



Hochschule Karlsruhe
Technik und Wirtschaft
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

LTspice IV Tutorial

08.08.2012

Hochschule Karlsruhe
Fakultät Elektro- und Informationstechnik
Prof. Dr.-Ing. A. Klönne
D. Tritschler

Inhalt

1	Vorwort	1
2	Installation	2
2.1	LTspice IV Programminstallation	2
2.2	Installation der _HochschuleKarlsruhe Bibliothek.....	2
3	Einführung in LTspice IV	3
3.1	Überblick	3
3.2	Ein erstes Beispiel	5
3.2.1	Transientenanalyse.....	7
3.2.2	AC-Analyse	10
4	Verwendung von externen SPICE Modellen.....	11
4.2	Nutzung von Modellen für Basiselemente	11
4.2.2	Einmalige Nutzung	12
4.2.3	Mehrfache Nutzung.....	12
5	Anlegen eigener Modelle	13
5.1	Hinweis zum Abspeichern von Dateien	13
5.2	Hierarchical Blocks	14
5.3	Subcircuits.....	18
6	LTspice Tastaturkürzel.....	22

1 Vorwort

Dieses Dokument soll eine Einführung in das kostenlose Simulationstool LTspice IV bieten. Neben den Erläuterungen der Funktionen des Programms zum Simulieren von elektrischen Schaltungen soll hier eine Übersicht über die Möglichkeiten der Erstellung eigener Simulationsmodelle bzw. die Verwendung von Modellen fremder Hersteller erläutert werden.

Für detailliertere Informationen zu bestimmten Funktionen kann die ausführliche Hilfefunktion (drücken der F1-Taste) verwendet werden. Zusätzlich steht ein Handbuch (pdf-Format) im Installationsverzeichnis von LTspice zur Verfügung.

2 Installation

2.1 LTspice IV Programminstallation

Für die LTspice IV Programminstallation wird empfohlen nicht vom vorgeschlagenen Standard abzuweichen. Hier wird als Installationsverzeichnis üblicherweise

`C:\Programme\LTC\LTspiceIV`

vorgeschlagen. Dieses Tutorial ist darauf aufgebaut, LTspice in dem genannten Verzeichnis vorzufinden. Da das Installationsverzeichnis für die Arbeit mit LTspice sehr wichtig ist, sollte es nicht an einem anderen Ort installiert werden.

2.2 Installation der HochschuleKarlsruhe Bibliothek

Die Bibliothek der Hochschule Karlsruhe kann unter

<http://www.home.hs-karlsruhe.de/~klal0001/.../>

heruntergeladen werden.

Nach der Installation von LTspice IV befinden sich unter

`C:\Programme\LTC\LTspiceIV\lib\`

die Ordner `<sub>` und `<sym>`. Im Ordner `<sub>` sind die Bibliotheken der verschiedenen Simulationsmodelle hinterlegt, während sich die zugehörigen Symbolblöcke (Symbole der Bauteile auf dem Schaltplan) im Ordner `<sym>` befinden. Die `<_HochschuleKarlsruhe>` Bibliothek ist nach demselben Schema in die zwei Teile `<_hskaSub>` (Modelle) und `<_HochschuleKarlsruhe>` (Symbole) aufgeteilt. Die Ordner mit den Symbolen/Modellen müssen an der entsprechenden Stelle

`C:\Programme\LTC\LTspiceIV\lib\sub\_hskaSub`

`C:\Programme\LTC\LTspiceIV\lib\sym\_HochschuleKarlsruhe`

abgelegt werden. Die Modelle sind so programmiert worden, dass sie in den genannten Verzeichnissen gesucht werden. Befinden sich die Dateien an einem anderen Ort, können sie nicht ohne weiteres in den Schaltplan eingefügt werden.

Alternativ können die Symbole im Arbeitsverzeichnis (Verzeichnis in dem der Schaltplan zur Simulation abgespeichert ist) abgelegt werden. Dann können sie zwar in den Schaltplan eingefügt werden, jedoch kann der Simulator die verknüpften Modelle nur dann finden wenn im Schaltplan die SPICE Direktive

`.lib C:\..\_hskaSub`

(Pfad des Speicherortes des Modellordners) eingefügt wird. Der Einfachheit halber wird jedoch die zuerst genannte Methode empfohlen.

3 Einführung in LTspice IV

LTspice ist ein Simulationsprogramm, das auf dem viel verwendeten SPICE Simulator der Universität Berkeley basiert. Es wird von der Firma Linear Technology zur kostenfreien Nutzung angeboten.

Zur einfachen Verwendung des Simulators stellt LTspice die beiden Funktionen „Schematic Capture“ zur Erstellung des Schaltplans und „Waveform Viewer“ zur Visualisierung der Simulationsergebnisse zur Verfügung. Der gezeichnete Schaltplan wird von Schematic Capture dazu verwendet eine so genannte „Netlist“ zu erzeugen. Diese Netlist wird im selben Ordner abgespeichert, in dem der Benutzer den Schaltplan gespeichert hat (nachfolgend „Arbeitsverzeichnis“ genannt). Sie kann mit einem Texteditor geöffnet und bei Bedarf verändert werden. Bei der Netlist handelt es sich um eine Auflistung aller Bauelemente, die im Schaltplan verwendet wurden und der Knotenpunkte an denen die sie miteinander verbunden sind. Die Anzahl der verfügbaren Bauelemente (im Folgenden „Basiselemente“ genannt) ist mit 23 Stück scheinbar gering, jedoch umfasst die Modellierung eine Fülle von Parametern, deren Anpassung die Simulation einer Vielzahl von realen Bauteilen ermöglicht. Die Parametrierung der Modelle geschieht durch das zur Verfügungstellen von Bibliotheksdateien. Welche Modelle den Basiselementen zu Grunde liegen und welche Parameter beeinflusst werden können, ist in der LTspice Hilfe unter dem Stichwort „Circuit Elements“ beschrieben.

Zur eigentlichen Simulation verwendet SPICE die Informationen in der Netlist und generiert eine .raw Datei, die ebenfalls im Arbeitsverzeichnis abgelegt wird. In ihr sind die Ergebnisse der Simulation hinterlegt, die durch Waveform Viewer visualisiert werden.

3.1 Überblick

Nach dem Start des Programms erscheint ein zunächst ein leeres Fenster.

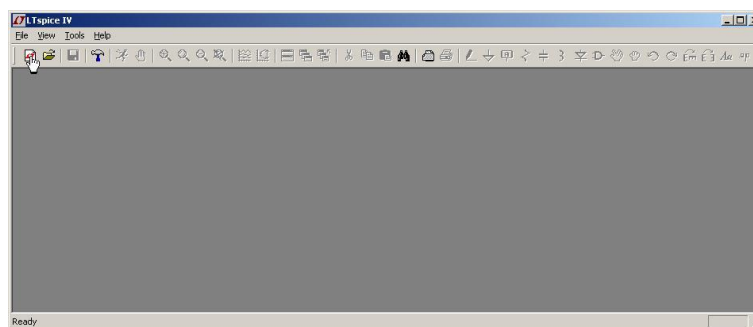


Abbildung 1: Fenster nach dem Programmstart

Der Schematic Capture und Waveform Viewer können von hier aus genutzt werden

Die verfügbaren Funktionen zeigt folgende Liste:

	Neues Schematic
	Datei öffnen
	Datei speichern
	Aufruf Control Panel
	Simulation starten
	Simulation anhalten
	Verschiedene Zoomfunktionen
	Auswahl der angezeigten Kurven im Waveform Viewer
	Automatische Skalierung der Y-Achse im Waveform Viewer
	Verschiedene Aufteilung der aktiven Fenster
	Copy/Paste Funktionen
	Druckfunktionen
	Elektrische Verbindung zeichnen
	Massesymbol platzieren
	Labelfunktion zur freien Bezeichnung von Knotenpunkten
	Widerstand platzieren
	Kondensator platzieren
	Spule platzieren
	Diode platzieren
	Bauteil Datenbank öffnen
	Verschieben von Bauteilen
	Rückgängig/Wiederholen
	Bauteil drehen/spiegeln
	Kommentar platzieren
	SPICE Direktive platzieren

Tabelle 1: Auflistung der Funktionsbuttons im LTspice Fenster

Nicht alle Funktionen des Programms können durch Verwendung der Maus genutzt werden. Um die volle Funktionalität des Simulators ausnutzen zu können, müssen neben den grundlegenden Einstellungen auch bestimmte Befehle, die so genannten SPICE Direktiven, an den Simulator übergeben werden.

Viele Funktionen sind zusätzlich über frei einstellbare Hot Keys erreichbar. Sie können unter

Button <Control Panel>, Register <Drafting Options>, Button <Hot Keys[*]> verändert werden.

3.2 Ein erstes Beispiel

Zur Erläuterung der Arbeitsweise von LTspice IV soll ein RC-Tiefpass simuliert werden. Nach dem Starten des Programms wird ein neuer Schaltplan (Schematic) erstellt und die notwendigen Bauteile (Widerstand, Kondensator, Massesymbol) durch die Verwendung der entsprechenden Buttons platziert. Die Spannungsquelle kann über die Bauteildatenbank hinzugefügt werden. Hierzu wird nach dem Klick auf den Button zum Öffnen der Datenbank der Ordner [_HochschuleKarlsruhe] geöffnet. Hier befinden sich die Symbole der Bauteilbibliothek der Hochschule. Ein einzelner Klick auf einen Bauteilnamen zeigt das entsprechende Symbol im Vorschaufenster und eine Kurzbeschreibung des Bauteils. Ein Doppelklick auf den Bauteilnamen schließt das Dialogfenster und heftet das Bauteil an den Mauszeiger.

Hinweis: Das Drehen von Bauteilen kann entweder durch Verwendung des entsprechenden Buttons oder per Hot Key (<STRG>+<R>, falls nicht umdefiniert) erfolgen.

Nach dem Verbinden fehlen den Bauteilen noch die notwendigen Parameter. Durch einen Klick mit der rechten Maustaste auf ein Bauteil öffnet sich ein Dialogfenster. Je nach verwendetem Modell (selbst definiert, Fremdhersteller oder LTspice Original) sieht dieses Feld unterschiedlich aus. Einzige Funktion aller Dialogfenster ist in diesem Zusammenhang die Übergabe verschiedener Parameter an das verwendete Modell.

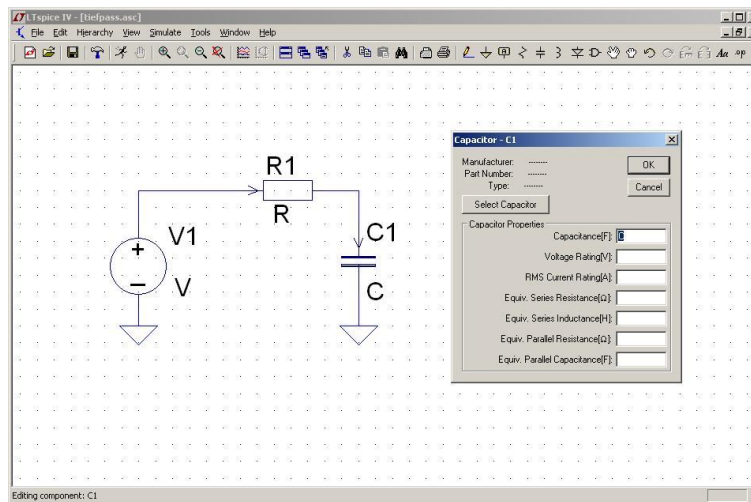


Abbildung 2: Attributfenster des Kondensators

Etwas komplizierter stellt sich die Parametrierung der Spannungsquelle dar. Das Attributfenster bietet den Button <Advanced>, mit dem das Fenster um verschiedene Funktionen vergrößert werden kann. Die genaue Erklärung der einzelnen Parameter bzw. Funktionen ist sehr gut in der LTspice Hilfe (drücken der <F1> Taste) erklärt und soll hier nicht näher beschrieben werden. Für die Parametrierung können verschiedene Schreibweisen verwendet werden. LTspice interpretiert hierbei auch Buchstaben, die der Zahl folgen. Daher können Multiplikatoren verwendet werden. Es gilt:

$$1 \text{ Millivolt} = 1\text{m} = 1\text{mV} = 1\text{e-3} = 1\text{e-3V}$$

Hierbei können jeweils der erste Buchstabe des jeweiligen Multiplikators verwendet (k: Kilo, u: Mikro, p: Pico, f: Femto, usw.). Einzige Ausnahme ist der Multiplikator Mega, dieser wird durch „meg“ Repräsentiert.

Vorsicht Falle: Der Multiplikator Mega muss als „meg“ hinterlegt werden. Da SPICE nicht zwischen Groß- und Kleinbuchstaben unterscheidet wird 1M als 1 Milli interpretiert. Außerdem wird f (oder F) als Femto interpretiert. Bei der Simulation von großen Kapazitäten (z.B. 2 Farad) muss die Einheit weggelassen werden, denn 2f (oder 2F) würde als 2 Femtofarad interpretiert.

Grundsätzlich ist die Notation von Einheiten nicht notwendig, da Buchstaben, die auf den Multiplikator folgen von SPICE ignoriert werden.

Der RC-Tiefpass soll für unser Beispiel mit folgenden Parametern versehen werden:

$$R = 1 \text{ k}\Omega$$

$$C = 1 \text{ }\mu\text{F}$$

3.2.1 Transientenanalyse

Die Transientenanalyse ermöglicht die Simulation von Schaltungen im Zeitbereich. So kann beispielsweise die Sprungantwort des Tiefpasses betrachtet werden. Dazu muss zunächst ein Spannungssprung auf den Tiefpass geschaltet werden. Dies kann durch die Parametrierung der Spannungsquelle mit der Funktion „Pulse“ erfolgen. In unserem Beispiel soll sie folgendermaßen eingestellt werden.

Parameter	Wert	Bedeutung
Vinitial[V]	0	Spannung im Auszustand
Von[V]	5	Spannung im Einzustand
Tdelay[s]	2u	Startverzögerung
Trise[s]	1n	Anstiegszeit
Tfall[s]	1n	Abfallzeit
Ton[s]	1m	Einschaltzeit
Tperiod[s]	1m	Periodendauer
Ncycles		Anzahl Perioden

Tabelle 2: Parametrierung der Spannungsquelle mit Pulse-Funktion

Nach der Parametrierung aller Bauteile müssen abschließend die Rahmenbedingungen für die Simulation gewählt werden. Mit einem Klick der rechten Maustaste auf einen freien Bereich im Schaltplan erscheint ein Menü, aus dem

<Edit Simulation Cmd.>

ausgewählt werden muss. Im erscheinenden Dialogfenster können die verschiedenen Simulationsarten ausgewählt und eingestellt werden. Für die Sprungantwort unseres Tiefpasses muss lediglich die <Stop Time> auf 10 us eingestellt werden. Der Parameter <Time to Start Saving Data> bestimmt den Zeitpunkt, ab wann die Simulationsergebnisse in der .raw-Datei gespeichert werden. Dies kann verwendet werden, um Einschwingvorgänge zu verwerfen, wenn nur der eingeschwungene Zustand interessant ist. Einziger Effekt dieser Option ist eine kleinere .raw-Datei, da die Vorgänge vor dem Start der Aufzeichnung ebenfalls simuliert werden müssen, hat diese Option keinen Einfluss auf die Simulationsdauer. Die dritte Option <Maximum Time-step> ermöglicht dem Benutzer die maximale Größe eines Simulationsschrittes zu beeinflussen. Ob diese Option für unseren Fall hilfreich ist, kann später anhand des Simulationsergebnisses geprüft werden. Die restlichen Optionen sind für unsere Zwecke nicht notwendig und können bei Bedarf in der LTspice Hilfe nachgelesen werden (Stichwort: Dot Commands). Wird die Einstellung der Simulation durch Klicken auf <OK> beendet, ist das Ergebnis der Einstellung (eine SPICE Direktive) an den Mauszeiger geheftet und muss an einer freien Stelle im Schaltplan abgelegt wer-

den. Fortgeschrittene Benutzer können die SPICE Direktive zur Einstellung der Simulation, auch ohne das Dialogfenster zu benutzen, durch Verwendung des Buttons

<SPICE Direktive Platzieren>

oder per Hot Key einfügen.

Ein Klick auf den Button

<Simulation starten>

startet die Simulation.

Der Waveform Viewer öffnet sich automatisch nach Beenden der Simulation. Nun können im Schematic-Capture-Fenster durch Klicken auf Knotenpunkte oder Bauteile Spannungen und Ströme im Waveform Viewer angezeigt werden. Spannungen werden dann immer gegen Masse gemessen. Das Klicken, Halten und Verschieben des Mauszeigers von einem Knotenpunkt zu einem anderen ermöglicht das Messen einer Spannung zwischen zwei Punkten.

Hinweis: Wird der Schaltplan nach dem Durchlauf der Simulation geändert und erneut simuliert, werden die Knotenpunkte eventuell neu benannt. Kurvenverläufe, die bereits zuvor im Waveform Viewer angezeigt wurden, zeigen plötzlich einen ganz anderen Verlauf, obwohl dies nicht erwartet wird. In diesem Fall muss der Kurvenverlauf gelöscht und neu eingefügt werden. Abhilfe kann hier geschafft werden, indem den interessanten Knotenpunkten – von Hand – Namen zugeteilt werden. Dazu kann der Button

<Labelfunktion>

verwendet werden.

Im Waveform Viewer kann die Achseneinteilung durch einen Klick auf die jeweilige Achse (es erscheint ein Linealsymbol) verändert werden.

Neben den Spannungen an Knotenpunkten und Strömen können auch Berechnungen aus diesen Werten angezeigt werden. Das Klicken mit der rechten Maustaste auf den Namen eines bereits hinzugefügten Kurvenverlaufs öffnet ein Dialogfenster in dem eine Funktion (z.B. $V(N001) \cdot I(R1)$) eingegeben und angezeigt werden kann. Um die Plausibilität der Kurvenverläufe zu prüfen, gibt es die Möglichkeit die vom Simulator berechneten Punkte anzeigen zu lassen: im Simulatorfenster nach einem Rechtsklick <Mark Data Points> auswählen. Ist in einem interessanten Bereich der Simulation die Dichte der Datenpunkte zu gering, kann sie durch die Vorgabe des maximalen Simulationsschrittes (im Fenster <Edit Simulation Cmd>) erhöht werden.

Mehr Informationen zur Nutzung von Schematic Capture und Waveform Viewer finden sich in der LTspice Hilfe.

Das Ergebnis der Simulation sieht folgendermaßen aus:

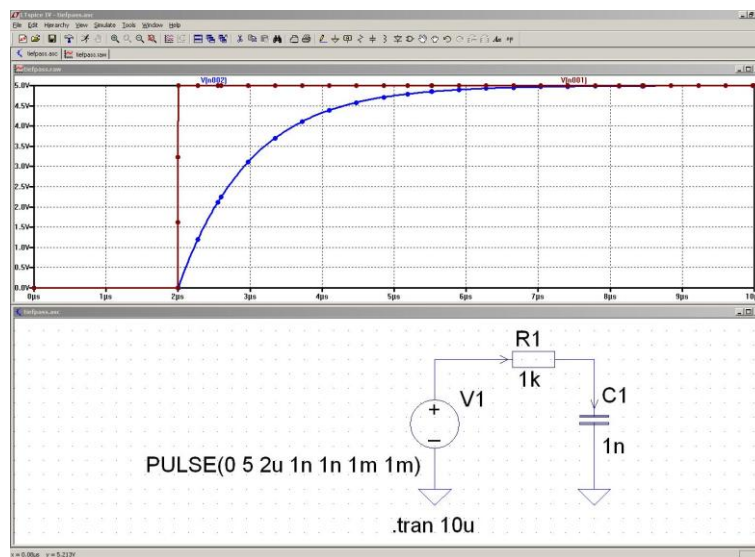


Abbildung 3: Simulation der Sprungantwort des Tiefpasses

3.2.2 AC-Analyse

Die AC-Analyse ist die Simulation einer Schaltung im Frequenzbereich. Für unser Tiefpassbeispiel muss die Spannungsquelle, wie auch bei der Transientenanalyse, für diese Simulation eingestellt werden. Das Attributfenster bietet die Möglichkeit die Amplitude (Bereich: Small Signal AC Analysis) einzustellen. In unserem Beispiel soll sie auf 1 eingestellt werden. Durch die Einstellung der Eingangsamplitude auf „1“ erhält man das vom Bodeplot bekannte Amplituden- und Phasendiagramm. Zusätzlich muss die SPICE Direktive zum Einstellen der Simulation verändert werden. Dies kann durch einen Rechtsklick auf die bereits vorhandene .tran Direktive geschehen. Es öffnet sich das gewohnte Dialogfenster. Im Register <AC Analysis> können die Optionen eingestellt werden. Mit der Simulationsart <Decade> und 101 Punkten je Dekade ergibt sich das folgende Ergebnis (Abbildung 4) aus der AC Analyse für den Bereich von 1 kHz bis 1 MHz.

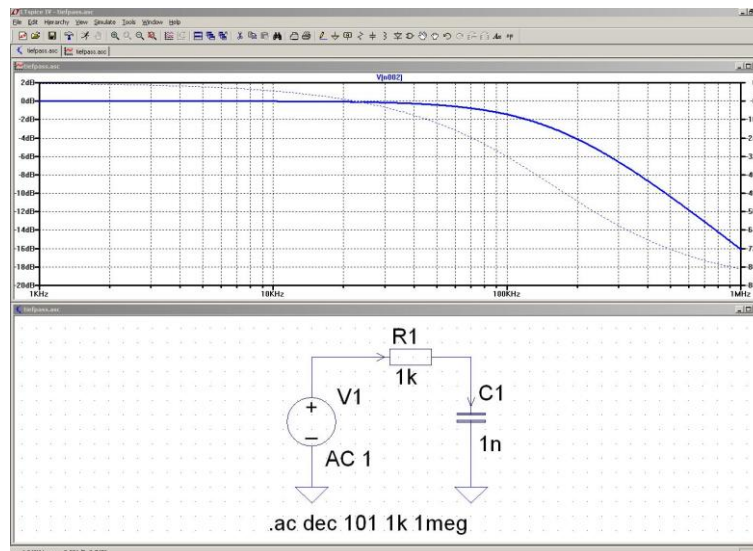


Abbildung 4: Ergebnis der AC Analyse des Tiefpass

Das Auswählen der Ausgangsspannung für die Anzeige im Waveform Viewer erstellt automatisch das gezeigte Ergebnis. Die durchgezogene Linie zeigt den Amplituden-, und die gestrichelte Linie den Phasengang der Ausgangsspannung. Die Anzeige des Phasenwinkels kann durch Klicken auf die rechte y-Achse (es erscheint wieder das Linealsymbol) mit dem Button

<Don't plot phase>

unterdrückt werden. Für einen Plot, der nur den Phasenwinkel enthält, kann auch das beschriebene Verfahren auch auf der linken y-Achse angewendet werden.

Die genaue Beschreibung der genannten und übrigen Simulationmöglichkeiten kann in der LTspice Hilfe nachgelesen werden.

4 Verwendung von externen SPICE Modellen

Viele Hersteller bieten für ihre Bauelemente SPICE-Modelle an. Diese können auf unterschiedliche Art und Weise verwendet werden. Es sind folgende Fragen zu stellen:

- Handelt es sich bei dem zu simulierenden Bauelement um ein Basiselement?
- Soll das neue Modell nur einmalig verwendet werden?

4.2 Nutzung von Modellen für Basiselemente

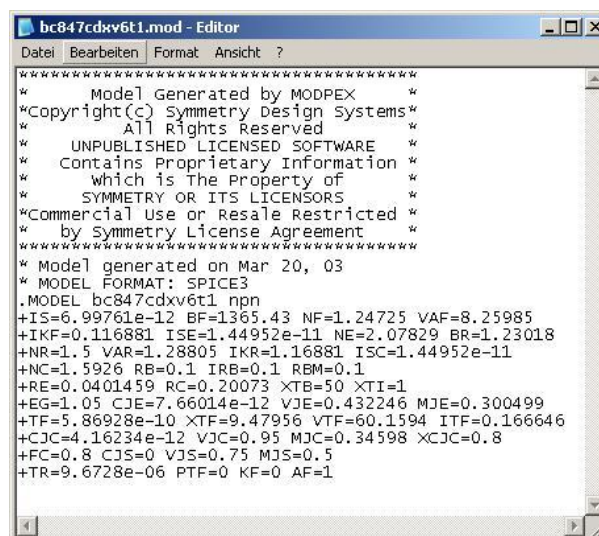
Die Verwendung von Modellen für Basiselemente soll am Beispiel des Transistors BC847C erläutert werden. Beim Bipolartransistor handelt es sich um ein Basiselement. LTspice stellt eine Vielzahl von Bauteilmodellen für den Bipolartransistor zur Verfügung. Ist dieses Modell des Basiselements ausreichend, um das entsprechende Bauelement zu simulieren, bieten die Hersteller Modelldateien an, die lediglich das Basiselement mit einer Liste von Parametern versorgen. Im Fall des BC847C wird die Modelldatei vom Hersteller ON Semiconductor unter

http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/BC847CDXV6T1.SP3

angeboten. Sie kann mit einem Texteditor geöffnet werden (Abbildung 5).

Die zulässigen Dateiformate für LTspice sind

- .lib
- .sub
- .mod



```

*****
*      Model Generated by MODPEX      *
*Copyright(c) Symmetry Design Systems*
*  All Rights Reserved                *
*  UNPUBLISHED LICENSED SOFTWARE     *
*  Contains Proprietary Information   *
*  Which is The Property of          *
*  SYMMETRY OR ITS LICENSORS          *
*Commercial Use or Resale Restricted  *
*  by Symmetry License Agreement     *
*****
* Model generated on Mar 20, 03
* MODEL FORMAT: SPICE3
.MODEL bc847cdxv6t1 npn
+IS=6.99761e-12 BF=1365.43 NF=1.24725 VAF=8.25985
+IKF=0.116881 ISE=1.44952e-11 NE=2.07829 BR=1.23018
+NR=1.5 VAR=1.28805 IKR=1.16881 ISC=1.44952e-11
+NC=1.5926 RB=0.1 IRB=0.1 RBM=0.1
+RE=0.0401459 RC=0.20073 XTB=50 XTI=1
+EG=1.05 CJE=7.66014e-12 VJE=0.432246 MJE=0.300499
+TF=5.86928e-10 XTF=9.47956 VTF=60.1594 ITF=0.166646
+CJC=4.16234e-12 VJC=0.95 MJC=0.34598 XCJC=0.8
+FC=0.8 CJS=0 VJS=0.75 MJS=0.5
+TR=9.6728e-06 PTF=0 KF=0 AF=1
  
```

Abbildung 5: Modelldatei des Transistors BC847B

Die Beschreibung des Bauteils in Abbildung 5 beginnt mit der Direktive

<.model >, gefolgt von einer Liste von Wertzuweisungen. Daran zeigt sich, dass diese Modelldatei lediglich Parameter für das Basiselement zur Verfügung stellt. Deshalb wurde sie (entgegen dem Beispiel des Herstellers) im .mod Format abgespeichert. Welches Format gewählt wird, spielt für den Simulator keine Rolle, da es sich bei den zulässigen drei Formaten ausschließlich um ASCII-Formate handelt, die alle mit einem Texteditor geöffnet und verändert werden können.

4.2.2 Einmalige Nutzung

Soll das Modell für den BC847C nur einmal benutzt werden, ist die schnellste Möglichkeit der Bereitstellung das Abspeichern der Modelldatei (hier: BC847CDXV6T1.mod) im Arbeitsverzeichnis. Um das Transistormodell zu verwenden wird ein Bipolartransistor auf dem Schaltplan platziert. Danach wird ein Rechtsklick auf die Bauteilbeschriftung „NPN“ (Name des verwendeten Modells) ausgeführt. Im erscheinenden Attributfenster wird die Bezeichnung „NPN“ durch den Namen des Modells (Ausdruck hinter der .model Direktive, hier: BC847CDXV6T1) ersetzt. Zusätzlich muss dem Simulator noch mitgeteilt werden, wo er das Modell findet. Hierzu wird die SPICE Direktive

```
<.include bc847cdxv6t1.mod>
```

auf dem Schaltplan platziert. Jetzt steht das Modell des BC847C zur Simulation bereit. Sollte es in einer anderen Simulation nochmals benötigt werden, muss die .mod-Datei im Arbeitsverzeichnis der neuen Simulation abgespeichert sein. Dann kann auch hier mit dem BC847C simuliert werden.

4.2.3 Mehrfache Nutzung

Bei regelmäßiger Nutzung eines Modells für ein Basiselement, das nicht in LTspice hinterlegt ist, gibt es wiederum zwei Möglichkeiten die Modellinformationen in LTspice einzubinden. Zum einen kann es in die Bibliothek des entsprechenden Basiselements – in diesem Fall des Bipolartransistors – eingefügt werden. Diese sind unter

```
C:\Programme\LTC\LTspiceIV\lib\cmp
```

zu finden. Dann kann das Bauelement im Attributfenster des Basiselements mit dem

```
<Pick New>
```

Button erreicht werden.

Alternativ kann mit Benutzung des bereits bestehenden Transistorsymbols ein Subcircuit erstellt werden, in dem das neue Modell aufgerufen wird. In diesem Fall erscheint das neue Modell in der Bauteildatenbank als neues, zusätzliches Element. Die Erstellung dieser Subcircuits wird in Kapitel 5.3 beschrieben.

5 Anlegen eigener Modelle

Um die Simulation komplexer Schaltungen übersichtlich zu halten, empfiehlt es sich den Schaltplan auf verschiedene Anteile aufzuteilen. Die Möglichkeit hierzu ist die Verwendung von „Subcircuits“ und „Hierarchical Blocks“. Der Begriff „Hierarchical Block“ beschreibt die Verknüpfung zwischen einer Schaltplandatei (.asc Format) und einem Symbol und Subcircuit mit einer Netlist (.net Format). Nach dem Erstellen kann ein Hierarchical Block vom übergeordneten Schaltplan geöffnet, betrachtet und verändert werden. Der Schaltplan wird folglich in mehrere Ebenen aufgeteilt. Da bei Subcircuits das Symbol mit einer Netlist verknüpft wird, geht die grafische Darstellung verloren. Soll eine Änderung vorgenommen werden, muss entweder der Code der Netlist direkt geändert werden, oder es wird eine neue, geänderte Netlist generiert und angefügt.

Aufgrund dieser Eigenschaften zeigt sich, dass sich Hierarchical Blocks sehr hilfreich sind um große Schaltpläne übersichtlich zu halten. Soll ein Schaltungsteil jedoch häufiger und für mehrere Simulationen verwendet werden, bietet sich die Zusammenfassung dieses Schaltungsteils als Subcircuit an.

Die Symbole beider Ansätze können in die Bauteildatenbank eingefügt und von dort aus in den Schaltplan übernommen werden.

5.1 Hinweis zum Abspeichern von Dateien

Wie in den vorigen Kapiteln erwähnt bestehen alle Elemente, die in einen Schaltplan in LTspice eingefügt werden können, aus einem Symbol und einem Modell (bzw. Netlist oder Schaltplan). Nach der Installation von LTspice sind die Symbole der von LT zur Verfügung stehenden Elemente unter

`C:\Programme\LTC\LTspice IV\lib\sym`

die dazugehörigen Basiselemente unter

`C:\Programme\LTC\LTspice IV\lib\cmp`

und die übrigen Modelle unter

`C:\Programme\LTC\LTspice IV\lib\sub`

abgespeichert.

Aus dem Ordner <sym> gewinnt LTspice seine Bauteildatenbank. Alle Symbole, die in <sym> oder einem Unterordner gespeichert sind werden – mitsamt der Ordnerstruktur – im Dialogfenster der Bauteildatenbank angezeigt. Zusätzlich kann das Arbeitsverzeichnis ausgewählt werden. Es ist nicht möglich, Symbole, die an einem anderen Ort gespeichert sind, in den Schaltplan einzufügen. LTspice sucht bei einer Simulation immer im <sub> Ordner und im Arbeitsverzeichnis nach den Modellen

der (in den Schaltplan eingefügten) Symbole. Hier kann LTspice keine untergeordneten Verzeichnisse durchsuchen. Ist ein Modell in einem Unterordner hinterlegt muss dies entweder mit einer SPICE Direktive, z.B.

```
.lib <ordnername>\<bibliothekname.format>
```

angezeigt, oder im Attributfenster des Symbols vermerkt werden. Ansonsten kann LTspice nicht mit diesem Modell simulieren.

Zusammengefasst: Für regelmäßige Nutzung können Symbole im Ordner <sym> oder einem Unterordner von <sym> abgelegt werden. Die Ordnerstruktur innerhalb des <sym> Verzeichnisses wird von LTspice erkannt und beachtet. Die dazugehörigen Modelle können in <sub> oder einem Unterordner gespeichert werden. Sind die Modelle in einem Unterordner gespeichert MUSS dies dem Simulator mitgeteilt werden. Bei der Suche nach Modellen beachtet LTspice die Ordnerstruktur nicht automatisch.

5.2 Hierarchical Blocks

Wie bereits erwähnt ist ein Hierarchical Block die Verknüpfung zwischen einem Symbol und einer Schaltplandatei. Wie ein solcher Block erstellt wird, soll an einem Beispiel erläutert werden. Unser Tiefpass aus Kapitel 3 soll als Bauelement zur Verfügung stehen, bei dem Kapazität und Widerstand einstellbar sind.

Zunächst öffnen wir den Schaltplan des Tiefpasses und entfernen die SPICE-Direktiven für die Simulationseinstellungen. Diese wird nicht mehr benötigt, da die Simulation später vom übergeordneten Schaltplan aufgerufen wird. Außerdem kann die Spannungsquelle entfernt werden, da das Eingangssignal ebenfalls aus dem übergeordneten Schaltplan übergeben werden soll. Für unser Beispiel soll auch die Masseverbindung entfernt werden. Sie wird später durch einen eigenen Referenzpunkt ersetzt. Dies bringt den Vorteil, dass das Eingangssignal des Tiefpass nicht unbedingt auf Masse referenziert sein muss. Um später die Verbindung zum Symbol herzustellen, müssen alle Signale, die mit der übergeordneten Ebene verbunden werden sollen, mit einem Namen versehen werden. In unserem Fall wäre das jeweils ein Eingang, Ausgang und Referenzpunkt. Die Vergabe von Namen für bestimmte Knotenpunkte erfolgt mit der Labelfunktion. Sie kann entweder mit der <N> Taste oder unter

Edit > Label Net

gefunden werden. Da die Namen der Labels später im Symbol erscheinen, sollten sie sinnvoll gewählt werden. Die Werte von Kapazität und Widerstand werden durch Variablen ersetzt, damit sie als Parameter übergeben werden können. Dazu müssen die Variablen in geschweifte Klammern gesetzt werden. Abbildung 6 zeigt den fertigen Schaltplan.

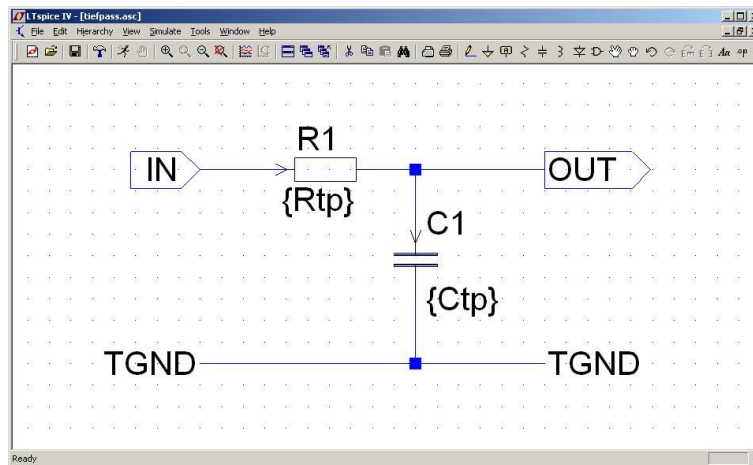


Abbildung 6: Schaltplan für den Hierarchical-Block Tiefpass

Neben dem Schaltplan wird auch ein Symbol benötigt, welches später in den übergeordneten Schaltplan eingefügt werden kann. Im LTspice Fenster unter

File > new Symbol

öffnet sich eine Oberfläche zum Zeichnen von Symbolen. Um dieses Beispiel einfach zu halten, wird für den Tiefpass einfach ein leeres Rechteck mit Beschriftung gewählt. Mit Hilfe der Zeichenfunktionen können selbstverständlich auch komplexere Zeichnungen als Symbole dienen.

Zunächst überlegen wir uns, wie viele Pins das Symbol des Tiefpasses benötigt, und fügen diese in den Symboleditor ein. Die Funktion zum Hinzufügen eines Pins findet sich unter

Edit > Add Pin/Port

oder standardmäßig mit der <P> Taste.

Im erscheinenden Dialogfenster kann dem Pin ein Label zugewiesen werden. Hier erfolgt die Verknüpfung zwischen Schaltplan und Symbol. Um einen Pin des Symbols mit einem Knotenpunkt auf dem Schaltplan elektrisch zu verbinden, müssen beide dasselbe Label tragen.

Im Bereich „Pin Label Justification“ kann die Position des Labeltextes relativ zum Pin gewählt werden. Nach der Positionierung wird der Text „Tiefpass“ eingefügt und ein Rechteck um unser Symbol gezeichnet (beides findet sich im Menü „Draw“). Das Ergebnis zeigt Abbildung 7.

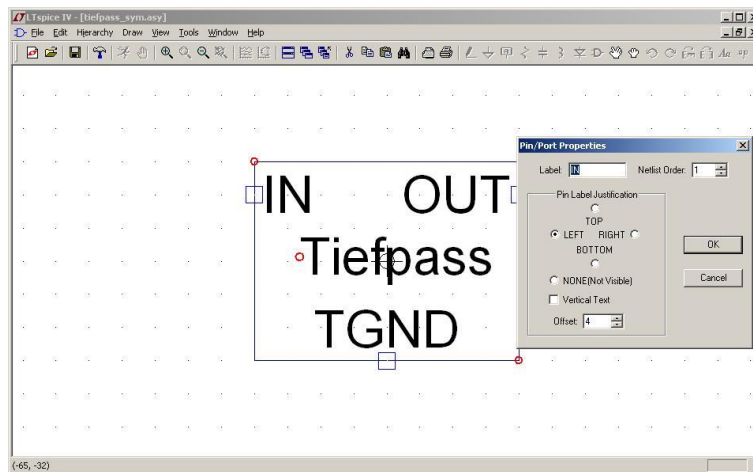


Abbildung 7: Hinzufügen eines Pins zum Tiefpasssymbol

Bereits jetzt ist es möglich, Kapazität und Widerstand als Parameter zu übergeben, wenn das Symbol unseres Tiefpasses verwendet wird. Es wird jedoch empfohlen Standardwerte zu definieren und anzuzeigen, damit sofort offensichtlich ist wie der Tiefpass eingestellt werden kann. Dazu benötigt man das Attributfenster unter

Edit > Attributes > Edit Attributes

Die Zeilen „SpiceLine“ und „SpiceLine2“ können zur Übergabe von Parametern genutzt werden. In jeder Zeile können mehrere Parameter (jeweils getrennt durch ein Leerzeichen) übergeben werden. Da in unserem Beispiel gerade 2 Parameter benötigt werden, werden beide Zeilen genutzt. Die Definition der Standardwerte (willkürlich gewählt) erfolgt mit den Zeilen

R=1k

C=1u

(Abbildung 8). In der Zeile „Description“ kann eine kurze Beschreibung des Bauteils eingefügt werden. Sie erscheint später in der Bauteildatenbank und hilft so schnell zu erkennen, welche Funktion das Bauteil hat.

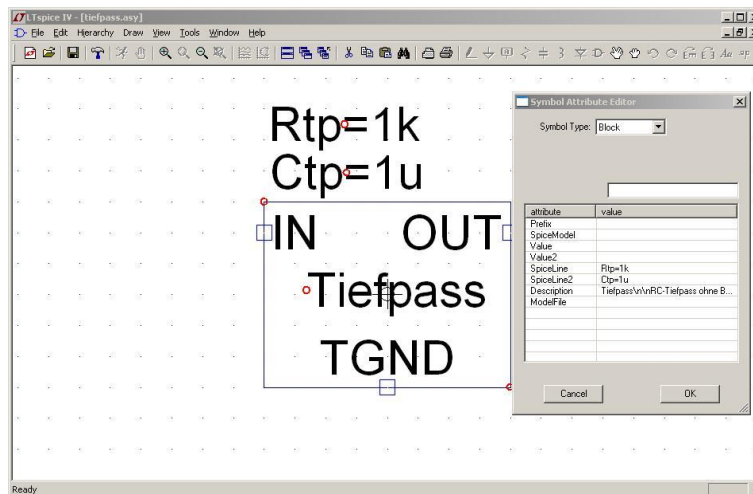


Abbildung 8: Bearbeiten der Symbolattribute

Um die Attribute am Symbol sichtbar zu machen, muss unter

Edit > Attributes > Attribute Window

das Attributfenster geöffnet werden. Hier können die Attribute ausgewählt werden, die neben dem Symbol angezeigt werden. Die Auswahl heftet das Attribut wie gewohnt an den Mauszeiger von wo aus es dann platziert werden kann. Schließlich wird das Symbol gespeichert. Als Speicherort empfiehlt sich bei einmaliger Nutzung das Arbeitsverzeichnis der Simulation, in der der Tiefpass später verwendet werden soll. Der Name des Symbols muss der gleiche sein wie der des Schaltplans, damit LTspice weiß, welcher Schaltplan verwendet wird.

Damit das neue Symbol in der Bauteildatenbank auftaucht, muss LTspice beendet und neu gestartet werden.

Hinweis: Nach dem Öffnen von LTspice wird automatisch das Installationsverzeichnis als Arbeitsverzeichnis gewählt. Erst wenn der geöffnete Schaltplan im Arbeitsverzeichnis abgespeichert ist, kann dieses als Quelle von Bauteilsymbolen in der Bauteildatenbank ausgewählt werden.

Bei der Arbeit mit den selbst definierten Hierarchical Blocks ist es wichtig, Parameter, die für die Einstellung des Blocks notwendig sind, immer über das Attributfenster zu übergeben. Eine Änderung des Werts innerhalb des untergeordneten Schaltplans wirkt sich dann auf alle Schaltpläne aus, die den Block verwenden.

Wird dieser Grundsatz befolgt unterscheidet sich die Nutzung von Hierarchical Blocks nur in zwei Punkten. Erstens ist dem Hierarchical Block ein grafisches Modell (Schaltplan) hinterlegt. Daher ist es möglich auch zu einem späteren Zeitpunkt die Funktion nachzuvollziehen. Der wesentliche Nachteil ist jedoch, dass alle Hierarchical Blocks innerhalb des Arbeitsverzeichnisses gespeichert werden müssen. Sollen manche für mehrere Simulationen verwendet werden, ist der Speicherort für neue Projekte immer eingeschränkt. Hier bieten die Subcircuits den Vorteil etwas flexibler

zu sein (siehe Kapitel 5.1). Da hier jedoch eine Netlist zu Grunde liegt, ist es schwieriger die Funktion eines Modells nachzuvollziehen und erfordert die Kenntnis der SPICE-Syntax.

5.3 Subcircuits

Wie bereits erwähnt liegen Subcircuits Netlists zu Grunde. Diese müssen jedoch nicht unbedingt mit Hilfe eines Editors als Code programmiert werden. LTspice bietet die Möglichkeit die Netlist eines Schaltplans anzuzeigen. Von hier aus kann der Code dann kopiert werden.

Als Beispiel für die Erstellung eines Subcircuits soll wieder unser Tiefpass dienen. Das Symbol, das wir bereits für den Hierarchical Block gezeichnet haben kann unter anderem Namen abgespeichert werden. Als Speicherort empfiehlt sich hierfür ein eigens angelegter Ordner unter

C:\Programme\LTC\LTspice IV\lib\sym\<meineSym>

in dem alle selbst erstellten Symbole gesammelt werden (siehe auch Kapitel 5.1). Dann muss das Symbol geöffnet und für die Nutzung mit einer Netlist vorbereitet werden. Entgegen der Verknüpfung von Symbol und Schaltplan beim Hierarchical Block wird im Fall des Subcircuits eine elektrische Verbindung nur dann hergestellt, wenn die „Netlist Order“ des Pins im Symbol gleich der Bezeichnung des Knotenpunktes in der Netlist ist. Mit einem Rechtsklick auf einen Pin am Symbol öffnet sich das bekannte Dialogfenster. Je nach der Reihenfolge des Hinzufügens zum Symbol haben die Pins eine aufsteigende Netlist Order. Im vorliegenden Beispiel lautet die Reihenfolge

Pin Label	Wert
IN	1
TGND	2
OUT	3

Tabelle 3: Netlist Order der Pins des Tiefpasssymbols

Diese Information ist wichtig, um später die korrekte Verbindung zwischen Knotenpunkt und Symbolpin in der Netlist herzustellen. Weiterhin müssen die Attribute des Symbols im Attributfenster

Edit > Attributes > Edit Attributes

angepasst werden.

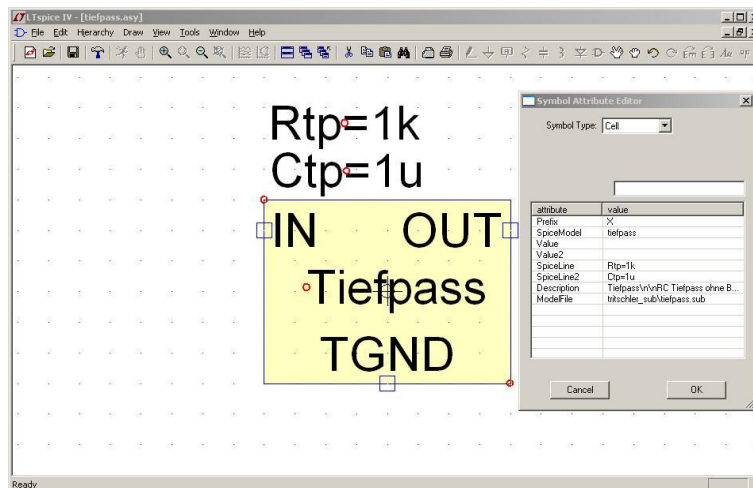


Abbildung 9: Anpassen der Symbolattribute für die Nutzung als Subcircuit

Der Symboltyp für einen Subcircuit ist Cell. Als Prefix wird X (wie auch schon beim Hierarchical Block) eingetragen, um anzuzeigen, dass es sich hier nicht um ein Basismodell, sondern einen Subcircuit handelt. In der Zeile SpiceModel wird der Name des Modells hinterlegt. Dieser Name kann frei gewählt werden. Er wird später in die Netlist eingetragen. Die Übergabe der Parameter erfolgt wie auch beim Hierarchical Block mit SpiceLine und/oder SpiceLine2. Description enthält wie gewohnt eine kurze Beschreibung, die später im Dialogfenster der Bauteildatenbank angezeigt wird. Zum Schluss muss dem Simulator noch gezeigt werden, wo er das oben eingetragene Modell finden kann. Für unser Beispiel soll die Quelldatei später im Ordner

C:\Programme\LTC\LTspiceIV\lib\sub\meinOrdner

abgespeichert werden. Damit ist die Anpassung des Symbols abgeschlossen. Die Netlist, mit der das Symbol verbunden werden soll, gewinnen wir aus dem bereits gezeichneten Schaltplan des Tiefpasses. Dieser kann unter

View > SPICE Netlist

als Netlist angezeigt werden (Abbildung 10).

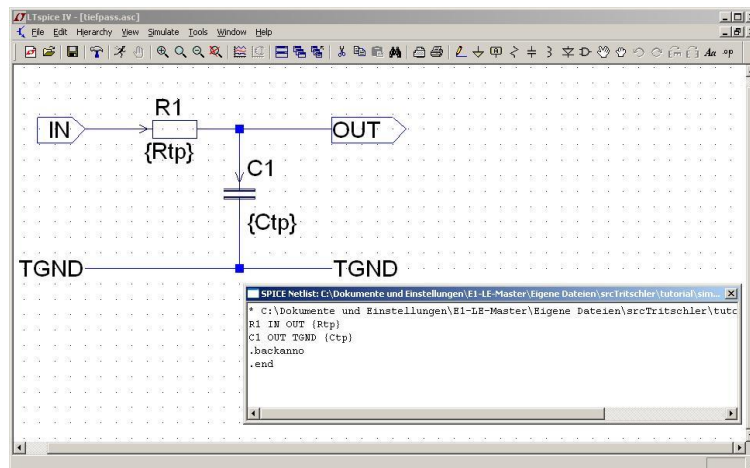


Abbildung 10: Anzeigen der Netlist des Tiefpassbeispiels

Es ist zu erkennen, dass die Netlist aus nur zwei Bauelementen (R und C) besteht. Wie bereits in Kapitel 3.1 beschrieben sind in der Netlist nur Basiselemente verzeichnet. Die Syntax einer SPICE-Netlist wird in der LTspice Hilfe im Kapitel

LTspice > Introduction

beschrieben.

Bevor die Netlist kopiert wird, müssen alle Knoten mit der Netlist Order des entsprechenden Pins am Symbol (siehe Tabelle 3) benannt werden (Labelfunktion). Dann sieht die automatisch generierte Netlist so aus.

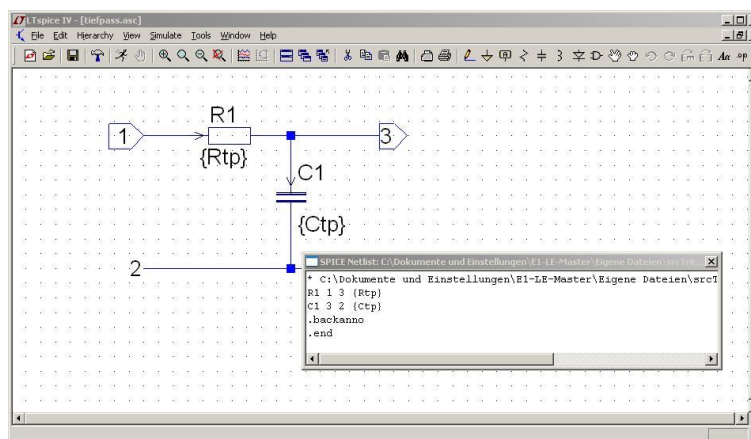


Abbildung 11: Automatisch generierte Netlist des vorbereiteten Schaltplans

Um aus der Netlist einen Subcircuit zu machen, muss der Text der Netlist kopiert und in einen Texteditor eingefügt werden. Der Aufruf eines Subcircuit erfolgt durch die Direktive

<.subckt modelName n1 n2 n3 n4 >

Die endgültige Beschreibung unseres Tiefpassmodells kann wie in Abbildung 12 aussehen.

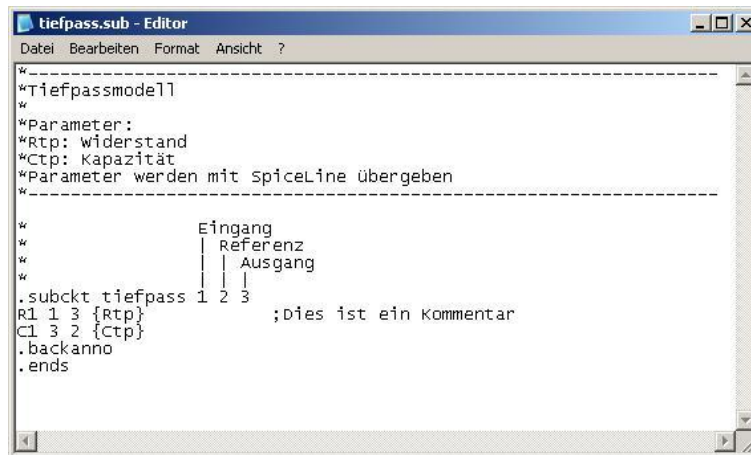


Abbildung 12: .sub-Datei des Tiefpassmodells

Zum Verständnis von Abbildung 12 gilt es Folgendes zu beachten: Zeilen, die mit einem Stern <*> beginnen sind Kommentarzeilen. Kommentare, die einer Direktive noch in derselben Zeile folgen, werden mit einem Semikolon <*> begonnen. Die erste Zeile einer Netlist ist immer ein Kommentar. Zusammengefasst enthält unser Modell den Aufruf als Subcircuit, gefolgt vom gewünschten Modellnamen (muss keinen Zusammenhang mit dem Dateinamen haben) und den Anschlüssen. Darauf folgt die Netlist des Schaltplans. Achtung: Ein Subcircuit muss mit der Direktive

.ends

beendet werden. Die Quelldatei wird im .sub Format unter

C:\Programme\LTC\LTspiceIV\lib\sub\meinOrdner

gespeichert. So wurde es zuvor auch in der Attributliste des Symbols vermerkt.

Um den Tiefpass zu verwenden, muss LTspice beendet und neu gestartet werden. Danach erscheint in der Bauteildatenbank der Ordner <meineSym> und darin das Symbol <tiefpass>.

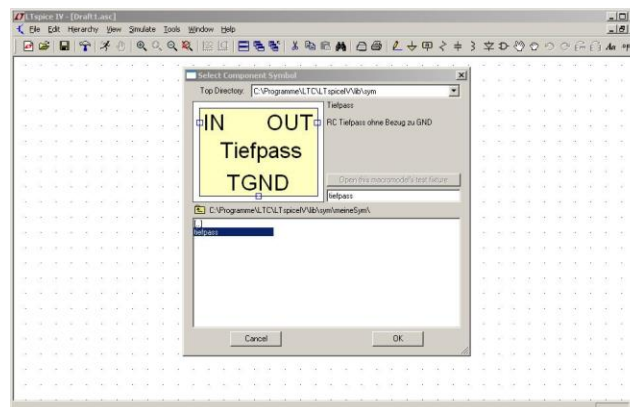


Abbildung 13: Dialogfenster der Bauteildatenbank

6 LTspice Tastaturkürzel

LTspice verfügt über eine große Anzahl von vereinfachenden Shortcuts. Diese sind nachfolgend aufgeführt:

Schematic editor			
Place Component	F2	Place Ground	G
Draw Wire Mode	F3	Place Resistor	R
Place Netname	F4	Place Capacitor	C
Delete Mode	F5	Place Inductor	L
Duplicate Mode	F6	Place Diode	D
Move Mode	F7	Draw Lines	-
Drag Mode	F8	Draw Rectangles	-
Undo	F9	Draw Circles	-
Redo	Sft-F9	Draw Arcs	-
Place Comment Text	T	Reset T=0	0
Place SPICE Directive	S	Schematic Grid	Ctl-G
Unconn. Pin Marks	U	Rotate	Ctl-R
Text Anchor Marks	A	Mirror	Ctl-E
Zoom Area	Ctl-Z	Halt Simulation	Ctl-H
Zoom Back	Ctl-B	Run Simulation	-
Delete	Del	Delete	Ctl-X
Copy	Ctl-C	Paste	Ctl-V
Place Bus Tap	-		

Hint: Use Zoom-to-fit then Print in order to fill the page

Symbol editor			
Object Anchors	O	Draw Rectangles	R
Place Pin	P	Draw Arcs	A
Delete Mode	F5	Draw Circles	C
Duplicate Mode	F6	Rotate	Ctl-R
Move Mode	F7	Mirror	Ctl-E
Drag Mode	F8	Attribute Editor	Ctl-A
Undo	F9	Attribute Window	Ctl-W
Redo	Sft-F9	Zoom In	Ctl-Z
Place Comment Text	T	Zoom Back	Ctl-B
Draw Lines	L	Show Pin Table	-

Waveform editor			
Zoom Extents	Ctrl-E	Reload Plot Settings File	-
Zoom Area	Ctrl-Z	Label Cursor Position	-
Zoom Back	Ctrl-B	Place Text on the Plot	-
Vertically Autorange	Ctrl-Y	Draw an Arrow on the Plot	-
Toggle Grid	Ctrl-G	Draw a Line on the Plot	-
Delete Mode	F5	Draw a Box on the Plot	-
Add Trace	Ctrl-A	Draw a Circle on the Plot	-
Add Pane	-	Annotation Line Style/Color	-
Undo	F9	Move Plot Annotations	-
Redo	Sft-F9	Drag Plot Annotations	-
Run Simulation	-	Redraw Window	-
Halt Simulation	Ctrl-H	Select Steps	-
Open Plot Settings File	-		

Netlist editor			
Goto Line Number	Ctrl-G		
Run Simulation	Ctrl-R		
Pause Simulation	-		
Halt Simulation	Ctrl-H		
Undo	F9		
Redo	Sft-F9		