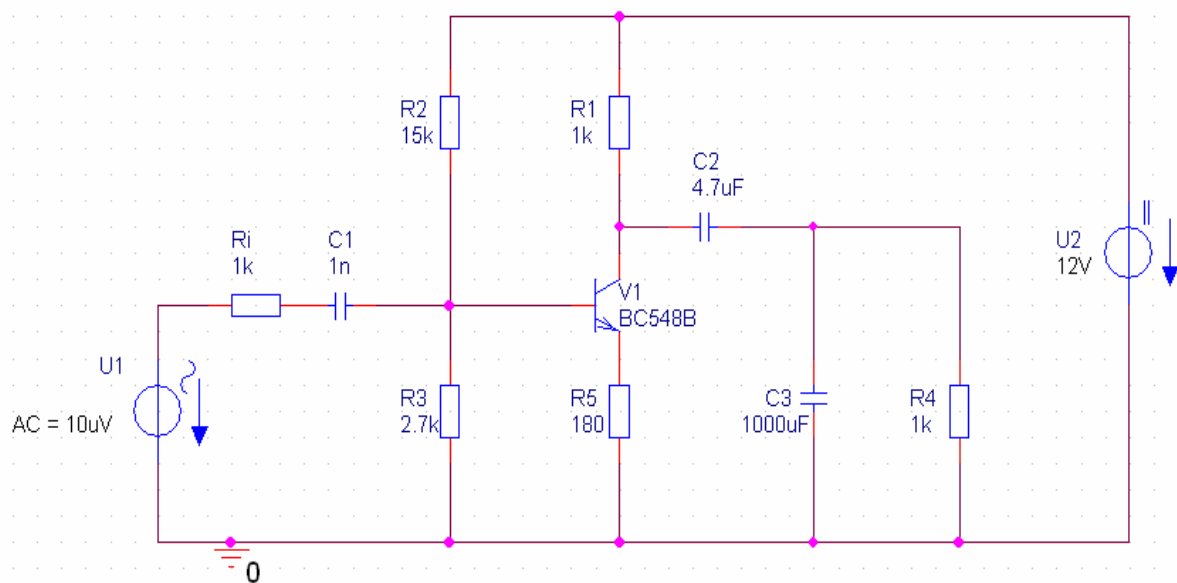


Schaltungssimulation mit PSpice

-kurzer Einstieg-



Inhaltsverzeichnis

Einführung.....	3
1) Warum Schaltungssimulation?.....	3
2) Wie benutze ich PSpice?.....	5
◆ Ein neues Projekt anlegen.....	6
◆ Mit dem Projekt arbeiten.....	7
◆ Simulieren mit PSpice.....	11
◆ Beispiel A: Gleichspannungssimulation.....	12
◆ Beispiel B: Wechselspannungssimulation.....	14
◆ Beispiel C: Wechselspannungssimulation (AC-Sweep)	16
3) Woher bekomme ich PSpice?.....	19
4) Grenzen der Simulation.....	20
Quellennachweise.....	21

- Das Deckblatt zeigt eine Emitterschaltung mit Arbeitspunktstabilisierung durch Stromgegenkopplung -

Schaltungssimulation mit PSpice *-kurzer Einstieg-*

In der Geschichte der Elektrotechnik hat die Erfindung von PSpice die Arbeit von Elektronikern erheblich beeinflusst. Denn seitdem es PSpice gibt, ist es möglich an einem handelsüblichen PC das Verhalten elektronischer Schaltungen detailliert vorausberechnen (d.h. simulieren) zu lassen.

Für viele professionelle Elektroniker gehören Simulationsprogramme inzwischen zum täglichen Handwerkszeug. Im Bereich der Elektrotechnik existieren viele solcher Programme, welche jedoch fast alle auf dem Programm SPICE basieren, das an der Universität von Berkeley entwickelt wurde. PSpice ist unter allen Programmen von Heute richtungsweisend und wird weltweit am meisten eingesetzt.

Diese Ausarbeitung basiert auf meinem Kurzreferat zum Projektlabor im Sommersemester 2004 an der TU Berlin.

Es ist in folgende vier Teile gegliedert:

- 1) Warum Schaltungssimulation?
- 2) Wie benutze ich PSpice?
- 3) Woher bekomme ich PSpice?
- 4) Grenzen der Simulation

Aufgrund der stark begrenzten Vortragszeit von etwa 20 Minuten kann hier keine komplette Einführung in das äußerst vielschichtige Programm PSpice geboten werden. Das Referat ist daher lediglich als kurzer Einstieg konzipiert.

1) Warum Schaltungssimulation?

Zwischen der Idee einer elektronischen Schaltung und ihrer funktionsfähigen Ausführung in Form einer Platine steht der sogenannte Schaltungsentwurf.

Dieser bezeichnet den Ablauf der elektrotechnischen Schaltungs-Entwicklung, welche in Diagramm 1 dargestellt ist.

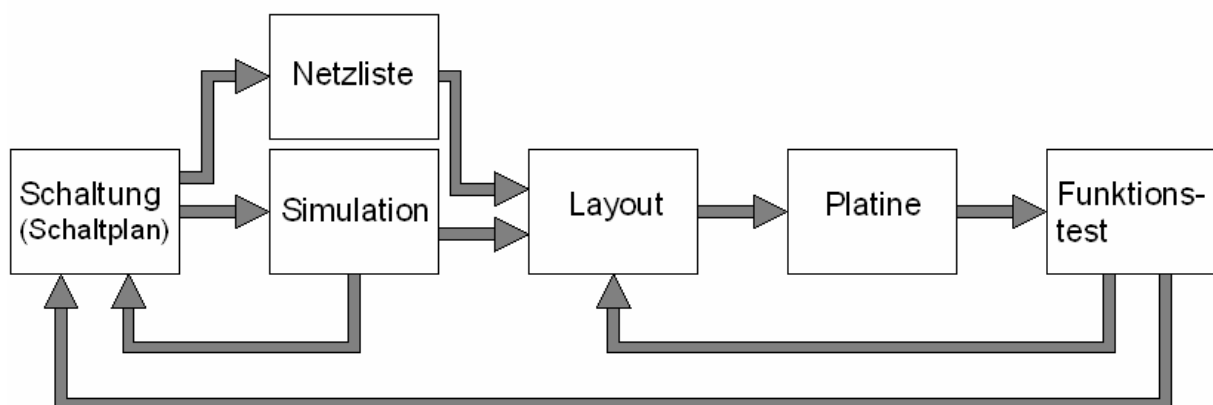


Diagramm 1: Schaltungsentwurf (typischer Ablauf)

Am Computer wird die geplante Schaltung per Schaltplan-Editor mittels Schaltplansymbolen aufgebaut. So wird die vorher auf Papier erdachte und vollständig dimensionierte Schaltung zu einem Schaltplan im PC.

Zur Simulation wird vom Simulationsprogramm die sogenannte Netzliste erstellt. Die Netzliste ist für das Programm eine lesbare, vollständige Beschreibung der zuvor per Schaltplan eingegebenen Schaltung. In der Netzliste wird jedes Bauelement mit den zur Simulation notwendigen Angaben aufgeführt:

- **Typ** des Bauteils (z.B. V für Spannungsquellen, R für Widerstände, C für Kondensatoren,..)
- **Name** des Bauteils auf dem Schaltplan (z.B. V1, R2, C3;..)
- Name der **Knoten** an die das Bauteil angeschlossen ist (üblicherweise werden Knotennamen nach Reihenfolge der Platzierung der Bauteile vergeben, wobei die Nummerierung bei \$N_0001 beginnt)
- **Kenngößen** des Bauteils (z.B. 2k, 5meg,..)

Ist die Netzliste fehlerfrei, so wird die Schaltung simuliert.

Nach der Simulation beginnt erfahrungsgemäß die Hauptarbeit: Fehlersuche im Schaltplan und entsprechende Modifizierung, wenn die Simulation nicht die gewünschten Resultate geliefert hat; wobei hier ausdrücklich nicht das Dimensionieren der Bauteile per Simulation gemeint ist.

Ist das Ergebnis der vom Computer berechneten Eigenschaften der Schaltung wie gewünscht, so wird das Layout der Schaltung – ebenfalls am PC – erstellt. Ist das Layout, also der Entwurf für die Platine fertig, so erfolgt der Aufbau der geätzten Platine mit den entsprechenden Bauteilen.

Dann wird mit der fertiggebauten Schaltung ein Funktionstest durchgeführt. Verläuft dieser Test wie gewünscht, so kann die Platine eingebaut werden bzw. die Produktionsserie starten. Bringt der Funktionstest nicht die gewollten Ergebnisse, so muss der Schaltplan modifiziert oder bei Hardware-Problemen (z.B. Überhitzung von Bauteilen = Kühlkörper anbringen) das Layout verändert werden.

Wie man an obiger Darstellung erkennen kann, ist die Schaltungssimulation in den Ablauf eines Schaltungsentwurfes fest integriert.

Die Eingangsfrage „Warum Schaltungssimulation?“ kann im Folgenden unter - hauptsächlich entwicklungstechnischen und marktwirtschaftlichen Aspekten - beantwortet werden.

In erster Linie steht die Voraussage des Verhaltens als Notwendigkeit zur schnellen Schaltungsentwicklung im Vordergrund. Weiterhin ist eine effektivere Planung von Projekten möglich, was sich auch in finanziellen Einsparungen bemerkbar machen kann. Zum Beispiel können zusätzliche Kosten für die Bauteile einer Entwicklungsabteilung gesenkt werden. Mit dem Computer als Labor ist die Genauigkeit der Simulationsergebnisse meistens größer, als die Genauigkeit der Analyse der Schaltung im Labor, denn die Simulation macht keine Messfehler.

Wie bereits anfänglich erwähnt, hat die Industrie größtenteils die Nutzung des Computers als Entwicklungslabor bzw. Labor-Ergänzung in den Ablauf des Schaltungsentwurfes integriert. Für die Zwecke der Lehre hat sich die elektronische Schaltungssimulation (mit einer Studenten-Version von PSpice) als Ausbildungsgrundlage in diesem Bereich ebenfalls gut integriert.

2) Wie benutze ich PSpice?

Um fundiert mit PSpice arbeiten zu können, ist es unerlässlich, den Aufbau des Programms mit seinem komplexen Gefüge aus Bibliotheken, Schaltplan- und Auswertungsdateien zu behandeln. Im Zusammenhang der Struktur, die PSpice zugrunde liegt, zeigt sich hier ein in 1) angesprochener Entwicklungsablauf im Fokus: Schaltplanerstellung und Simulation. Das in Diagramm 2 dargestellte Schema gibt eine Übersicht vom angesprochenen Sachverhalt.

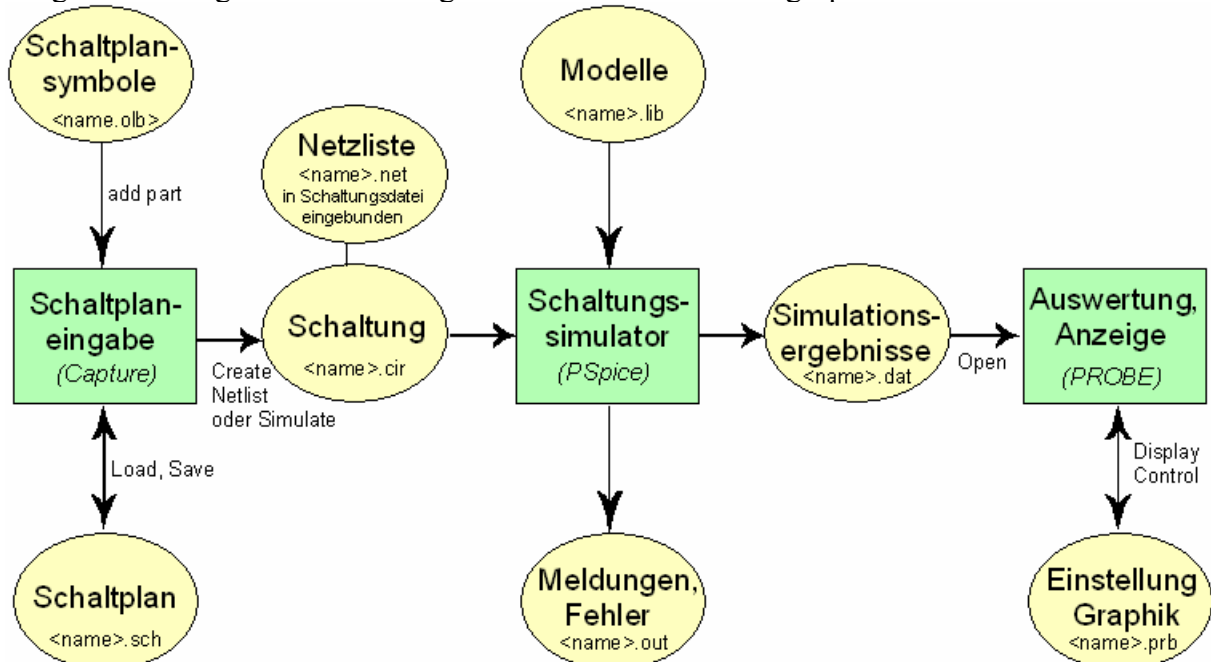


Diagramm 2: Übersicht PSpice-Programmstruktur

Alle Simulatoren der Spice-Familie arbeiten mit Netzlisten. Wie bereits in 1) erwähnt, ist eine Netzliste eine mit einem Editor erstellte Beschreibung einer Schaltung, die neben den Bauteilen, und Angaben der Schaltungstopologie Simulationsanweisungen und Verweise auf Bibliotheken mit Modellen enthält.

Die Firma OrCAD, die PSpice vertreibt, hat ein komplettes Entwicklungspaket zusammengestellt. Es enthält neben dem eigentlichen Simulator PSpice zwei Programme zur graphischen Eingabe (die Schaltplan-Editoren *Capture* und *Schematics*) und ein Programm zur graphischen Anzeige der Simulationsergebnisse (*PROBE*).

Da sich die Laborbetreuer des Projektlabors der TU Berlin entschieden haben, in den Laboren für die Schaltungssimulation ausschließlich den Editor Capture zu benutzen, beziehen sich folgende Ausführungen (und insbesondere das Handout) auf diesen Editor.

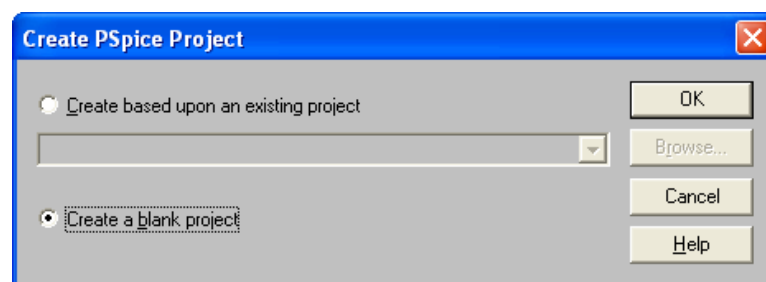
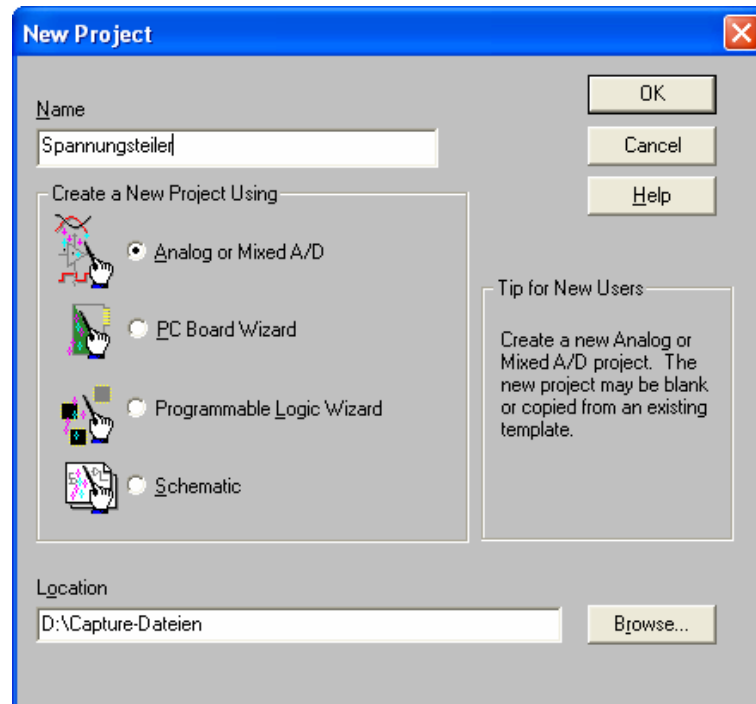
Der Entwicklungsablauf am Computer sieht folgendermaßen aus:

- Mit Capture wird der Schaltplan der zu simulierenden Schaltung eingegeben und in der Schaltplandatei <name>.sch gespeichert; dabei werden Schaltplansymbole aus Symbol-Bibliotheken <name>.olb verwendet.
- In Capture wird durch das Generieren der Netzliste (Analysis/Create Netlist), die zur Simulation nötig ist, die Schaltungsdatei <name>.cir erzeugt; dabei wird die Netzliste in der Datei <name>.net gespeichert.
- Die graphisch darstellbaren Ergebnisse der Simulation werden in der Datendatei <name>.dat gespeichert; nicht graphische Ergebnisse und Meldungen werden in der Ausgabedatei <name>.out abgelegt und können mit einem Editor angezeigt werden.
- Mit dem Programm PROBE können die Simulationsergebnisse graphisch dargestellt werden; dabei kann man die einzelnen Signale der Schaltung direkt darstellen oder sie direkt miteinander per Rechenoperation verknüpft anzeigen lassen.

Die im folgenden dargestellten Beispiele wurden mit der PSpice-OrCAD-Student-Version 9.1 unter Verwendung von europäischen Schaltzeichen-Symbolen erstellt. Entsprechende Bibliotheken dafür gibt es ebenfalls von OrCAD.

◆ Ein neues Projekt anlegen:

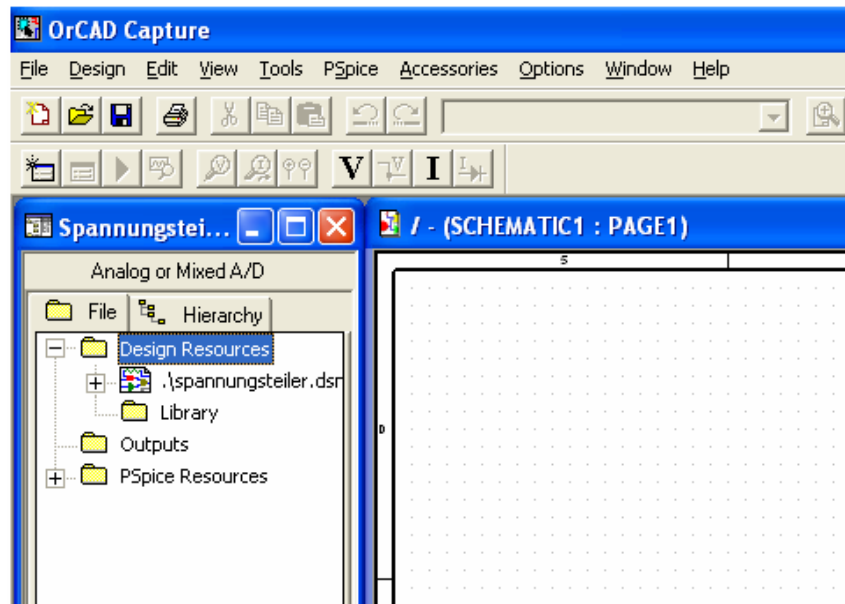
Bevor wir loslegen können müssen wir uns erst einmal ein neues Projekt anlegen. Dazu klickt man auf "File>New>Project ..." es erscheinen nacheinander die Dialoge :



Hier wählt man den Name, den Ort an dem das Projekt gespeichert werden soll und ob es von einem anderen Projekt abgeleitet werden soll.

◆ Mit dem Projekt arbeiten:

Das Capture-Fenster sieht nun so aus:



- Links wird das Projektfenster "Spannungsteiler.opj" dargestellt. Hier werden automatisch Informationen über verwendete Bauteile, Bibliotheken, Dateien usw. angezeigt. Über dieses Fenster kann auch ein verloren gegangenes "Schematic" Fenster wieder angezeigt werden.
- Rechts wird das "Schematic" Fenster angezeigt, in dem die Bauteile zu einer Schaltung zusammengesetzt werden.
- Ganz rechts befinden sich einige Knöpfe (Buttons), deren Funktion erklärt werden, wenn man den Mauszeiger lange genug darauf verweilen lässt. Die für uns wichtigen Buttons werden im folgenden kurz erläutert.

• Wichtige Shortcut-Buttons:



Bauteil wählen:

Hiermit können Bauteile ausgewählt und danach platziert werden.



Quellen wählen:

Hiermit können Quellen ausgewählt und danach platziert werden.



Erdung wählen:

Hiermit kann die Erdung ausgewählt werden.

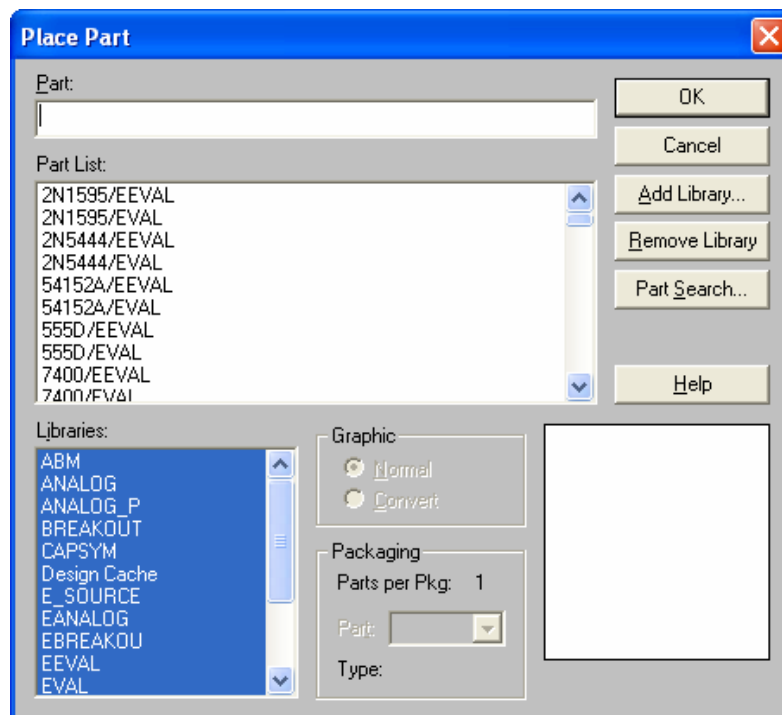


Bauteile verbinden:

Zum Verbinden der Bauteile muss der Mauszeiger auf ein Eckkästchen des Bauteils geschoben und mit einem Klick "befestigt" werden. Dann mit der Maus zum nächsten Bauteil fahren und noch einmal klicken. Es gilt wiederum, dass nur dann eine Verbindung besteht, wenn ein roter Kreis sichtbar wird. Ein Knick im Kabel wird durch anklicken der Arbeitsfläche realisiert.

• Laden von Bauteilen aus der Bibliothek:

Durch Betätigen des Bauteile-Buttons öffnet sich die Bauteil-Bibliothek:



Stehen keine Bauteile zur Verfügung, so müssen erst die Bauteil Bibliotheken geladen werden. Dazu klickt man auf "Add Library ..." und erhält eine Liste von Bibliotheken. Es empfiehlt sich, gleich alle auszuwählen (erstes .obl anklicken, "Shift" Taste halten und letztes .obl anklicken.) und zu öffnen.

• Bauteil auswählen:

- Im Feld "Name" kann man durch eingeben der Namen ein Bauteil aus der Liste auswählen.
- Im Feld "Part List" kann man durch Bewegen der rechten Laufleiste ein Bauteil aus der Liste auswählen.
- Im Feld "Libraries" sind die Bibliotheken selektiert, deren Bauteile in der "Part List" angezeigt werden.

Will man **nur** die Bauteile aus der Bibliothek "ANALOG" angezeigt bekommen, so genügt ein Klick auf diese Bibliothek.

Analog lässt sich so auch eine Quelle auswählen, sofern die Bibliothek "SOURCE" geladen wurde.

• Bauteil platzieren:

Nachdem z.B ein Widerstand **R** ausgewählt wurde, kann dieser mit einem Mausklick im Schematic Fenster platziert werden.

Nun kann ein weiteres Bauteil dieser Sorte gesetzt werden.

Wird dies nicht gewünscht, so kann mit "**rechter Maustaste>End Mode**" oder einfacher mit der "**ESC**" (Escape) Taste der Platzierungs-Modus abgebrochen werden.

Das Bauteil kann auch mittels "**Strg-r**" gedreht und über "**Strg-f**" gespiegelt werden.

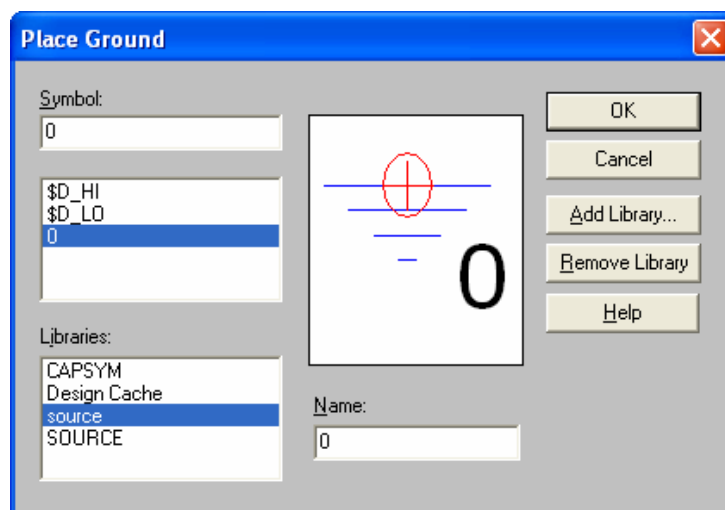
Um eine Verbindung herzustellen muss bei Überlagerung der Bauteilanschlüsse ein roter Kreis aufleuchten. Erst dann werden die Anschlüsse im Programm verbunden.

Für die spätere Auswertung (z.B um Knotenpotentiale in PROBE anzuwählen), ist es wichtig zu wissen, wie PSpice beim Rotieren des Bauteiles die Knotenanschlusspunkte dreht. Dies geschieht folgendermaßen:



- **Bezugspotential (=Masse) setzen:**

Zur Simulation braucht PSpice einen festen Bezugspunkt, der das Nullpotential verkörpert. Dafür benötigt man die Erdung "0/SOURCE". Diese findet man über die Erdungs-Bibliothek (Button) im Verzeichnis "Capture\Library\PSpice" in der Datei "source.olb".



Hinweis:Die Quellen müssen über die Funktion "Bauteil wählen" (Button) eingefügt werden. Die Erdung erfolgt allerdings mittels "0/SOURCE" aus diesem Menü.

- **Namen und Attribute der Bauteile festlegen:**

Jedes Bauteil kann individuell benannt werden. Beim Setzen von Bauteilen werden diese durch ihre Abkürzung (R für Widerstand etc.) und durch eine laufende Nummer bezeichnet. Diese Namen und weitere Optionen können durch Doppelklick verändert werden. Es dürfen jedoch niemals zwei Bauteile den gleichen Namen tragen.

Der Wert eines Bauteils oder einer Quelle kann hier ebenso durch Doppelklick (auf den angezeigten Wert) verändert werden.

Maßvorsätze werden in PSpice wie folgt **einggegeben**:

Mega: 10^6 = **1Meg**

Kilo: 10^3 = **1k**

Milli: 10^{-3} = **1m**

Mikro: 10^{-6} = **1u**

Nano: 10^{-9} = **1n**

Pico: 10^{-12} = **1p**

Bei Quellen sind meist nicht alle Attribute sichtbar. Durch Doppelklicken auf das Schaltsymbol öffnet sich dann aber ein Fenster, das alle Attribute zeigt. Mit der sich dort befindenden Display-Option können die einzelnen Attribute auf dem Schaltplan sichtbar gemacht werden.

→ **Attribute wichtiger Quellen:**

i) Die Spannungsquelle VSIN – Sinusspannungsquelle:

! Einsetzbar für DC-Analyse, AC-Analyse, Transienten-Analyse !

Attribute der DC-Analyse:

DC: Höhe der Spannung

Attribute der AC-Analyse:

AC: Amplitude

Attribute der Transienten-Analyse:

VOFF: Offset

VAMPL: Amplitude

FREQ: Frequenz

TD: Verzögerungszeit (Vorgabe: TD=0. Die Spannung der Quelle ist Null für TD<0. Nach dem Ablauf einer eingestellten Verzögerungszeit beginnt der durch die übrigen Attribute eingestellte Spannungsverlauf der Quelle.)

DF: Dämpfungsfaktor (Vorgabe: DF=0. Dann liefert die Quelle einen Sinus mit gleichbleibender Amplitude. Ist DF>0, dann klingt die Amplitude mit dem Dämpfungsfaktor DF exponentiell ab.)

PHASE: Phasenlage der Spannung bei ihrem Beginn

ii) Die Spannungsquelle VPULSE - Rechteckspannungsquelle:

! Einsetzbar für DC-Analyse, AC-Analyse, Transienten-Analyse !

Attribute der DC-Analyse:

DC: Höhe der Spannung

Attribute der AC-Analyse:

AC: Amplitude

Attribute der Transienten-Analyse:

V1 : Ausgangshöhe der Spannung des Impulses [unterer Wert]

V2: Amplitude des Impulses [oberer Wert]

TD: Verzögerungszeit (s.o.)

TR: Anstiegszeit des Impulses [ansteigende Flanke]
(kann nicht zu Null, aber beliebig klein gewählt werden.)

TF: Abfallzeit des Impulses [absteigende Flanke]
(s.TR)

PW: Impulsbreite (Zeit während Impuls Maximalwert hat)

PER: Periodendauer der Impulsfolge

◆ Simulieren mit PSpice:

Um die aufgebaute Schaltung mit PSpice zu simulieren, muss mittels der Schaltfläche "PSpice>New Simulation Profile" namentlich ein Simulationsprofil erstellt werden. Anschließend muß über die Menüfunktion "PSpice>Edit Simulation Profile" die Simulationsart mit den gewünschten Parametern eingestellt werden.

● Marker als Messabnehmer:



Mit Hilfe dieser Knöpfe, oder über das Menü "PSpice>Markers" können Meßabnehmer in die Schaltung eingebracht werden.

Stromabnehmer müssen direkt an ein Bauteil angeschlossen werden.

Hinweis:

Im Menü "PSpice>Markers>Advanced" findet man die Meßabnehmer "dB Magnitued of Voltage/Current" und "Phase of Voltage/Current" die für Wechselspannungsanwendungen benötigt werden.

● Simulation starten:



Mit Hilfe dieser Knöpfe, oder über das Menü "PSpice>Run" bzw. "PSpice>View Simulation Results" kann die Simulation und anschließend die graphische Auswertung gestartet werden.

Es wird ein neues Fenster geöffnet (das PROBE-Fenster) in dem die Simulationsergebnisse dargestellt werden.

● Simulationsergebnisse:

Die Simulationsergebnisse können im PROBE-Fenster (wenn keine Marker gesetzt wurden) über die Schaltfläche "Trace>Add Trace" per Auswahlfenster zur Anzeige gebracht werden.



Im Falle einer Gleichspannungs-Simulation (Bias-Point-Analysis) können simulierte Ströme und Potentiale durch diese Schaltflächen im Schaltplan sichtbar gemacht werden:

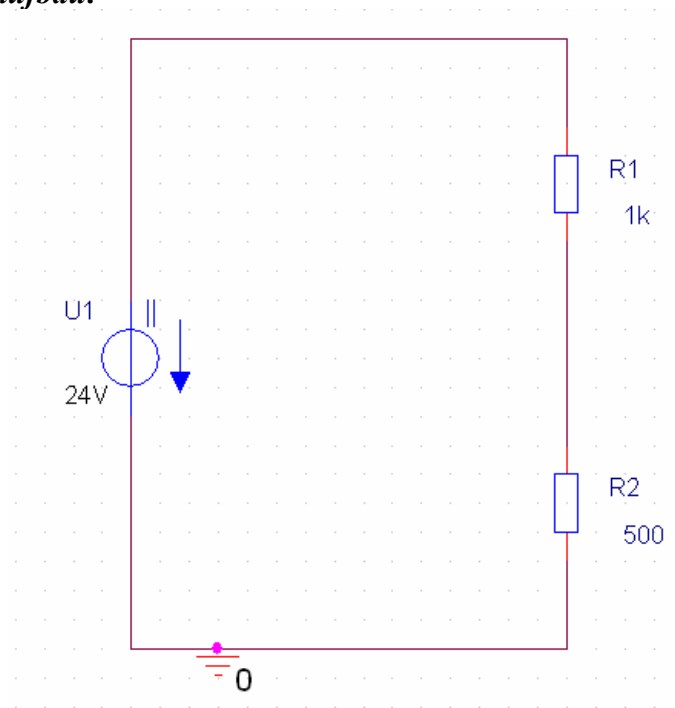


Diese Schaltflächen blenden an den angewählten Bauteilen bzw. Leitungen die Ergebnisse aus bzw. ein.

Nachstehend einige Beispiele mit den entsprechend vorzunehmenden Einstellungen:

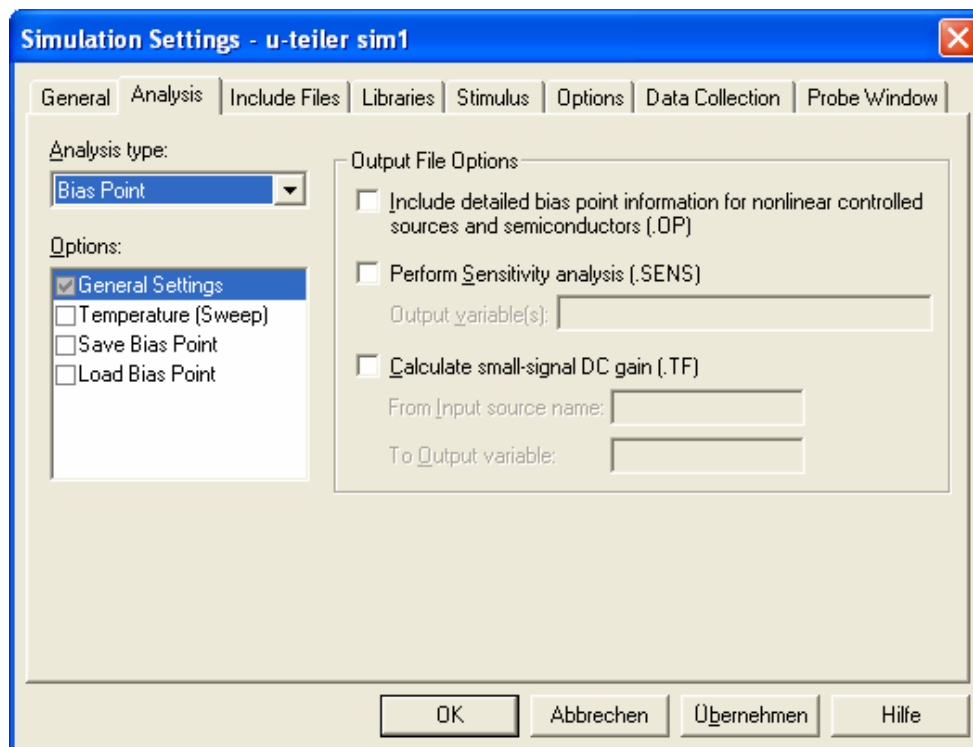
◆ **Beispiel A: Gleichspannungssimulation (Bias Point Analysis)**

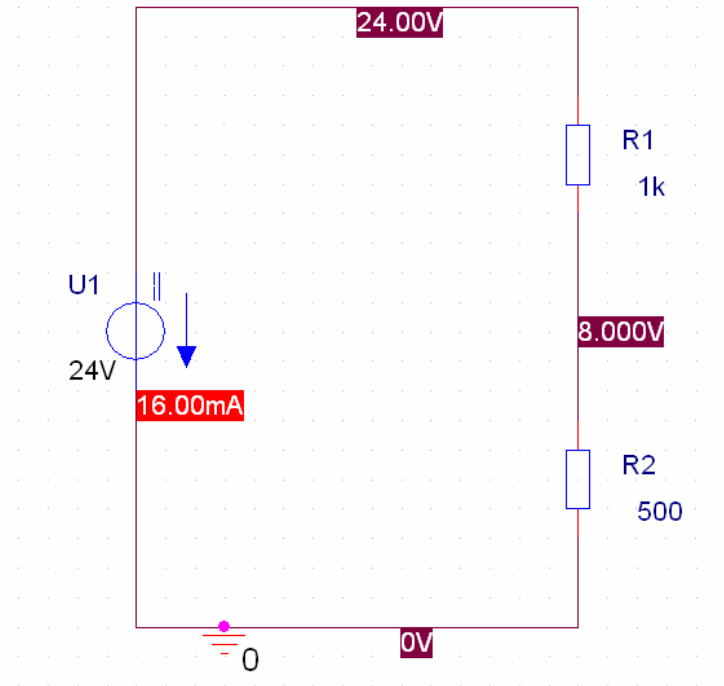
Schaltungsaufbau:



→ *Aufbau Spannungsteiler*

Analysis-Einstellungen:

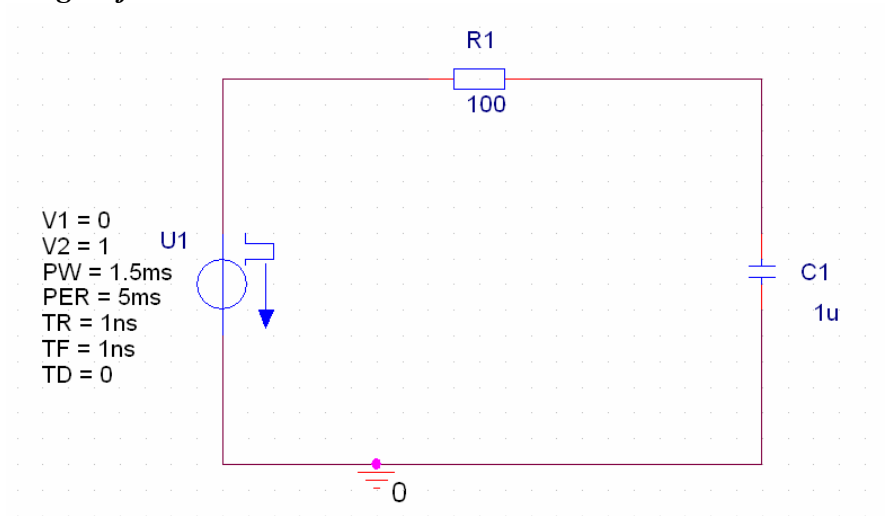


Simulationsergebnis:

→ Ergebnis der Simulation im Schaltplan

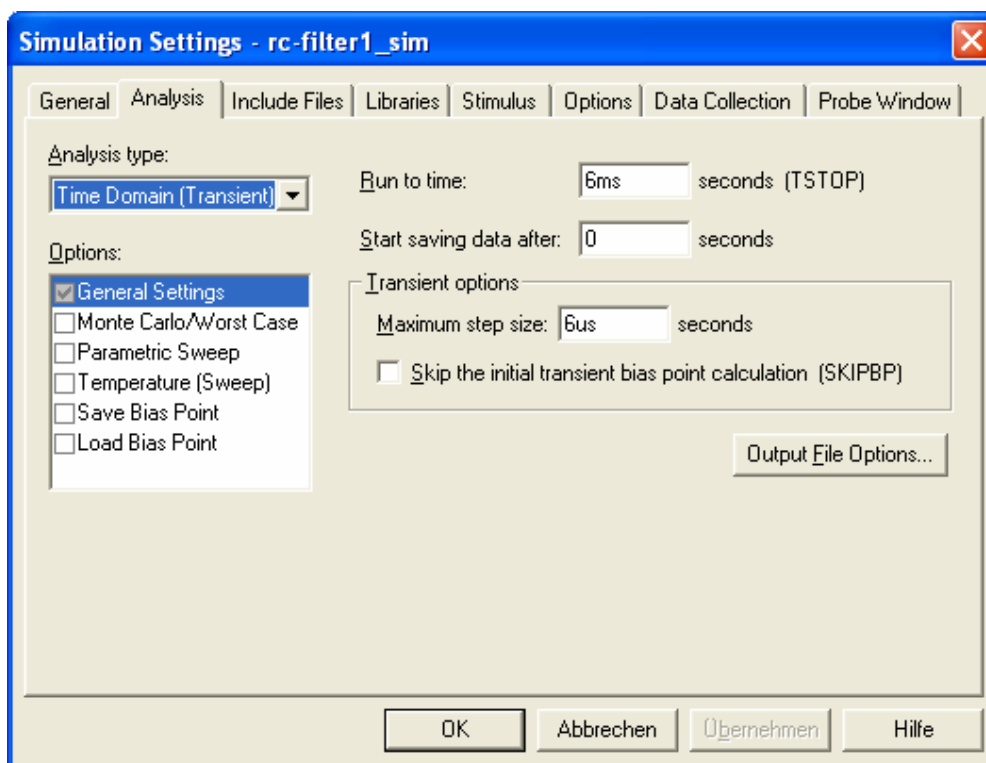
◆ Beispiel B: Wechselfeldspannungssimulation

Schaltungsaufbau:

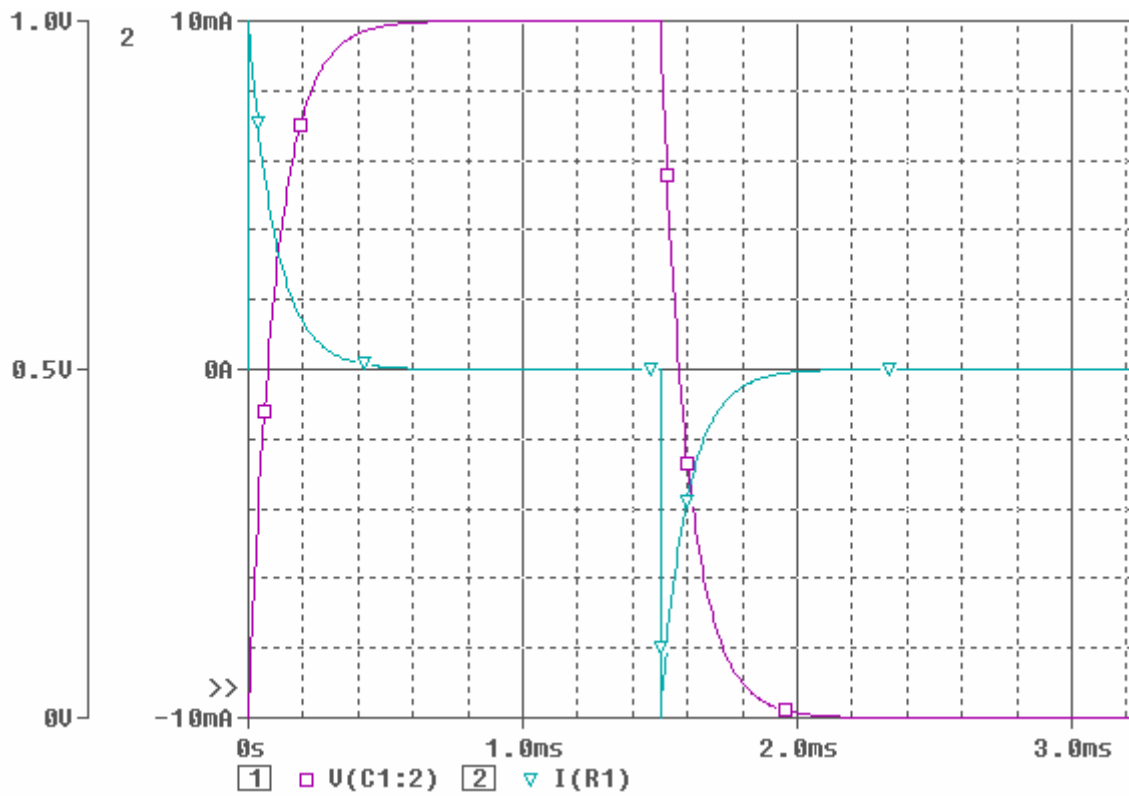


→ Aufbau RC-Filter mit Rechteckspannung

Analysis-Einstellungen:



→ Der Eintrag "Maximum step size" bestimmt die Schrittweite der errechneten Punkte des Graphen. Es ist oft empfehlenswert, die Schrittweite derart zu verkleinern, dass sie drei Größenordnungen unter der End-Zeit des Versuches liegt. Damit ergeben sich „rundere“ Kurvenverläufe.

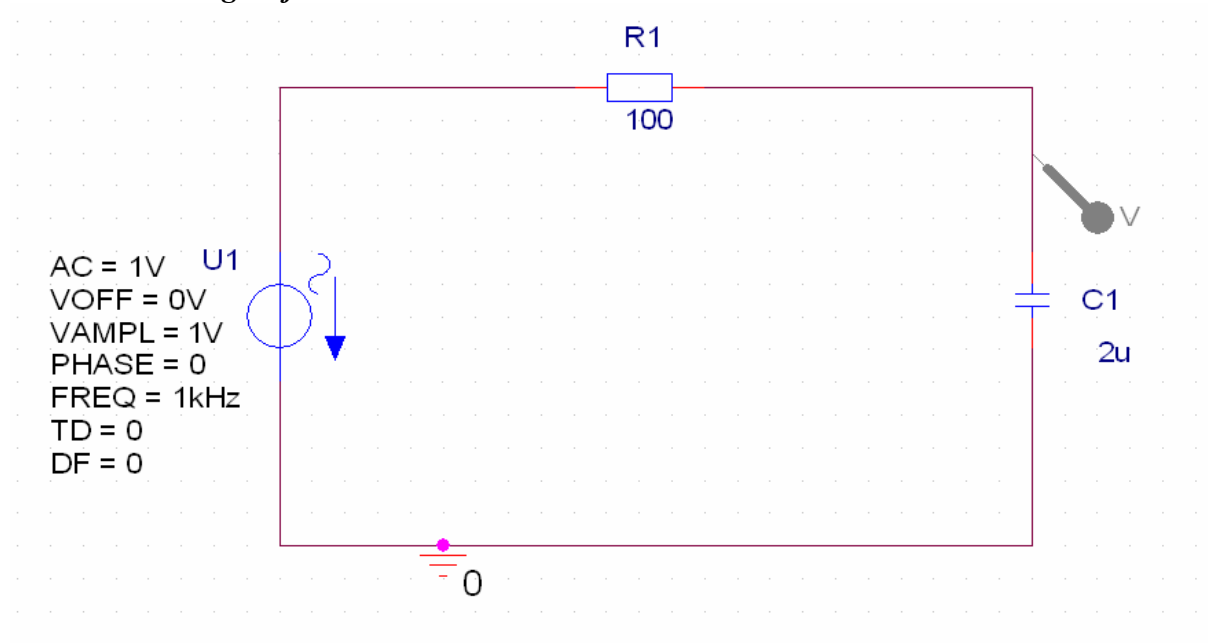
Simulationsergebnis:

→ Ergebnis im PROBE-Diagramm

Eine zweite y-Achse ist über die Schaltfläche "Plot>Add Y Axis" einführbar.

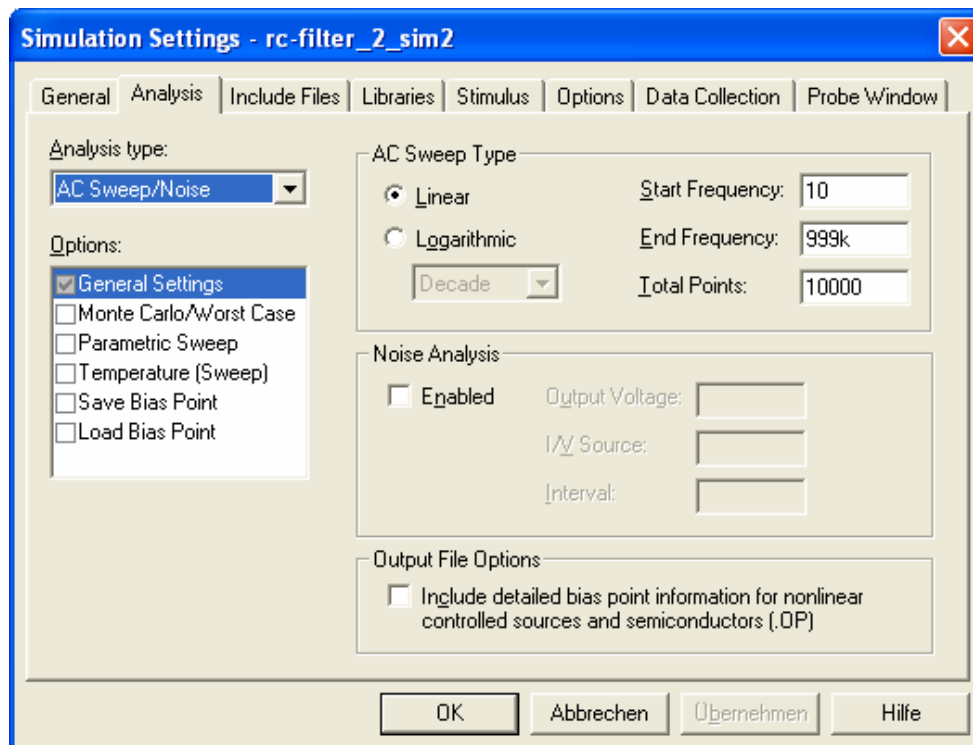
◆ Beispiel C: Wechselfeldspannungssimulation (AC-Sweep)

Schaltungsaufbau:

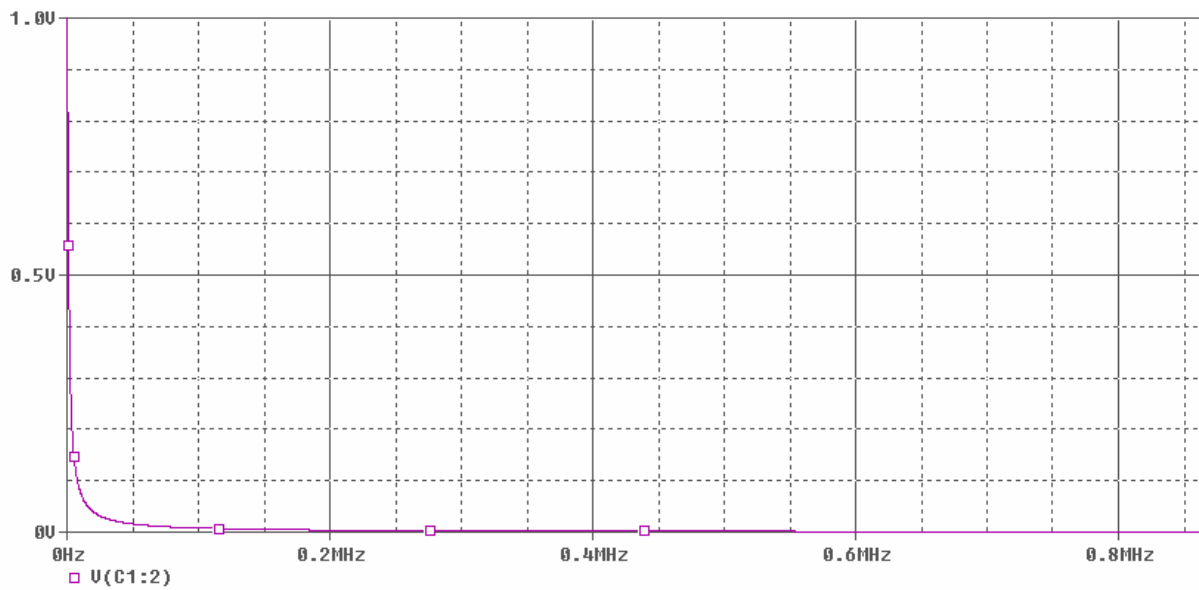


→ RC-Filter mit Sinusquelle und gesetztem Spannungs-Marker

Analysis-Einstellungen:



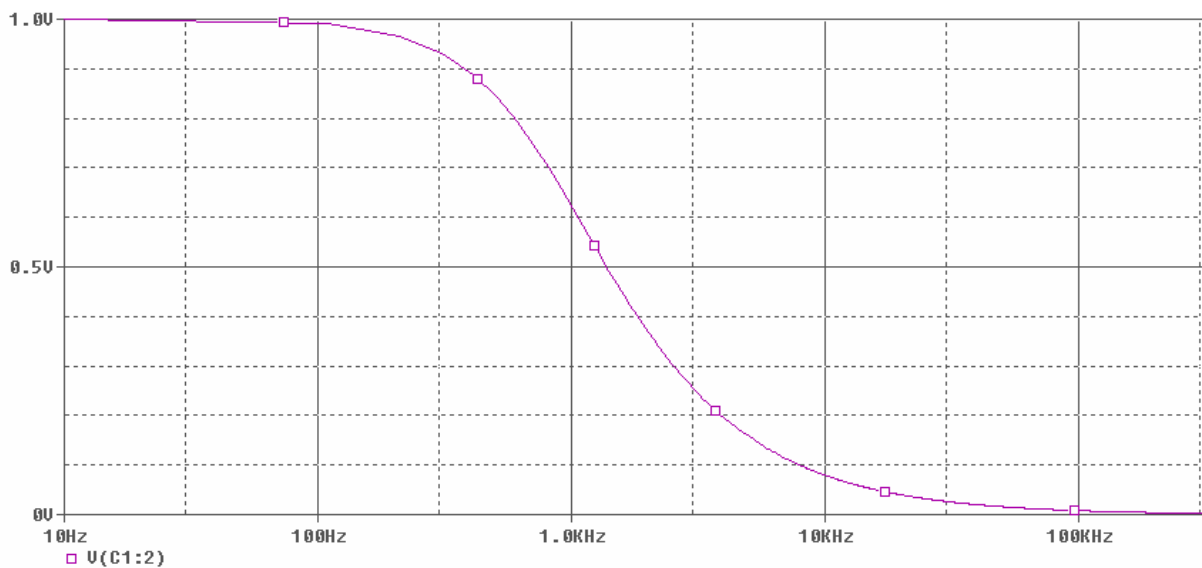
→ Für den AC-Sweep eingestellte Sweep-Frequenzen. Da bei der Auswertung teilweise logarithmische Darstellungen erforderlich sind, ist die Startfrequenz bewusst erst ab 10Hz gewählt worden. (Logarithmus für „0“ nicht definiert)

Simulationsergebnis:

→ Amplitudengang des RC-Tiefpasses (lineare Frequenzachse)

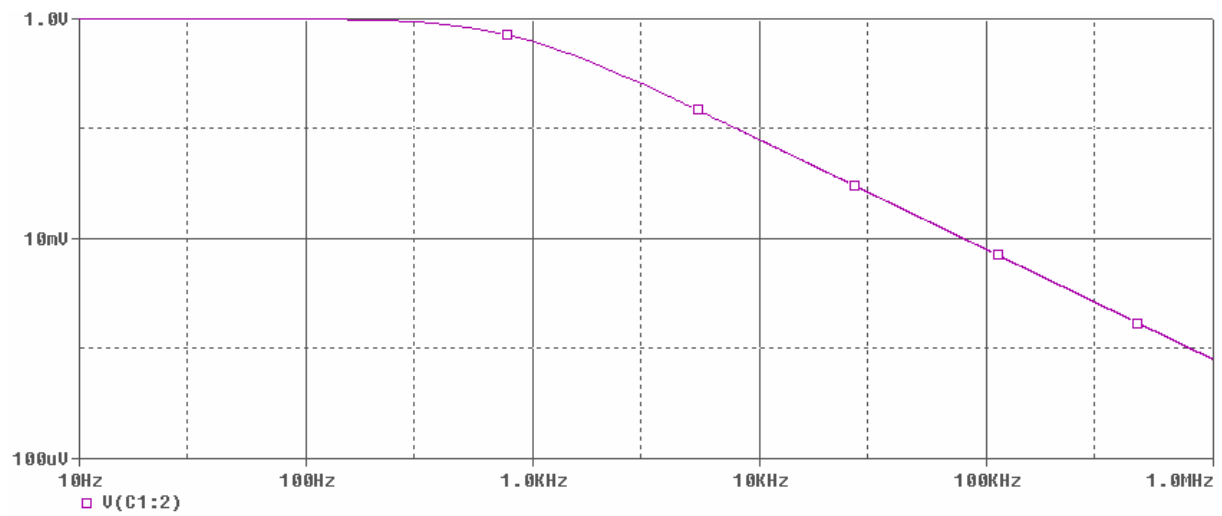
Simulationsergebnis logarithmieren:

Um die Zeitachse zu logarithmieren, braucht man nur über die Schaltfläche "Plot>Axis Settings" für die zu bearbeitende Achse einen logarithmischen Verlauf anzuwählen



→ Amplitudengang des RC-Tiefpasses (logarithmische Frequenzachse)

Natürlich kann man auch beide Achsen logarithmiert darstellen lassen:



→ Amplitudengang des RC-Tiefpasses (doppelt logarithmische Achsenskalierung)

3) Woher bekomme ich PSpice?

Die Vollversion von PSpice ist für den Privatmann zu teuer. Aber es gibt eine kostenlose Evaluationsversion (Demoversion, Lite-Edition) des Programms. Diese unterscheidet sich von der Vollversion nur dadurch, dass der Umfang von Schaltungen auf maximal 50 Bauteile begrenzt ist, darunter maximal 10 Transistoren. Für den Ausbildungseinsatz, sowie für kleinere Schaltungen im privaten Bereich ist dieser Spielraum jedoch ausreichend.

Die Lite-Edition von PSpice kann man sich zur Zeit beispielsweise auf folgenden Internet-Seiten kostenlos herunterladen:

→ <http://www.orcad.com/downloads/>

→ <http://www-emc.ee.tu-berlin.de/GL-ET-dnld.html>

Teilnehmer des Projektlabors der TU-Berlin können sich selbstverständlich auch an die Betreuer der Labore wenden.

Weiterhin sei verwiesen auf das Buch von Robert Heinemann: „PSpice – Einführung in die Elektroniksimulation“ (Hanser-Verlag), dem auch eine CD-Rom mit der Lite-Edition beiliegt.

• **Mindest-Anforderungen:**

Die Mindest-Anforderungen, die PSpice an den Heim-PC stellt sind:

- Intel Pentium 90MHz oder gleichwertiger Prozessor
- Windows 95, Windows 98 oder Windows NT
- 16MB RAM (32 empfohlen)
- 90MB freier Festplattenspeicher
- CD-ROM-Laufwerk
- Mouse oder ähnliches Eingabegerät

• **PSpice-Bibliotheken:**

Irgendwann kommt ein jeder Schaltungsentwickler an die Grenze seiner Bibliotheken. Er stellt dann fest: Das Bauteil, was ich brauche ist nicht in meiner Bibliothek vorhanden.

Was nun? – In diesem Fall sei wieder auf das Internet verwiesen, in dem diverse PSpice-Modelle zum download angeboten werden.

Die Hauptanlaufstelle bildet wohl die Seite der Firma OrCAD selbst unter:

→ www.orcadpcb.com/pspice/models.asp

Ansonsten kann man auch direkt auf den Internet-Seiten der jeweiligen Bauteilhersteller nach zum Download verfügbaren PSpice-Modellen suchen. Oftmals wird man auch dort fündig. Hilft alles nichts, so findet man oft unter dem Suchbegriff „PSpice models“ entsprechende Seiten.

4) Grenzen der Simulation

Die Vorteile einer Simulation mit PSpice oder adäquaten Programmen sind nach den vorangegangenen Kapiteln offensichtlich:

- Messfehler jeglicher Art, wie sie in einem realem Labor stets auftreten, kommen bei der Simulation der elektronischen Schaltung nicht vor
- Arbeiten in einer großen Firma mehrere Elektroniker an einem Projekt, so lassen sich Teile des Projektes unkompliziert austauschen bzw. zu einer weiteren Arbeitsgruppe senden. Somit können Schnittstellenprobleme (bezüglich Schaltung und Layout) schon per Software offensichtlich werden.
- Das Testen von einem gesamten Produkt mit all seinen Teilkomponenten kann komplett virtuell geschehen.

Wo Vorteile sind, da existieren auch Nachteile. Diese seien nachfolgend ebenfalls aufgeführt:

- Bei der Simulation herrschen ideale Bedingungen. Äußere Einflüsse (Störquellen), die vor Ort auf die Schaltung einwirken können von der Simulation nicht erfasst werden.
- Das reale Verhalten ist schon dadurch nur bedingt simulierbar, da es von der Qualität des in der Simulation geschaffenen Modells abhängt.

Eine Simulation ist stets nur so gut, wie die ihr zu Grunde liegenden Modelle, mit denen sie arbeitet.

Das sollte man bei jeglicher Arbeit mit Simulationsprogrammen immer im Hinterkopf behalten.

Quellennachweise

- OrCAD PSpice User's Guide. OrCAD-Student-Version 9.1 (CD-Rom)
- Uni Saarland. Einführung Leiterplattenlayout. Begleitmaterial Elektronikpraktikum
- Robert Heinemann. PSpice – Einführung in die Elektroniksimulation. Hanser 2000