500E-08 -1.9703E-01 8.600E-08 -4.9454E-02
+ 8.700E-08 -1.1644E+00 8.800E-08 -9.1918E-01
+ 8.900E-08 1.5943E+00 9.000E-08 1.0066E+00
+ 9.100E-08 1.0845E-01 9.200E-08 1.2883E+00
+ 9.300E-08 9.6983E-01 9.400E-08 4.9171E-02
+ 9.500E-08 -6.6725E-01 9.600E-08 -2.5385E-02
+ 9.700E-08 -1.0860E+00 9.800E-08 -6.8728E-01
+ 9.900E-08 -7.1611E-03 1.000E-07 8.7403E-01
+ 1.010E-07 4.1111E-01 1.020E-07 -9.6841E-01
+ 1.030E-07 -1.4269E+00 1.040E-07 -2.7905E-01
+ 1.050E-07 4.4559E-01 1.060E-07 -1.5598E+00
+ 1.070E-07 1.5579E+00 1.080E-07 -7.5025E-01
+ 1.090E-07 1.8015E-03 1.100E-07 -2.2721E-01
+ 1.110E-07 4.3161E-01 1.120E-07 1.9481E-01
+ 1.130E-07 2.0641E+00 1.140E-07 2.6387E-01
+ 1.150E-07 6.7861E-01 1.160E-07 1.2905E+00
+ 1.170E-07 1.6169E+00 1.180E-07 1.4778E-01
+ 1.190E-07 7.8329E-01 1.200E-07 -1.7288E+00
+ 1.210E-07 6.4455E-01 1.220E-07 1.6589E+00
+ 1.230E-07 2.3000E-01 1.240E-07 -1.2868E-01
+ 1.250E-07 1.1314E+00 1.260E-07 -9.6844E-01
+ 1.270E-07 5.0313E-01 1.280E-07 -1.7483E-01
+ 1.290E-07 1.0619E+00 1.300E-07 -1.4998E+00
+ 1.310E-07 8.7047E-02 1.320E-07 -1.1328E+00
+ 1.330E-07 4.2036E-01 1.340E-07 -7.0087E-01
+ 1.350E-07 -1.5339E+00 1.360E-07 -2.6834E-01
+ 1.370E-07 1.9117E-01 1.380E-07 -1.3372E+00
+ 1.390E-07 -8.7524E-01 1.400E-07 -8.4696E-01
+ 1.410E-07 2.3587E+00 1.420E-07 8.2549E-01
+ 1.430E-07 -2.4527E+00 1.440E-07 8.6568E-01
+ 1.450E-07 -9.2654E-02 1.460E-07 2.0217E+00
+ 1.470E-07 -7.8187E-01 1.480E-07 -3.9604E-01
+ 1.490E-07 -1.1785E+00 1.500E-07 4.8564E-01
+ 1.510E-07 2.6216E+00 1.520E-07 1.1022E+00
+ 1.530E-07 8.5439E-02 1.540E-07 -1.5482E+00
+ 1.550E-07 -7.5782E-01 1.560E-07 -1.9051E+00
+ 1.570E-07 6.8364E-01 1.580E-07 -1.8454E+00
+ 1.590E-07 5.6413E-01 1.600E-07 3.1635E-01
+ 1.610E-07 1.6004E+00 1.620E-07 8.2828E-01
+ 1.630E-07 1.0719E+00 1.640E-07 -1.4991E+00
+ 1.650E-07 1.8202E+00 1.660E-07 -1.2927E+00
+ 1.670E-07 -7.5021E-01 1.680E-07 3.8299E-01
+ 1.690E-07 3.2737E-01 1.700E-07 2.6028E-02
+ 1.710E-07 5.8225E-01 1.720E-07 6.9695E-01
+ 1.730E-07 -8.9377E-01 1.740E-07 2.0188E+00
+ 1.750E-07 1.5536E+00 1.760E-07 1.7718E-01
+ 1.770E-07 1.1412E+00 1.780E-07 -7.9937E-02
+ 1.790E-07 1.6483E+00 1.800E-07 -4.4197E-01
+ 1.810E-07 1.4166E+00 1.820E-07 -1.0359E+00
+ 1.830E-07 -1.6494E+00 1.840E-07 -1.4261E-01
+ 1.850E-07 9.1695E-01 1.860E-07 -6.1461E-01
+ 1.870E-07 1.4498E-01 1.880E-07 1.9591E+00
+ 1.890E-07 -1.3735E+00 1.900E-07 4.1822E-01
+ 1.910E-07 5.1576E-01 1.920E-07 4.4816E-01
+ 1.930E-07 5.2961E-01 1.940E-07 2.9700E-01
+ 1.950E-07 1.9473E+00 1.960E-07 -2.2470E-01
+ 1.970E-07 6.1073E-01 1.980E-07 -7.4390E-01
+ 1.990E-07 -7.5921E-02 2.000E-07 -1.3250E+00
+ 2.010E-07 -1.4581E-01 2.020E-07 5.2990E-01
+ 2.030E-07 -1.0696E+00 2.040E-07 -2.1185E+00
+ 2.050E-07 2.4439E-01 2.060E-07 -1.6472E+00
+ 2.070E-07 4.5056E-01 2.080E-07 1.1293E+00
+ 2.090E-07 -2.3432E-01 2.100E-07 -4.0905E-02
+ 2.110E-07 -3.0950E-02 2.120E-07 -8.4727E-01
+ 2.130E-07 -1.5975E+00 2.140E-07 5.8324E-01
+ 2.150E-07 -2.9794E-02 2.160E-07 -3.1383E-01
+ 2.170E-07 1.3909E-01 2.180E-07 4.5958E-01
+ 2.190E-07 1.9384E+00 2.200E-07 -1.5360E+00
+ 2.210E-07 -4.0053E-02 2.220E-07 -1.1775E+00
+ 2.230E-07 -2.6420E+00 2.240E-07 -1.7794E+00
+ 2.250E-07 -1.1506E+00 2.260E-07 -9.3654E-02
+ 2.270E-07 -2.8658E-01 2.280E-07 -3.0969E-01
+ 2.290E-07 -2.2082E+00 2.300E-07 9.4553E-01
+ 2.310E-07 -5.1101E-01 2.320E-07 -1.3925E+00
+ 2.330E-07 -1.2284E+00 2.340E-07 -8.2560E-01
+ 2.350E-07 1.6910E-01 2.360E-07 7.0666E-01
+ 2.370E-07 -2.2684E-01 2.380E-07 -1.7265E-01
+ 2.390E-07 2.3813E-01 2.400E-07 1.7220E+00
+ 2.410E-07 1.7808E+00 2.420E-07 1.1388E+00
+ 2.430E-07 2.1804E+00 2.440E-07 1.3880E+00
+ 2.450E-07 -2.2111E-01 2.460E-07 3.4297E-01
+ 2.470E-07 4.8043E-01 2.480E-07 4.3907E-01
+ 2.490E-07 1.7519E+00 2.500E-07 -3.2561E-01)
R 2 1 1000MEG
.ENDS noise
```



- unabhängige Quellen

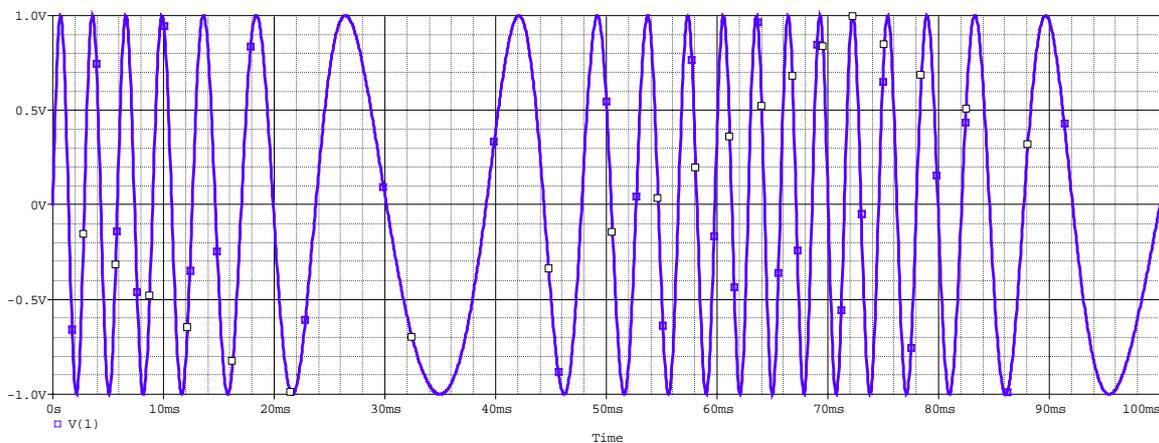
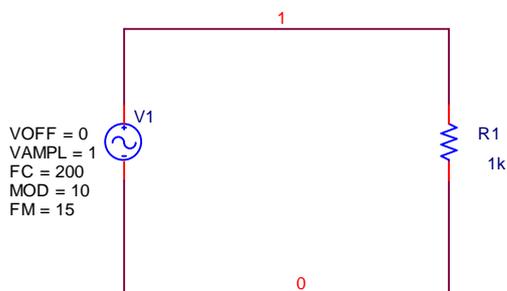
- DC S52 ( Polarität beachten )
- Gleichquelle DC Wechselquelle AC
- SFFM

Frequenzmodulierte Spannung ( VSFFM )

FC=200Hz=Trägerfrequenz

FM=15=Modulationsfrequenz

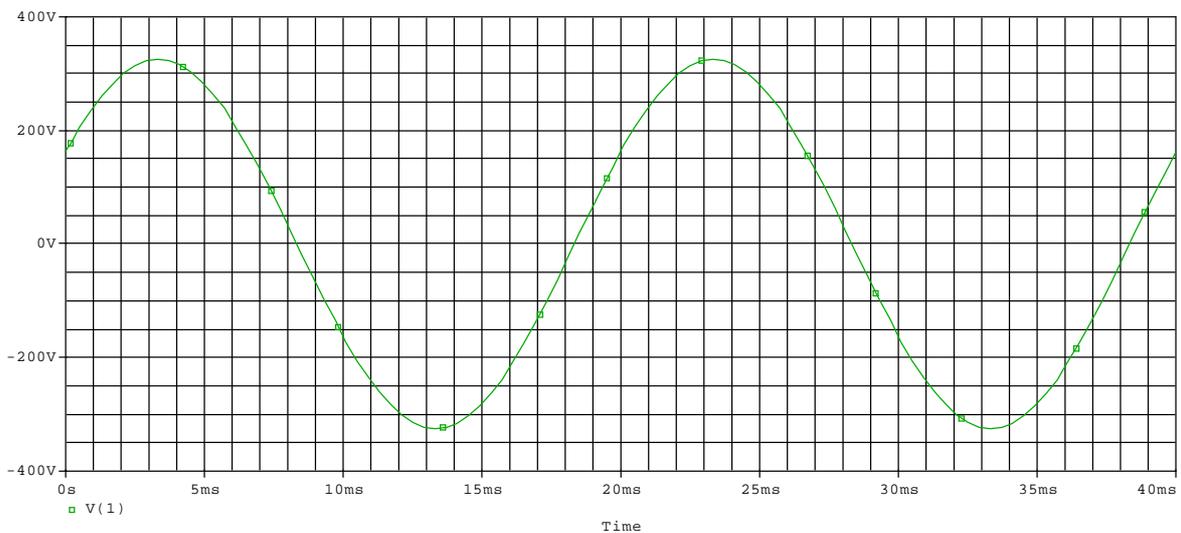
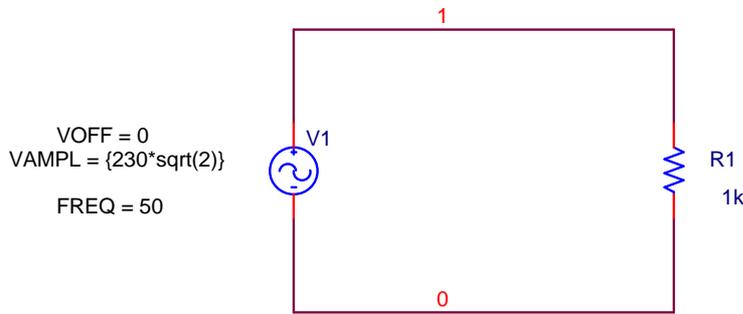
MOD=10=Modulationsindex



Übungen für die Studenten :

**Aufgabe3.cir ( C:\Beispiele\Quellen\Aufgabe3 )**

- a) Sinusquelle ;  $U_{eff}=230V$ , 50Hz bei  $30^\circ$  einschalten  
 Achtung : Sprung von 0 auf  $u(30^\circ) = \hat{u}/2$



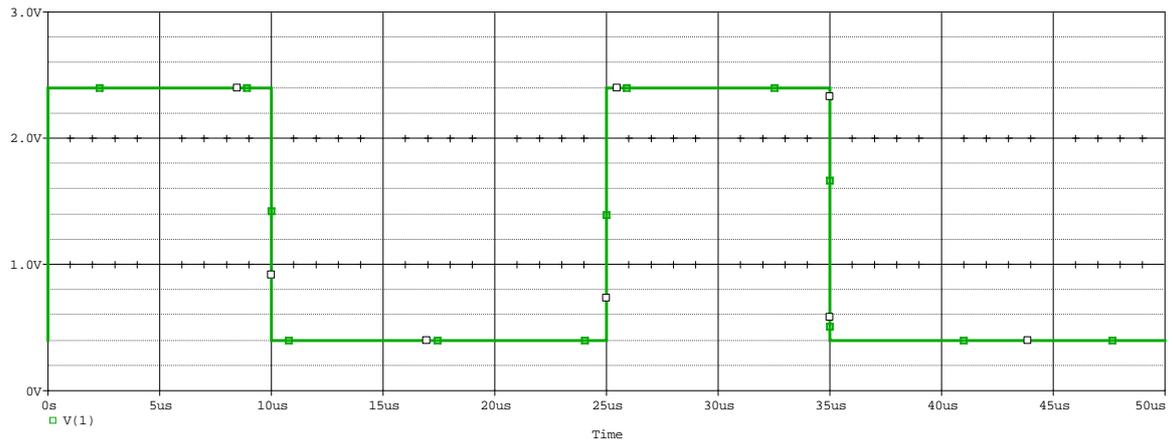
Strom mit darstellen... Leistung berechnen ( Wert angeben )

**Aufgabe4.cir ( C:\Beispiele\Quellen\Aufgabe4 )**

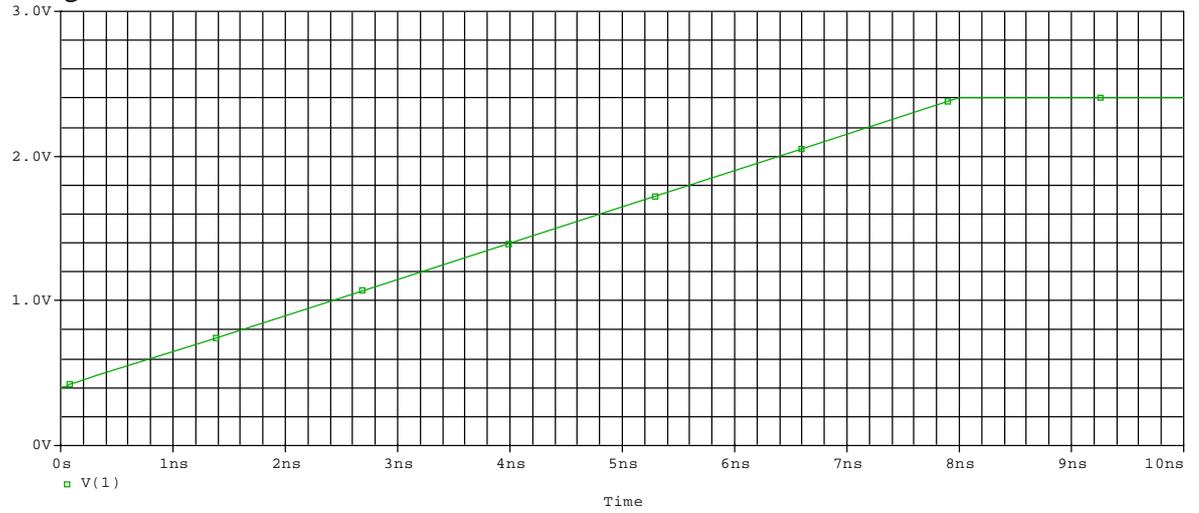
- b) Pulsquelle als TTL – Signal  
 $U(low)=0,4V$  ;  $U(High)=2,4V$   
 $Tr = 8ns$   $tf=10ns$   $tp=10us$   $f=40kHz$ ... Wahl der geeigneten Schrittweite in Probe  
 Kontrolle der Flankensteilheit Fehlersimulation bei Nichtangabe der Flankensteilheiten

V1 = .4  
 V2 = 2.4  
 TD = 0  
 TR = 8n  
 TF = 10n  
 PW = 10u  
 PER = 25u

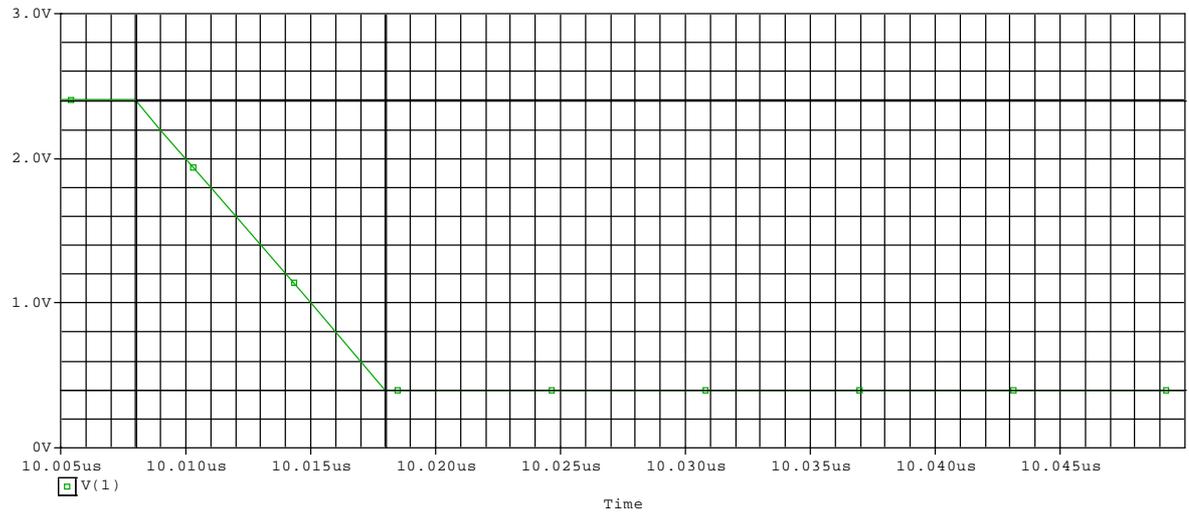
A	
+ SCHEMATIC1 : PAGE1	
Reference	V1
Value	VPULSE
AC	
DC	
PER	25u
PW	10u
Source Part	VPULSE.Normal
TD	0
TF	10n
TR	8n
V1	.4
V2	2.4



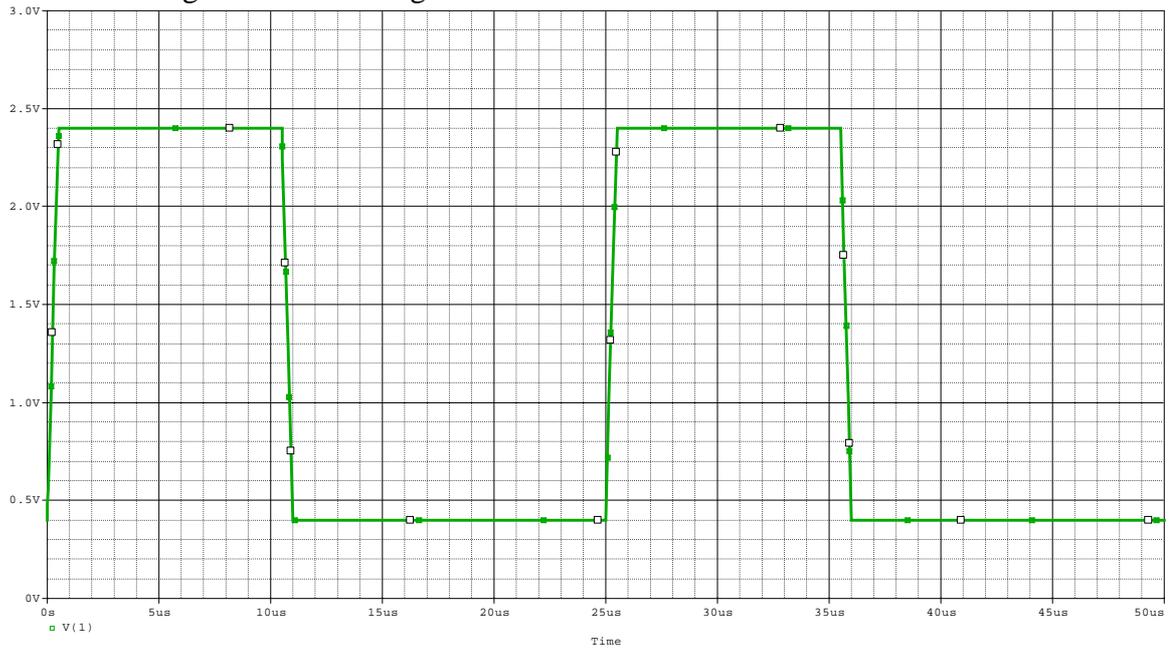
Anstiegsflanke :



Abfallende Flanke



Fehlerhaftes Ergebnis bei der Angabe  $tr = tf = 0$

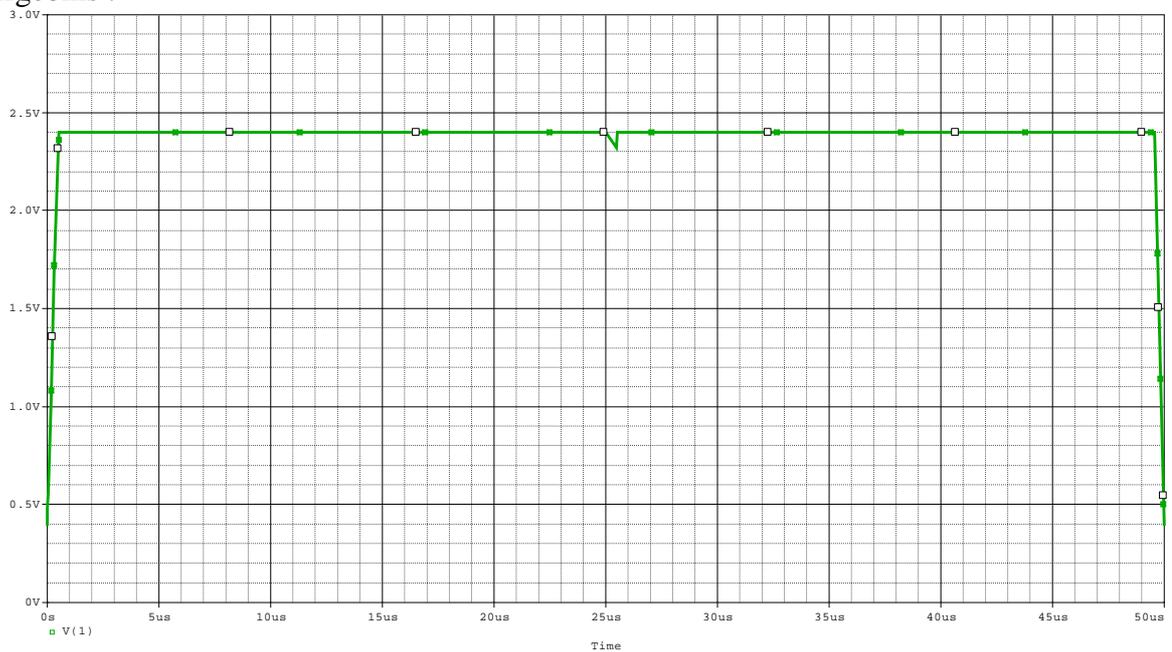


Fehler : Es wurde die Pulsdauer (PW) auf 0 gesetzt...

Meldung des Simulators ...

Pulse Period < (Rise Time + Fall Time + Pulse Width) for V\_V1

Ergebnis :



+ tr + tf offen lassen ...

(??? Aufg4a

c) PWL – Programmieren ??? )

## Gesteuerte Quellen (Seite 62)...Achtung : PowerPoint ...

Prinzip ( Definition des Polynomgrades als Anzahl der Steuerquellen

Gesteuerte Quellen sind ideale Spannungs- oder Stromquellen, deren Zeitverhalten durch externe Steuerquellen definiert ist. Das Werteverhalten kann dabei auch von einer oder mehreren Steuerquellen über eine so genannte Polynomdefinition vorgegeben werden.

### Polynomdefinitionen

Nutzung einer Steuerquelle  $X_a$ :

*Eindimensionales Polynom (nd=1)*

$$f(X_a) = P_0 + P_1 \cdot X_a + P_2 \cdot X_a^2 + P_3 \cdot X_a^3 + P_4 \cdot X_a^4 + P_5 \cdot X_a^5 + \dots$$

Nutzung von zwei Steuerquellen  $X_a$  und  $X_b$ :

*Zweidimensionales Polynom (nd =2)*

$$f(X_a, X_b) = P_0 + P_1 \cdot X_a + P_2 \cdot X_b + P_3 \cdot X_a^2 + P_4 \cdot X_a \cdot X_b + P_5 \cdot X_b^2 + P_6 \cdot X_a^3 + P_7 \cdot X_a^2 \cdot X_b + P_8 \cdot X_a \cdot X_b^2 + P_9 \cdot X_b^3 + P_{10} \cdot X_a^4 + \dots$$

Nutzung von drei Steuerquellen  $X_a$ ,  $X_b$  und  $X_c$ :

*Dreidimensionales Polynom (nd =3)*

$$\begin{aligned} f(X_a, X_b, X_c) = & P_0 + P_1 \cdot X_a + P_2 \cdot X_b + P_3 \cdot X_c + P_4 \cdot X_a^2 + P_5 \cdot X_a \cdot X_b + P_6 \cdot X_a \cdot X_c + P_7 \cdot X_b^2 + \\ & P_8 \cdot X_b \cdot X_c + P_9 \cdot X_c^2 + P_{10} \cdot X_a^3 \\ & + P_{11} \cdot X_a^2 \cdot X_b + P_{12} \cdot X_a^2 \cdot X_c + P_{13} \cdot X_a \cdot X_b^2 + P_{14} \cdot X_a \cdot X_b \cdot X_c \\ & + P_{15} \cdot X_a \cdot X_c^2 + P_{16} \cdot X_b^3 + P_{17} \cdot X_b^2 \cdot X_c + P_{18} \cdot X_b \cdot X_c^2 \\ & + P_{19} \cdot X_c^3 + P_{20} \cdot X_a^4 + \dots \end{aligned}$$

### Allgemeine Bedeutung ...

$E(u)=f(u)$  ... Spannungsgesteuerte Spannungsquelle

$F(i)=f(i)$  ....Stromgesteuerte Stromquelle

$H(u)=f(i)$ ... Stromgesteuerte Spannungsquelle

$G(i)=f(u)$  Spannungsgesteuerte Stromquelle

Die folgende Zeile kann als Komparator verwendet werden ...

$$E1 \ 50 \ 0 \ \text{table} \ \{V(2,3)\} = (-0.001, -10) \ (0,0) \ (0.001, 10)$$

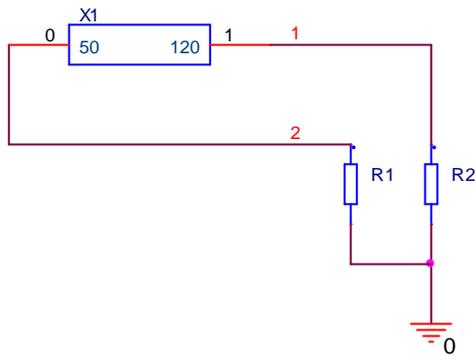
Erläuterung der oben angegebenen Zeile :

Wenn die Eingangsspannung  $<0,001$  ist ist der Ausgang ( hier Knoten 50,0) auf -10V

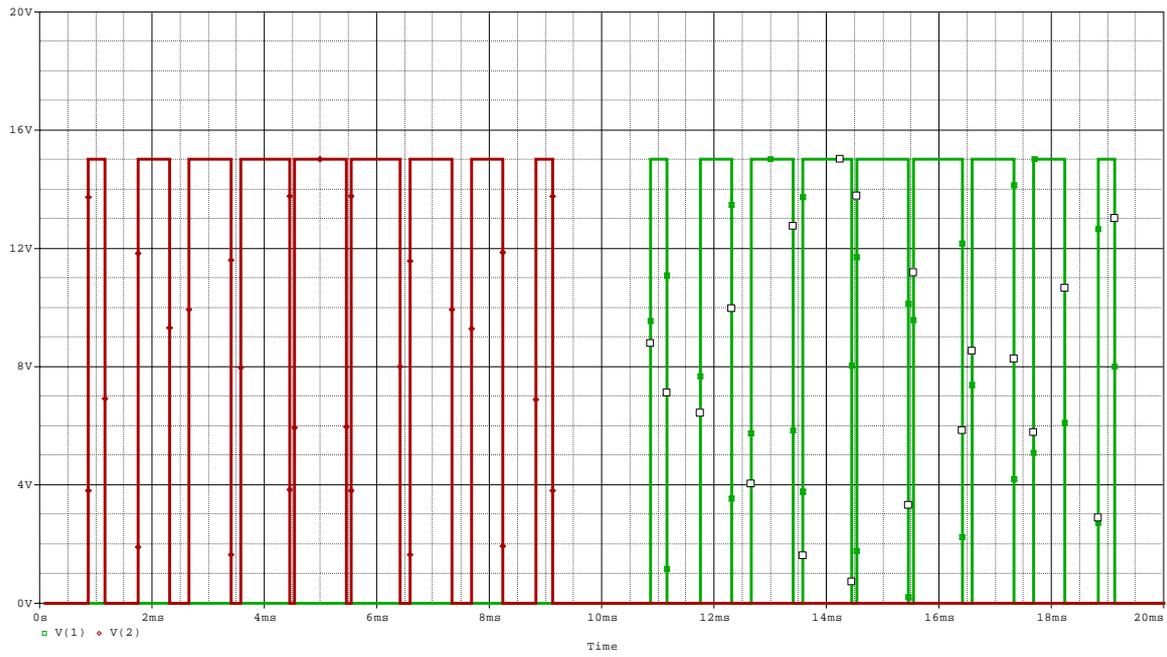
Wenn die Eingangsspannung  $=0$  ist ist der Ausgang ( hier Knoten 50,0) auf 0V

Eingangsspannung  $>0,001$  ist ist der Ausgang ( hier Knoten 50,0) auf +10V

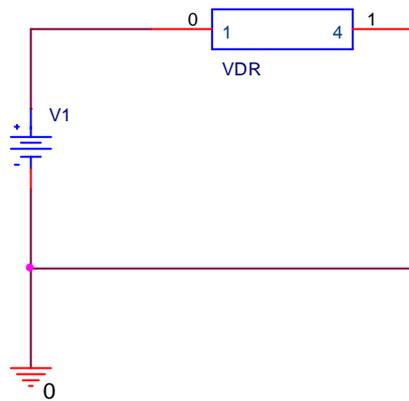
Beispiel siehe PWMtest



```
.SUBCKT PWM 50 120 params: Takt=8000 nennfreq=50
.param pulsb={(1/(2*takt))-500N}
.param T={1/nennfreq}
.param tp={T/2}
*
*PWM-Signal fuer die jeweils erste Halbperiode*
*
VS1 1 0 sin(0 14V {nennfreq})
VD1 31 0 PULSE(0 15V 0 {pulsb} {pulsb} 1u {1/takt})
S1 1 2 32 0 Schalter
S2 31 3 32 0 Schalter
VP1 32 0 PULSE(0 4V 0 500n 500n {tp} {T})
RL1 2 0 1k
RL2 3 0 1k
E1 50 0 table {V(2,3)} = (0,0) (0.001,15)
*
*PWM-Signal fuer die jeweils zweite Halbperiode*
*
VS2 8 0 sin(0 14V {nennfreq} {tp})
VD2 91 0 PULSE(0 15V 0 {pulsb} {pulsb} 1u {1/takt})
S3 8 10 92 0 Schalter
S4 91 9 92 0 Schalter
VP2 92 0 PULSE(0 4V {tp} 500n 500n {tp} {T})
RL3 10 0 1k
RL4 9 0 1k
E2 120 0 table {V(10,9)} = (0,0) (0.001,15)
.model Schalter vswitch (ron=1e-3 roff=1e9)
*
.ENDS
```



Beispiel VDR ( Verzeichnis : VDRTEST )



Ein Strom durch einen Varistor läßt sich wie folgt näherungsweise berechnen :

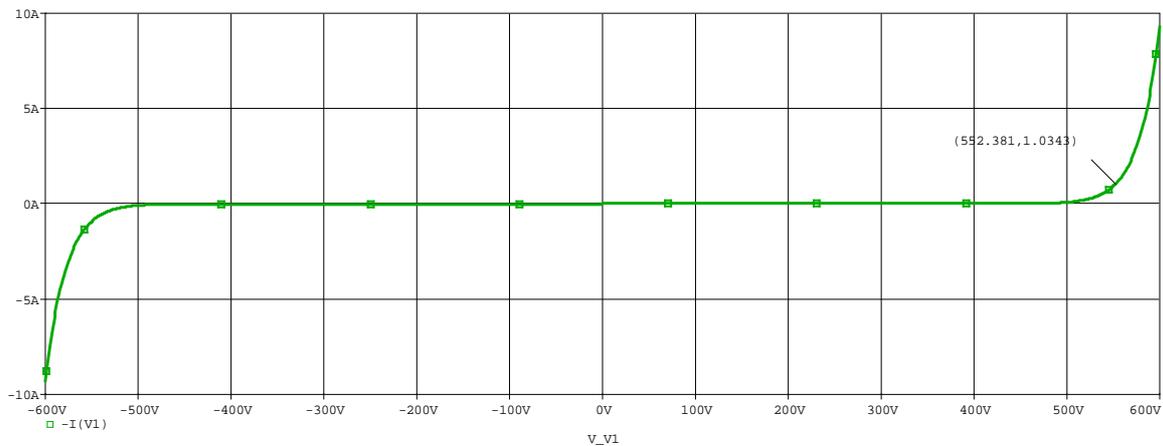
$$I = \left( \frac{U}{B} \right)^n * A$$

U=Nennspannung in Volt ; A für Stromstärke in Ampere

B,n ... materialabhängige Konstanten

Definition des verwendeten Unterprogrammes :

```
.subckt VDR 1 4
** Metall Oxide Varistor mit einer
** Nennanschlussspannung von U(eff)=250 V
.param B=550
.param n=26.5
d1 1 2 diode
d2 3 1 diode
d3 4 2 diode
d4 3 4 diode
.model diode d
R1 2 3 100MEG
G1 2 3 Value={PWR((V(2,3)/{B})),{n}}
.ends
```



Arithmetische Operationen können während der Programmsimulation ausgeführt werden. Dabei sind folgende Operanden für *P Spice* erlaubt:

Tabelle 2.4      *Arithmetische Ausdrücke*

Operand	Bedeutung
+ , - , * , /	Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division
ABS(x)	x   Betragsbildung
SQRT(X)	Wurzel aus x
EXP(x)	$e^x$
LOG(x)	natürlicher Logarithmus von x ( $\ln(x)$ )
LOG10(x)	$\log(x)$ ( = Zehnerlogarithmus von x )
PWR(x,y)	$x^y$
PWRS(x,y)	+   x   <sup>y</sup> ( für x>0), -   x   <sup>y</sup> ( für x<0)
SIN(x)	$\sin(x)$ ( x in rad )
COS(x)	$\cos(x)$ ( x in rad )
TAN(x)	$\tan(x)$ ( x in rad )
ATAN(x)	$\tan(x)^{-1}$ ( x in rad )
ARCTAN(x)	$\tan(x)^{-1}$ ( x in rad )

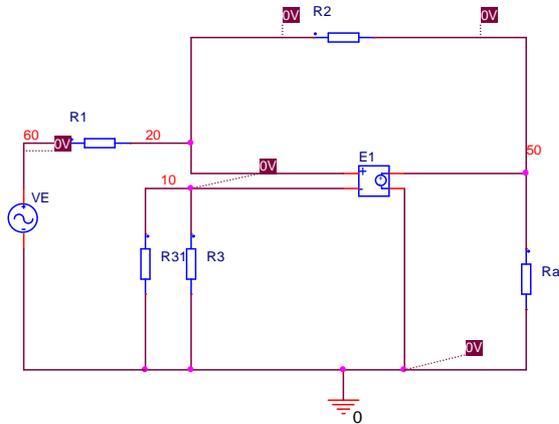
**Zu beachten ist hierbei :**

Arithmetische Ausdrücke müssen in eine Zeile passen. Bei längeren Ausdrücken können diese als Funktion *.FUNC* definiert und verknüpft werden.

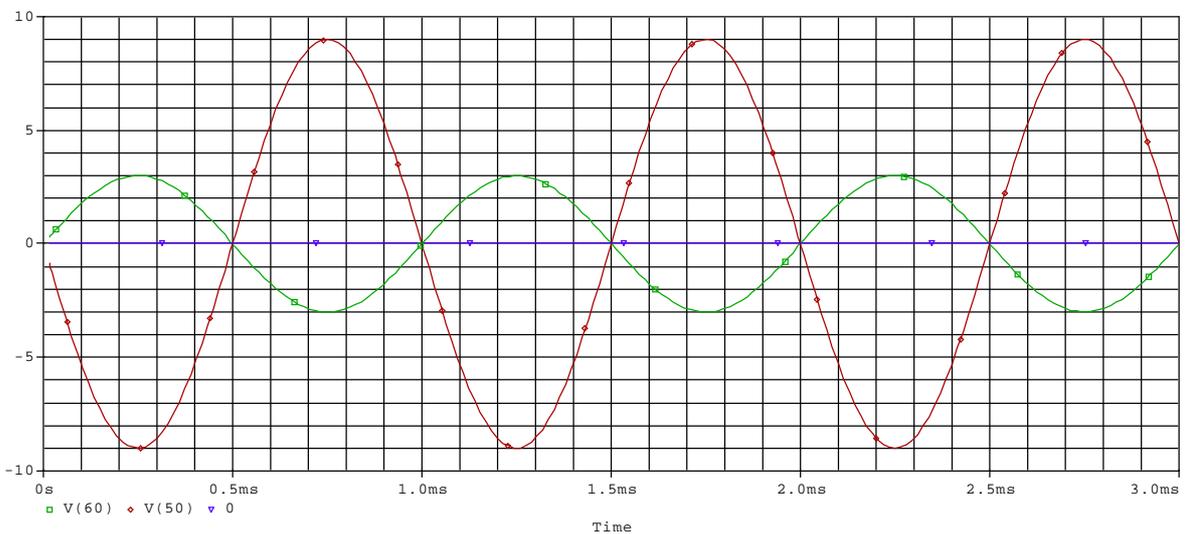
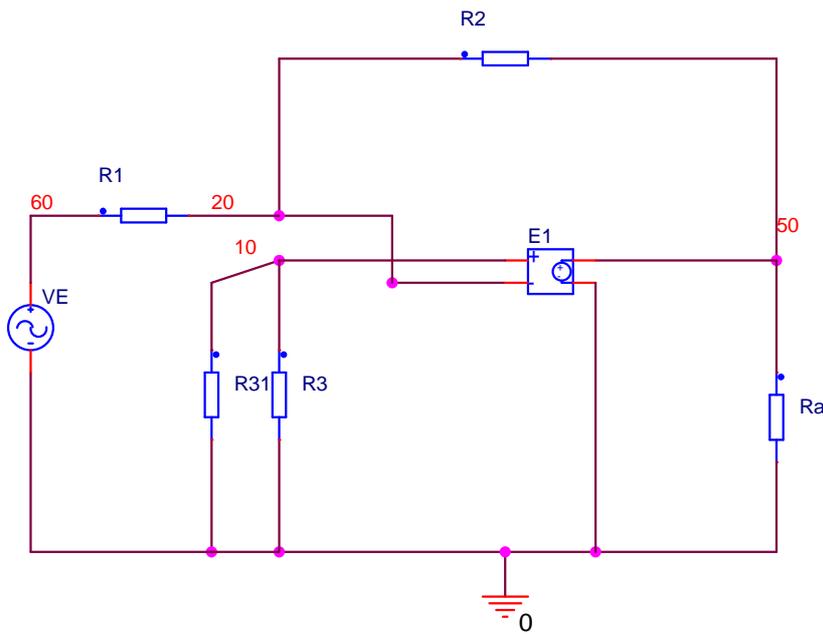
Gesteuerte Quellen... Trafo, idealer op, Ntctest...

Beispiel Spannungsgesteuerte Spannungsquelle ( als Idealer OP )

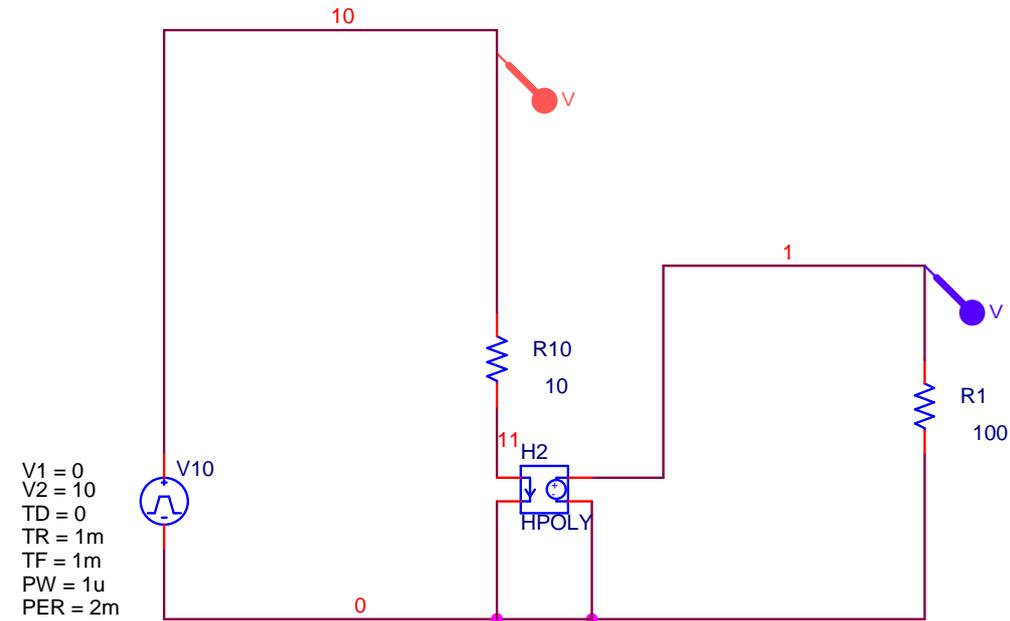
Operationsverstärker ( hier in der Funktion des invertierenden Verstärkers) als Spannungsgesteuerte Spannungsquelle  $E = Op\_a$



Fehler im Symbol ??? Rückkopplung mit (+) – Eingang ???  
Schaltung deshalb folgendermaßen ändern !

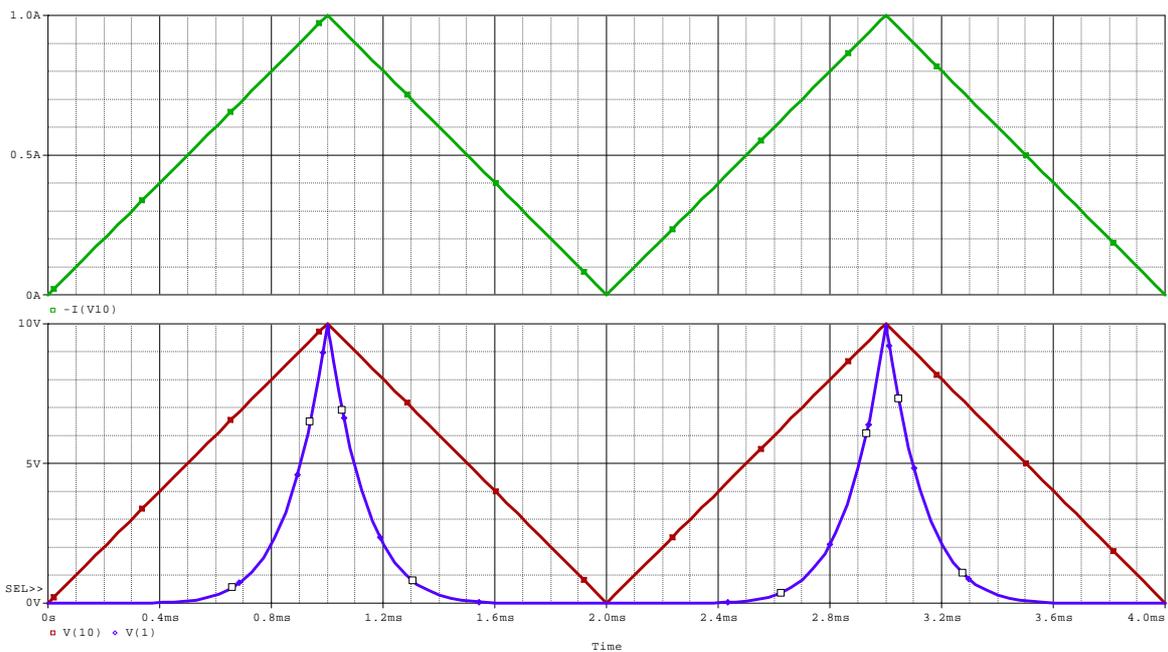


Stromgesteuerte Spannungsquelle :  
 Aufgabe6 ( C:\Beispiele\Quellen\Aufgabe6 )



	A	B
	SCHMATIC1 : PAGE1	H2
Reference	H2	H2
Value	HPOLY	HPOLY
BiasValue Power		0W
COEFF	000000010	000000010
Source Part	HPOLY.Normal	HPOLY.Normal

P0 P1 P2 P3 ... P7



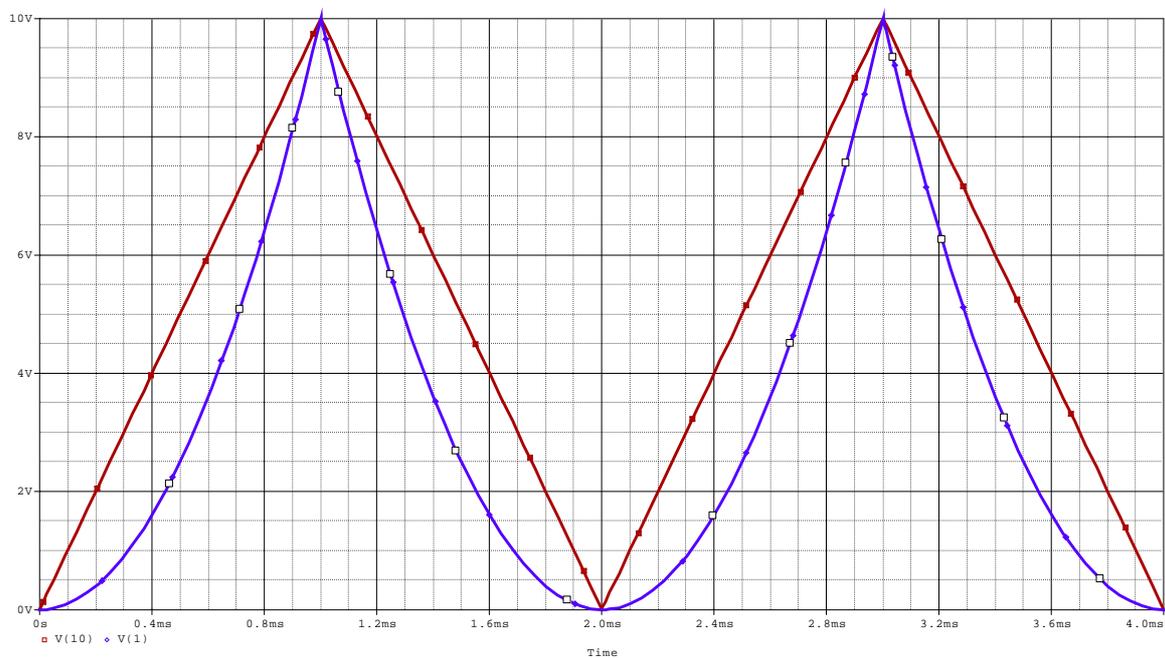
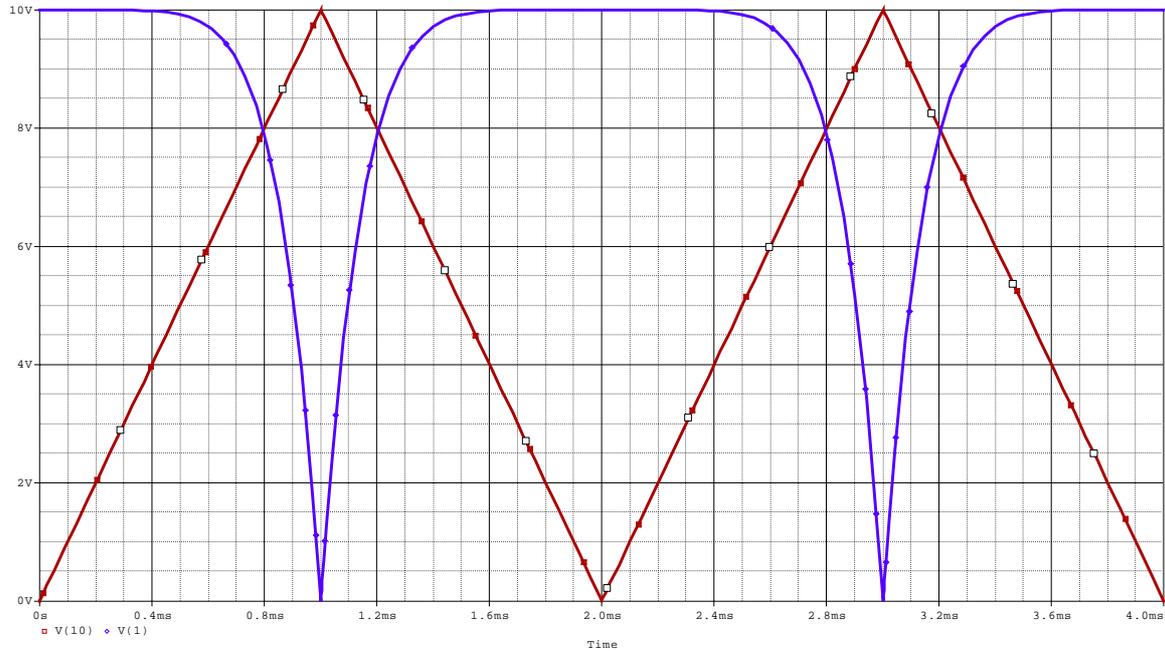
Oben... Steuerstrom, der sich aus der Steuerspannung V(10) ergibt

Test setzen der pulsquelle mit tp=0

	A	B
	SCHEMATIC1 : PAGE1	H2
Reference	H2	H2
Value	HPOLY	HPOLY
BiasValue Power		-1.000W
COEFF	10 000 000 0 -10	10 000 000 0 -10
Source Part	HPOLY.Normal	HPOLY.Normal

aus Aufgabe 6

Hier ist P0=10 und P7=-10



	A	B
	SCHEMATIC1 : PAGE1	H2
Reference	H2	H2
Value	HPOLY	HPOLY
BiasValue Power		0W
COEFF	0 0 10	0 0 10
Source Part	HPOLY.Normal	HPOLY.Normal

=Quadratische Funktion...P2=10...

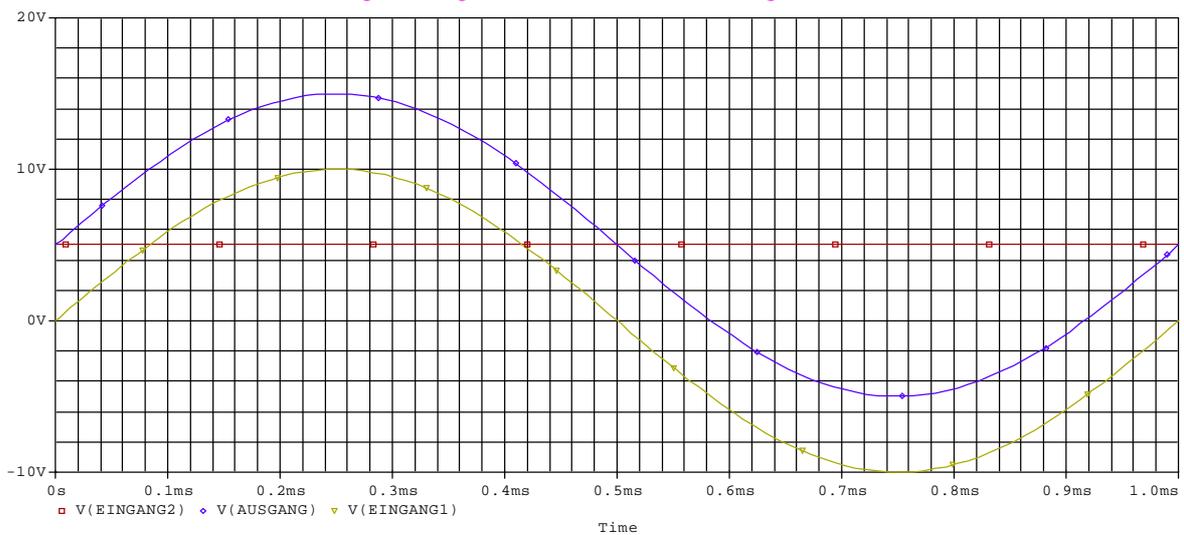
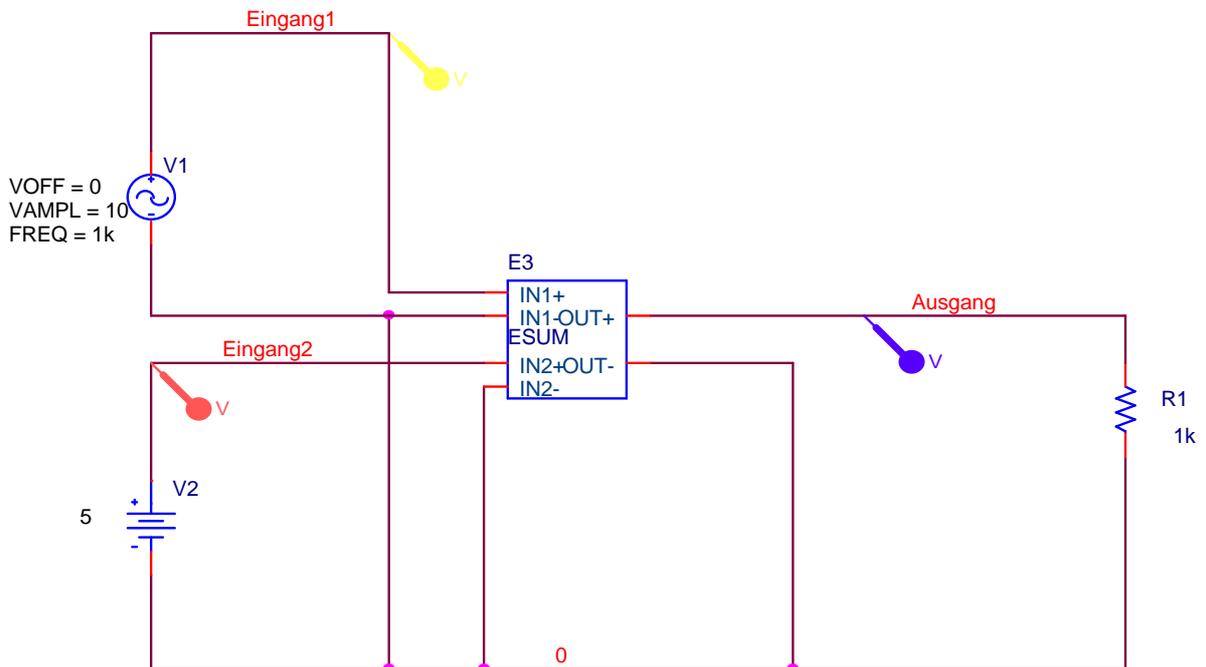
beachte der Steuerstrom beträgt maximal 1A

P0=0 ; P1=0 ; P2=10

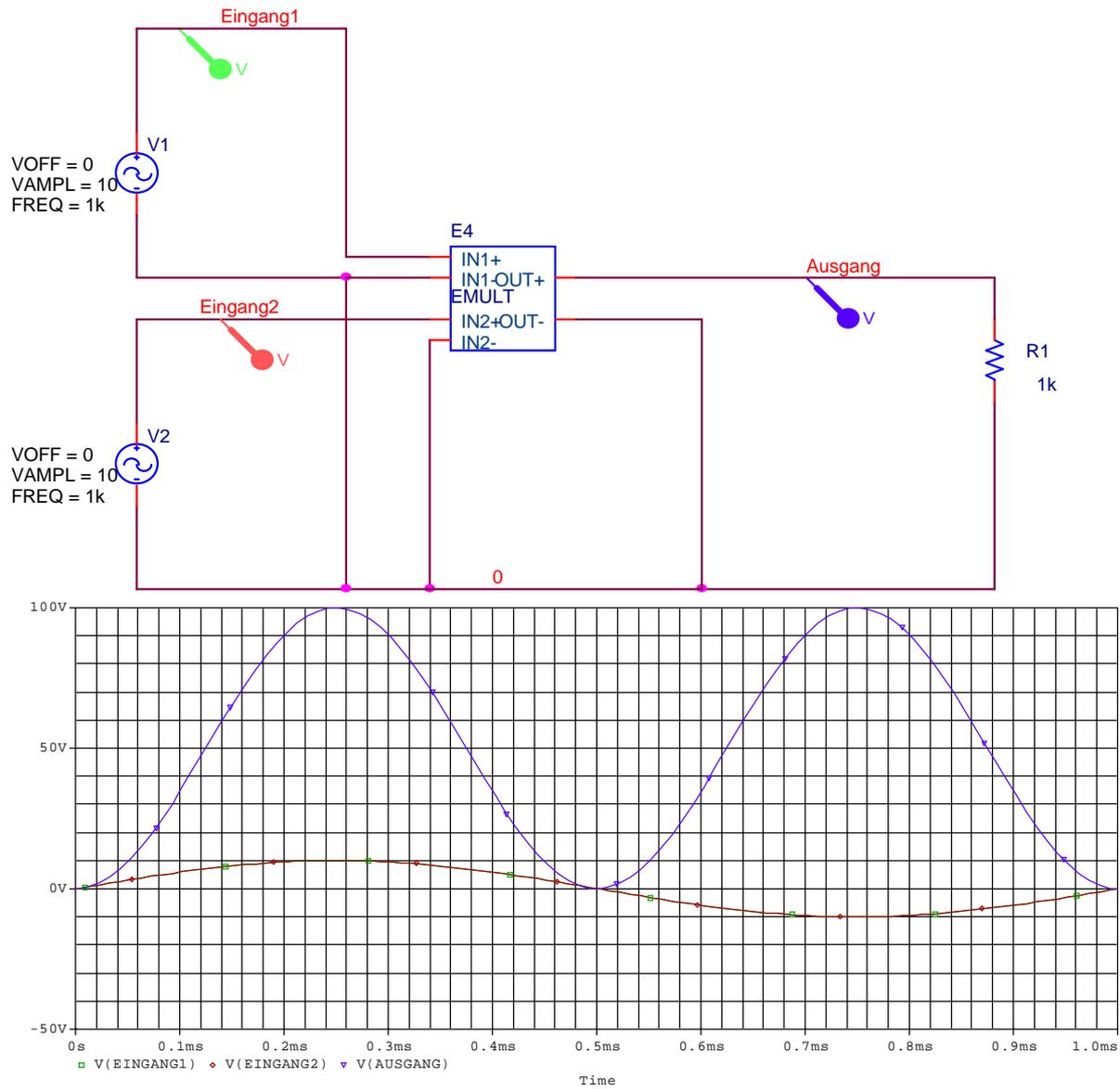
Hinweis : H(u)=f(i)... Stromgesteuerte Spannungsquelle

$$f(X_a) = P_0 + P_1 \cdot X_a + P_2 \cdot X_a^2$$

Beispiel : Addierer (C:\Beispiele\Quellen\Addierer)



Beispiel : Multiplizierer ( C:\Beispiele\Quellen\Multiplizierer )



Idealer Trafo : ( Siehe PowerPoint)

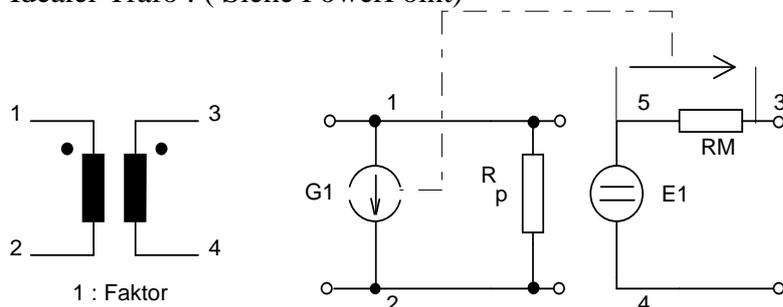
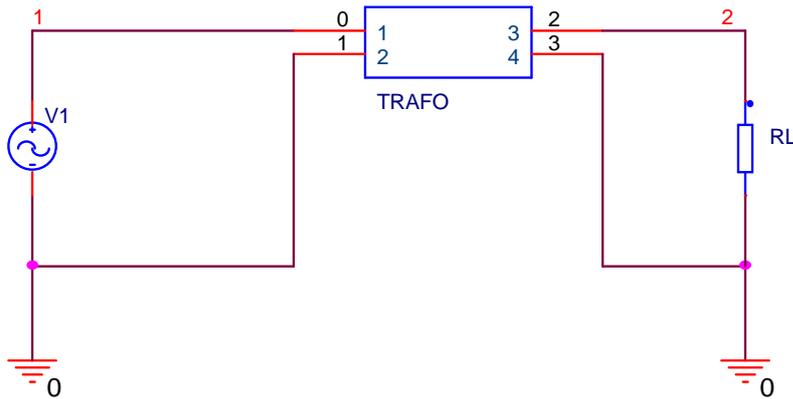


Abb. 3.13

Idealer Übertrager mit ESB-Nachbildung zur Simulation des Übertragungsverhaltens

Trafo1 ( siehe Seite 86 Buch )



Propertys des Trafos

	A	B
	SCHEMATIC1 : PAGE1	AJ1
Reference	U1	U1
Value	TRAFO	TRAFO
BiasValue Power		0W
FAKTOR	18.333	18.333
Source Part	TRAFO_1.Normal	TRAFO_1.Normal

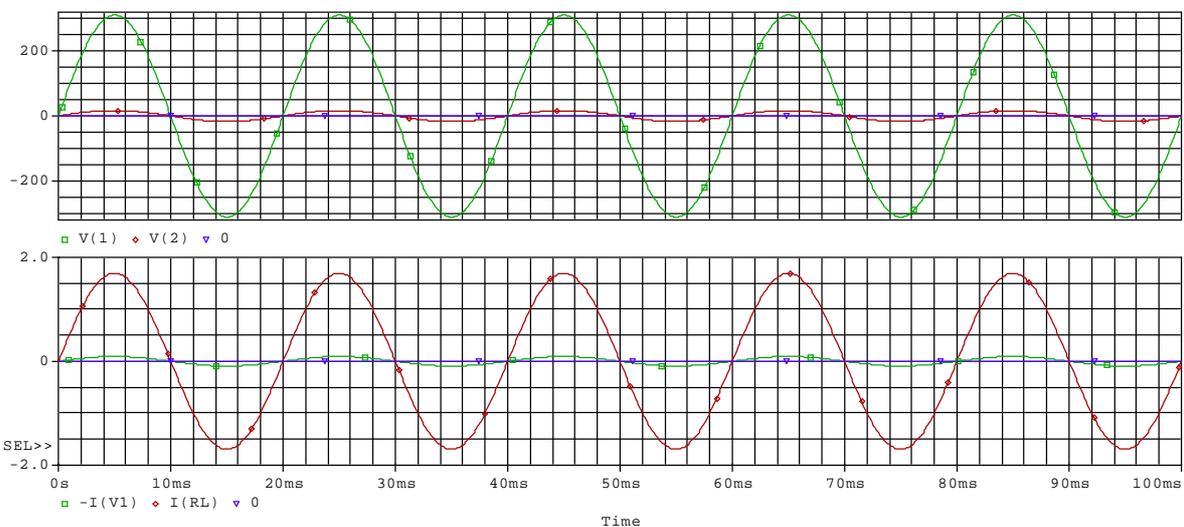
**Definition des Unterprogrammes**

```
.subckt Trafo 1 2 3 4 params: Faktor=1
RP 1 2 1meg
E1 5 4 Value={V(1,2)/Faktor}
RM 5 3 1u
G1 1 2 Value={V(5,3)*1E6/Faktor}
.ends
```

E1... spannungsgesteuerte Spannungsquelle

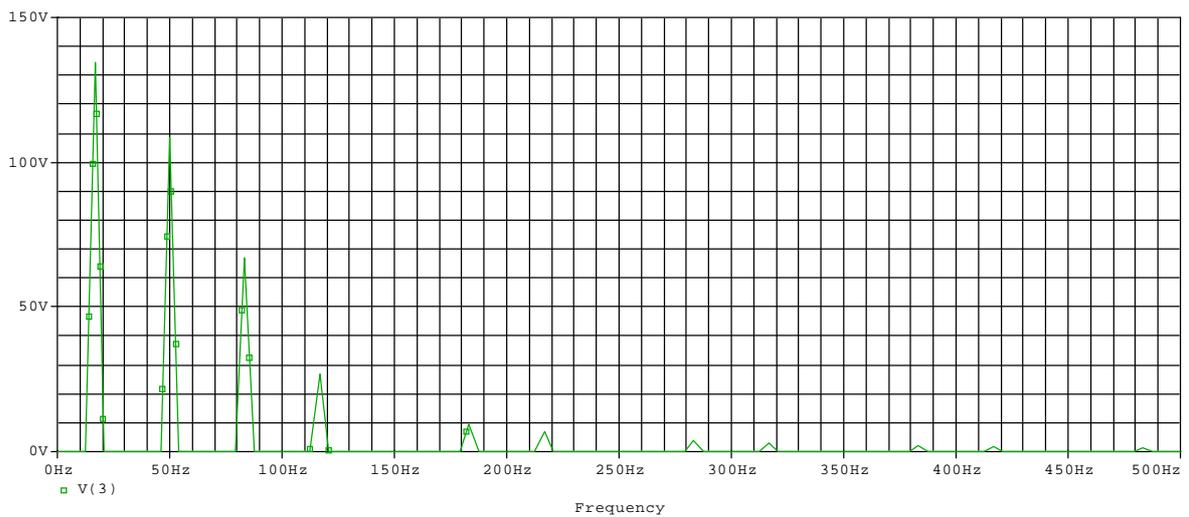
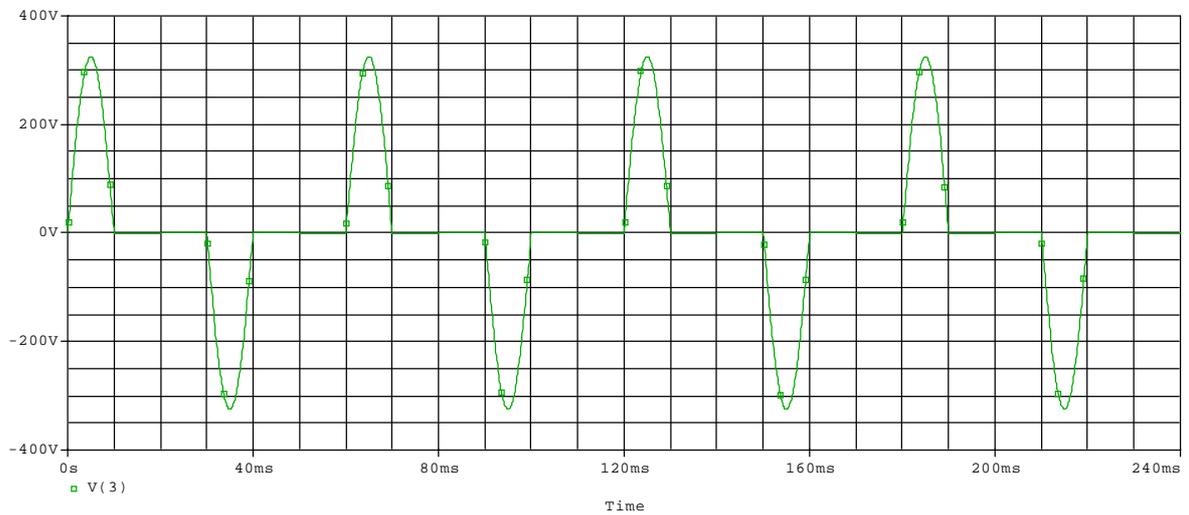
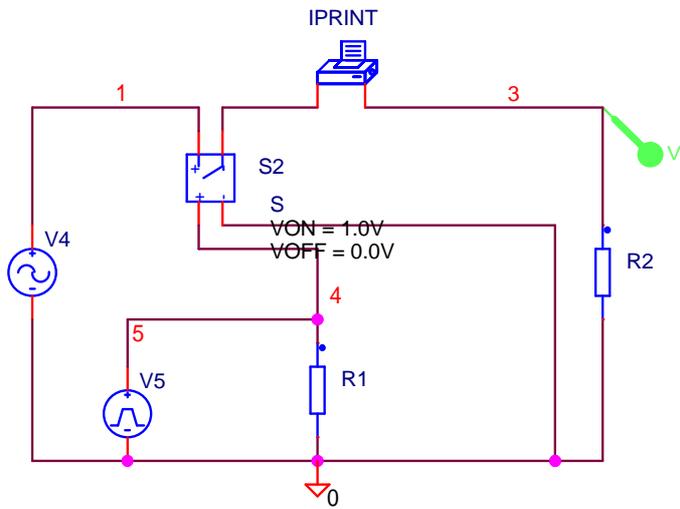
G1 ... spannungsgesteuerte Stromquelle

Da der Meßwiderstand RM einen Wert von 1uΩ hat wird in der Spannungsgesteuerten Stromquelle der Faktor 1E6 verwendet um auf eine Skalierung von 1V/A zu kommen.



Beispiel Seite 209 Laplace fehlt...

Möglichkeiten der erzeugung von Quellen ...  
 Versuch10 (EMV)... Sinushalbwellensteuerung



Vorlesung 7 am 17.04.2008 Thema : Induktivitäten**Allgemeines :****Induktivität L**

Induktivitäten können wie Widerstände und Kondensatoren mit Modellparametern beschrieben werden. Dabei wird ihr elektrisches Strom-/Spannungsverhalten und ihr Temperaturverhalten in Näherung nachgebildet. Alternativ läßt sich eine Induktivität aber auch durch Angabe der Windungszahl und des verwendeten ferromagnetischen Kerns durch eine Kernsimulation praxisnah darstellen.

**2.3.1 Induktivität L ohne Kernsimulation**

Der Wickelanfang rechtsgängig gewickelter Spulen (Punkt an der Induktivität ) wird dem ersten Knoten N+ zugeordnet. Der Strom ist positiv von Knoten N+ zum Knoten N- definiert.

**Format:**

<b>L</b> <Name>	< N+>	< N->	[Modellname]	<Wert>	[IC = I0]
-----------------	-------	-------	--------------	--------	-----------

.Model <Modellname> IND [Parameter]

**Beispiele:**

L5	5 3	10U		*Wert = 10 $\mu$ H
L1	8 0 .	01	IC=10MA	*Anfangsstrom bei t=0 10 mA
L10	3 42	LMOD .03		*Wert = 0,03H = 30 mH
.MODEL		LMOD	IND	

Mit der Anweisung IC = I0 wird die Induktivität zu Beginn der Transientenanalyse von dem Anfangsstromwert I0 durchflossen. Das Schlüsselwort *UIC* muß dafür in der *.TRAN*-Anweisung angegeben werden , damit die IC-Anweisung wirksam wird. Für eine Modellbeschreibung wird der Induktivität ein Modellname zugeordnet, hier beispielsweise *LMOD*. Mit der Modellanweisung können dann die gewünschten Modellparameter nach *Tabelle 2.7* spezifiziert werden.

Tabelle 2.7 Modellparameter bei Induktivitäten

Parameter	Bezeichnung	Grundeinstellung
<b>L</b>	Induktivitätsfaktor als Multiplikator	1
<b>IL1</b>	linearer Stromkoeffizient	$0 \cdot A^{-1}$
<b>IL2</b>	quadratischer Stromkoeffizient	$0 \cdot A^{-2}$

Parameter	Bezeichnung	Grundeinstellung
TC1	linearer Temperaturkoeffizient	0 • °C <sup>-1</sup>
TC2	quadratischer Temperaturkoeffizient	0 • °C <sup>-2</sup>
T_MEASURED	gemessene Temperatur (überschreibt den unter <i>.OPTIONS</i> gesetzten Wert für TNOM)	° C
T_ABS	absolute Temperatur	° C
T_REL_GLOBAL	Temperatur relativ zu der mit TNOM gesetzten Temperatur	° C
T_REL_LOKAL	Temperatur relativ zum AKO - Modell (AKO a kind of)	° C

Fehlt der Modellname, so ist *Wert* die Angabe der Induktivität in Henry. Wird jedoch der Modellname angegeben, so berechnet sich der Induktivitätswert *LW* strom- und temperaturabhängig nach Formel 2.4:

$$LW = WERT \cdot L \cdot (1 + IL1 \cdot I + IL2 \cdot I^2) \cdot (1 + TC1 \cdot \Delta t + TC2 \cdot \Delta t^2) \quad (2.4)$$

mit  $\Delta t = T - T_{TNOM}$

Der *Wert* ist normalerweise positiv, darf aber auch negativ, nicht jedoch Null sein.

### 2.3.2 Induktivität mit Kernsimulation

**Format:**

<b>L&lt;Name&gt;</b>	< N+> < N-> <Anzahl der Windungen>
<b>K&lt;Name&gt;</b>	<LName> <Koppelfaktor> <Name Kernmodell>

.Model <Modellname> CORE [Parameter]

**Beispiel:**

```
L1 1 2 100
K1 L1 0.999 E20K2004
.MODEL E20K2004 CORE
```

Der Koppelfaktor K1 benennt hier die Kopplung der Spule L1 mit einem Koppelfaktor von 0,999 zu einem ferromagnetischen Kern mit dem Namen E20K2004, der seinerseits als Modell mit den Modellparametern nach *Tabelle 2.8* spezifiziert wird.

Tabelle 2.8 Modellparameter für ferromagnetische Kerne

Bezeichnung	Parameter	Einheit	Grundeinstellung
Modellindex *LEVEL=2 ab Version 6.2	<b>LEVEL</b>		1*
Eisenquerschnittsfläche	<b>AREA</b>	cm <sup>2</sup>	0,1
mittlere Feldlinienlänge	<b>PATH</b>	cm	1,0
effektive Länge des Luftspaltes	<b>GAP</b>	cm	0
Eisenfüllfaktor	<b>PACK</b>		1
magnetischer Sättigungsfaktor	<b>MS</b>	A/m	1E+6
Thermische Energie	<b>A</b>	A/m	1E+3
Domänenbeweglichkeit	<b>C</b>	-	0,2
Domänen-Anisotropie	<b>K</b>	A/m	500
Kopplungsfaktor zwischen Domänenwänden (nur bei Modellindex LEVEL = 1)	<b>ALPHA</b>	-	1E-3
Domänenendämpfungsfaktor (nur bei LEVEL = 1)	<b>Gamma</b>	s-1	unendlich

Die zu verwendenden Modellparameter **AREA** und **PATH** sind geometrische Daten, die dem Datenblatt des Kernes zu entnehmen sind. **ALPHA**, **K** und **C** sind Erfahrungswerte, wobei **C** die Anfangspermeabilität, **ALPHA** und **K** die Remanenz und Koerzitivfeldstärke bestimmen. Zu beachten ist, daß *P Spice* mit Gauß und Oerstedt rechnet. *Damit werden folgende Umrechnungen erforderlich:*

Der magnetische Sättigungsfaktor MS kann aus der Sättigungsinduktion BS in Tesla (s. Datenblatt des Kernmaterials) nach Formel 2.5 berechnet werden.

$$MS = \frac{BS}{12,57} \cdot \frac{10^4}{m} \cdot \frac{A}{m} \quad (2.5)$$

Zur Darstellung der magnetischen Feldstärke H in A/m ist die Umrechnung von Oerstedt nach Ampere je Meter gemäß Formel 2.6 auszuführen.

$$1 \text{ Oe} = 79,577 \text{ A/m} \quad (2.6)$$

Für die Maßstabwahl in der *PROBE*-Darstellung ist danach die x-Variable mit 79,577 zu multiplizieren. Soll die magnetische Flußdichte oder Induktion B in Tesla angezeigt werden, erfordert dies die Umrechnung der Einheit Gauß in Tesla gemäß Formel 2.7.

$$1 \text{ Gauß} = 10^{-4} \text{ Tesla} \quad (10 \text{ kG} = 1 \text{ T}) \quad (2.7)$$

In *PROBE* ist dafür die y-Variable mit 1E-4 zu multiplizieren.

### 2.3.3 Übertrager $L_p, L_s$

Ein Übertrager besteht aus zwei oder mehr Induktivitäten, die miteinander gekoppelt sind.

#### Format:

<b>L&lt;primär&gt;</b>	< N+> < N-> <Wert in H>
<b>L&lt;sekundär&gt;</b>	< N+> < N-> <Wert in H>
<b>&gt;K&lt;Name&gt;</b>	< L <sub>primär</sub> > <L <sub>sekundär</sub> > <Koppelfaktor>

#### Beispiel:

```
L1      1      2      100 uH
L2      3      4      10 uH
K12    L1    L2    .9999
```

Die Kopplung der Induktivitäten kann aber auch über einen gemeinsamen ferromagnetischen Kern erfolgen, wenn dieser über Eingabe/Angabe des Modellnamens vorgegeben wird.

<b>L&lt;1&gt;</b>	< N+> < N-> <Anzahl der Windungen>
<b>L&lt;2&gt;</b>	< N+> < N-> <Anzahl der Windungen>
<b>K&lt;Name&gt;</b>	< L <sub>1</sub> > <L <sub>2</sub> > <Koppelfaktor>
	<Modellname> [Größenfaktor]

.Model <Modellname> CORE [Parameter] (→Kap. 5.2)

Die Modellparameter können auch mit dem Programm PARTS.EXE durch Eingabe der Kennlinienpunkte bestimmt werden.

#### Beispiel:

```
L1      1      0      100
L2      3      5      10
K3      L1    L2    E20K2004
.MODEL E20K2004 CORE (Parameter)
```

Die Spule L1 hat 100 Windungen; Spule L2 10 Windungen auf dem gemeinsamen Kern E20K2004.

Durch diese Anweisung werden mehrere Induktivitäten miteinander gekoppelt bzw. wird die Kopplung einer oder mehrerer Wicklungen mit einem Kernmaterial angegeben. Gefordert wird ein Koppelfaktor von  $0 < K < 1$ . Liegen mehr als zwei Wicklungen vor, können diese durch Angabe eines Gesamtkoppelfaktors simuliert werden.

#### Beispiel:

```
Kges      L1 L2 L3 L4      .9998
```

Zu beachten ist, daß Transformatoren mit Eisenkern einen Koppelfaktor haben, der in der Regel größer als 0,999 ist. Der Größtenfaktor beträgt in der Grundeinstellung 1. Sein Wert wird bei geschichtetem Kernmaterial durch die Anzahl der Isolierschichten bestimmt.

1)

L1 1 2 10uH

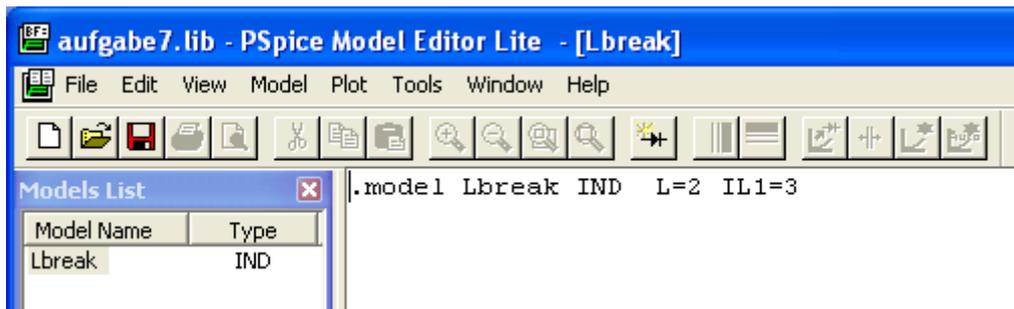
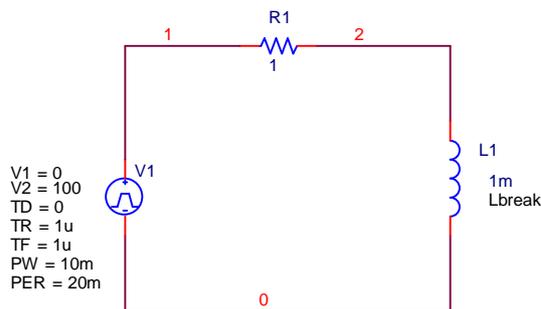
L2 2 3 2mH

L3 3 4 LMOD 0.03

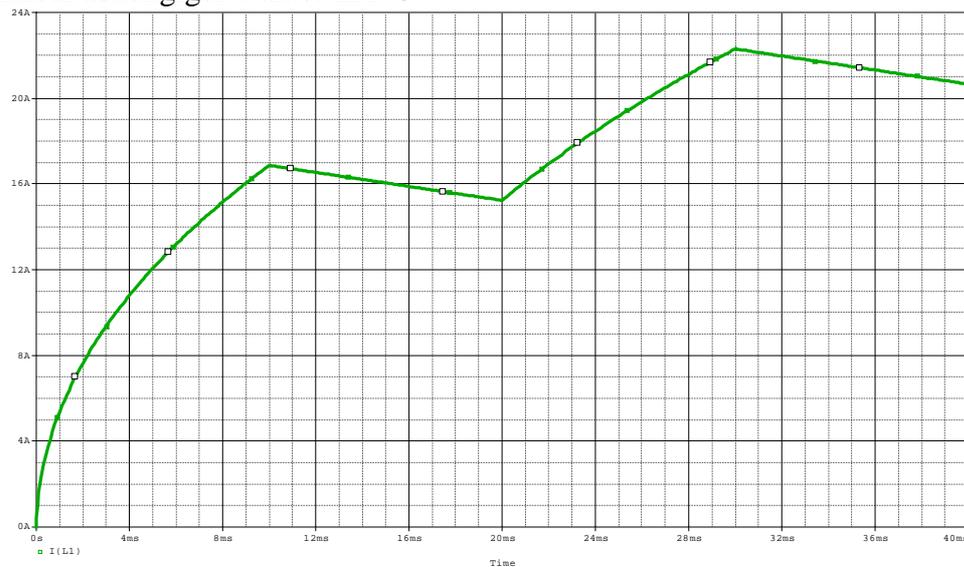
.Model LMOD IND(Stromabhängige Parameter + Temperaturkoeffizienten )

Weitere Stichworte ... Lbreak = Stromabhängige Induktivität

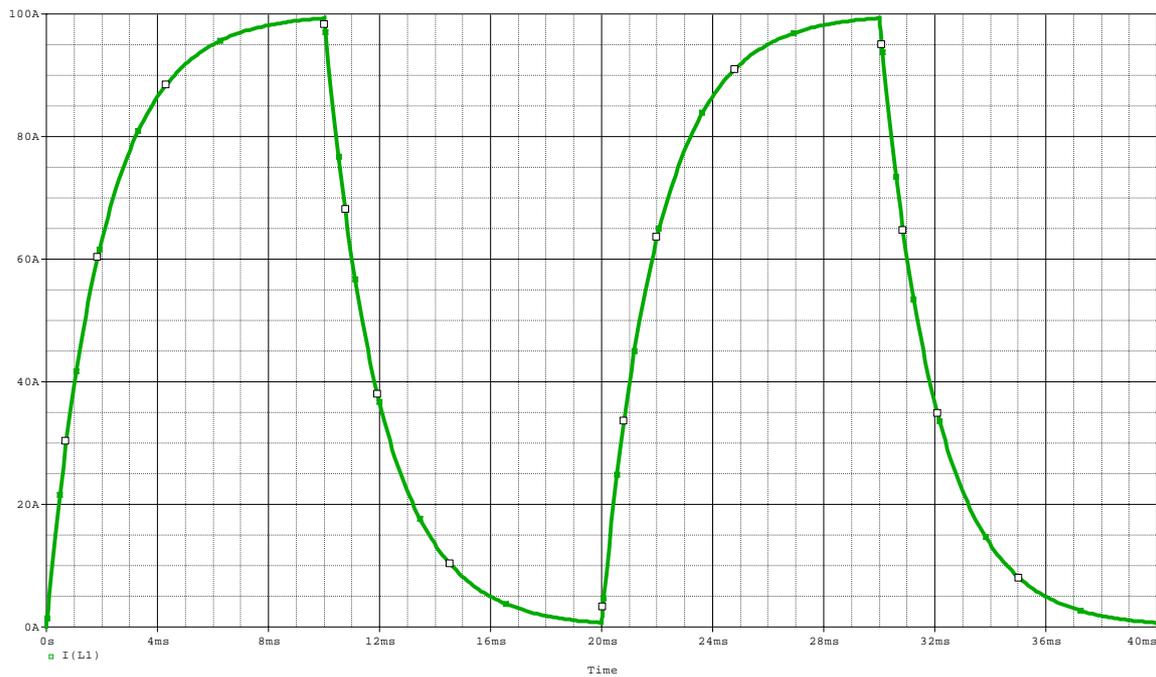
**Beispiel : Aufgabe7**



Linear abhängiger Faktor IL1=3

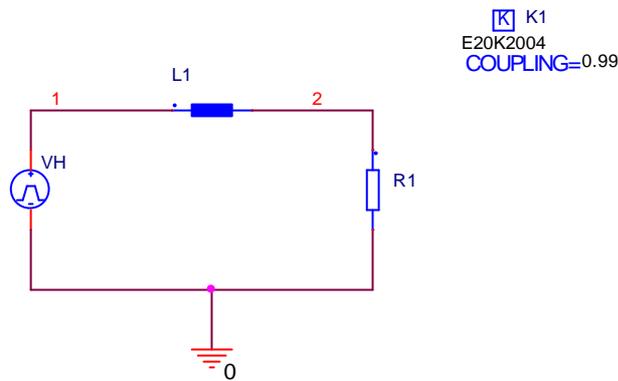


Wenn IL1 auf 0 gesetzt wird ergibt sich folgendes :



$$\tau = \frac{L1}{R1} = \frac{1mH * 2}{1\Omega} = 2ms ; \text{ d.h nach 2ms beträgt der Strom 63\% seines Endwertes...}$$

**Beispiel : Verzeichnis Lwert**

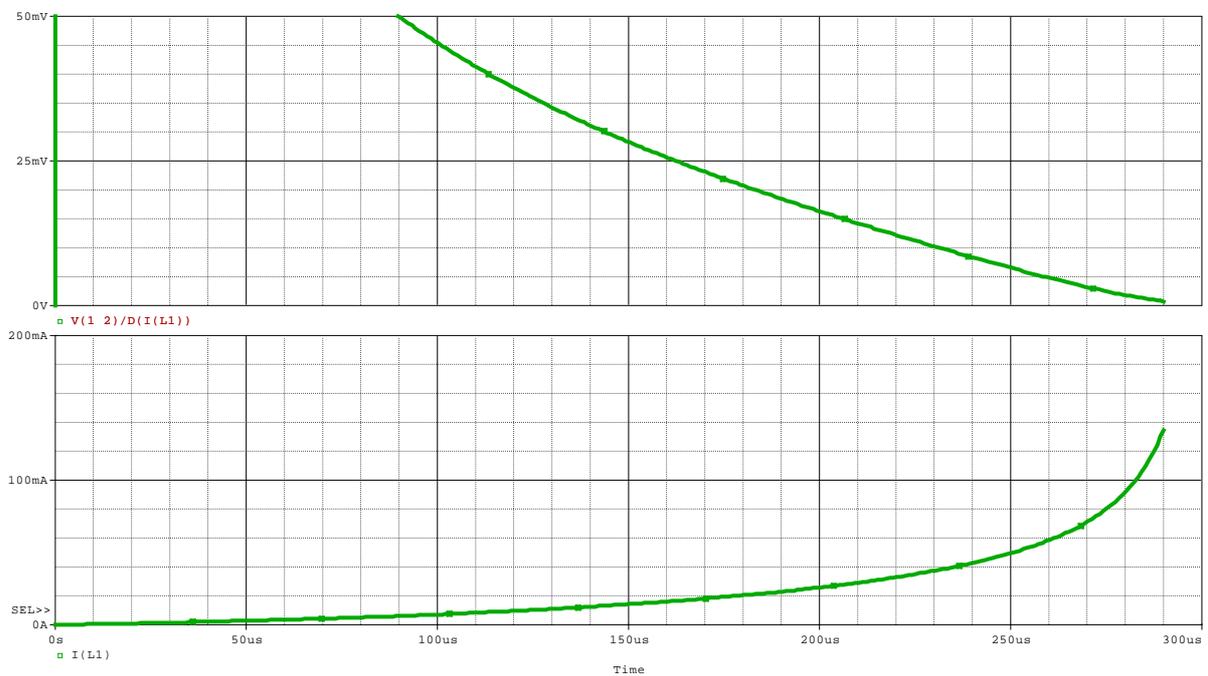


	A	B
	SCHEMATIC1 : PAGE1	L1
Reference	L1	L1
Value	100	100
BiasValue Power	0W	0W
IC	0A	0A
Source Part	DIN-L.Normal	DIN-L.Normal
TOLERANCE		

Bedeutung : L1 = Induktivität ( hier mit einem Wert von 100 ); dadurch, dass ein Koppel-faktor zu einem Kernmodell angegeben ist wird aus diese Angabe automatisch die Angabe der Windungszahl und nicht der Induktivität, da nur die Windungszahl bei einem realen Modell konstant ist !

A	
+ SCHEMATIC1 : PAGE1	
Reference	K1
Value	`M
COUPLING	0.99
L1	L1
L2	
L3	
L4	
L5	
L6	
Source Part	E20K2004.Normal

Die „Induktivität“ ist hier mit dem Kern E20K2004 mit einem Kopplungsfaktor von 0,99 verbunden. Wenn mehrere Windungen vorhanden sind sind diese entsprechen bei L2,L3 usw. mit einzutragen.

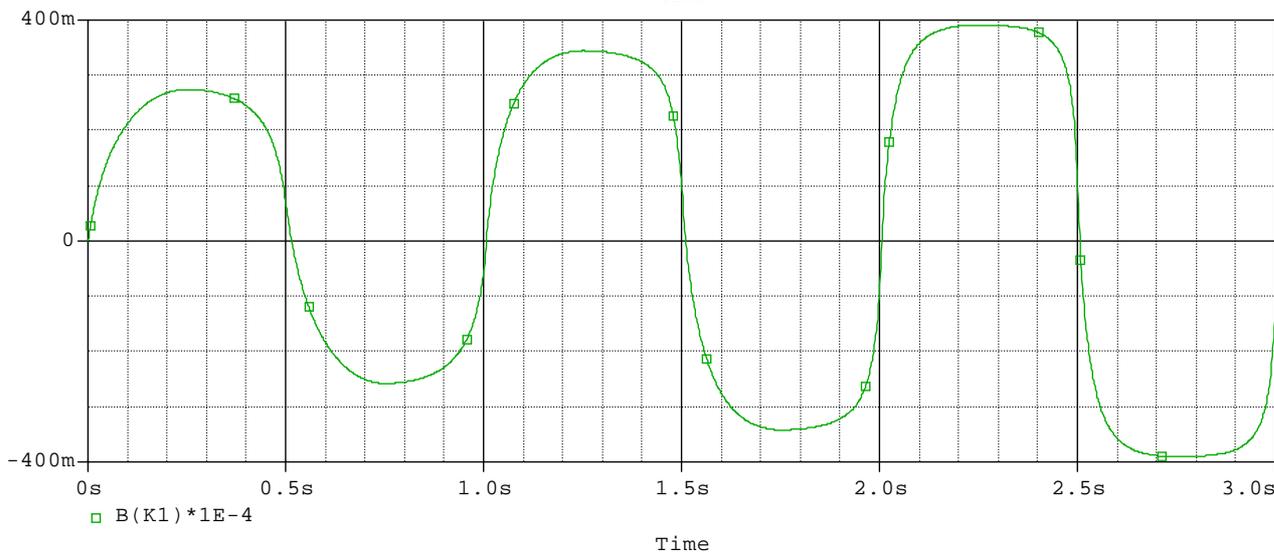
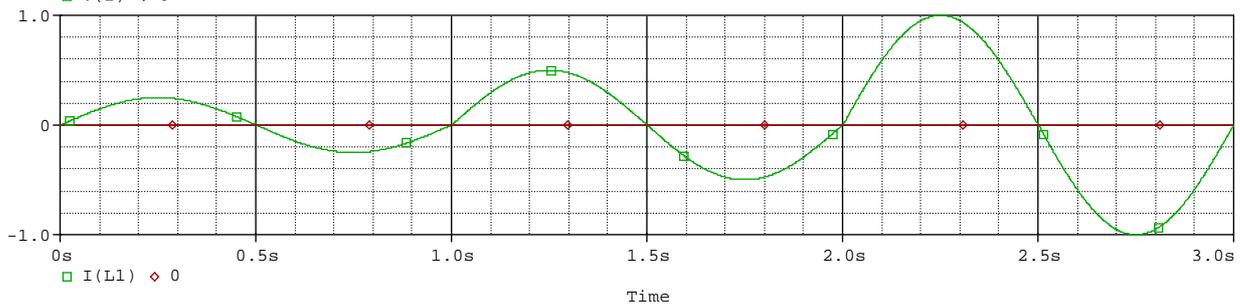
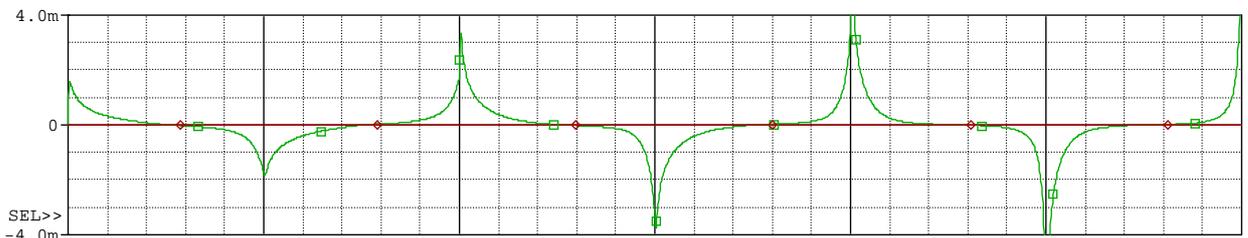
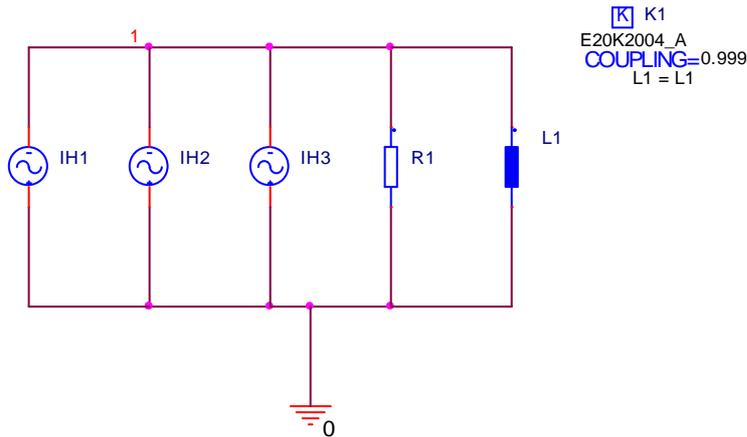


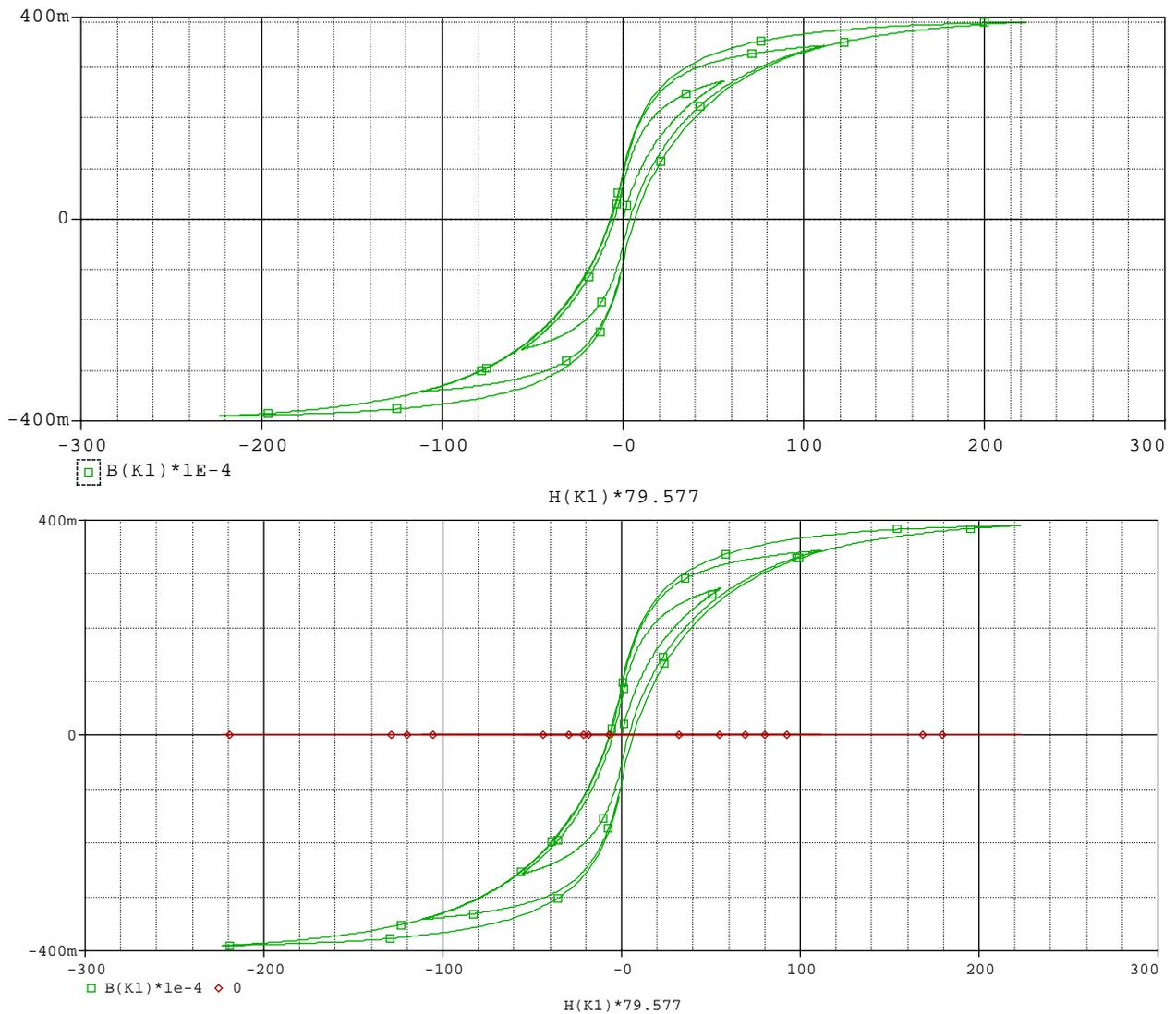
Im unteren Bild wird der Strom durch die Induktivität und im oberen Bild wird der Induktivitätswert dargestellt .

Aufgabe : Luftspalt auf 0.01 einsetzen und neu berechnen...

**Hystereseschleife (= Verzeichnis : Uebung1)**

→ Wichtig : Quellen erläutern ...





Anmerkung : die Faktoren  $1E-4$  und  $79.577$  werden hier benötigt um auf International genormte SI-Einheiten zu kommen ( siehe Mitschrift Seite 67 ) .

Als Übung die Schrittweitenbegrenzung entfernen ( war  $1.5ms$  )

Fehler beheben mit Options...--> oft auch Sinnvoll Options reset → läuft dann häufig schon wieder. Begrenzung der Rechenschrittweite...

Weitere Übung... ersatz des Kernes durch einen Kern mit den folgenden Daten :

Kernmaterial : PERMAX

$A_{Fe}=1,2 \text{ cm}^2$

$L_m=9,9\text{cm}$

$B_s=1,5\text{T}$

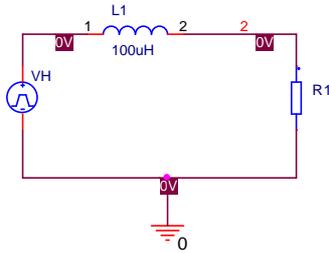
$N=360$ Windungen

K50X = Trafos in Library suchen lassen ...

E20x

- demo4
- kernsimulation..ideal + real
-

- 1) Übungsbeispiel : LWERT in neues Verzeichnis ( alle Dateien)kopieren und folgendermaßen verändern (Buch Seite 84ff)



= Simulation einer Induktivität die geschaltet wird und mit einer Diode im Freilauf

Orcad Capture - Lite Edition - [Property Editor]

File Edit View Place Macro Accessories Options Window Help

SCHMATIC1-Lwert

New Row... Apply Display... Delete Property Filter by: Orcad-PSpice

	A	B
Reference	SCHEMATIC1 : PA	/L1
Value	L1	L1
BiasValue Power	100uH	100uH
IC	0	0
Source Part	L Normal	L Normal
TOLERANCE		

Orcad Capture - Lite Edition - [Property Editor]

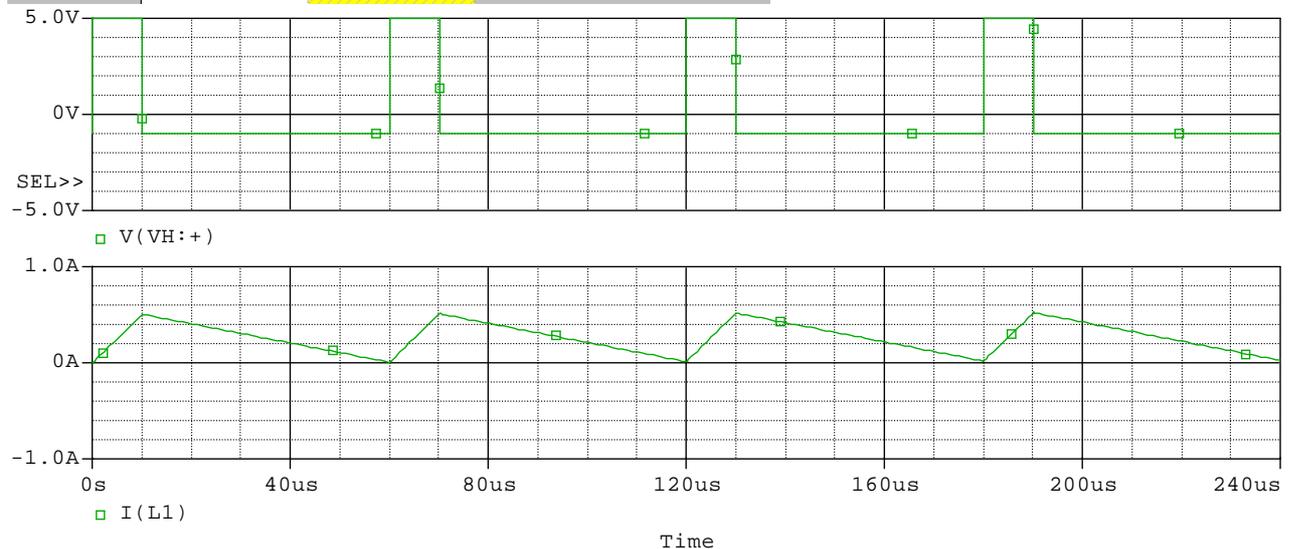
File Edit View Place Macro Accessories Options Window Help

SCHMATIC1-Lwert

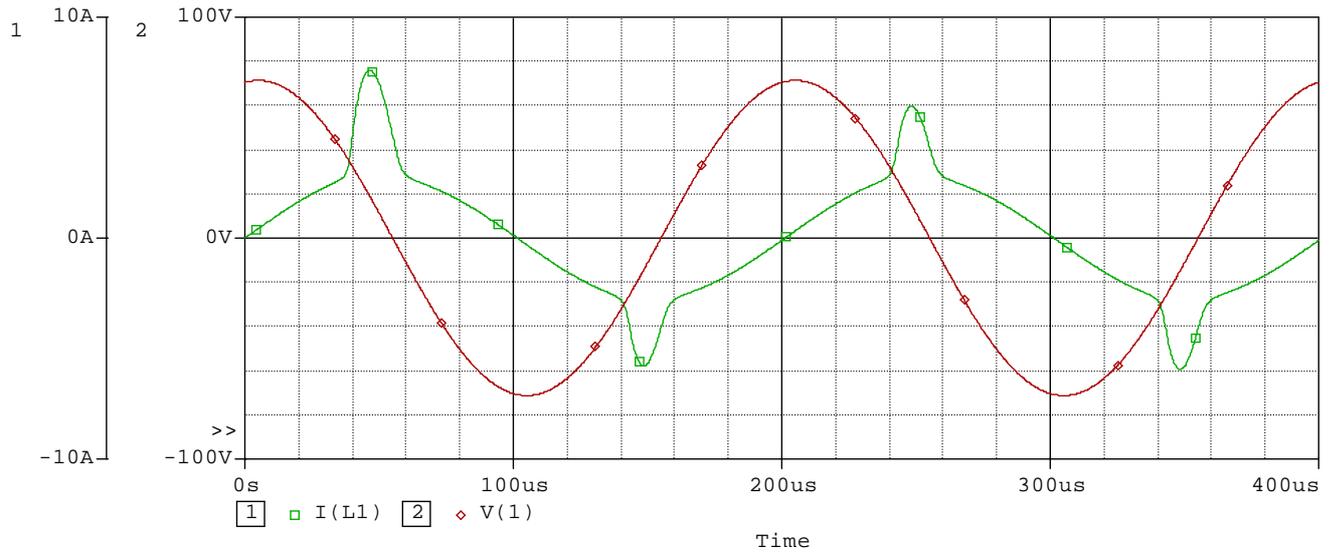
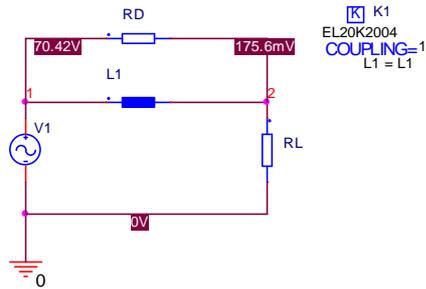
New Row... Apply Display... Delete Property Filter by: Orcad-PSpice

	A	B
Reference	SCHEMATIC1 : PA	/VH
Value	VH	VH
AC	VPULSE	VPULSE
BiasValue Power		-1.000nW
DC		
PER	60u	60u
PW	10u	10u
Source Part	VPULSE Normal	VPULSE Normal
TD	0	0
TF	100n	100n
TR	100n	100n
V1	-1	-1
V2	5	5

Durchlaßspannung Diode



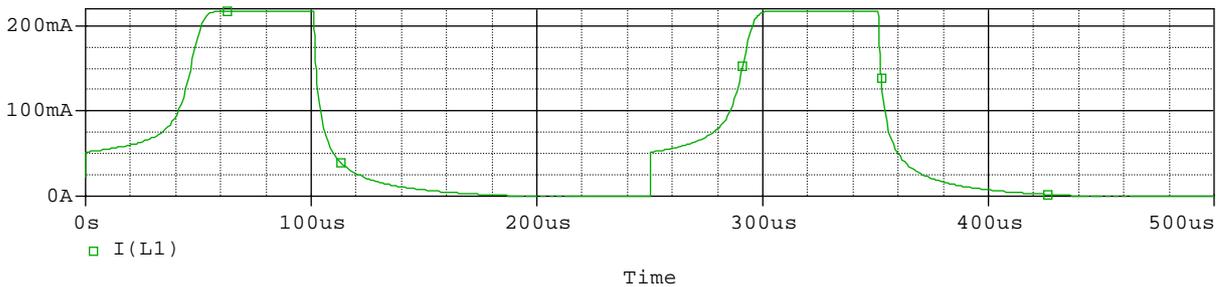
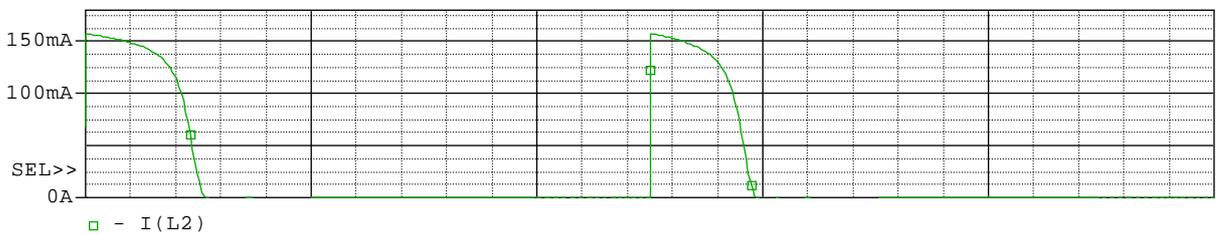
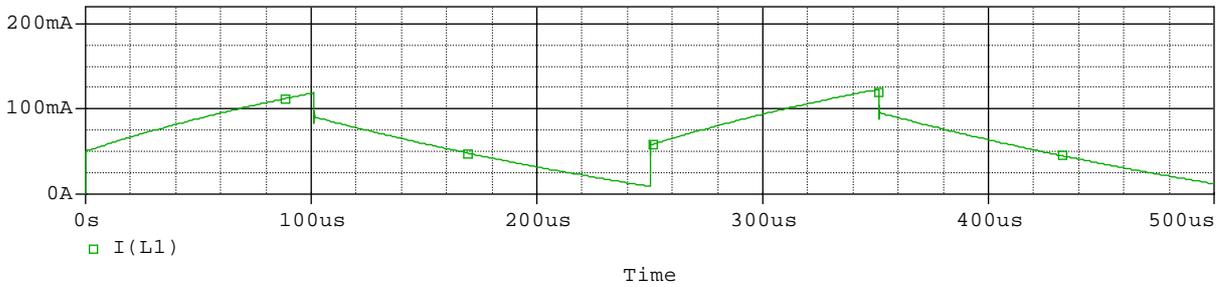
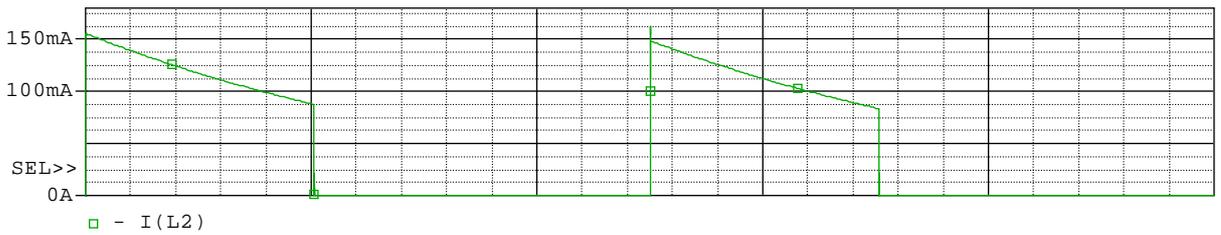
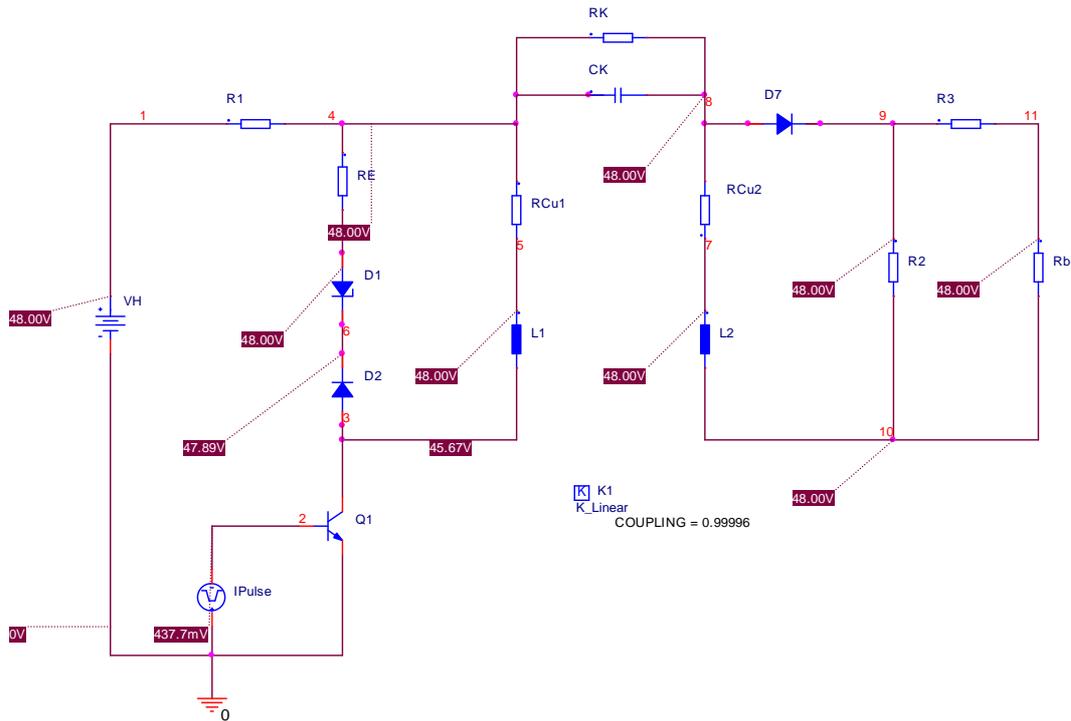
2) Demo3 = Sättigungserscheinungen an einer Induktivität ( Bei realen Induktivitäten ist auch bei nur einer Wicklung ein Koppelfaktor anzugeben ( hier K1 )



Zeitverzörrung (td=0 setzen )



Zündimpulsübertrager ( real + ideal)  
 = Verzeichnisse : Kernsimu\_Ideal + Kernsimu\_Real



**Vorlesung 8 am 24.04.2008 Thema :Unterprogramme**

**Operationsverstärker (siehe Buch Seite 122...)**

Einbindung komplexer Bauteile mit Unterprogrammen (Buch S. 72)

Bauteilkennzeichen :

Xname Anzahl der Anschlüsse Modellname  
Beispiel : X1 2 3 10 5 11 LT1013

Aufruf des Unterprogrammes :

.SUBCKT Modellname Anzahl der Knoten  
Beispiel : .subckt LT1013 1 2 3 4 5

Abschluß des UP mit :

.ENDS

In dem oben angegebenen Beispiel wird Knoten 2 ( aus dem aufrufenden Programm ) mit dem Knoten 1 ( im Unterprogramm) verbunden ( Knoten 3 mit Knoten 2 ; Knoten 10 mit Knoten 3 ) .

Anwendung : IC wie z.B. Operationsverstärker

Thyristoren, Triac

IGBT, GTO

Sowie vom Anwender definierte häufig sich wiederholende Schaltungsabschnitte  
Änderungen von Parameterwerten im Unterprogramm mit PARAMS : Name = Wert  
Operationsverstärker

***Wie findet man ein Bauteil, wenn der Name nicht genau bekannt ist ?***

Bauteilsuche mit Wildcards... z.B. \*741 ergibt z.B. ua741...

Beispiele :

**Simulation von Operationsverstärkern S121 Programm Seite 122**

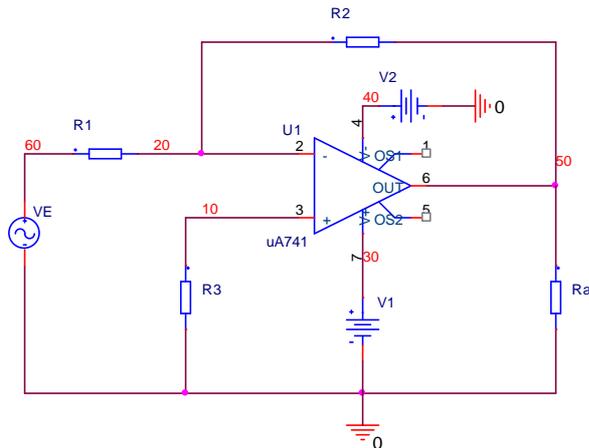
- a) idealisiert mit gesteuerter Spannungsquelle
- b) real- Makromodell uA741

Modell besteht aus :

**Egnd** = Spannungsgesteuerte Spannungsquelle  
**Fb** = Stromgesteuerte Stromquelle  
**Ga** = Spannungsgesteuerte Stromquelle  
**Hlim** = Stromgesteuerte Spannungsquelle

Sowie den Transistoren Q1 und Q2,diversen Dioden, R,C

1) Verzeichnis: OP = Invertierender Verstärker mit uA741 ;  
 R1=15k; R2=45k später auf 145k ; fein=1kHz ;  $\hat{u}=3V$



Anzeige der Netzliste über Menüpunkt des Unterprogrammes : PSPICE ... View Netlist

```

1: * source OP
2: V_V1      30 0 15
3: V_VE      60 0
4: +SIN 0 3 1000 0 0 0
5: R_Ra      50 0 1k
6: R_R2      20 50 45k
7: R_R1      60 20 15k
8: V_V2      40 0 -15
9: R_R3      10 0 15k
10: X_U1     10 20 30 40 50 uA741
11:

```

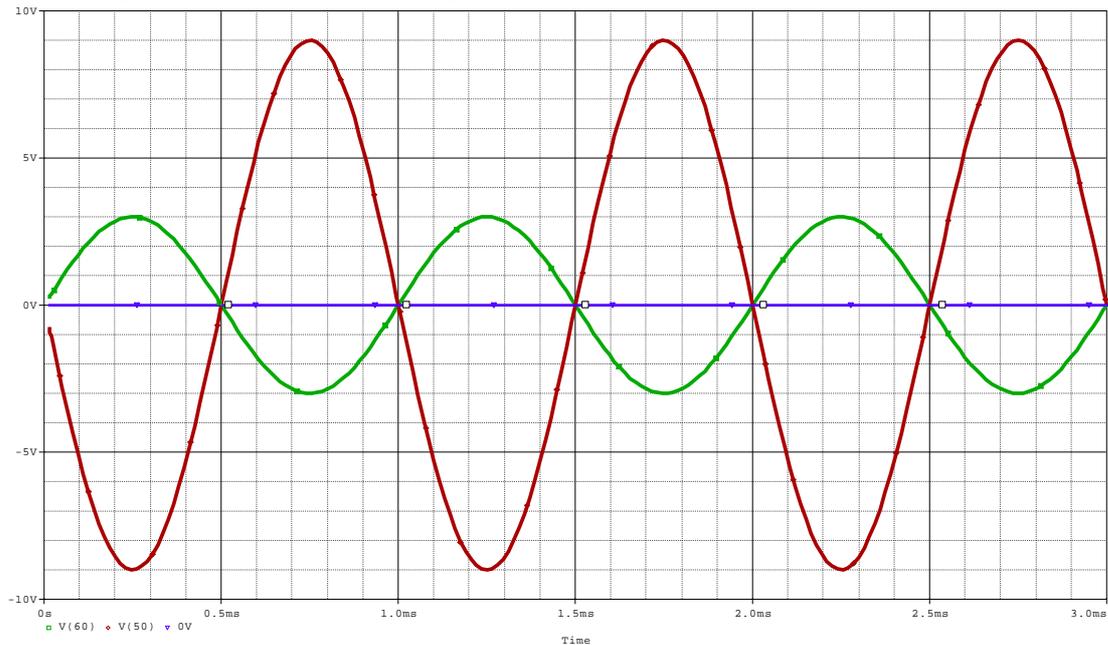
Wenn der OP mit der rechten Maustaste angeklickt wird erscheint ein Menü mit ... Edit Model

Erläuterung der Anschlüsse...

- Invertierender Eingang
- nichtinvertierender Eingang
- Ausgang...
- Spannungsversorgung mit  $\pm 15V$



Darstellung der normalen Rechenergebnisse



Grün: Eingangsspannung ; Braun: Ausgangsspannung

Aufgabe : Darstellung eines unterprogramminternen Stromes ( Eingangsstrom ... )

**Add Traces**

Simulation Output Variables

- Analog
- Digital
- Voltages
- Currents
- Power
- Noise [V<sup>2</sup>/Hz]
- Alias Names
- Subcircuit Nodes

206 variables listed

Functions or Macros

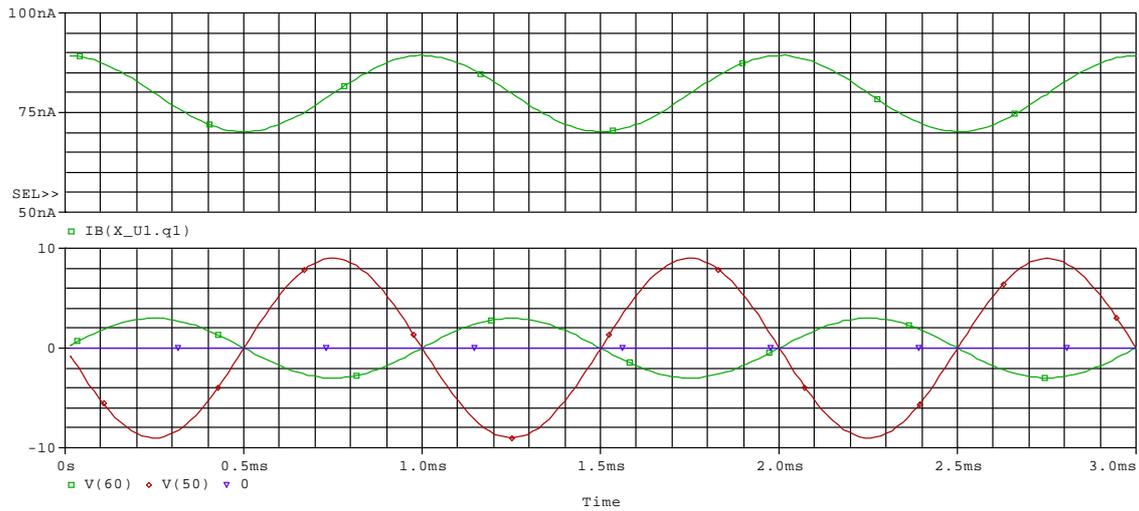
Analog Operators and Functions

- #
- ()
- \*
- +
- 
- /
- @
- ABS()
- ARCTAN()
- ATAN()
- AVG()
- AVGX( . )
- COS()
- D()
- DB()
- ENVMAX( . )
- ENVMIN( . )
- EXP()
- G()
- IMG()
- LOG()
- LOG10()
- M()
- MAX()

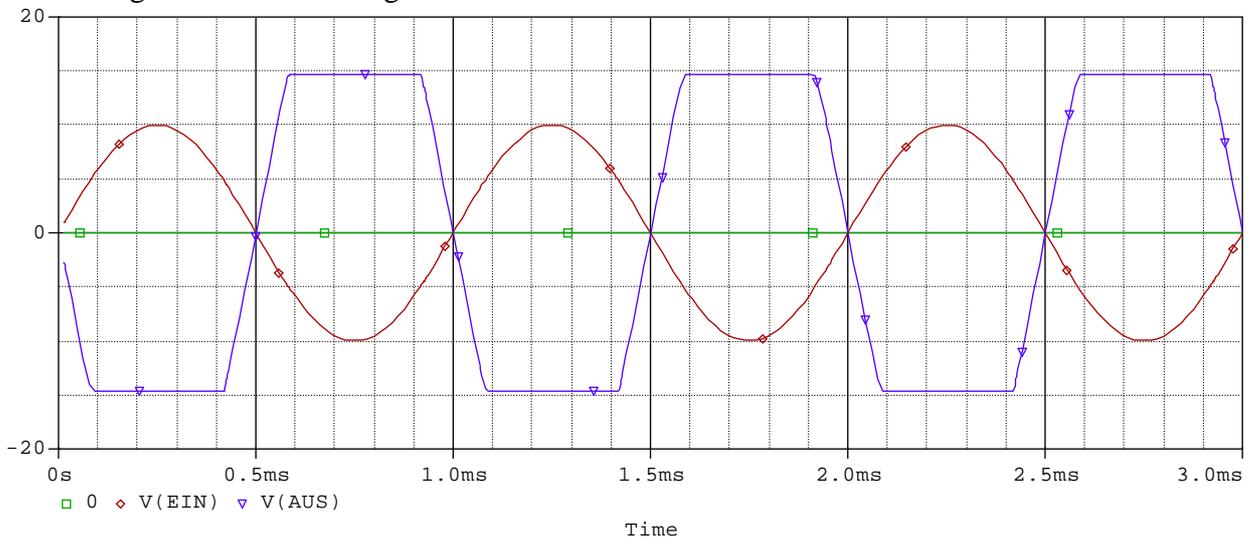
Trace Expression: |

OK Cancel Help

Basisstrom des internen Transistors Q1



Veränderung der Eingangsspannung von  $\hat{u} = 3V$  auf  $\hat{u} = 10V$  (erhöht...)  
 → darstellung von Übersteuerungen

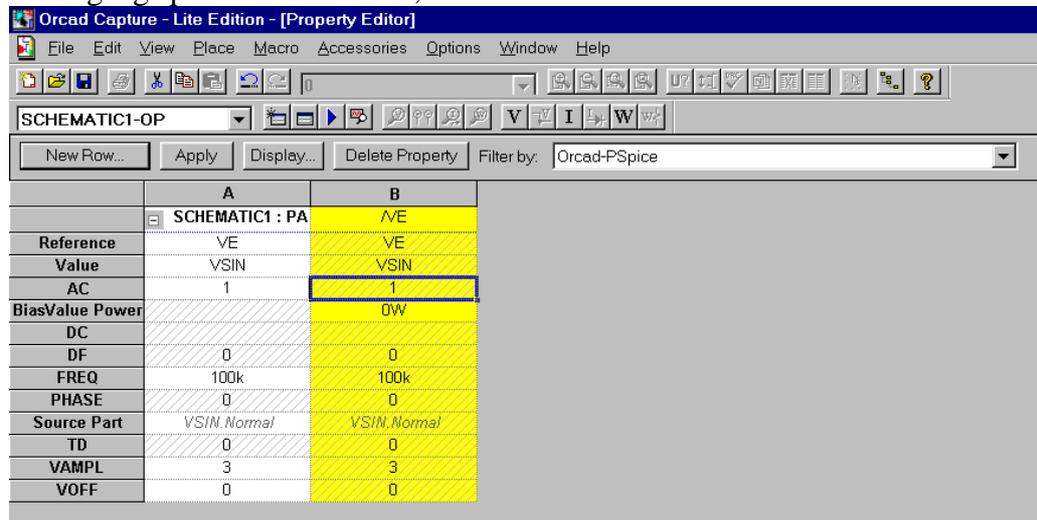


**Darstellung des Frequenzganges**

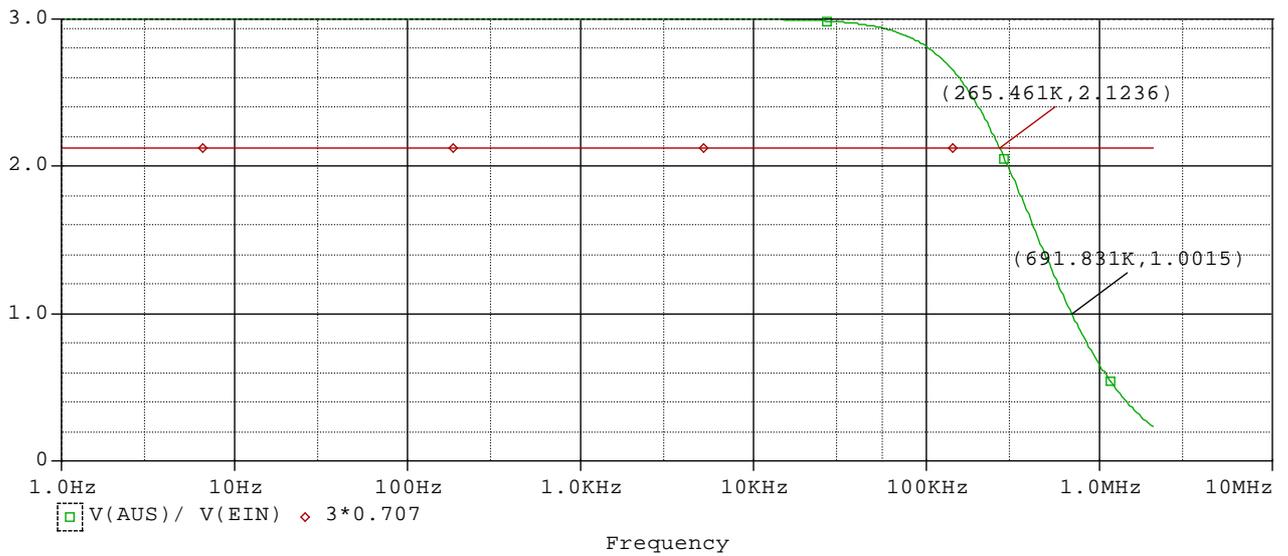
aus dem gewählten Beispiel den Frequenzgang darstellen...  
 entweder die Eingangsquelle von vsin nach vac verändern ( neues Bauteil )

**oder**

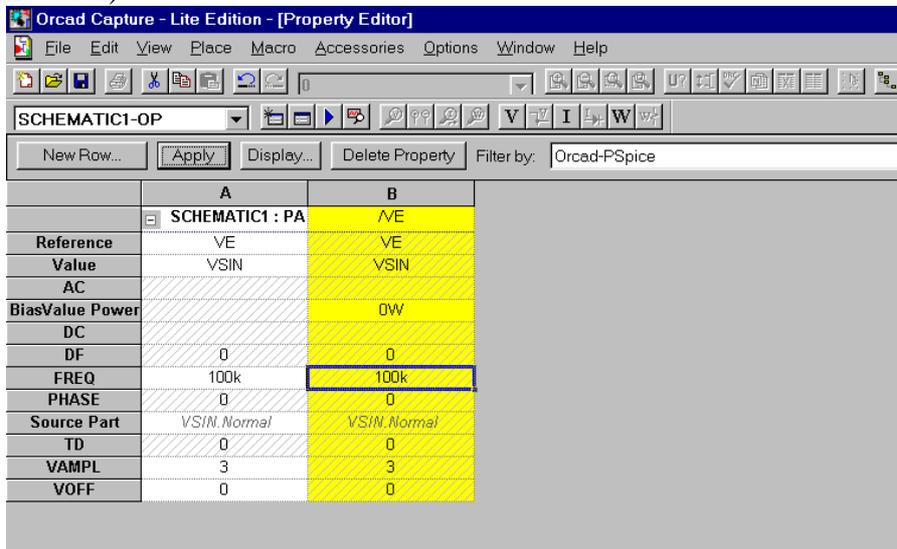
... Eingangsquelle so verändern, dass auch ein AC-Anteil vorhanden ist...



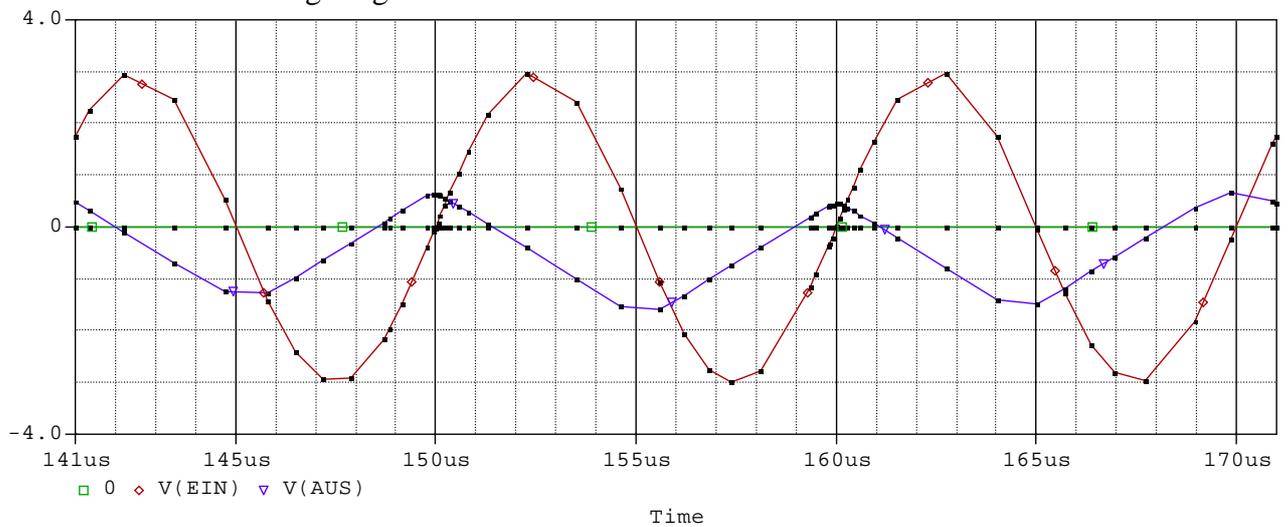
Simulationsumgebung neu einstellen... AC-Analysys ...Bereich ca. 1Hz-2MEG – Hz  
 Normal : FREQ=1KHz

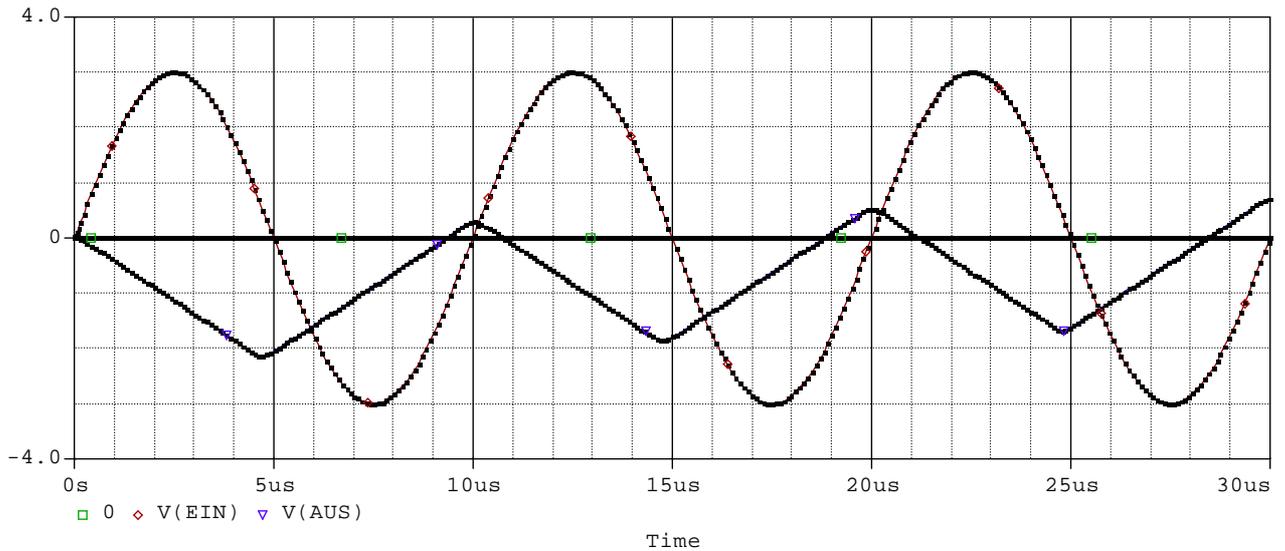


Eingangsfrequenz so verändern, das Grenzen erkennbar werden ( z.B. Eingangsfrequenz 100kHz)

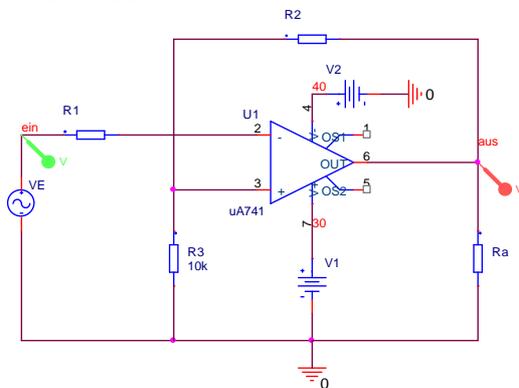


es erscheint ein sehr buntes Bild... nach reichlichem Zoomfaktor ist deutlich zu erkennen, das die Rechenschrittweite zu groß gewählt wurde... sinnvolle Parameter einstellen...

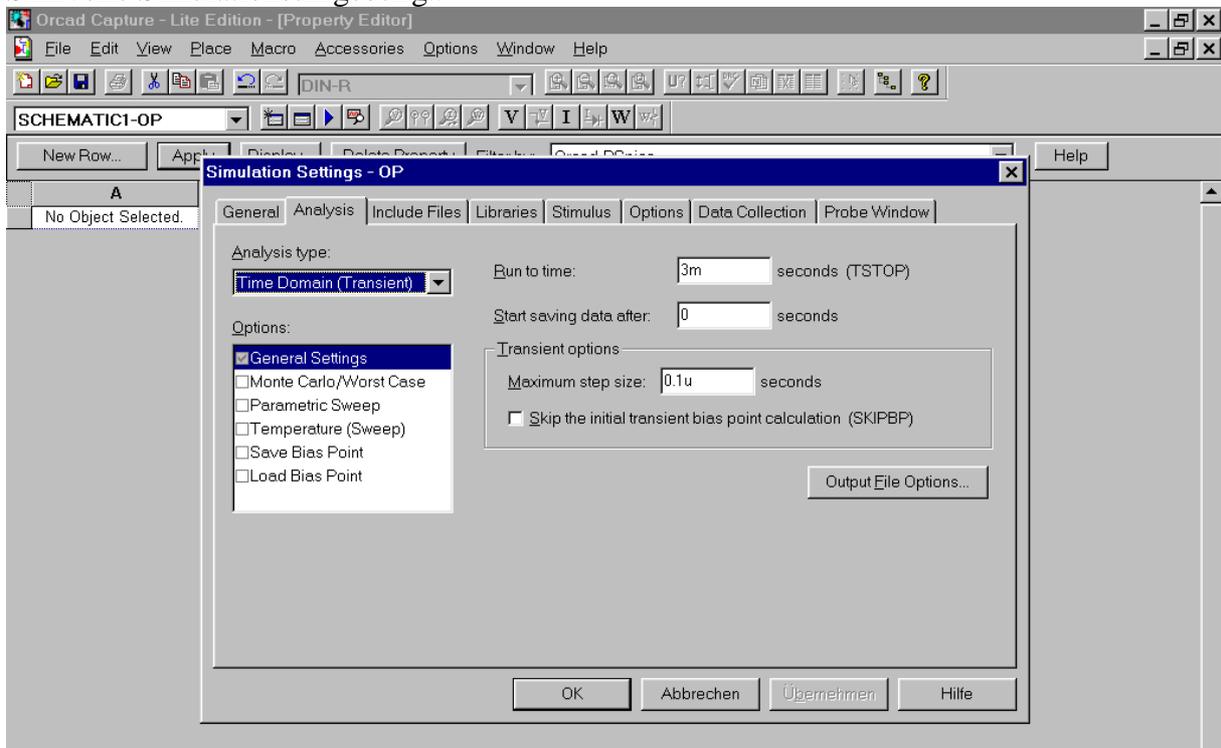


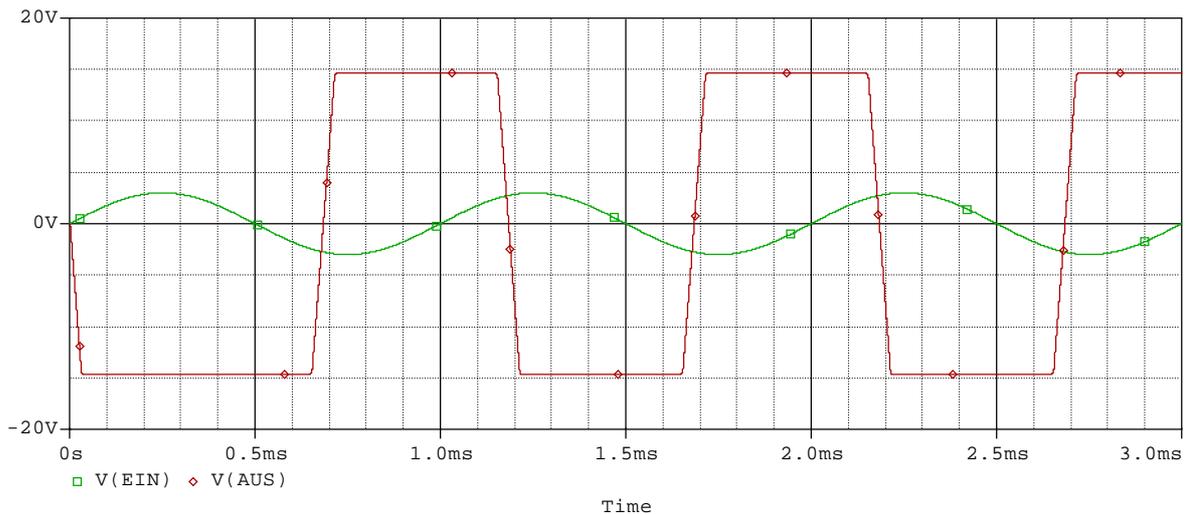


Mitgekoppelter Verstärker ( $R_2=50K$  ;  $R_1=10K$ ) ... Schaltungsverdratung verändern...

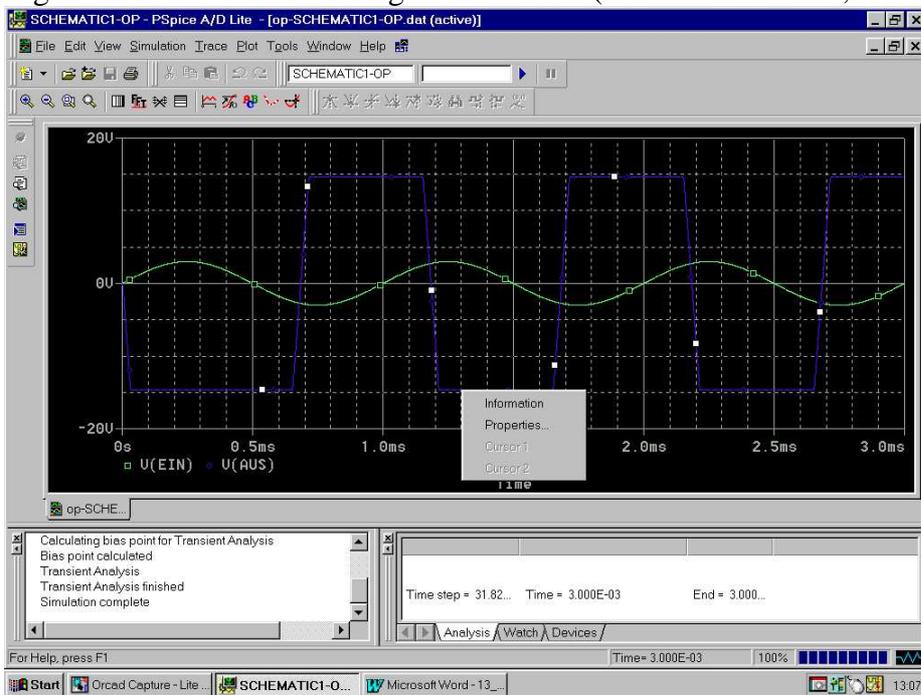


Sinnvolle Simulationsumgebung..

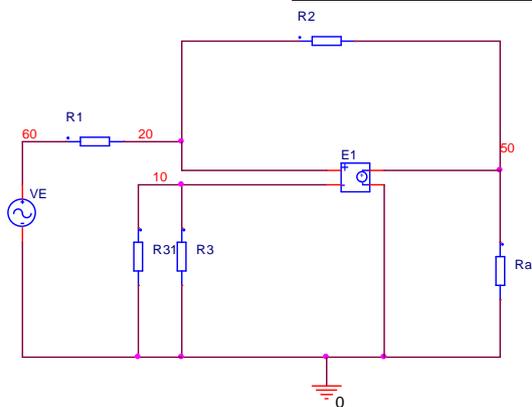




Mit der rechten Maustaste auf die Kurve klicken → unter „Properties“ können die Eigenschaften der Kurven eingestellt werden ( z.B. : Strichstärke;Farben).



**Simulation mit idealem Operationsverstärker...man beachte den Fehler...**  
**(Eingangsbeschaltung ist offensichtlich egal...)**

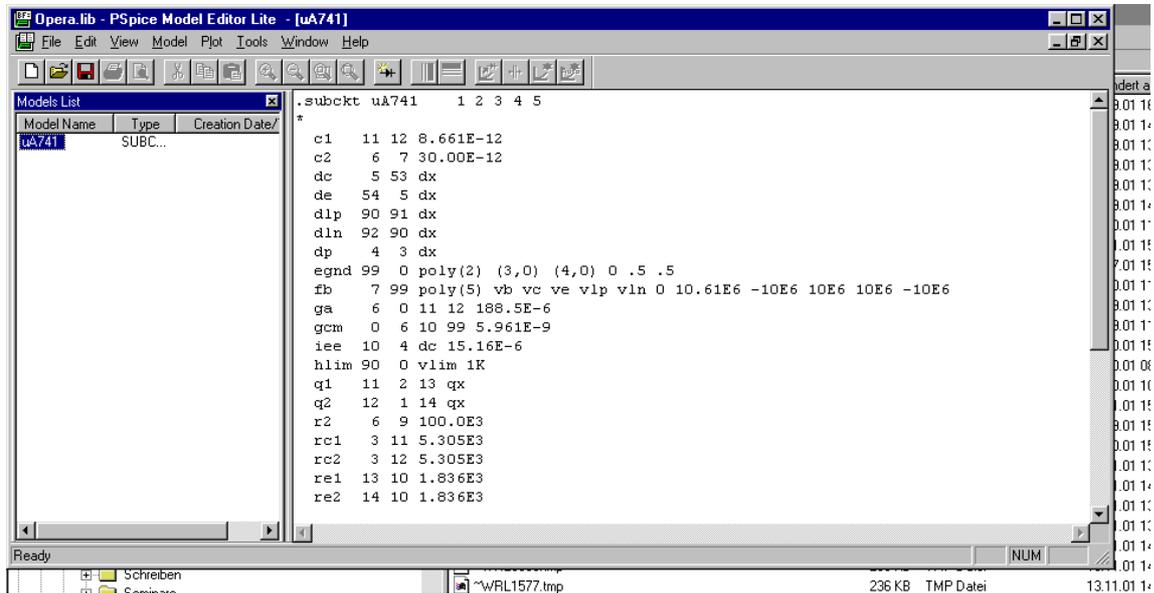


**Wie wird ein neues Unterprogramm eingebunden?**

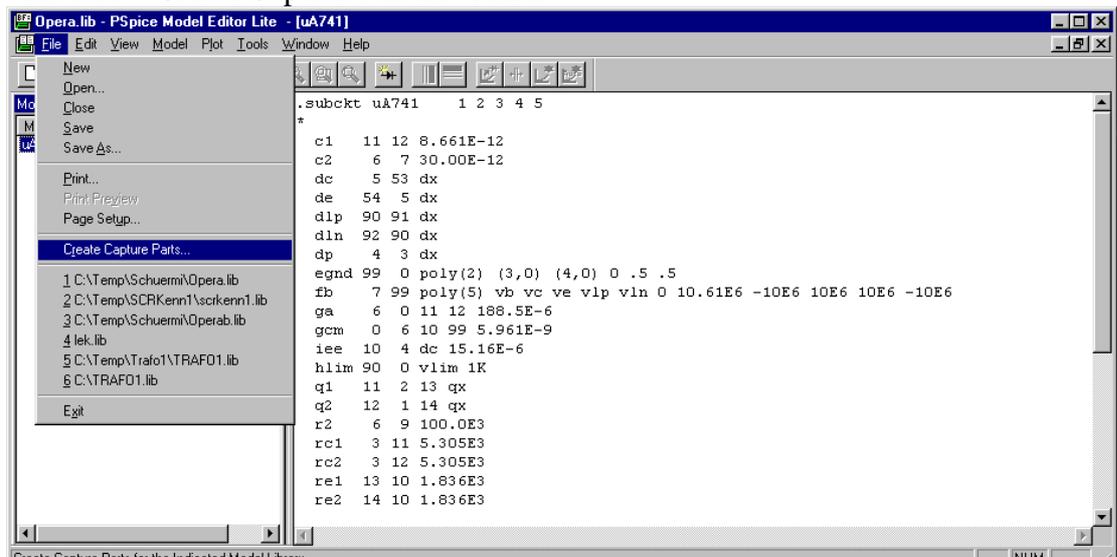
Schaltungsdefinition aus dem Internet laden oder eigene Datei erzeugen ( mit Texteditor ) und als „name.lib“ speichern !

Modelleditor starten und dort diese Bibliothek laden....

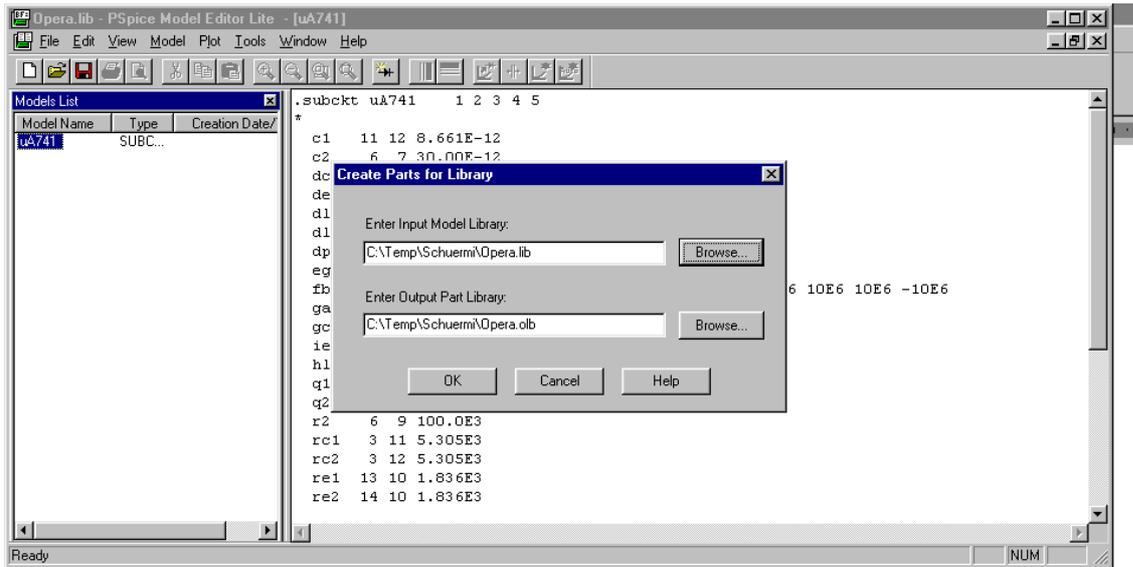
Es erscheint sofort der Name des Bauteiles....



Jetzt File... Create Capture Part anwählen...



dann Bibliothek auswählen...

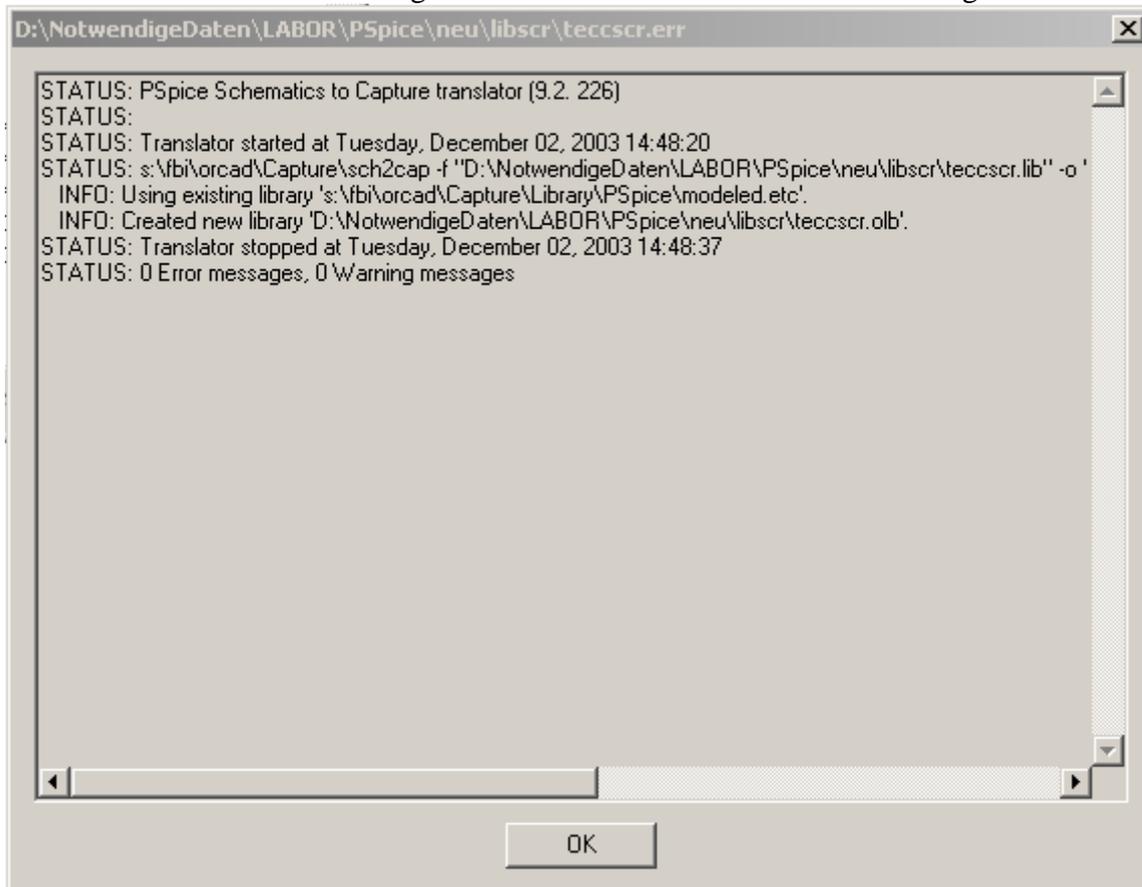


und bestätigen... dadurch wird ein Kasten erzeugt der genau so viele Anschlüsse wie die Unterprogrammdefinition als Ein bzw. Ausgänge hat...

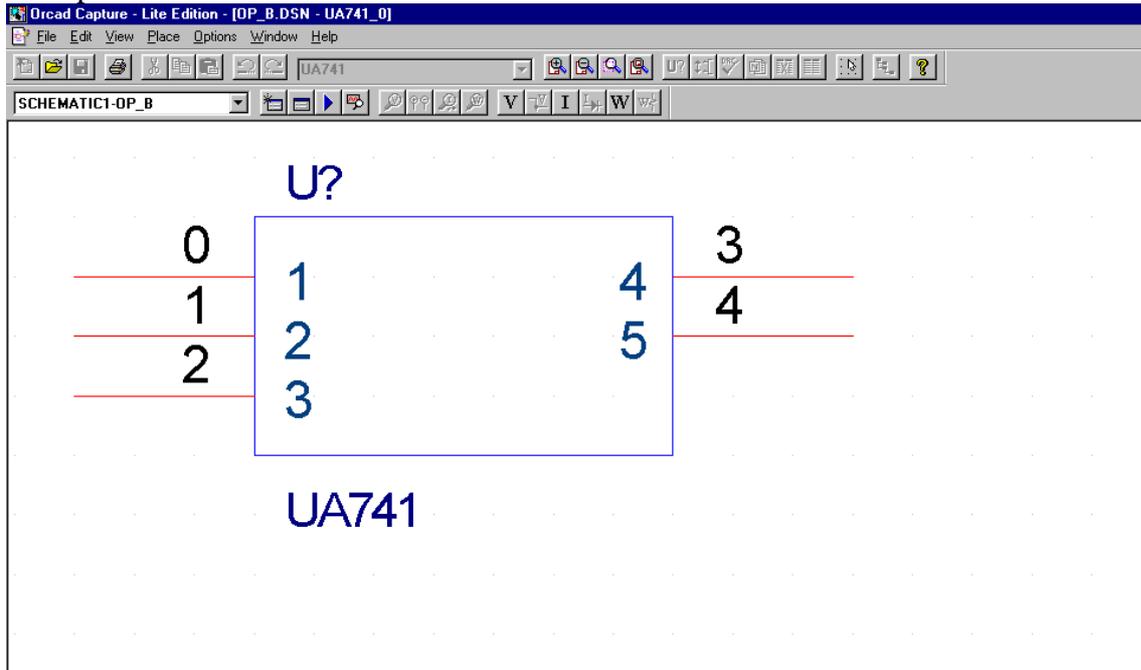
Mit dieser "Bluebox" können sofort Simulationen durchgeführt werden. Sie sollten sich allerdings ansehen welche Funktion welcher Pin hat.

Wenn gewünscht kann dieser "Kasten" jetzt noch mit Symbolen so ausgestattet werden, das die Funktion nach außen erkannt werden kann...

Nach dem ausführen dieses Programmes erscheint ein Fenster mit Meldungen...



In Capture unter... Edit Part nachdem das Bauteil markiert wurde



Funktion der Pins ( aus UP-definition holen ...)

```

*-----
* connections: non-inverting input
*               | inverting input
*               || positive power supply
*               ||| negative power supply
*               ||| | output
*               ||| | |
.subckt uA741  1 2 3 4 5
    
```

Auf den nächsten zwei Seiten ist ein Auszug aus einem Datenbuch der Firma TexasInstruments angegeben...

**TLE2027, TLE2027A, TLE2027Y**  
**EXCALIBUR LOW-NOISE HIGH-SPEED**  
**PRECISION OPERATIONAL AMPLIFIERS**  
 SLOS054D – MAY 1990 – REVISED SEPTEMBER 1996

### APPLICATION INFORMATION

#### macromodel information

Macromodel information provided was derived using *PSpice™ Parts™* model generation software. The Boyle macromodel (see Note 6) and subcircuit in Figures 44 and 45 were generated using the TLE2027 typical electrical and operating characteristics at 25°C. Using this information, output simulations of the following key parameters can be generated to a tolerance of 20% (in most cases):

- Maximum positive output voltage swing
- Maximum negative output voltage swing
- Slew rate
- Quiescent power dissipation
- Input bias current
- Open-loop voltage amplification
- Gain-bandwidth product
- Common-mode rejection ratio
- Phase margin
- dc output resistance
- ac output resistance
- Short-circuit output current limit

NOTE 6: G. R. Boyle, B. M. Cohn, D. O. Pederson, and J. E. Solomon, "Macromodeling of Integrated Circuit Operational Amplifiers", *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, SC-9, 353 (1974).

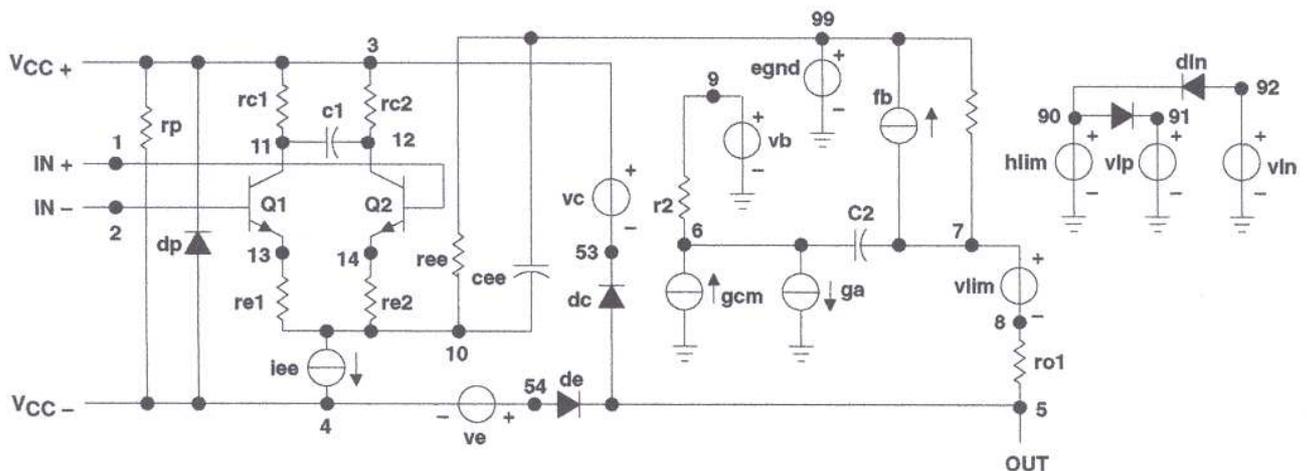


Figure 44. Boyle Macromodel

**TLE2027, TLE2027A, TLE2027Y**  
**EXCALIBUR LOW-NOISE HIGH-SPEED**  
**PRECISION OPERATIONAL AMPLIFIERS**  
 SLOS054D – MAY 1990 – REVISED SEPTEMBER 1996

---

**APPLICATION INFORMATION**

**macromodel information (continued)**

```
.subckt TLE2027 1 2 3 4 5
*
c1      11  12  4.003E-12
c2      6   7  20.00E-12
dc      5   53 dz
de      54  5  dz
dlp     90  91 dz
dln     92  90 dx
dp      4   3  dz
egnd    99  0  poly(2) (3,0) (4,0) 0 5 .5
fb      7   99 poly(5) vb vc ve vlp vln 0 954.8E6 -1E9 1E9 1E9 -1E9
ga      6   0  11 12  2.062E-3
gcm     0   6  10 99  531.3E-12
iee     10  4  dc  56.01E-6
hlim    90  0  vlim 1K
q1      11  2  13 qx
q2      12  1  14 qx
r2      6   9  100.0E3
rc1     3   11 530.5
rc2     3   12 530.5
re1     13  10 -393.2
re2     14  10 -393.2
ree     10  99 3.571E6
ro1     8   5  25
ro2     7   99 25
rp      3   4  8.013E3
vb      9   0  dc  0
vc      3   53 dc  2.400
ve      54  4  dc  2.100
vlim    7   8  dc  0
vlp     91  0  dc  40
vln     0   92 dc  40
.modeldx D(Is=800.0E-18)
.modelqx NPN(Is=800.0E-18 Bf=7.000E3)
.ends
```

**Figure 45. Macromodel Subcircuit**

**Vorlesung 9 Simulation von Thyristoren (SCR) am 08.05.2008**

Buch Seite 112,115

Modelleinbau X1 1 2 3 SCR

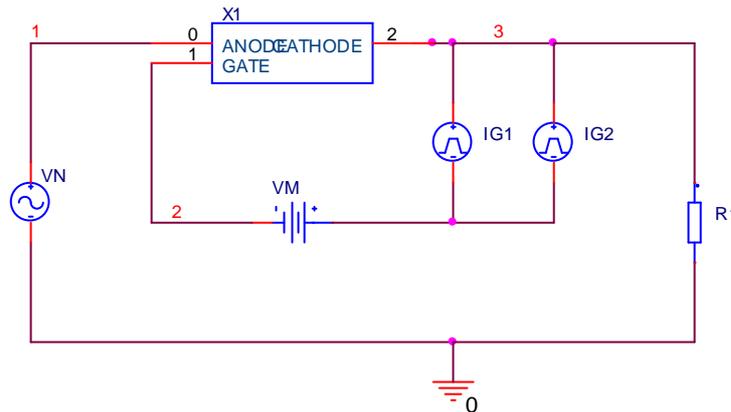
Änderung der internen Modellparameter mit PARAMS

Kennlinie eines Thyristors :

→ Programm SCRKENN1.CIR Seite 115

Verzeichnis &gt;: SCRKENN1

Schaltbild ( Anmerkung : VM stellt lediglich eine Meßspannungsquelle dar → Editieren und erläutern... )

Eingangsspannung :  $f=2\text{kHz} \rightarrow T=500\mu\text{s}$  ; Impulsquellen : IG1  $t_d=500\mu\text{s}$  ; IG2  $t_d=1\text{ms}$ 

Wenn die Netzliste aufgerufen wird ( Pspice -&gt; View Netlist ) erscheint das Programm :

```
* source SCRKENN1
I_IG2      3 N01143 DC 0Aadc AC 0Aac
+PULSE 0 1m 1m 50n 50n 100u 500u
V_VN      1 0
+SIN 0 120 2000 0 0 0
R_R1      3 0 200
V_VM      N01143 2 0Vdc
X_X1      1 2 3 2N1595
I_IG1      3 N01143 DC 0Aadc AC 0Aac
+PULSE 0 1m 500u 50n 50n 100u 500u
```

Wenn das PspiceModel angezeigt wird erscheint folgendes ( auszugsweise )

.SUBCKT 2N1595 anode gate cathode

\* "Typical" parameters

**X1 anode gate cathode Scr PARAMS:**

+ Vdrm=50v Vrrm=50v Ih=50ma Vtm=1.1v Itm=1

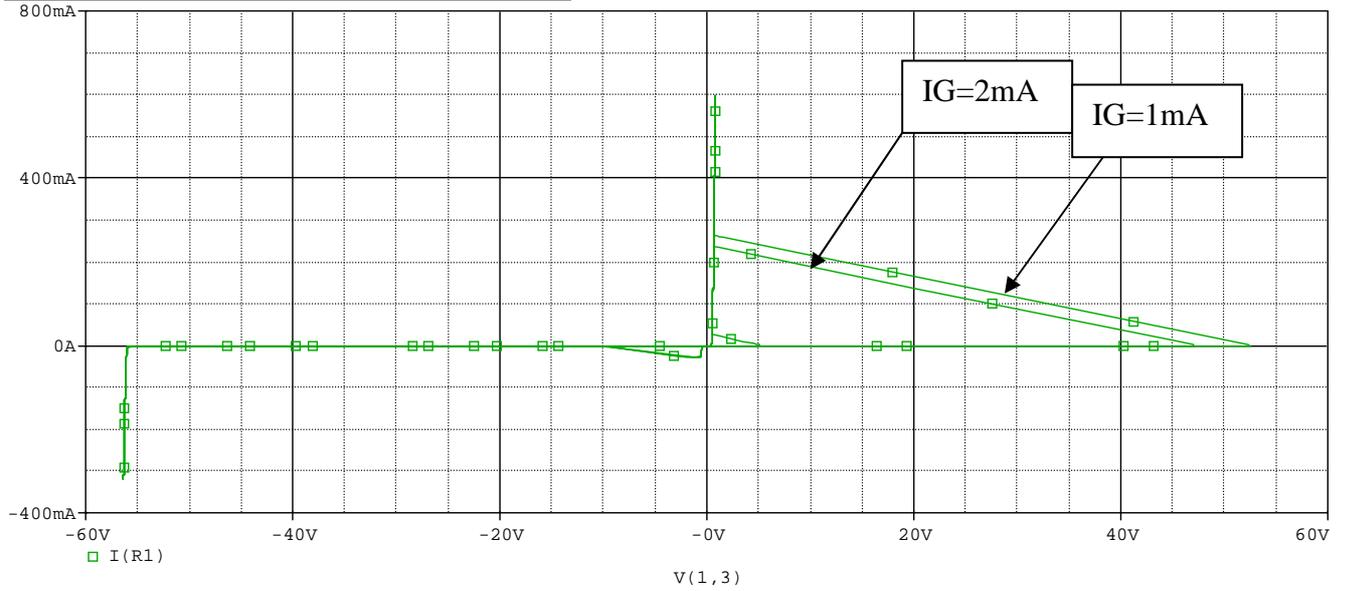
+ dVdt=1e9 Igt=2ma Vgt=.7v Ton=0.8u Toff=10u

+ Idm=10u

.ENDS

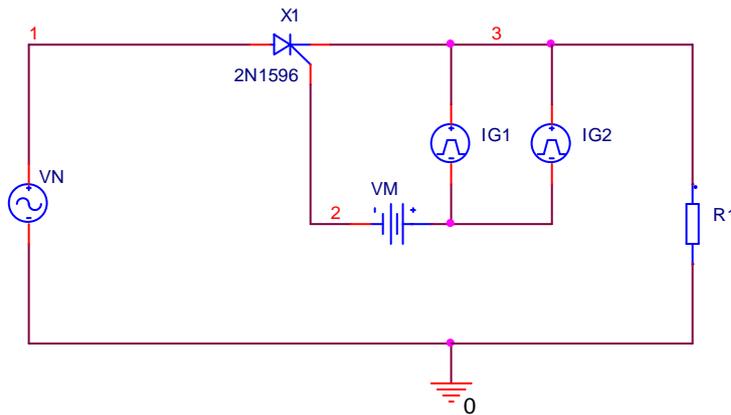
Das „Unterprogramm“ 2N1595 ruft also seinerseits das Unterprogramm SCR auf ...

**Darstellung der Kennlinie eines Thyristors**



Anmerkung : Je größer der Gatestrom, desto früher schaltet der Thyristro ein !

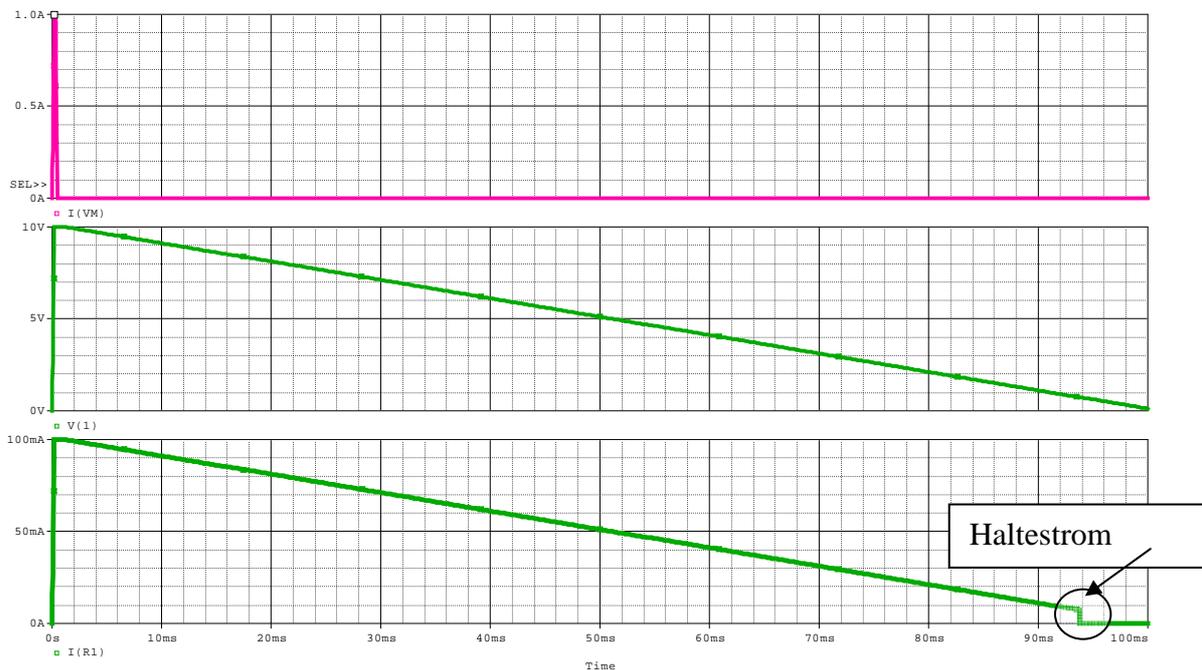
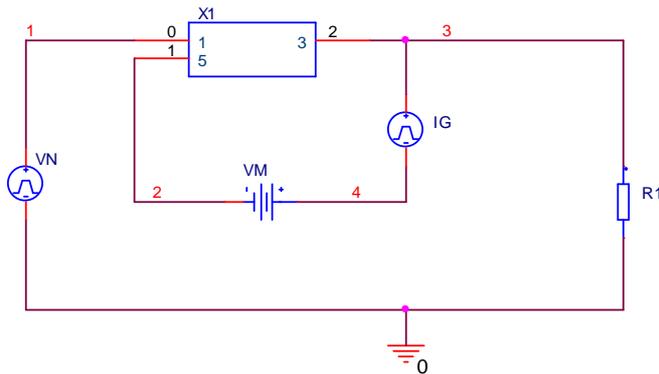
Beispiel SCRKENN1A verwendet den vorhandenen Thyristor 2N1596



... es ergeben sich leicht veränderte Werte...

Verzeichnis : SCRTEST

Darstellung des Haltestromes des eigenen Thyristormodells



Erläuterung des Unterprogrammes auf der Seite 113 im Buch ( Verzeichnis SS2007\Buch\Kap3\_5 )

Hier wird der eigene Thyristor getestet

Das Unterprogramm sieht wie folgt aus :

```

*** Unterprogramm Tyristor ( Ideal )
*   Anode Gate Kathode
.subckt scrneu 1 5 3
h1 400 0 vm 180 → Stromgesteuerte Spannungsquelle
dg 40 41 d
vg 41 0 dc 1
rt 400 40 100
ct 40 0 68n
rtl 40 0 50
s1 1 2 40 0 schalter
.model schalter vswitch (von=0.5 voff=0.3 ron=60m ROFF=800K)
vm 2 3 dc 0 → Meßstromquelle
r1 5 2 1
.model d d
.ends scrneu
    
```

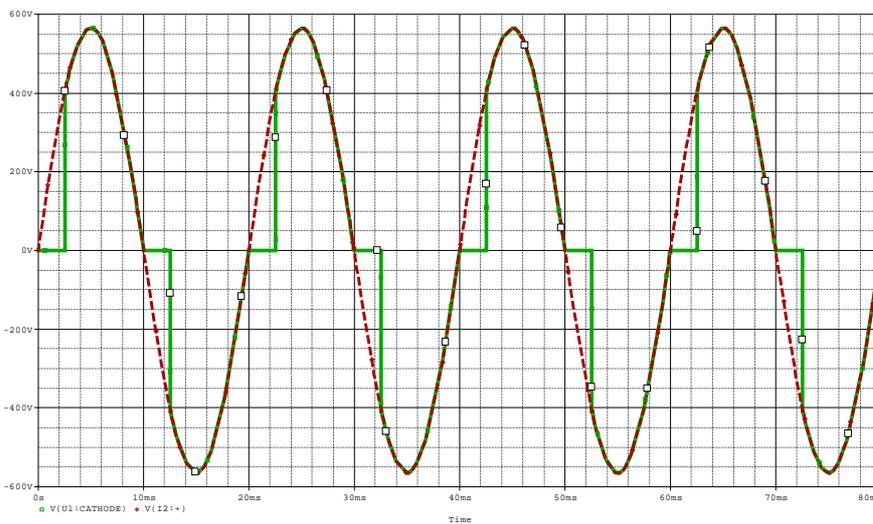
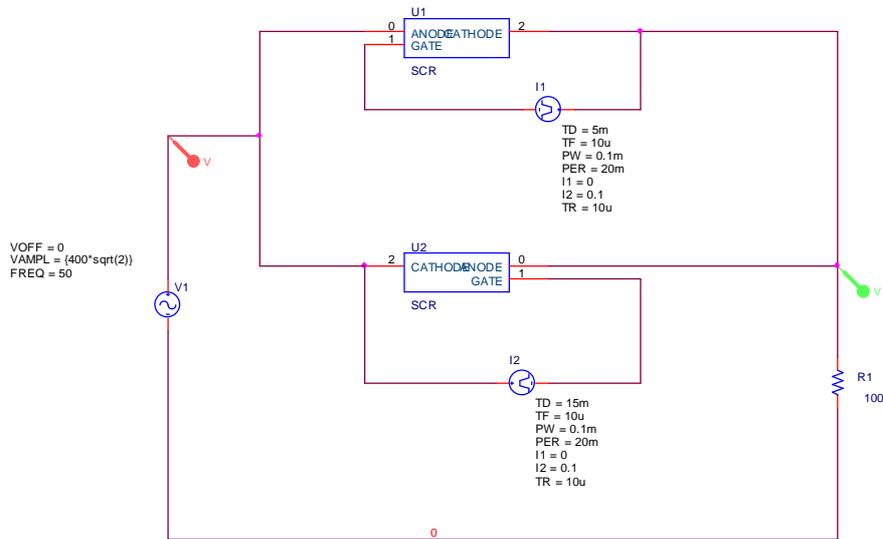
**Erläuterung des eigenen Modells :**

Gatestrom von 5→3 über R1 und Vm ...Vm als Meßspannungsquelle mit Faktor 180 multipliziert. Spannungsquelle H1 lädt über Rt Ct auf ( Einschaltverzögerung ) Spannung über ct zwischen 40→0 steuert den Schalterwiderstand S1

**Aufgabe**

**Simulieren eines Wechselstromstellers mit einem Triac (mit Hilfe von 2 antiparallelen Thyristoren vom TYP SCR)**

( Verzeichnis :Vorlesung9\TRIAC\TRIAC2 ) ; Anschnittwinkel : 90°!

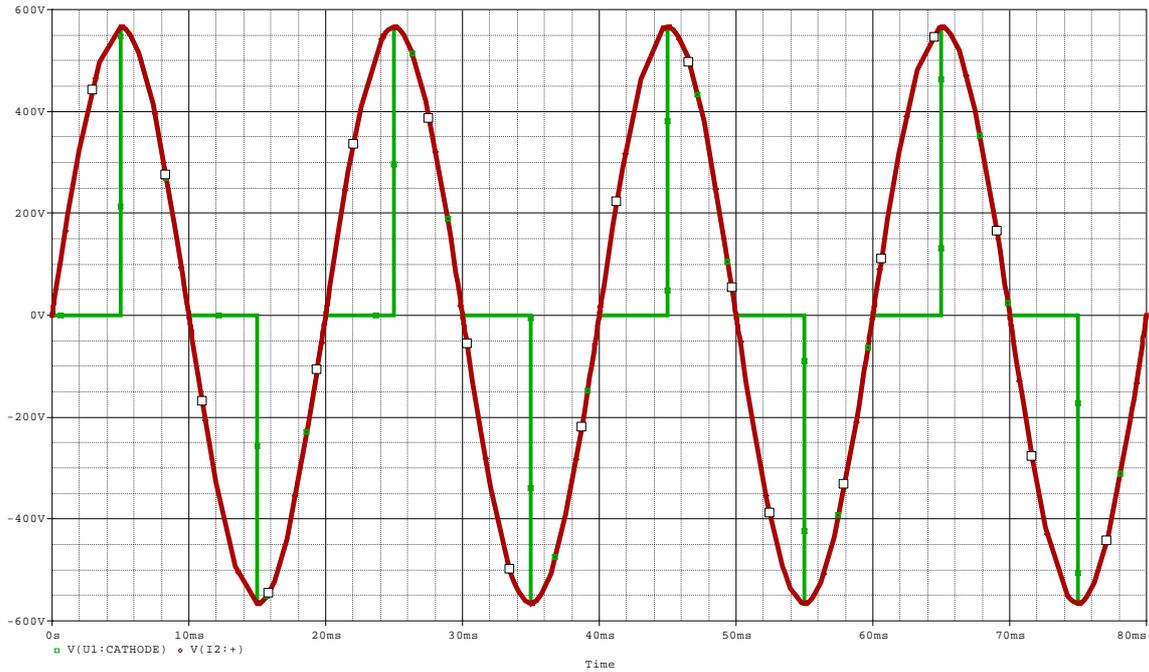


Triac schaltet bei 400 V ein , da Sperrspannung zu klein ist... **Vdrm=1200v Vrrm=1200v setzen !**

Orcad Capture - Lite Edition - [Property Editor]

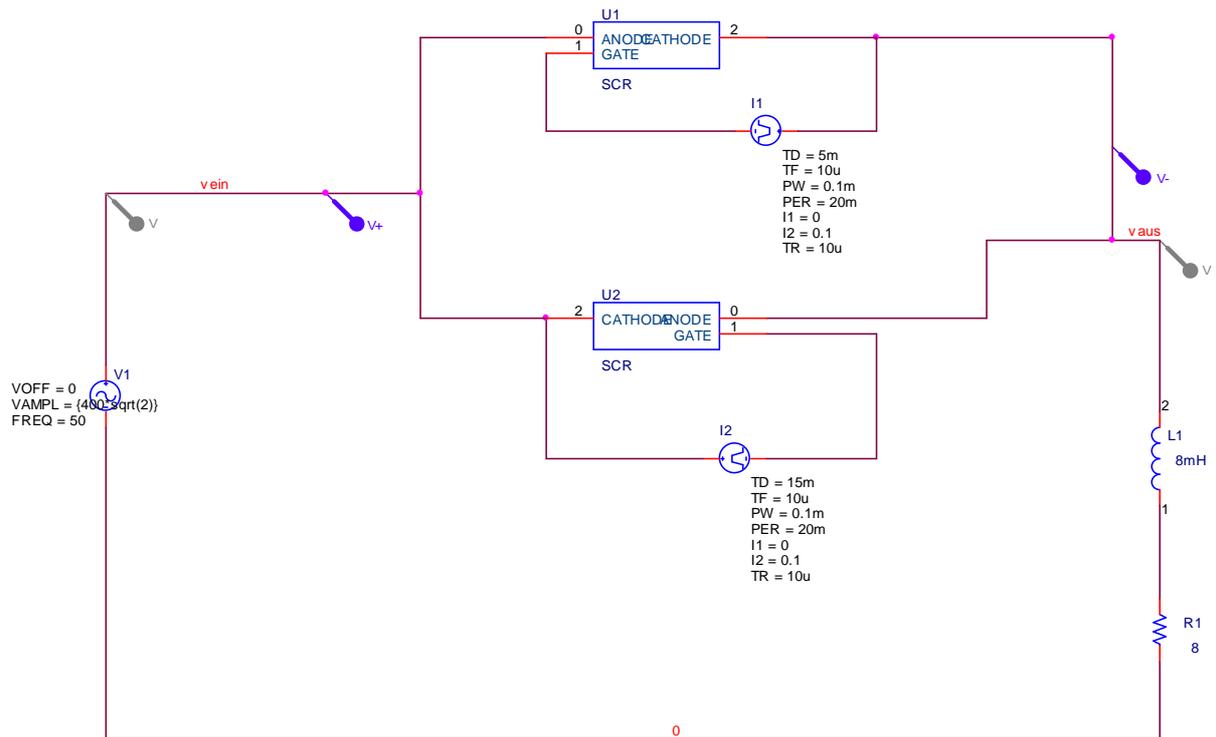
SCHEMATIC1-Triac

	A	B
Reference	U1	U1
Value	SCR	SCR
wert		
BiasValue Power		0W
DVDT	5E8	5E8
IDRM	10U	10U
IGT	5MA	5MA
IH	6MA	6MA
ITM	24	24
Source Part	SCR_Normal	SCR_Normal
TOFF	15U	15U
TON	1U	1U
VDRM	1200V	1200V
VGT	0.7V	0.7V
VRRM	1200V	1200V
VTM	1.7V	1.7V

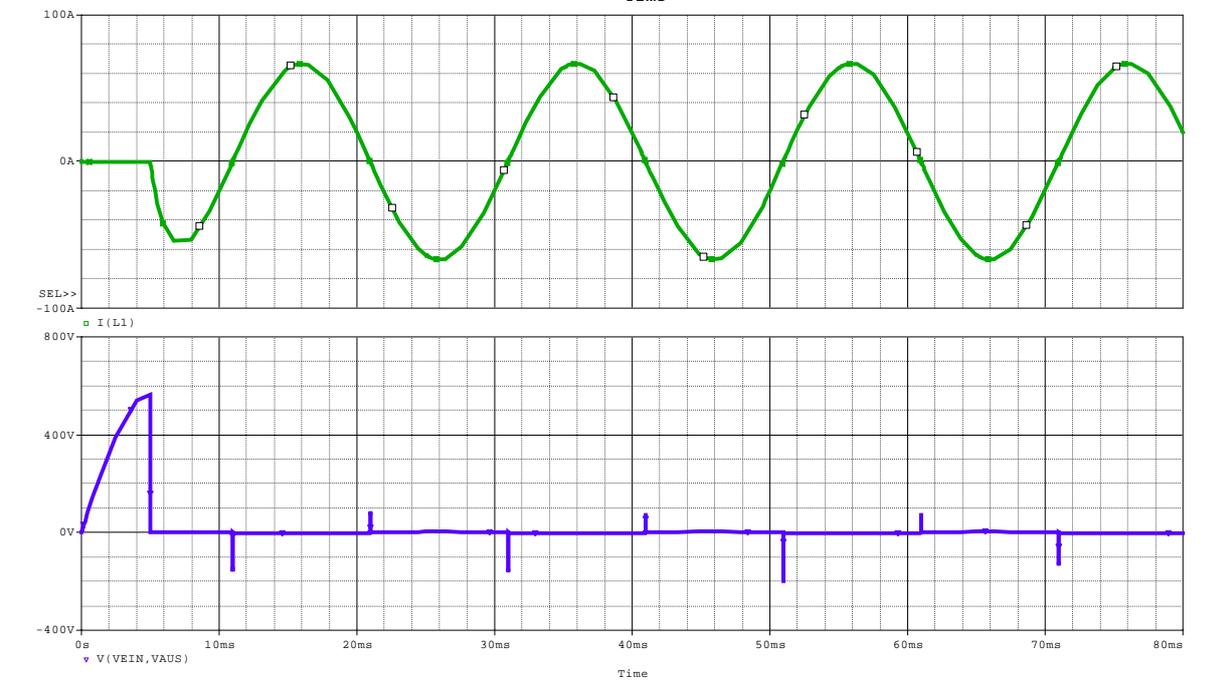
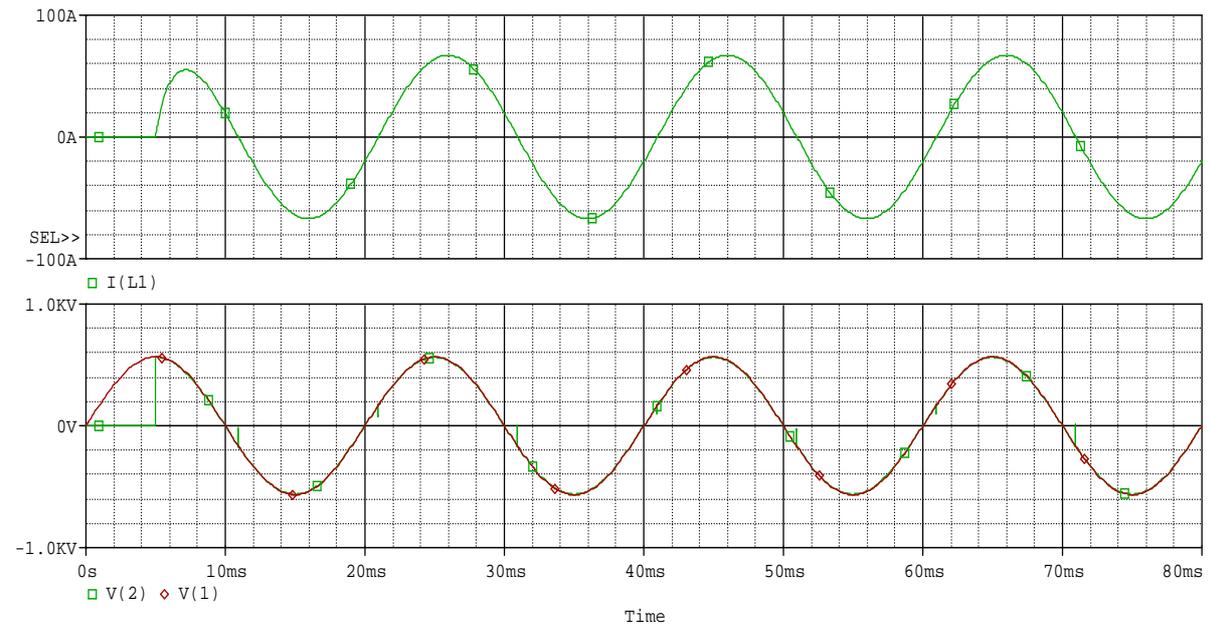


Nächste Variante : Ohmsch/Induktive Last ( ohne TSE-Schutz )

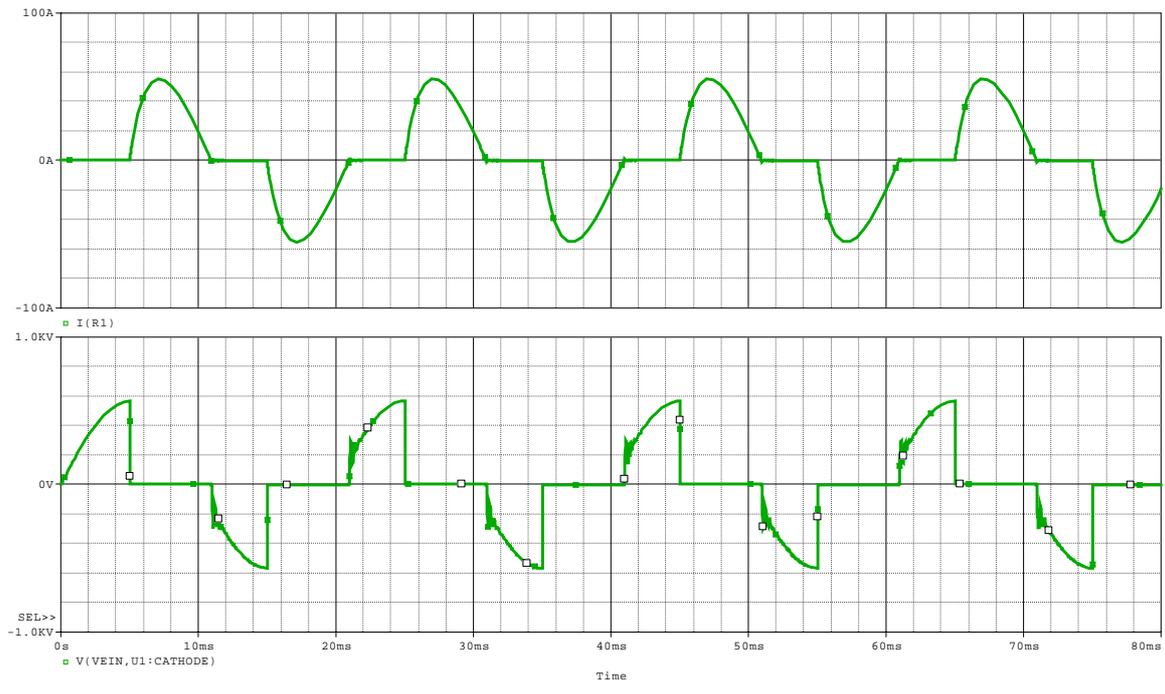
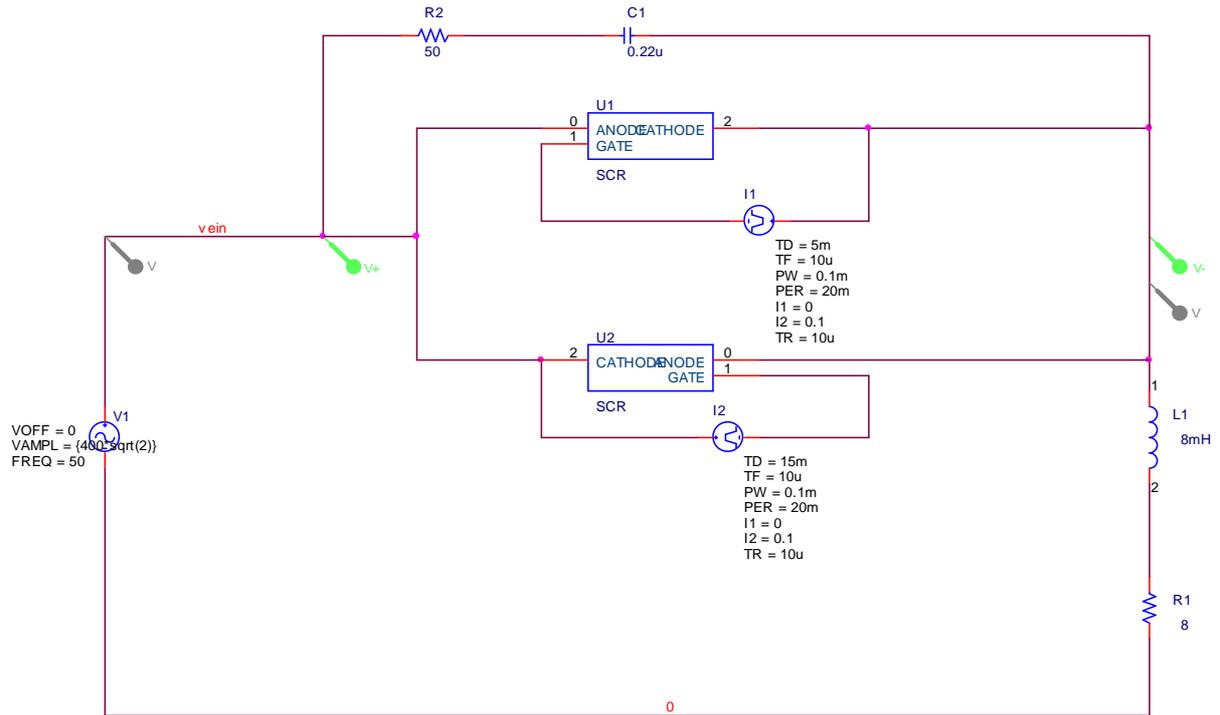
→ Verzeichnis Induktiv\_ohne\_TSE\_Schutz



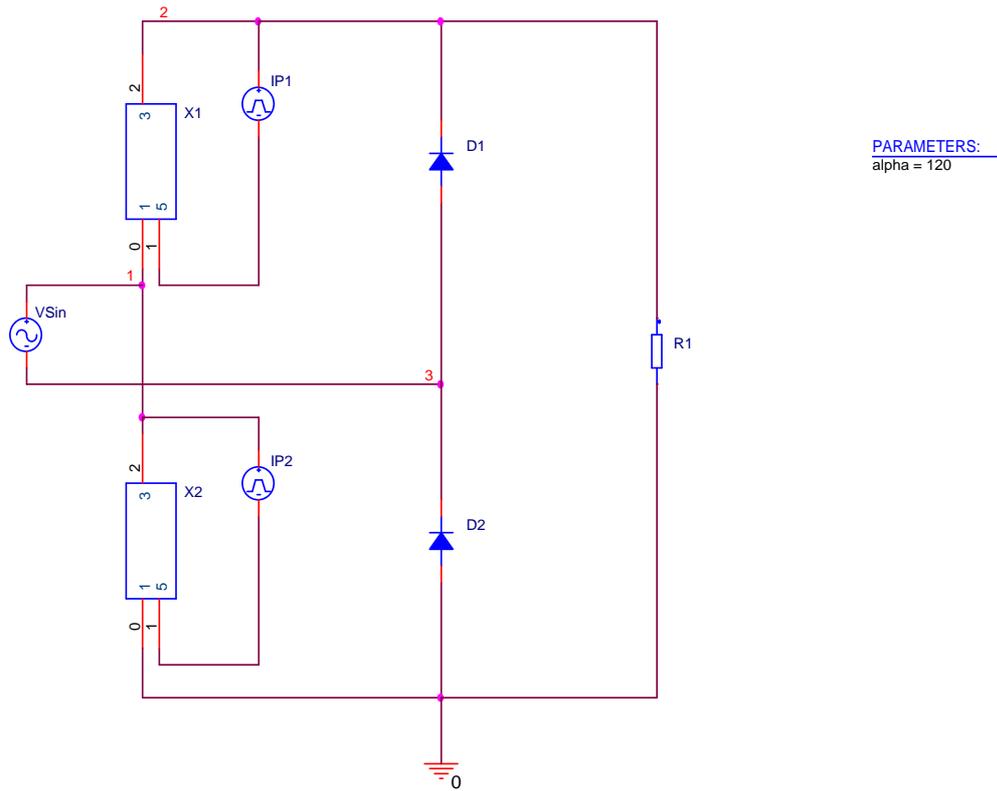
Thyristor zündet beding durch eine zu große Spannungsänderungsgeschwindigkeit ( du/dt )



**Problembewegung : TSE – Schutzbeschaltung mit RC-Glied**

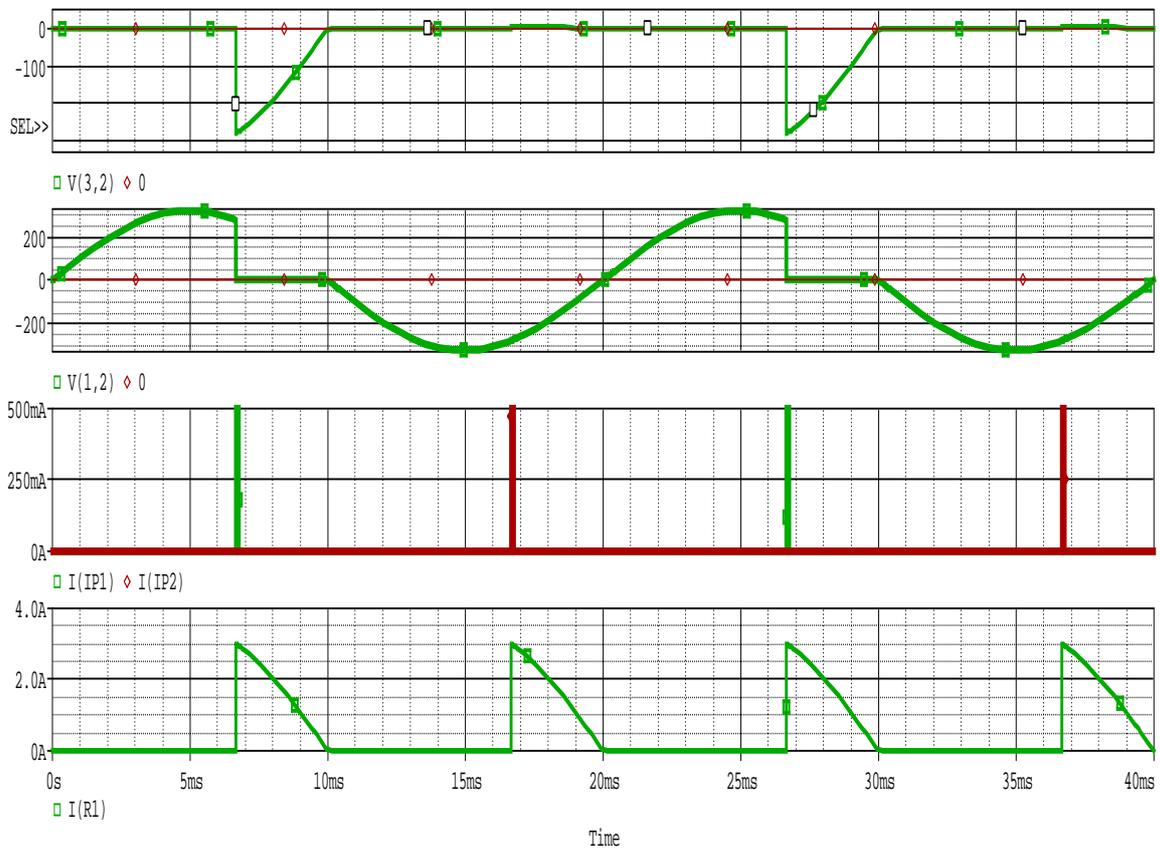


Weitere Anwendungen : Parametereinstellungen bei b2h

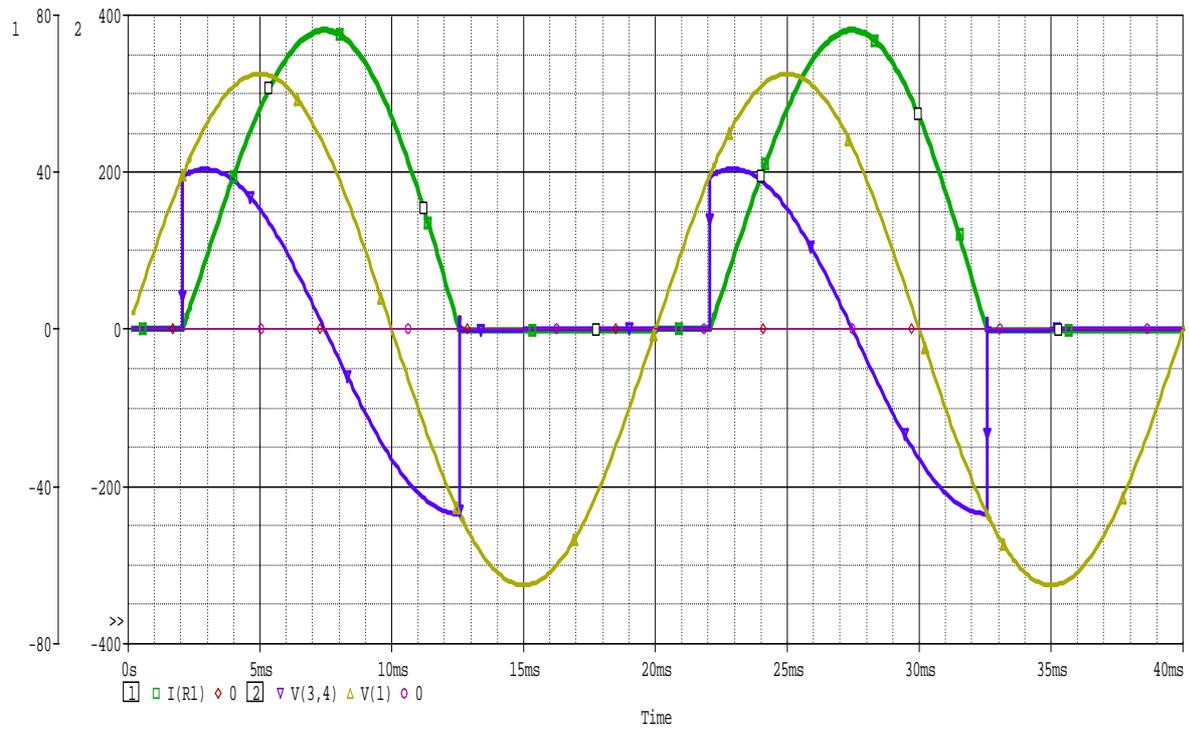
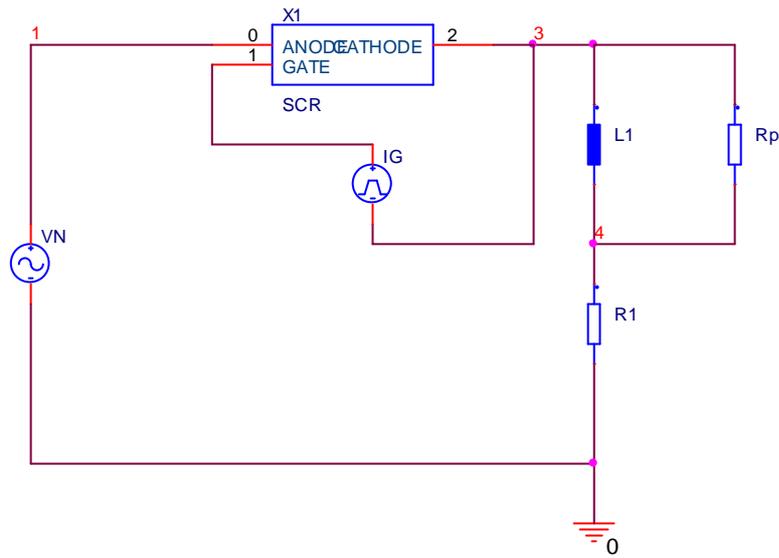


PARAMETERS:  
alpha = 120

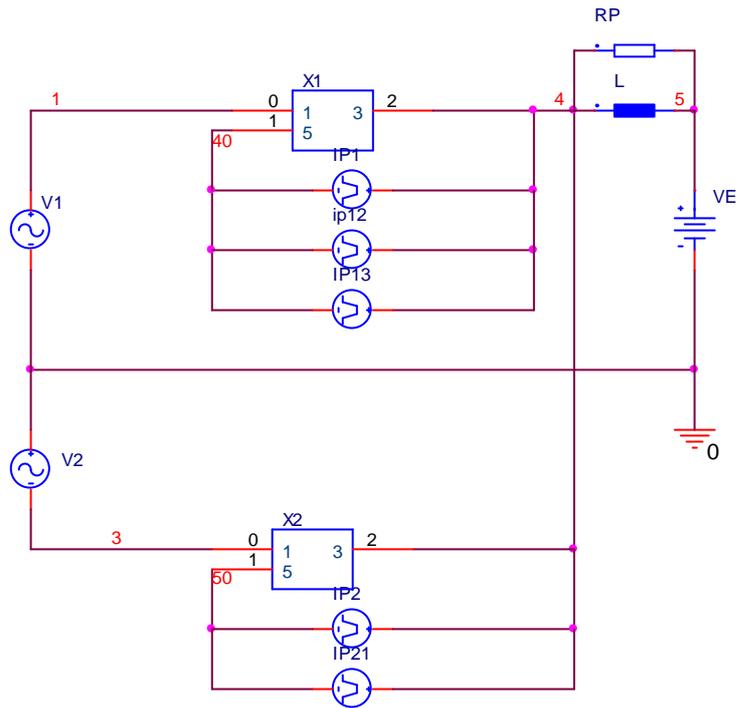
Die Zeile unterhalb von Parameters wird nur dargestellt, wenn die entsprechende Zeile ( für diesen Parameter... ) markiert wird und dann auf : Display...



M1 – Schaltung mit ohmsch/induktiver Last ( Verzeichnis : M1\_r\_1 )

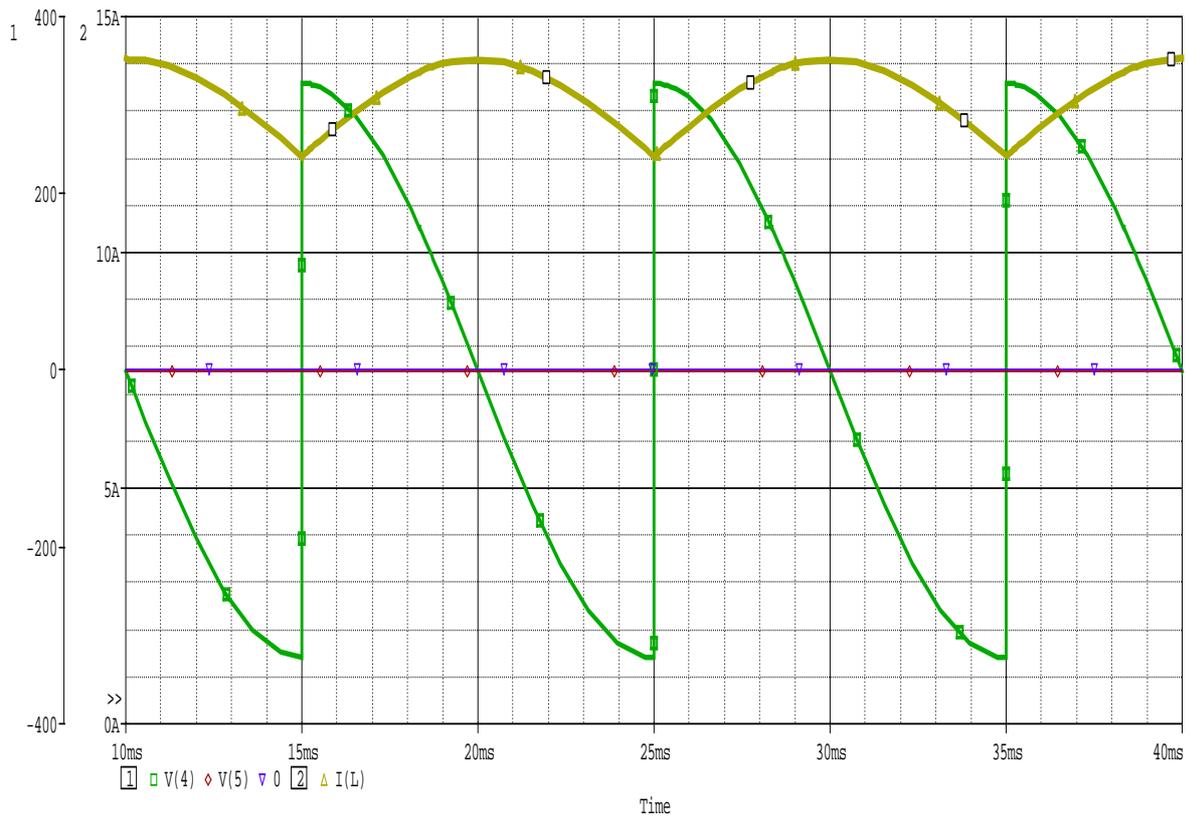


M2-Schaltung :



PARAMETERS:

alpha = 0  
 konst = {1M\*alpha/18}  
 pi = 3.141592654  
 ud = {(2\*325\*cos(pi\*alpha/180))/pi}





Vorlesung 10 : Thema Schalter am 04.12.2007

## Schalter

Spannungsgesteuerter Schalter S

Format:

**S**<Name> < Kontakt1> <Kontakt2>  
 <Steuerknoten1> <Steuerknoten2> <Modellname>

.Model <Modellname> VSWITCH [Parameter]

**Beispiel:**

S1                    13 7                    2 0                    SMOD

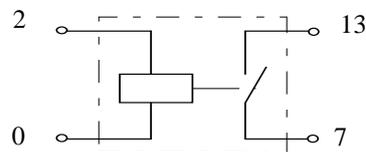
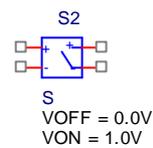
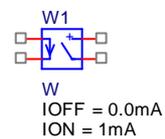


Abb. 2.1  
Prinzipaltabelle des Schaltermodells

**Symbol**

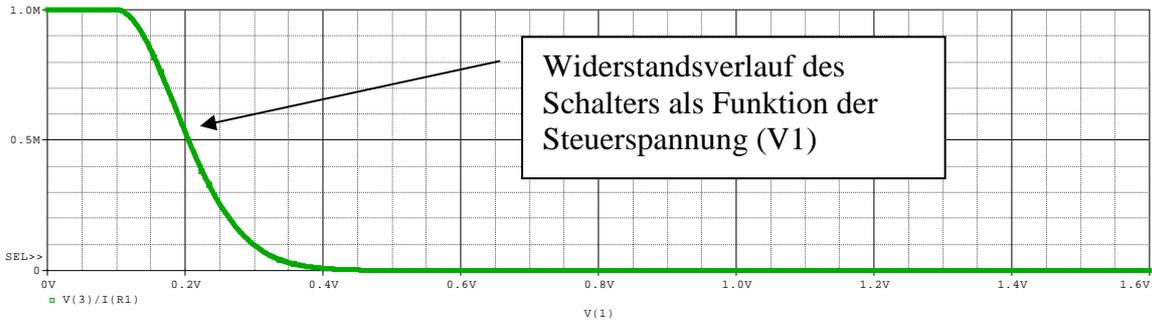
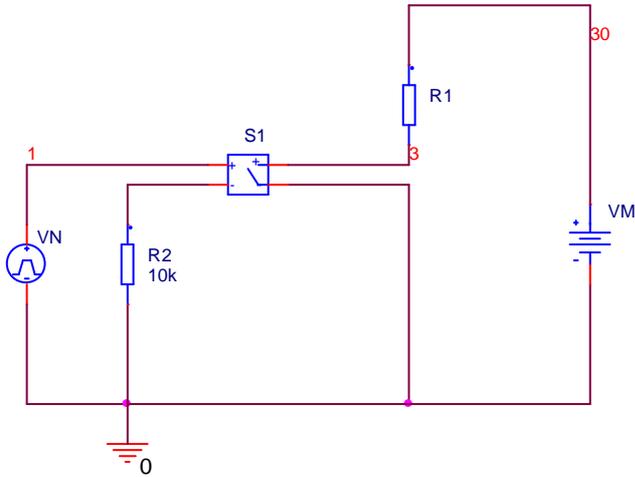


Symbol für einen stromgesteuerten Schalter (W)

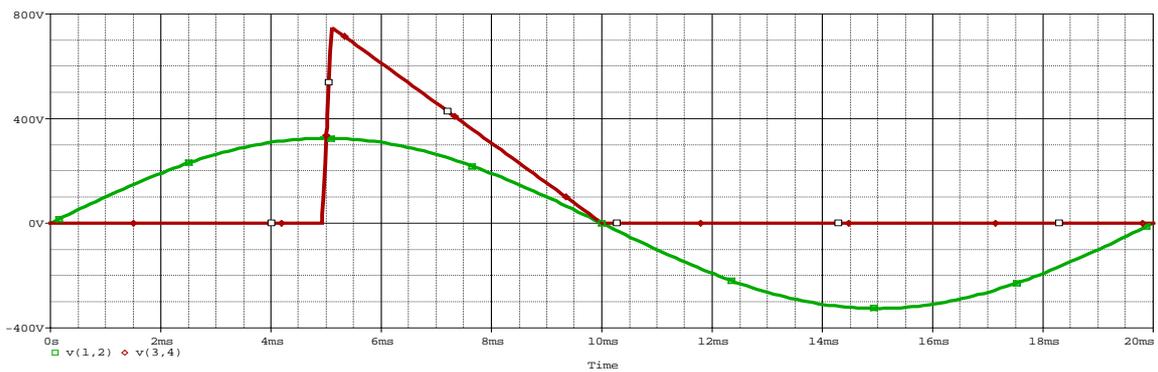
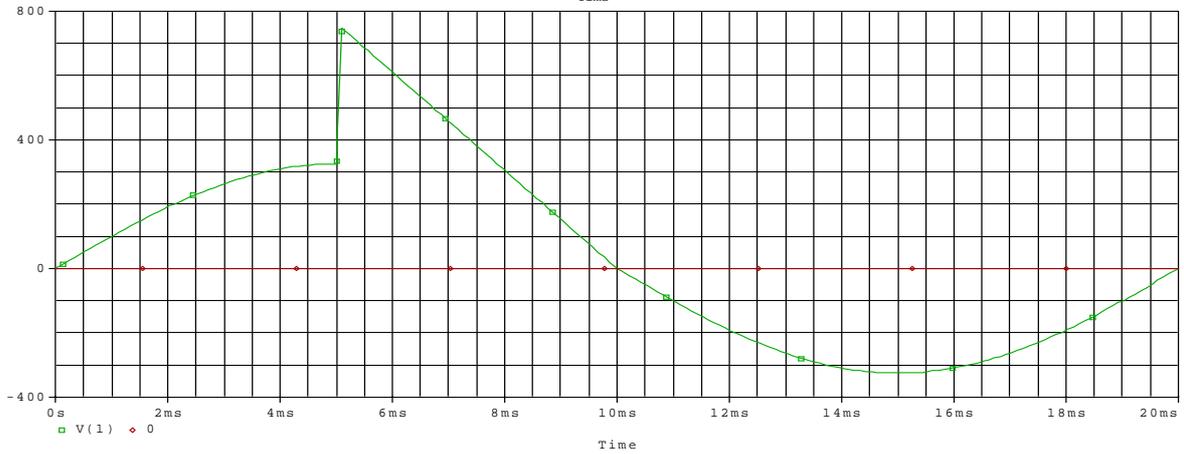
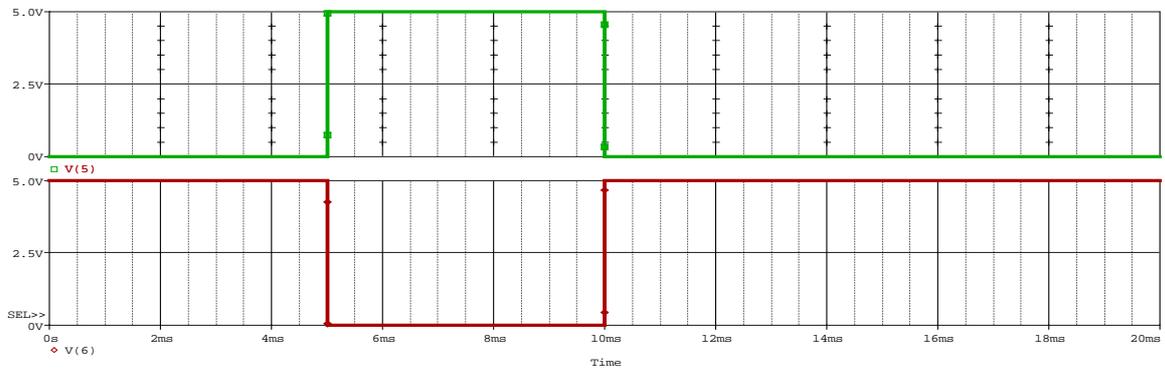
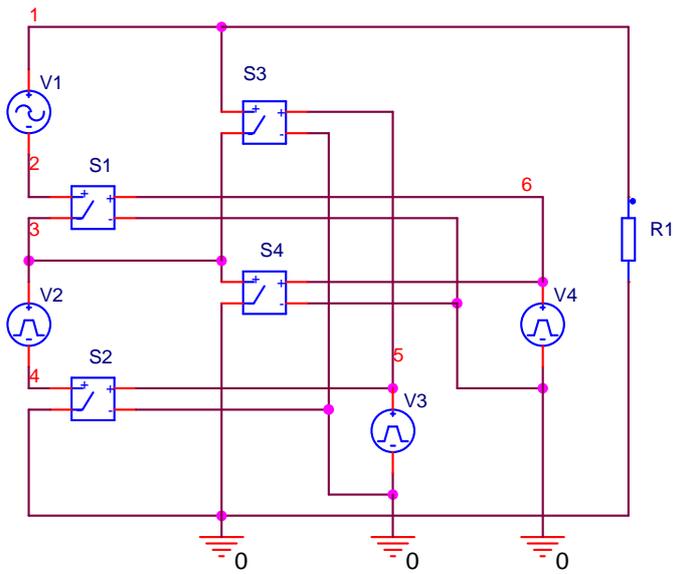


**Beispiele für die Verwendung von Schaltern :**

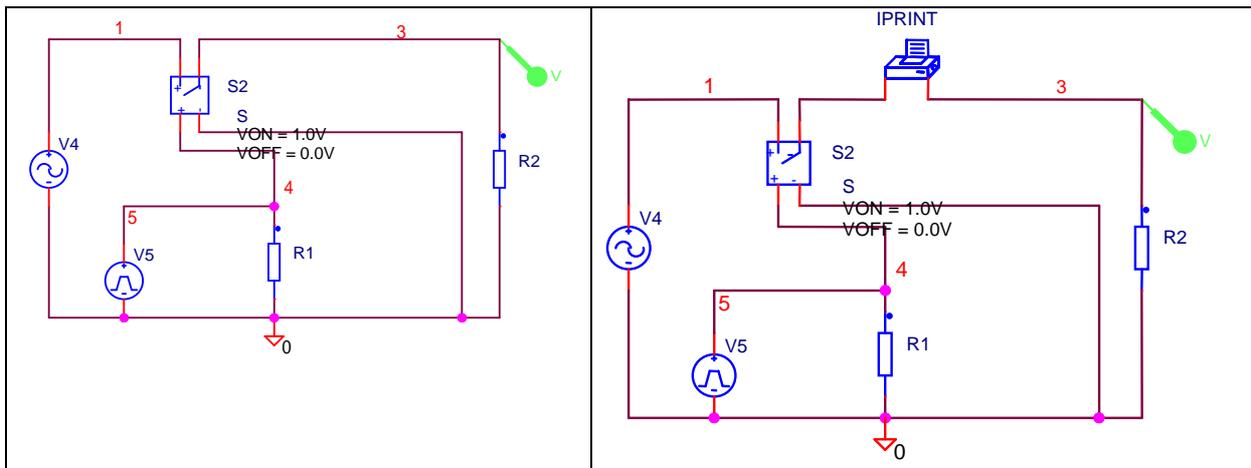
- Testschaltung für die Funktion des Schalters  
 → Verzeichnis : ../Beispiele/stest2



a) Laborversuch (Versuch 9 EMV ) „VDE0160-Impuls“



EMV-Labor : Versuch10( neu erstellt ) (V10\_700h) Sinushalbwellensteuerung (= Schalterstellung 700h)

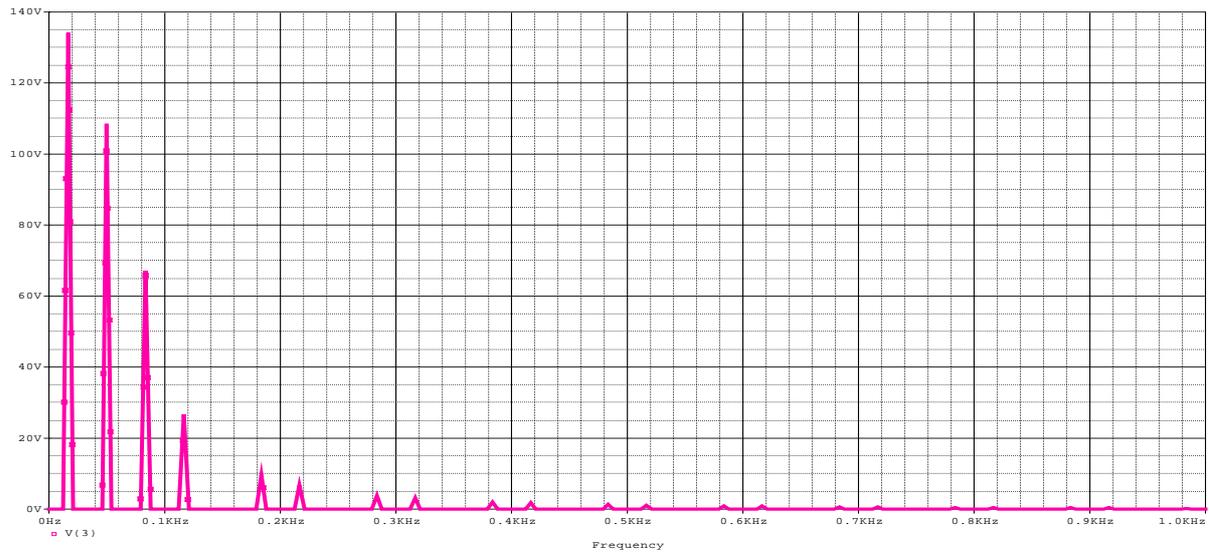


Definition der Steuerquelle ( in diesen Fall Pulsquelle ) und des spannungsgesteuerten Schalters

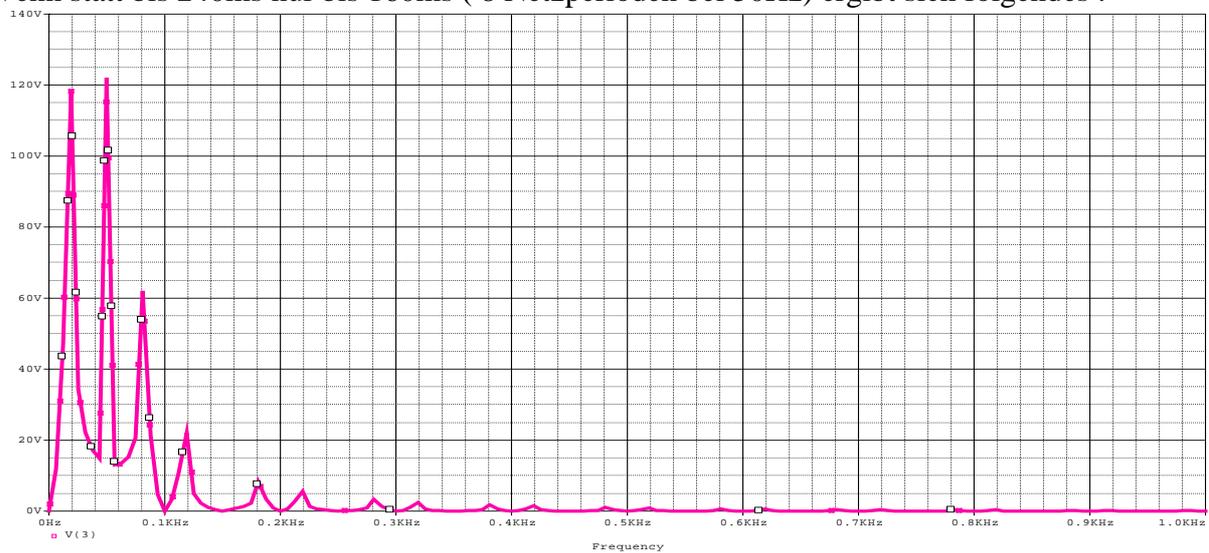
	A	B		A	B
	SCHEMATIC1 : PAGE1			SCHEMATIC1 : PAGE1	
Reference	V5	V5	Reference	S2	S2
Value	VPULSE	VPULSE	Value	S	S
T9			T9		
AC			BiasValue Power		0W
BiasValue Power		0W	ROFF	1e6	1e6
DC			RON	1.0	1.0
PER	30m	30m	Source Part	S.Normal	S.Normal
PW	10m	10m	VOFF	0.0V	0.0V
Source Part	VPULSE.Normal	VPULSE.Normal	VOH	1.0V	1.0V
TD	0	0			
TF	1u	1u			
TR	1u	1u			
V1	0	0			
V2	10	10			



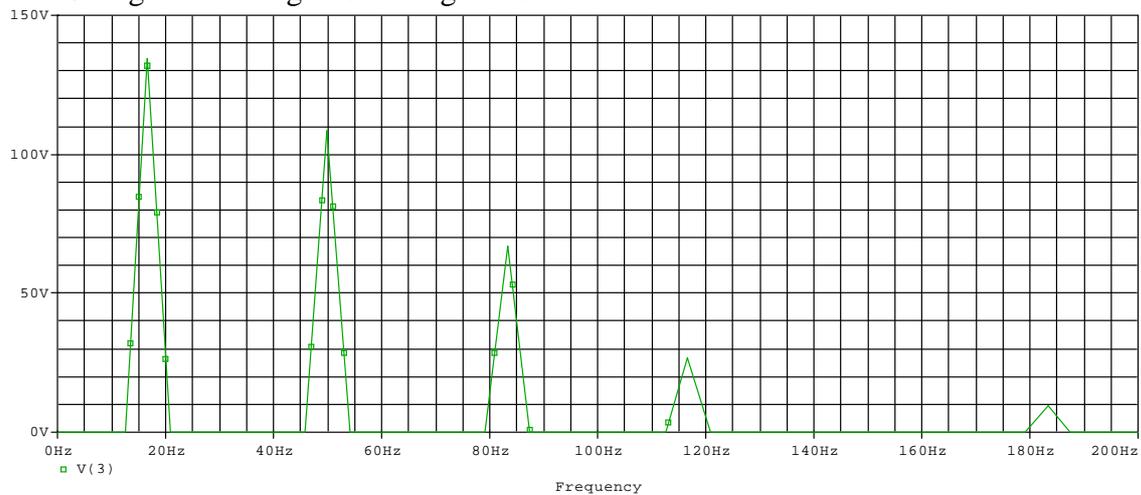
FFT der oben angegebenen Funktion :



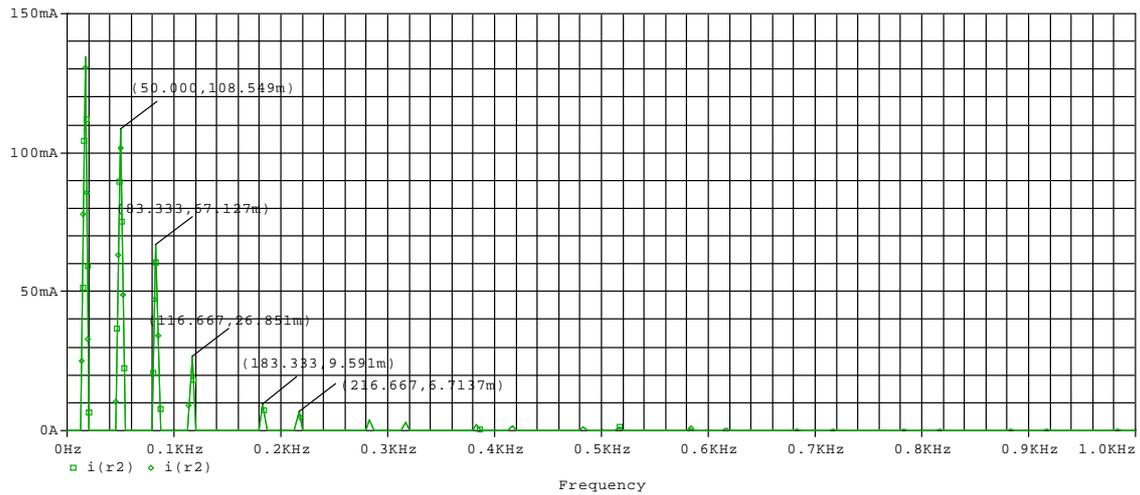
Wenn statt bis 240ms nur bis 160ms ( 8 Netzperioden bei 50Hz) ergibt sich folgendes :



Mit 240ms gerechnet ergibt sich folgendes...



+ Einführung in die FFT... in Ausgabedatei...



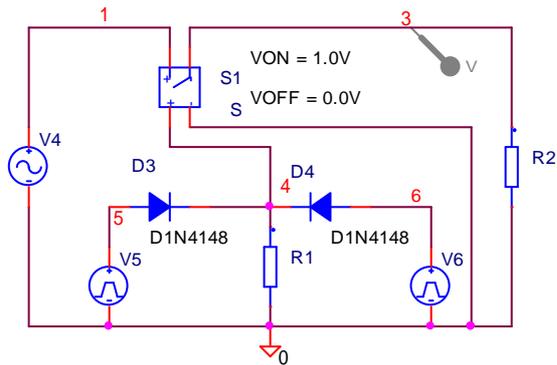
FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R\_R2)

DC COMPONENT = 5.104238E-07

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	3.249E-04	1.000E+00	1.800E-01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.021E-06	3.142E-03	9.000E+01	8.964E+01
3	1.500E+02	1.021E-06	3.142E-03	9.000E+01	8.946E+01
4	2.000E+02	1.021E-06	3.142E-03	9.000E+01	8.928E+01
5	2.500E+02	1.021E-06	3.142E-03	9.000E+01	8.910E+01
6	3.000E+02	1.021E-06	3.142E-03	9.000E+01	8.892E+01
7	3.500E+02	1.021E-06	3.142E-03	9.000E+01	8.874E+01
8	4.000E+02	1.021E-06	3.142E-03	9.000E+01	8.856E+01
9	4.500E+02	1.021E-06	3.142E-03	9.000E+01	8.838E+01
10	5.000E+02	1.021E-06	3.142E-03	9.000E+01	8.820E+01
11	5.500E+02	1.021E-06	3.142E-03	9.000E+01	8.802E+01
12	6.000E+02	1.021E-06	3.142E-03	9.000E+01	8.784E+01
13	6.500E+02	1.021E-06	3.142E-03	9.000E+01	8.766E+01
14	7.000E+02	1.021E-06	3.142E-03	9.000E+01	8.748E+01
15	7.500E+02	1.021E-06	3.142E-03	9.000E+01	8.730E+01

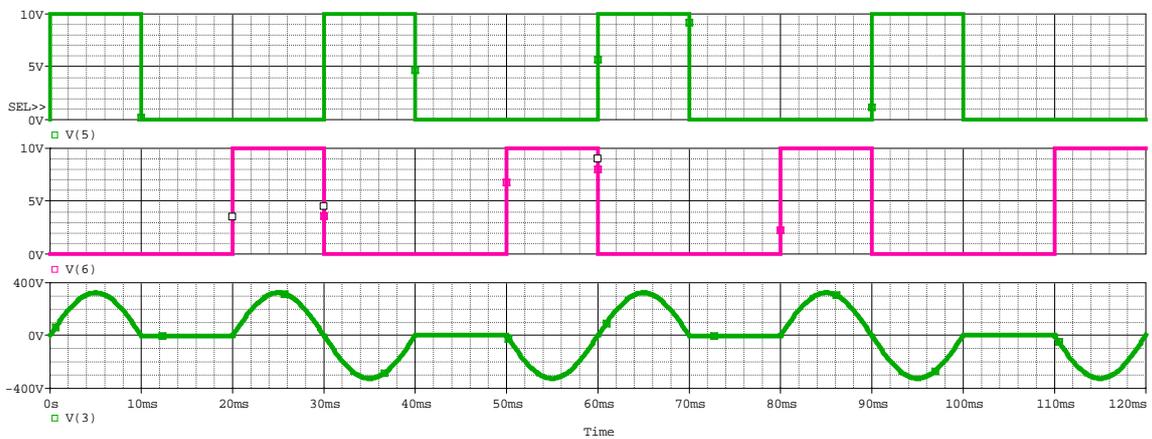
TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.175556E+00 PERCENT

Weitere Beispiele :  
VPS2 = 800h – Muster

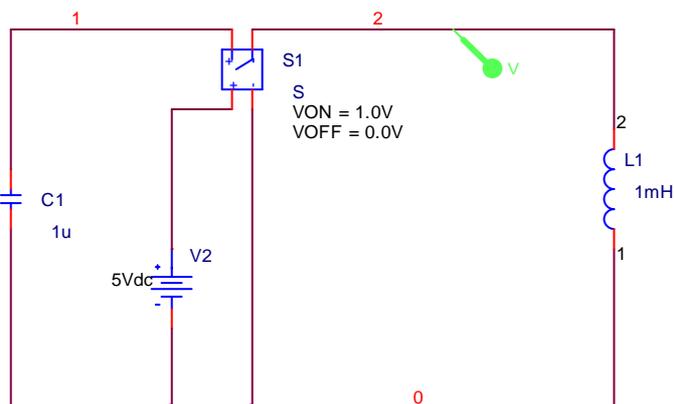


A	
SCHEMATIC1 : PAGE1	
Reference	V5
Value	VPULSE
T9	
AC	
BiasValue Power	
DC	
PER	30m
PW	10m
Source Part	VPULSE.Normal
TD	0
TF	1u
TR	1u
V1	0
V2	10

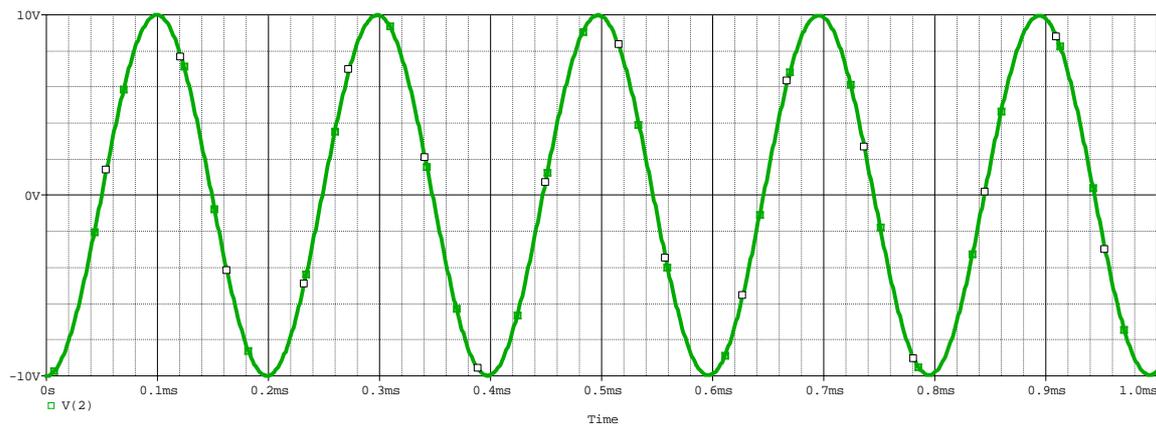
A	
SCHEMATIC1 : PAGE1	
Reference	V6
Value	VPULSE
T9	
AC	
BiasValue Power	
DC	
PER	30m
PW	10m
Source Part	VPULSE.Normal
TD	20m
TF	1u
TR	1u
V1	0
V2	10



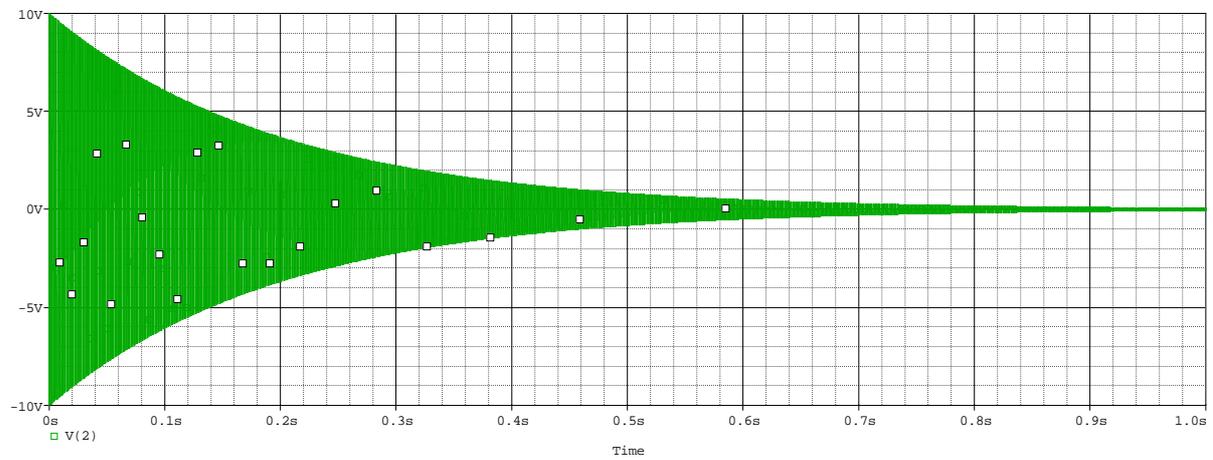
Schwing = Anregung eines Schwingkreises



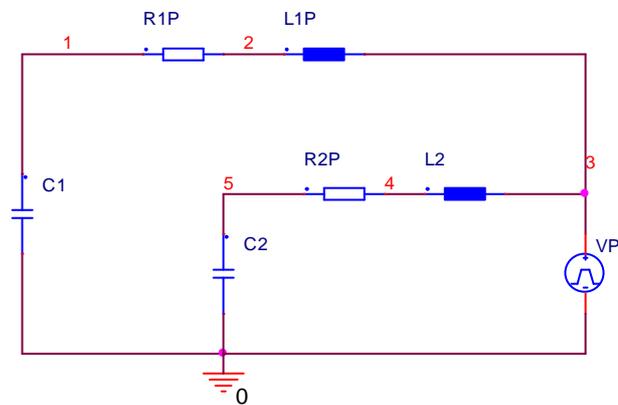
Bei einem „Einschaltwiderstand von  $10\text{m}\Omega$  ( $=10000\mu\Omega$ ) ergibt sich das folgende Ergebnis.



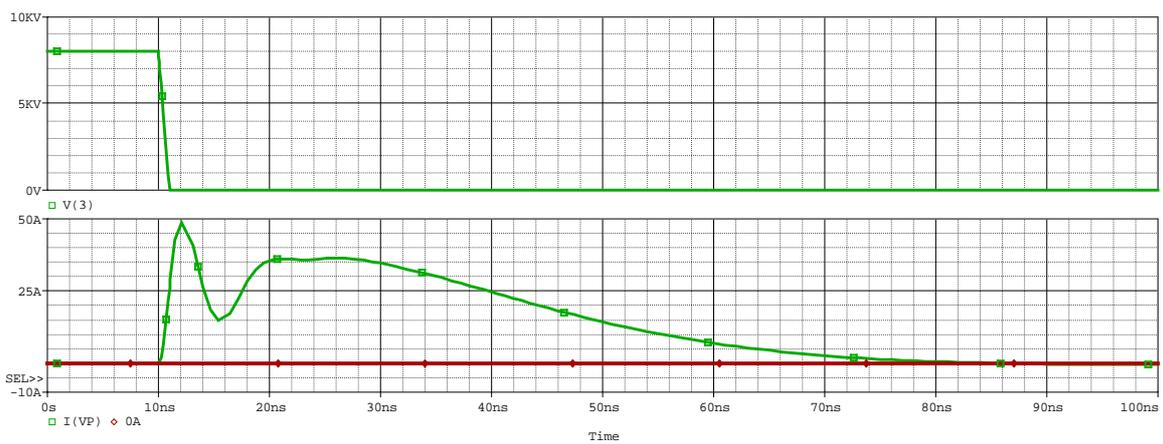
Betrachtet man einen längeren Zeitraum, so sieht man die Dämpfung durch den Widerstand des Schalters.



Simulation einer Schalterfunktion mit Hilfe einer Pulsspannungsquelle



verfeinertes HBM (Human Body Modell)=Nachbildung der entladung von elektrostatischer Elektrizität (ESD-Impuls)



**11. Vorlesung PSpice Simulation von Temperatureinflüssen 22.05.2008**

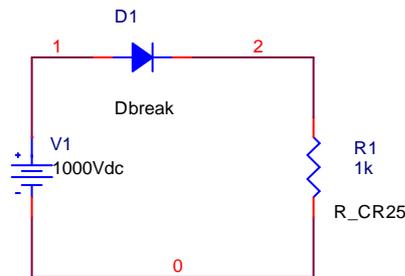
Befehl .TEMP  $\vartheta 1$   $\vartheta 2$   $\vartheta 3$  ...

Beispiel Widerstand

$$RW = RK(1 + \alpha * \Delta\vartheta)$$

$\alpha = TC1$  ... Temperaturkoeffizient

1) Übung ( Temperatureinfluß bei Dioden : Verzeichnis Diode Temperatur



**Notwendige Parametereinstellungen der Bauteile**

a) R\_CR25 .model R\_CR25 RES (R=1 TC1=600E-6 T\_MEASURED=20)

b) Dbreak .model Dbreak D Rs=1 TBV1=-1e-2 TRS1=2e-2

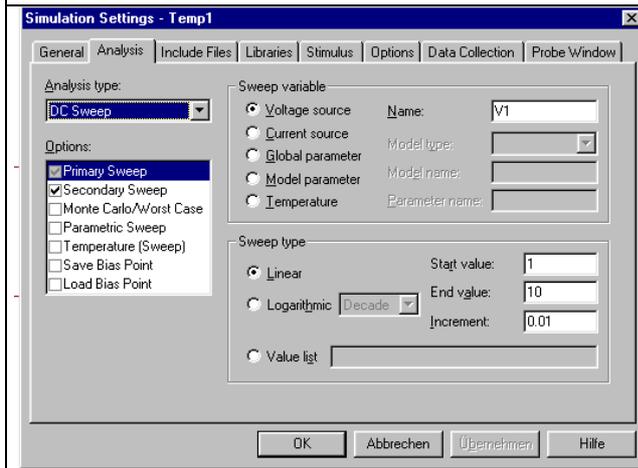
...unter edit PSpice Model...

TRS1 = linearer Temperaturkoeffizient für den Reihenwiderstand (RS)

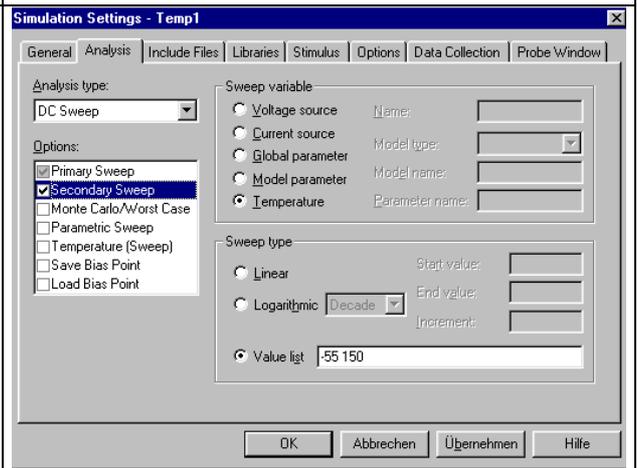
TBV1=linearer Temperaturkoeffizient für die Durchbruchspannung

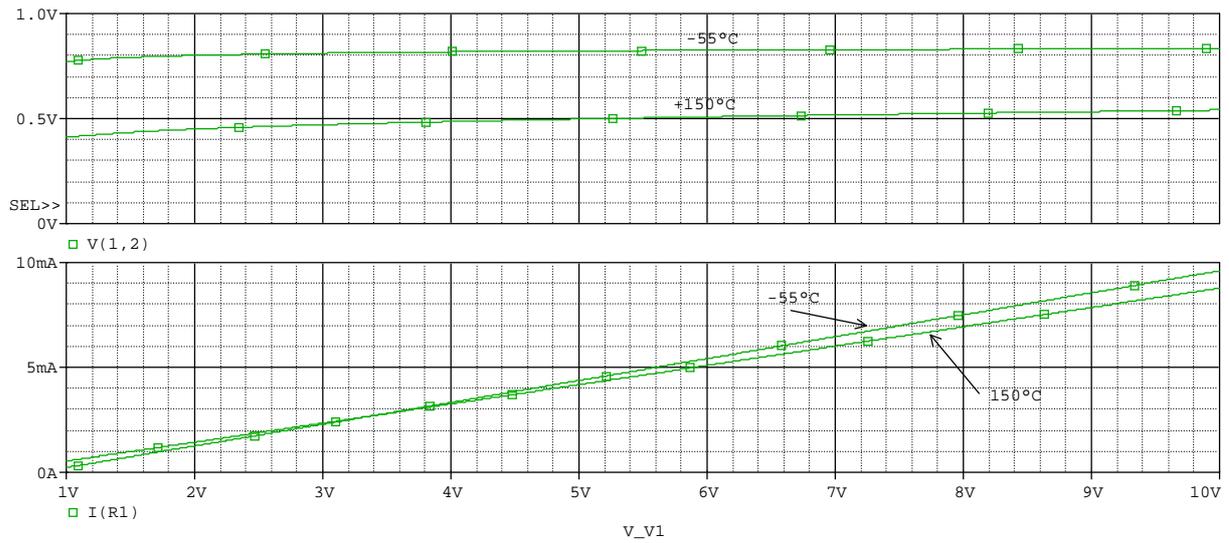
Um sowohl die Spannung zu variieren als auch mit 2 verschiedenen Temperaturen zu simulieren sind folgende Einstellungen vorzunehmen

a) primary sweep

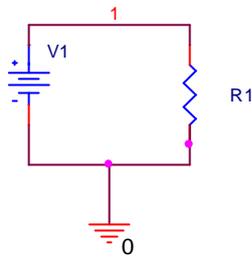


b) secondary sweep

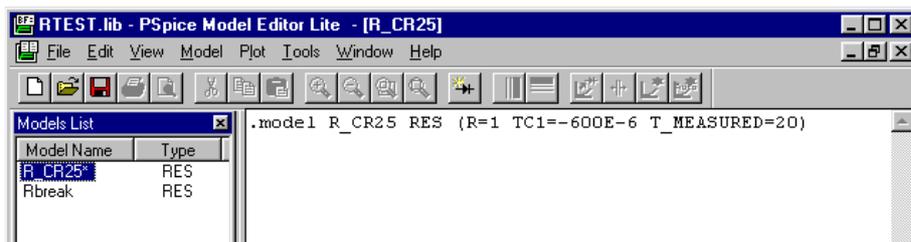
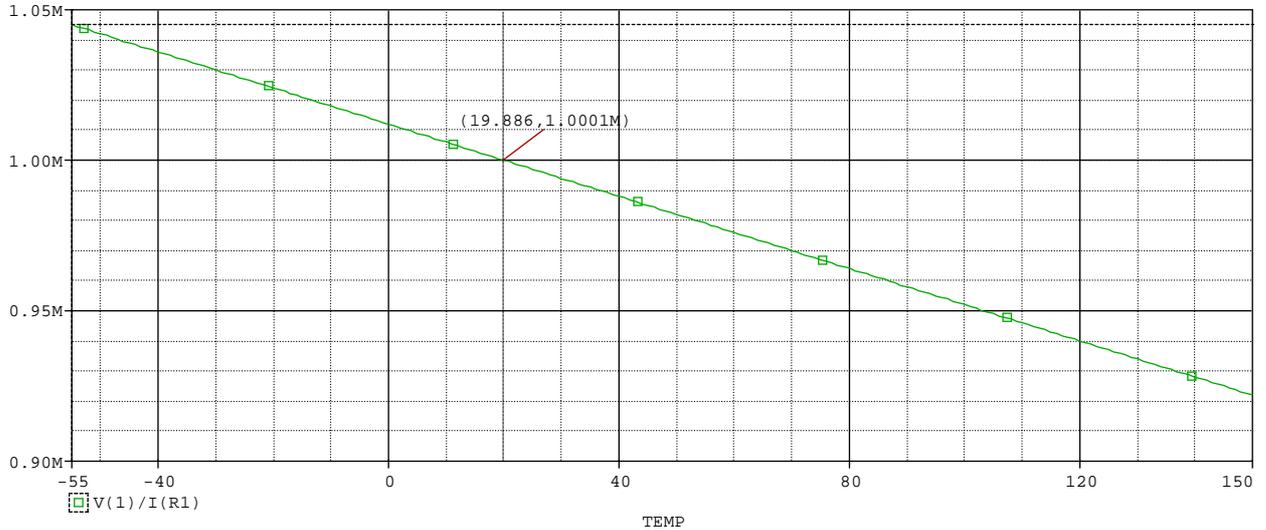




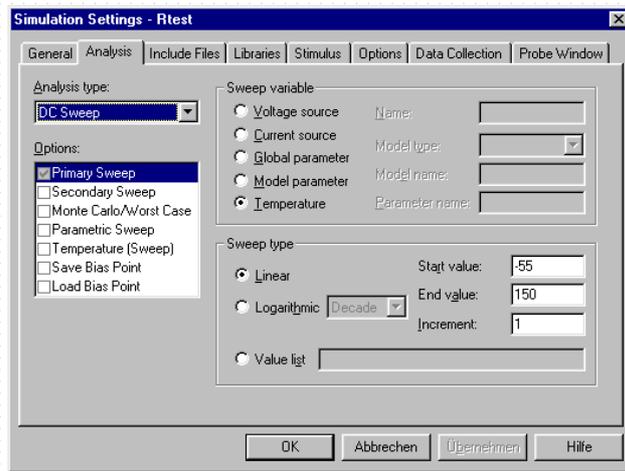
2) Übung: RTEST.CIR (Seite 75/76 Buch) = Temperatureinfluss bei Widerständen



Widerstand : R\_CR25 aus LEK.OLB



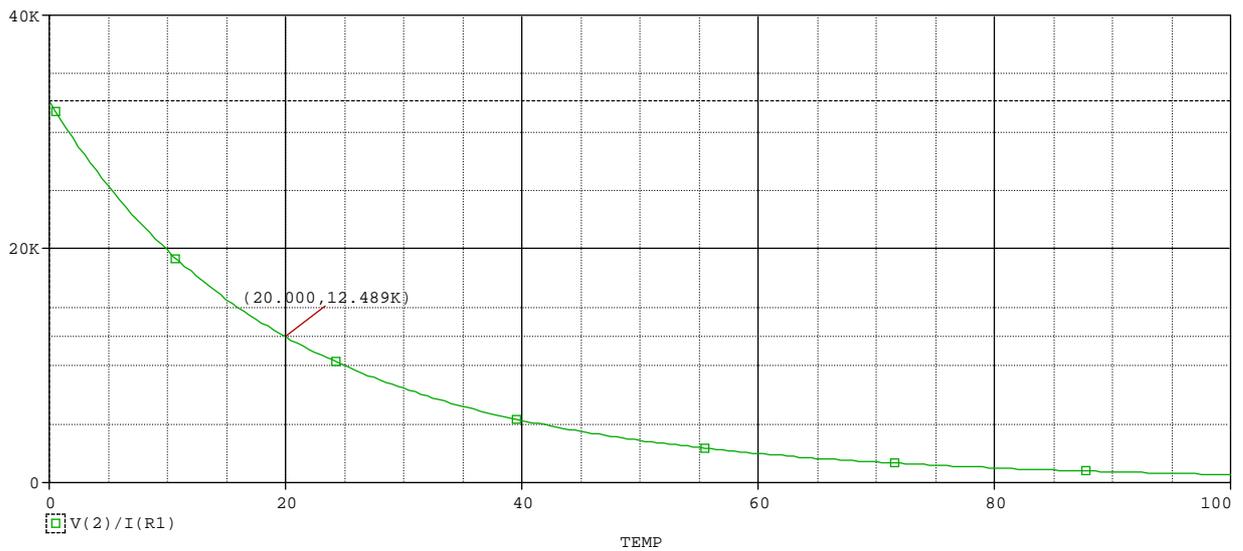
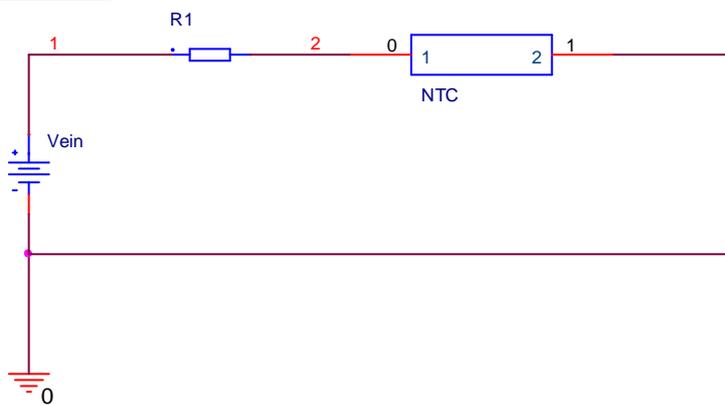
→ ändert man TC1 von -600E-6 auf +600E-6 , so erhält man ein PTC-Verhalten !

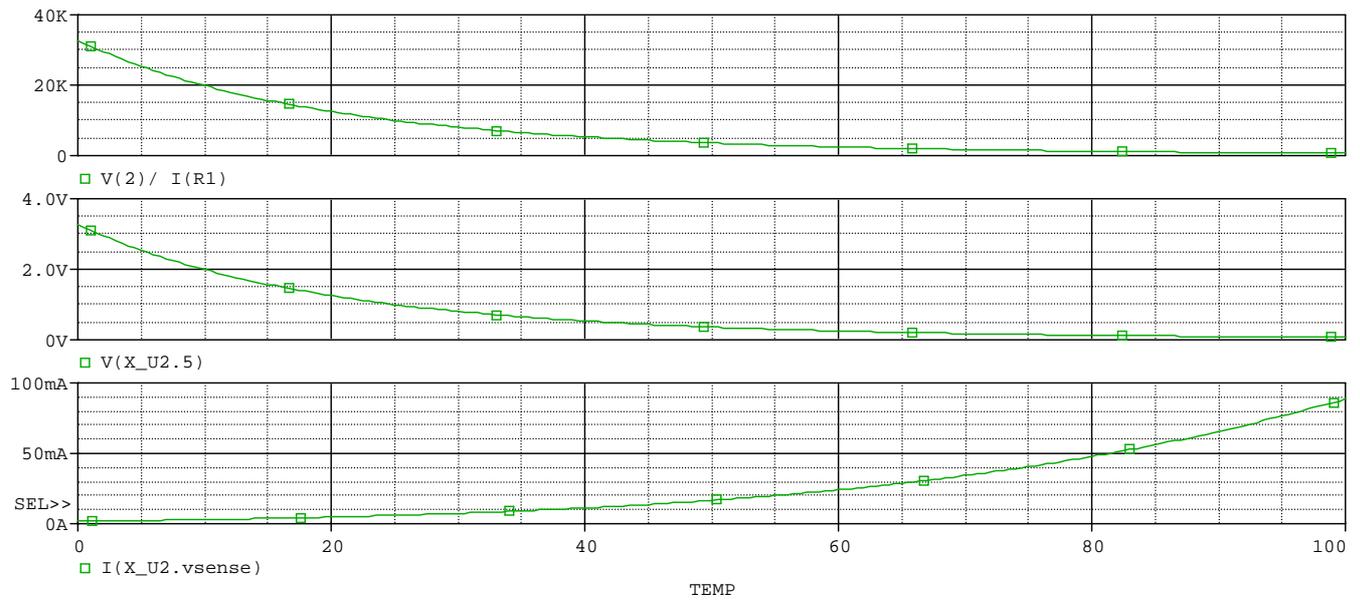


### 3. Übung NTC – Nachbildung Seite 76ff

Verzeichnis: ../Beispiele/NTCTest

**Schaltbild**



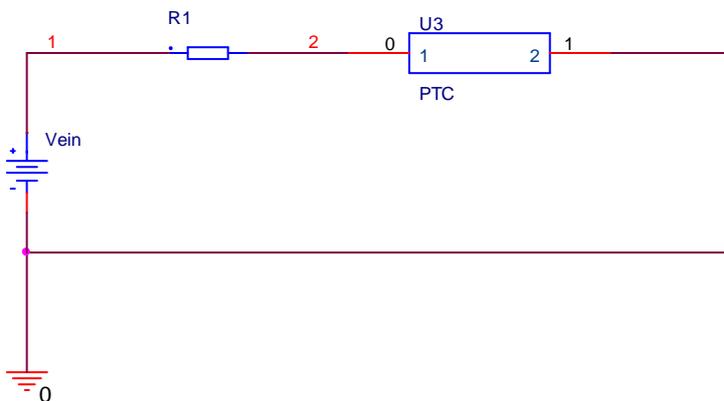


Erläuterung des Unterprogrammes :

```

NTCTEST.lib - PSpice Model Editor Lite - [ntc]
File Edit View Model Plot Tools Window Help
Models List
Model Name Type
ntc* SUBCKT
.options tnom=0
.subckt ntc 1 2
EOUT 1 3 poly(2) (5,0) (4,0) 0 0 0 0 1.0
vsense 3 2 dc 0.0
fout 0 4 vsense 1.0
rref 4 0 10K
gout 0 5 poly(1) 6 0 3.266
+ -0.16633619
+ 0.0046450693
+ -8.6856965e-5
+ 1.017213e-6
+ -3.8668603e-9
+ -8.8615615e-11
+ 1.678045e-12
+ -1.3013017e-14
+ 4.8617031e-17
+ -6.8866237e-20
r0 5 0 1.0
itemp 0 6 dc 1.0
rt 6 0 rtemp 0.001
.model rtemp res (r=1 tc1=1000)
.ends ntc
    
```

PTC aus dem UP erzeugen :

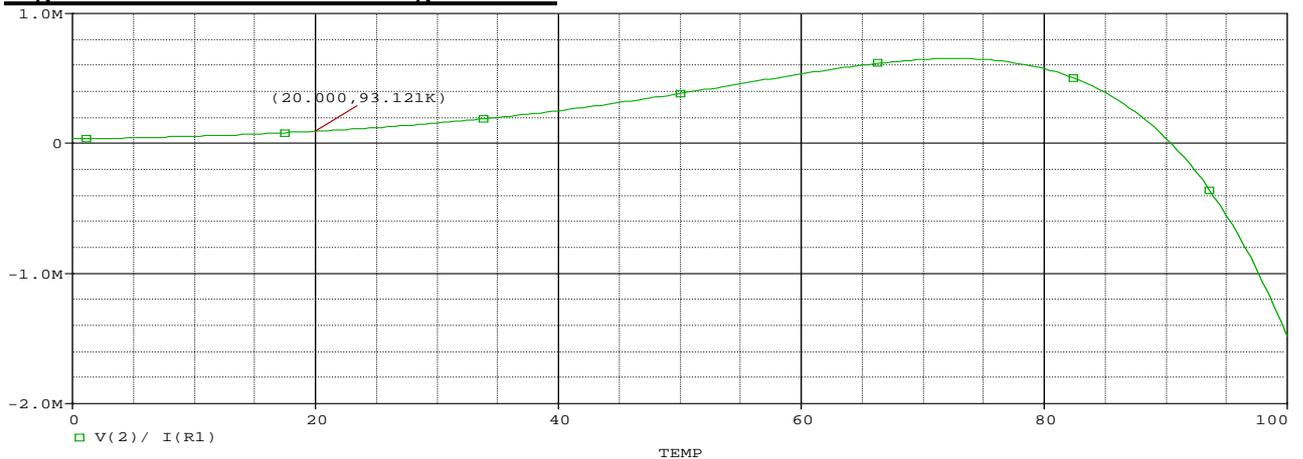


Modelldefinition des NTC einfach kopieren und den Namen ändern  
 → ( NTC nach PTC bis .subckt und .end...)

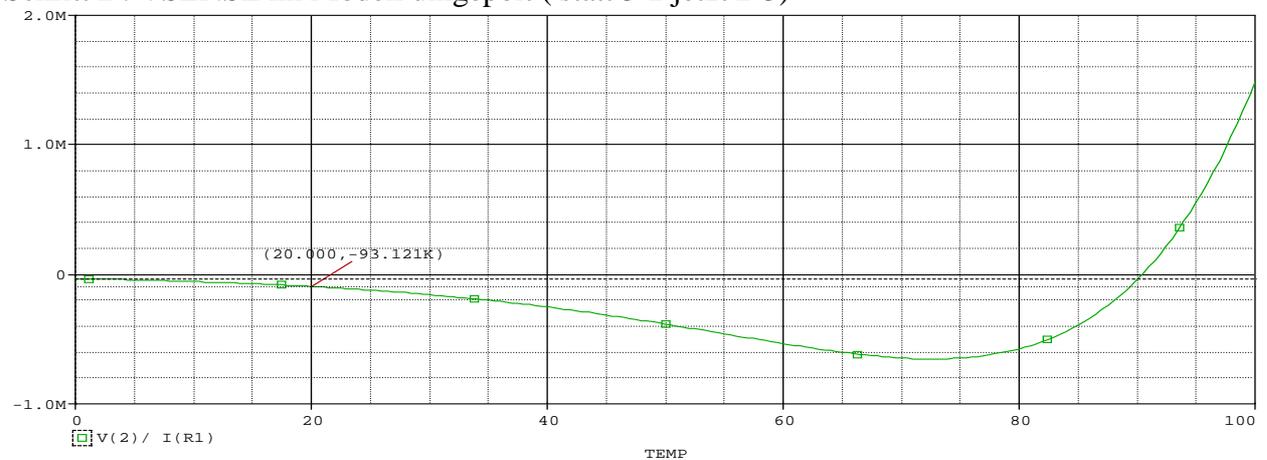
*Schritt 1 : Verändern des Wertes für tc1 von +1000 auf -1000*

```
.subckt ptc 1 2
EOUT 1 3 poly(2) (5,0) (4,0) 0 0 0 0 1.0
vsense 3 2 dc 0.0
fout 0 4 vsense 1.0
rref 4 0 10K
gout 0 5 poly(1) 6 0 3.266
+ -0.16633619
+ 0.0046450693
+ -8.6856965e-5
+ 1.017213e-6
+ -3.8668603e-9
+ -8.8615615e-11
+ 1.678045e-12
+ -1.3013017e-14
+ 4.8617031e-17
+ -6.8866237e-20
r0 5 0 1.0
itemp 0 6 dc 1.0
rt 6 0 rtemp 0.001
.model rtemp res (r=1 tc1=-1000) bei dem NTC ist dieser Wert tc1=+1000 !!!
.ends ptc
```

**Ergebnis nach der Veränderung von tc1 :**



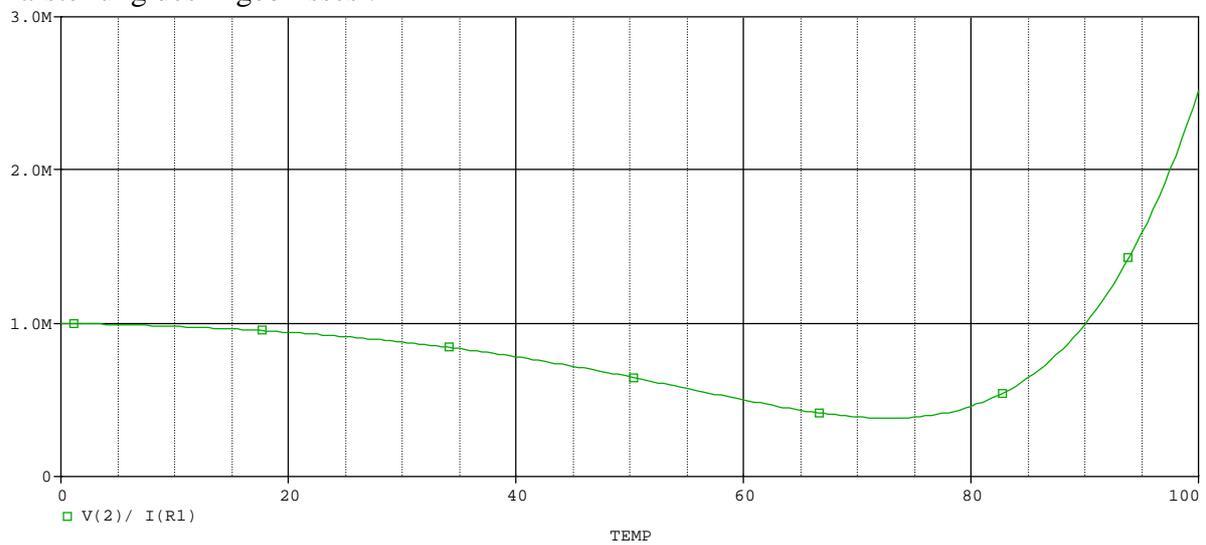
**Schritt 2 : VSENSE im Modell umgepolt ( statt 3-2 jetzt 2-3)**



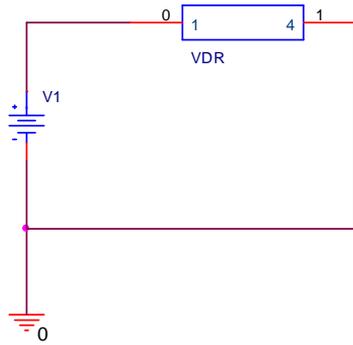
*Schritt 3 : Spannungsgesteuerte Stromquelle entsprechend der roten Markierung ändern:*

```
.options tnom=0
.subckt ptc2 1 2
EOUT 1 3 poly(2) (5,0) (4,0) 0 0 0 0 1.0
vsense 2 3 dc 0.0
fout 0 4 vsense 1.0
rref 4 0 10K
gout 0 5 poly(1) 6 0 -100 ( bei dem NTC war statt der 100 hier 3.266 eingetragen )
+ -0.16633619
+ 0.0046450693
+ -8.6856965e-5
+ 1.017213e-6
+ -3.8668603e-9
+ -8.8615615e-11
+ 1.678045e-12
+ -1.3013017e-14
+ 4.8617031e-17
+ -6.8866237e-20
r0 5 0 1.0
itemp 0 6 dc 1.0
rt 6 0 rtemp 0.001
.model rtemp res (r=1 tc1=-1000)
.ends ptc2
```

Darstellung des Ergebnisses :



**Modellierung von Varistoren ( Seite 79 Buch ) VDRTEST**



```
.subckt VDR 1 4
** Metall Oxide Varistor mit einer
** Nennanschlussspannung von U(eff)=250 V
.param B=550
.param n=26.5
d1 1 2 diode
d2 3 1 diode
d3 4 2 diode
d4 3 4 diode
.model diode d
R1 2 3 100MEG
G1 2 3 Value={PWR((V(2,3)/{B})),{n}}
.ends
```

