

# Simulationssoftware SwitcherCAD III

**Mit der kostenlosen SPICE-basierten Simulationssoftware SwitcherCAD III stellt der Halbleiterhersteller Linear Technology ein Entwicklungstool zur Verfügung, das vom engagierten Hobbyelektroniker bis hin zum professionellen Hardwareentwickler jeden Elektroniker anspricht. Einfache Bedienung, umfangreiche Bauteilbibliotheken und keine interne Knotenbegrenzung zeichnen dieses Softwaretool besonders aus.**

## Allgemeines

Die Vorgehensweise bei der Entwicklung elektronischer Schaltungen hat sich in den letzten 10 bis 20 Jahren stark gewandelt. Heutzutage gehören EDA-Systeme (Electronic Design Automation) zur Standardanwendung eines „modernen“ Entwicklers. Mit solchen Softwaresystemen wird von der Erfassung der Schaltung über die Simulation bis hin zum fertigen Platinenlayout der gesamte elektrische bzw. elektromechanische Bereich einer Geräteentwicklung bearbeitet.

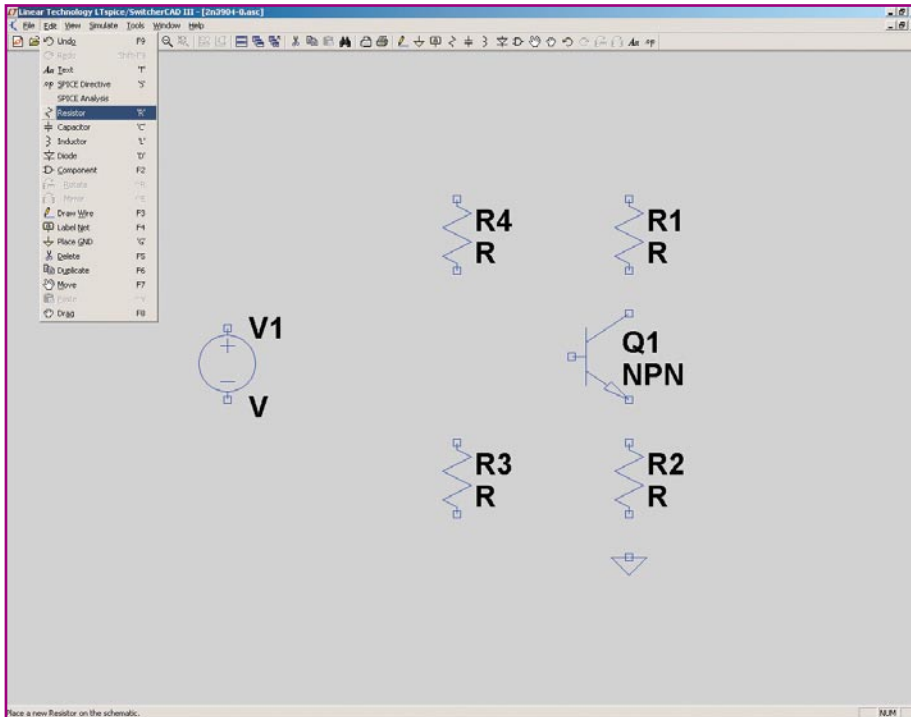
Vor 10 Jahren war die Arbeitsweise bei der Entwicklung noch mit den Schritten: Konzept erarbeiten, Schaltungsprinzip erstellen, die wichtigsten Berechnungen durchführen, Platinenlayout erstellen, Prototyp aufbauen, Funktion prüfen, Schal-

tung ändern, neuen Prototyp entwickeln usw., verbunden. Dabei kam es dann oft genug vor, dass das Endprodukt nicht mehr sehr viel mit dem ersten Prototypen gemeinsam hatte, da bei der ersten Schaltungsentwicklung einige Randbedingungen, manchmal auch nur Kleinigkeiten, nicht bedacht wurden oder sich Bauteilstreuungen so ungünstig auswirkten, dass ein Redesign erforderlich war. Die Folge waren sehr viele Prototypdurchläufe bis zur Serienreife und lange Entwicklungszeiten, da vor allem der ausführliche Test an jeder Prototypengeneration aufwendig ist. Dies bedeutet natürlich auch hohe Entwicklungskosten. Wurde hieran gespart, hatte das dann „halbfertige“ Geräte mit hohen Reklamationsquoten zur Folge.

Daher wurde schon früh erkannt, dass sich mit guten Simulationswerkzeugen die Entwicklungszeit stark verkürzen lässt. Als

Standard für derartige rechnergestützte Schaltungssimulationen hat sich SPICE durchgesetzt. SPICE ist der Urvater der heute verwendeten Programme zur Schaltungssimulation. Bereits in der ersten, 1972 veröffentlichten Version waren Grundanalysen vorhanden und eine Syntax zur Schaltungsbeschreibung definiert, die sich bis heute in den meisten Simulatoren finden lassen. Entwickelt wurde dieses Simulationsprogramm an der University of California Berkeley. In der Literatur findet man daher auch oft die Bezeichnung Berkeley SPICE. Da die Entwicklung von der amerikanischen Regierung unterstützt wurde, sind bestimmte Derivate von SPICE public domain.

Leider ist das eigentliche SPICE von der Bedienung her nur schwer zu beherrschen. Daher haben diverse Softwarehäuser komfortabel zu bedienende Umgebungen für



**Bild 1: Aufruf und Platzierung von Bauteilen**

mit „File → New Schematic“ ein leeres Objekt zu erstellen, das defaultmäßig den Namen „Drafl.asc“ erhält. Jetzt kann mit der Eingabe des eigentlichen Schaltbildes begonnen werden. Hierzu sind zunächst die Bauteile zu positionieren. Im „Edit“-Menü sind die wichtigsten, wie Widerstände, Kondensatoren, Spulen usw., direkt aufgeführt (vgl. Abbildung 1). Aktive Bauteile wie Transistoren, Operationsverstärker usw. lassen sich über „Component“ auswählen.

Im „Component“-Menü sind nur allgemeine Schaltbildsymbole aufgelistet. Die Verknüpfung, welches Bauteil anschließend in der Simulation zur Anwendung kommt, erfolgt später im Schaltbild. Ausnahmen bilden die in den aufgelisteten Unterverzeichnissen („[Comparators]“, „[Opamps]“ usw.) stehenden Bauteile. Diese sind hier direkt mit der Typenbezeichnung aufgelistet. Hierbei handelt es sich meist um Spezialteile. Im Verzeichnis „Opamps“ ist beispielsweise eine ganze Palette an Operationsverstärkern aufgelistet. Da es sich bei der Software um ein Produkt des Halbleiterherstellers Linear Technology handelt, ist es wohl zu verstehen, dass auch nur Bauteile dieses Herstellers gelistet sind. Genauso verhält es sich bei den Komparatoren („Comparators“) und den Spezialbausteinen für Spannungsversorgungs-Applikationen („PowerProducts“).

Die hier verwendeten Beispiele stehen als fertige Simulationsdateien im Internet unter <http://www.elvjournal.de> zum Download bereit. Die Dateinamen sind in den Bildunterschriften angegeben.

Die Vorgehensweise von der Schaltbildeingabe bis hin zu den verschiedenen Simulationen soll am Beispiel einer einfachen Transistorstufe veranschaulicht werden. Zunächst wird das Transistorsymbol „npn“ aus dem „Component“-Menü ausgewählt und platziert. Anschließend kommen vier Widerstände, die direkt unter „Edit“ verfügbar sind, hinzu. Alle Bauteile existieren so jedoch nur als Symbol, weder sind den Widerständen Werte zugeordnet, noch ist der Transistor spezifiziert.

Sind die Bauteile eingefügt, folgt die Spannungsversorgung. Diese ist unter „Component → Voltage“ zu finden. Hier wird auch nur das Symbol platziert, die Auswahl, ob es sich beispielsweise um eine sinusförmige Wechselspannungsquelle

diese Schaltungssimulation entworfen. Hierin ist oftmals, neben der graphischen Eingabe der Schaltung und der Simulation, auch eine Layoutoption enthalten, mit der die Platinerstellung möglich ist. Solche kompletten EDA-Systeme sind leider extrem teuer (bis zu 30.000 US\$ für Einzelplatzlösungen) und daher nur für große Entwicklungsabteilungen und Ingenieurbüros rentabel.

Der Großteil der Hardwareentwickler benötigt aber kein komplettes EDA-System, sondern braucht eigentlich nur die Möglichkeit, Schaltungen oder auch nur Schaltungsteile simulieren zu können – Schaltbildeingabe- und Layoutprogramme sind meist anderweitig bereits vorhanden.

Hier bietet der Halbleiterhersteller Linear Technology mit „SwitcherCAD III“ eine kostenlose, einfach zu bedienende und ohne Kontenbegrenzung versehene Simulationssoftware an. Diese kann von der ELV-Internetseite

<http://www.elvjournal.de>

oder von der CD, die dem ELV-Saisonkatalog „Frühjahr 2003“ beiliegt, geladen werden.

Dieses Softwaresystem bietet eine komfortable, graphische Schaltungseingabe, einfach und übersichtlich zu definierende Simulationsarten und eine vielseitige, aber übersichtliche graphische Ausgabe der Simulationsergebnisse. Dies ist genau das, was ein Schaltungsentwickler eigentlich braucht – eine Simulationssoftware ohne komplizierte Layoutoptionen, mit umfangreichen Bibliotheken und das auch noch kostenlos.

## Installation

Bereits die Installation ist sehr einfach und benutzergeführt. Die Datei an sich ist nur wenige Megabyte groß und nach der Installation werden weniger als 20 MB Festplattenspeicher belegt. Damit der Anwender immer auf dem neuesten Softwarestand ist, besitzt SwitcherCAD III eine automatische Updatefunktion. Ist diese aktiviert, sucht das Programm automatisch nach einer neuen Version und führt bei Bedarf das Update automatisch aus. Ein Update kann aber auch über „Tools → Sync Release“ manuell ausgeführt werden. Dabei werden bei Bedarf neben einer verbesserten Software-Version auch die Bibliotheken auf den neuesten Stand gebracht.

Nach der Installation ist die Software sofort „betriebsbereit“. Alle Bibliotheken sind bereits eingebunden und auch sonst keine weiteren Einstellungen notwendig.

## Schaltbildeingabe

Der allgemeine Ablauf einer Schaltungssimulation stellt sich wie folgt dar: Im ersten Schritt erfolgt die Schaltbildeingabe. Anschließend kann aus einem Menü von Simulationsarten die für die Schaltung bzw. für den Anwendungsfall interessante Simulation spezifiziert werden. Im Anschluss an den erfolgreichen Simulationdurchlauf präsentiert die Software automatisch die ausgewählten Simulationsergebnisse graphisch.

## Schaltbild zeichnen

Zur Eingabe des Schaltbildes ist zunächst

**Bild 2: Fertiges Schaltbild der Verstärkerschaltung (Datei: 2n3904-0.asc)**

le oder eine Gleichspannungsquelle handelt, erfolgt auch hier später im Schaltbild.

Sind die Bauteile gesetzt, muss zuletzt noch eine Bezugsmasse festgelegt werden. Dies ist sehr wichtig, da die Simulation sich immer auf diesen so genannten „0-Knoten“ bezieht und ansonsten auch nicht startet. Üblicherweise ist dies die bekannte Schaltungsmasse. Mit „Edit → Place GND“ wird das Symbol platziert und über die im Folgenden zu legenden Verbindungen angeschlossen.

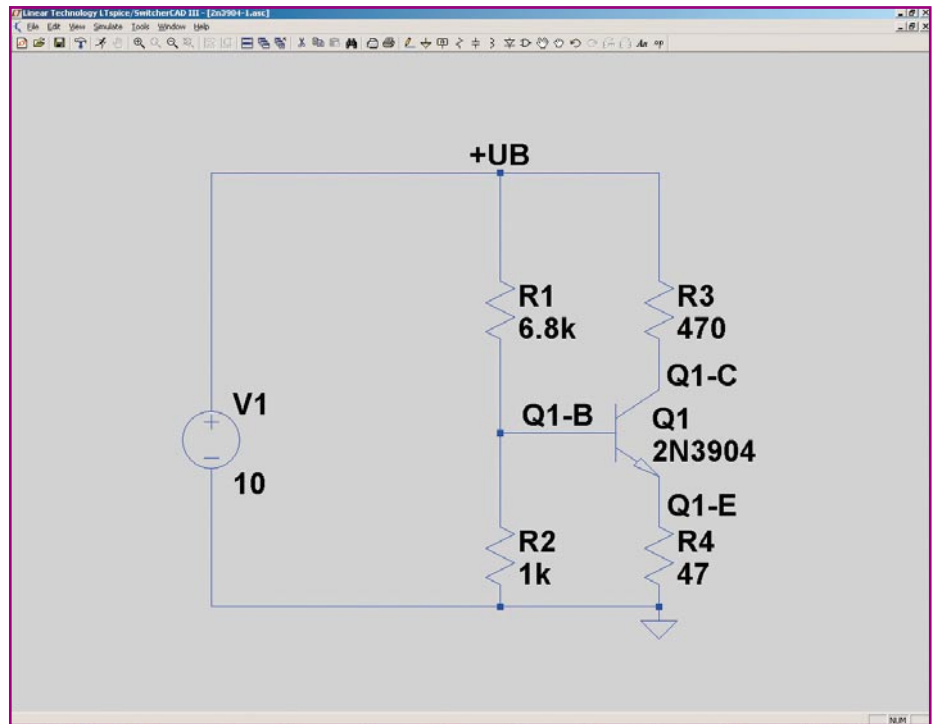
Das Legen der Verbindungsleitungen zwischen den einzelnen Bauteilen ist mit „Edit → Draw Wire“ sehr einfach möglich. Nach dem Aufruf der Funktion wird der erste Bauteilanschluss angeklickt, der Cursor zum nächsten, damit zu verbindenden Anschluss geführt und mit einem erneuten „Linksklick“ ist die „Leitung“ gelegt. Verbindungen, die „über Eck“ gelegt werden müssen, sind an jedem 90°-Knick mit einem „Linksklick“ zu fixieren. Leitungsknoten entstehen, wenn eine Leitung direkt auf einer bereits bestehenden Verbindung beendet wird.

Die Schaltbildeingabe, scheint sie noch so einfach, erfordert genaues Arbeiten. Die meisten Fehler, d. h. die Schaltung macht in der Simulation nicht das, was erwartet wird, sind auf Fehler bei der Schaltbildeingabe zurückzuführen. Über „View → Zoom to Fit“ kann das gesamte Schaltbild nochmals im Gesamtüberblick kontrolliert werden.

### Bauteile und Bauteilwerte festlegen

Ist das Schaltbild korrekt gezeichnet, kann der nächste Schritt in Richtung Simulation angegangen werden: die Spezifikation der Bauteile. Jedes Bauteil (bis auf die bereits beim Aufruf benannten Spezialteile (Operationsverstärker usw.)) lässt sich mit den Kontextmenü bearbeiten. Dazu wird mit dem Cursor das Bauteil angefahren, wobei der Mauszeiger sein Aussehen in die Form einer Hand ändert. In diesem Modus öffnet ein „Rechtsklick“ das zum entsprechenden Bauteil gehörende Kontextmenü. Je nach Bauteil können hier dann verschiedene, spezifische Werte eingegeben werden.

Generell ist bei der Eingabe der Werte zu beachten, dass die im deutschen Sprachgebrauch übliche Schreibweise mit Komma hier zu Problemen führt. Zahlen sind mit dem Punkt als Dezimaltrennzeichen einzugeben. So muss der Wert 2,7 als 2.7



eingetragen werden. Außerdem ist die Angabe von Abkürzungen für 10er-Exponenten möglich. So ist die Eingabe von 1000 mit 1k schneller und praxisnäher. Bei der Eingabe von  $10^6$  = Mega darf allerdings nicht die Abkürzung M benutzt werden, da Groß- und Kleinschreibung nicht unterschieden wird – für die Software ist dies dann „m“ für Milli. Daher ist Mega mit „Meg“ abzukürzen.

Bei einem Widerstand beispielsweise lassen sich im Kontextmenü neben dem Wert auch noch die Toleranz und die maximale Verlustleistung definieren. Neben der Direkteingabe ist es auch möglich, verschiedene, in den Bibliotheken abgelegte Bauteile aufzurufen. Dies ist bei Widerständen wohl wenig sinnvoll, da diese eigentlich mit Wert, Toleranz und Verlustleistung einfach zu spezifizieren sind. Anders sieht es da schon bei komplizierter zu spezifizierenden Komponenten wie Kondensatoren, Induktivitäten usw. aus. Will man sich hier nicht nur auf den Wert beschränken und eine sehr exakte Simulation unter Berücksichtigung der weiteren Parameter fahren, ist es von Vorteil, man wählt mit dem Button „Select ...“ einen bestimmten Typ aus der umfangreichen Liste aus.

Diese Art der Spezifikation ist bei aktiven Bauteilen wie Transistoren zwingend erforderlich. Hier gibt es dann auch nur die Möglichkeit, über eine Liste die Auswahl zu treffen. Im Beispiel erscheint mit „Pick New Transistor“ eine Liste mit für die Simulation verfügbaren NPN-Transistoren. Hier kann vom Kleinleistungstransistor 2N3055 eine Auswahl getroffen werden. Für das Beispiel ist der 2N3904 zu verwenden.

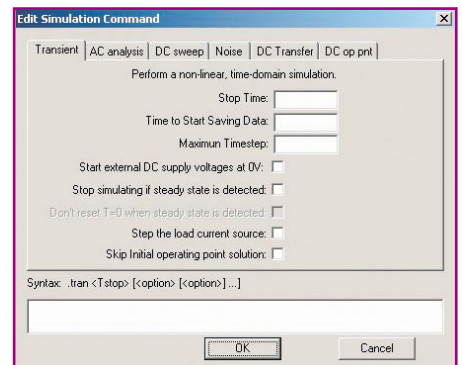
Sind die Bauteilwerte gesetzt, ist die Spannungsversorgung zu definieren. Im Kontextmenü tauchen zunächst die Eingabemöglichkeiten für eine Gleichspannungsquelle auf. Hier muss mindestens der Spannungswert angegeben werden – für das Beispiel 10 V.

In Abbildung 2 ist die fertige, relativ simple Verstärkerschaltung, an der im Folgenden verschiedene Simulationsarten erklärt werden, dargestellt.

### Schaltungssimulation

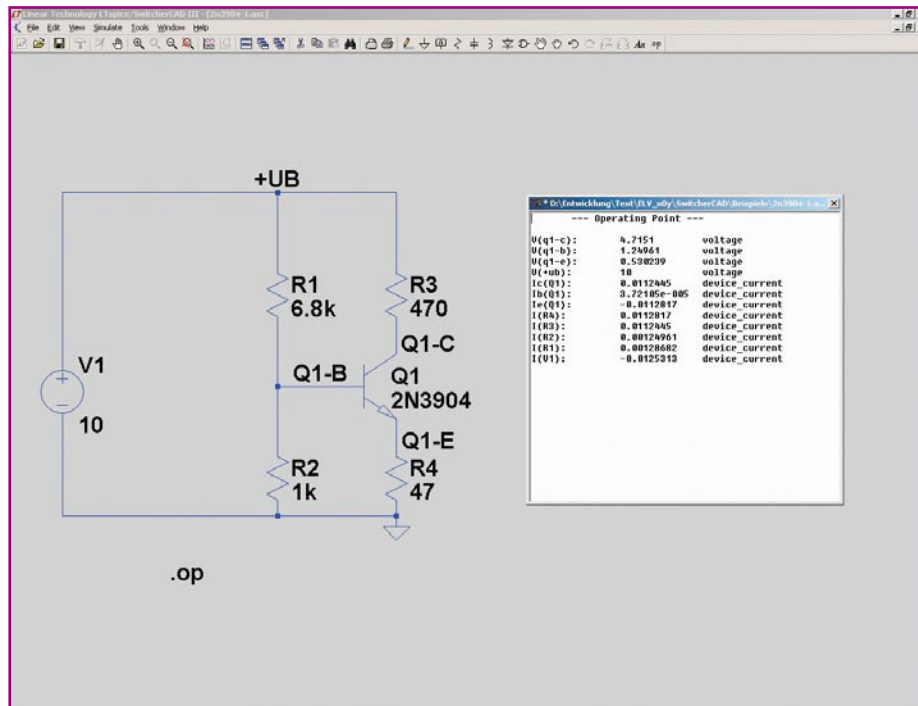
Die Schaltungssimulation ist die eigentliche Kernaufgabe der Software und somit auch der anspruchsvollste Teil. Hier muss elektrotechnisches Verständnis vorhanden sein, damit die Simulationsparameter korrekt definiert werden.

Alle Einstellungen zur Simulation erfolgen im Menü „Simulate“. Die Auswahl der verschiedenen Simulationen geschieht im „Edit Simulation Command“-Fenster (vgl. Abbildung 3). Zur Verfügung stehen sechs Analysearten: Transient, AC analysis, DC sweep, Noise, DC Transfer, DC op pnt.



**Bild 3: Übersicht der Simulationsvarianten**





**Bild 4: Arbeitspunktanalyse**  
(Datei: 2n3904-1.asc)

Mit dem Aufruf des Menüpunktes „Simulate → Edit Simulation Cmd → DC op pnt“ und der Bestätigung mit OK ist die Simulation definiert. Die Kommandozeile kann anschließend irgendwo im Schaltbild platziert werden. Das Starten der Simulation geschieht über „Simulate → Run“. Nach dem Durchlauf werden die Simulationsergebnisse automatisch dargestellt. Hierzu wird ein Texteditor geöffnet, in dem zeilenweise die einzelnen Knoten/Bauteilanschlüsse mit Spannungs- und Stromwert aufgelistet sind. Abbildung 4 zeigt das Ergebnis einer solchen Simulation. Die Werte sind dabei in den Grundeinheiten Volt und Ampere angegeben.

### DC sweep – Arbeitspunktvariation

Gegenüber der einfachen Arbeitspunktbestimmung unter festen Parametern, wird hier eine Arbeitspunktbestimmung bei Variation definierbarer Parameter durchgeführt. Beispielsweise lässt sich der Arbeitspunkt unter Veränderung der Betriebsspannung oder bei Temperaturschwankungen berechnen. Nach Aufruf des Parameterfensters „DC sweep“ über „Simulate → Edit Simulation Cmd“ muss zunächst der Name der veränderlichen Quelle angegeben werden. Im Beispiel wird die Betriebsspannung im Bereich von 8 V bis 12 V in 10 mV Schritten verändert, wobei die Veränderung der Kollektorspannung betrachtet werden soll. Somit sind die folgenden Eingaben notwendig:

Hinter den Bezeichnungen stehen die wie folgt beschriebenen Bedeutungen:

- Transient: Untersuchung der Zeitabhängigkeit der Schaltung. Dies ist im Prinzip das, was auch mit einem Oszilloskop gemessen wird.
- AC analysis: Untersuchung der Frequenzabhängigkeit der Schaltung. Im Prinzip wird hier der Frequenzgang bestimmt, also das, was ein Spektrum Analyzer anzeigen würde.
- DC sweep: Untersuchung des Gleichstromarbeitspunktes bei sich verändernden Parametern (z. B. Betriebsspannungsänderung, Temperaturänderung usw.).
- Noise: Rauschanalyse der Schaltung.
- DC transfer: Ermittlung der Kleinsignal-Übertragungsfunktion.
- DC op pnt: Berechnung des Gleichstromarbeitspunktes.

Die wichtigsten Analysemethoden „Transient“, „AC analysis“, „DC analysis“ und „DC op pnt“ werden im Folgenden erläutert. Alle möglichen Kombinationen mit allen Einstellmöglichkeiten zu beschreiben, würde den Umfang dieses Artikels sprengen - zu diesem Thema gibt es ganze Bücher. Zu beachten ist, dass es bei einigen Analysearten notwendig ist, die Schaltung mit entsprechenden Quellen zu erweitern. Daher kann keine strikte Trennung zwischen Schaltbildeingabe und Simulation gemacht werden.

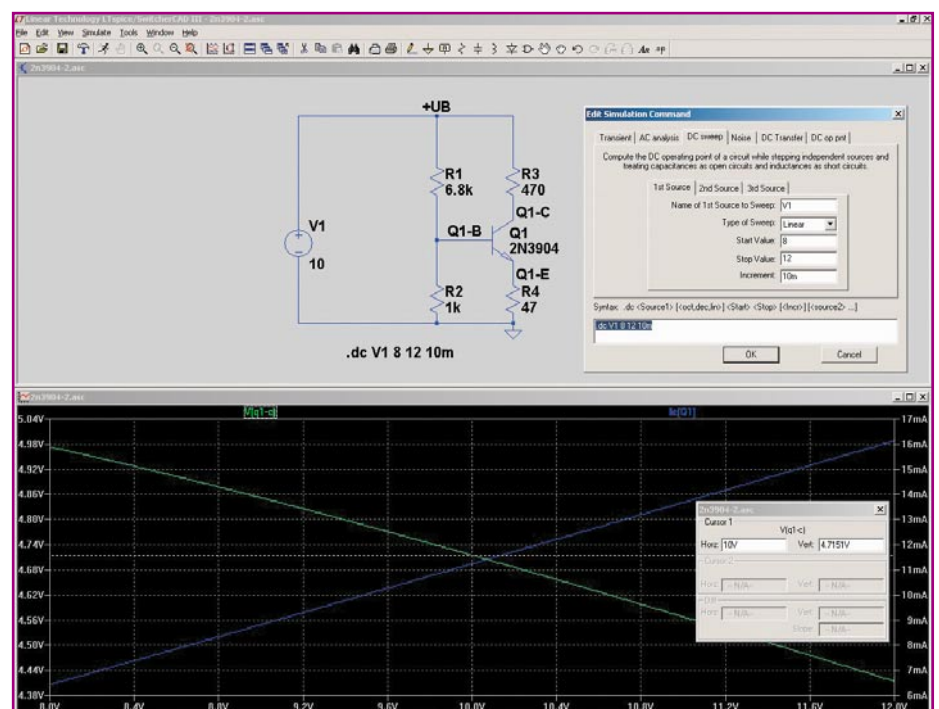
### Netze labeln

Um den Zugriff auf die Ergebnisse der Simulation zu vereinfachen, ist es sinnvoll, vorher wichtige Knoten einer Schaltung mit einprägsamen Namen zu benennen, da SPICE ansonsten mit kryptischen Knotennummierungen arbeitet.

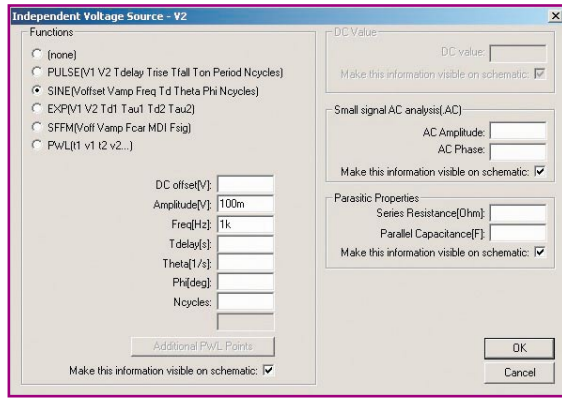
Das Labeln der Netze geschieht über „Edit → Label Net“. Hier ist zunächst der Name einzugeben. Bei einer Transistor-schaltung sinnvoll ist die Benennung von Basis, Kollektor und Emitter. Im Beispiel mit „Q1-B“, „Q1-C“ und „Q1-E“ zu sehen. Nach Bestätigen mit „OK“ ist das Label auf das entsprechende Netz (Knoten) zu setzen.

### „DC op pnt“ – Arbeitspunktbestimmung

Die einfachste und schnellste Simulation ist die Bestimmung des Arbeitspunktes. Einstellungen sind hier nicht erforderlich.



**Bild 5: Arbeitspunktanalyse im „DC sweep“** (Datei: 2n3904-2.asc)



**Bild 6:**  
Spezifikation der  
Wechselspannungsquelle

folgt die Einstellung der Simulationsparameter. Hier muss im Prinzip nur die Simulationsdauer definiert werden. Wird dieser Parameter „Stop Time“ auf 10 ms festgelegt, sind bei 1 kHz Signalfrequenz 10 Schwingungen zu sehen. Bei der Festlegung der Simulationszeit sollten immer die eingestellten Randparameter, wie Signalfrequenz der Quelle, Lade- und Entladezeiten von Kondensatoren usw., Berücksichtigung finden.

Nach dem Ablegen der Kommandozeile im Schaltbild und dem Starten der Simulation mit „Simulate → Run“) muss zunächst wiederum ein zu betrachtendes Signal ausgewählt werden (im Beispiel „V(q1-c“). Anschließend startet die Simulation und es baut sich, je nach Umfang der Schaltung und Performance des Rechners, mehr oder weniger schnell das Ausgangssignal im Ausgabefenster auf. Abbildung 7 zeigt das Ergebnis der Simulation. Fügt man mittels „Add Trace“, wie oben schon beschrieben, die Spannung an der Basis als zweiten dargestellten Kanal mit ins Ausgabefenster ein, so lässt sich sehr schön die Spannungsverstärkung der Schaltung erkennen.

Nun ist es z. B. auch sehr einfach möglich, das Verhalten der Transistorstufe bei eingangsseitiger Übersteuerung zu simulieren. Dazu wird einfach im Schaltbild der Amplitudenwert der speisenden Spannungsquelle „V2“ auf 500 mV erhöht. Die anschließende Simulation zeigt dann, wie die Stufe in die Sättigung „fährt“.

Ohne je eine hardwaremäßig aufgebaute Schaltung ausgemessen zu haben, kann der Entwickler so schon wesentliche technische Daten ermitteln.

Name of 1st source to sweep: V1  
Start value: 8  
Stop value: 12  
Increment: 10 m

Auch hier wird die Kommandozeile im Schaltbild platziert. Mit dem Starten der Simulation erscheint dann ein Fenster („Select Visible Waveforms“), in dem der zu betrachtende Schaltungspunkt angegeben werden muss. Hierin sind die verfügbaren Ströme und Spannungen aufgelistet. Dank der Label an den verschiedenen Netzen lassen sich die einzelnen Spannungen und Ströme zum Schaltbild zuordnen. Da die Kollektorspannung von Interesse ist, wird „V(q1-c“ ausgewählt. Anschließend startet die Simulation und nach Beendigung öffnet sich automatisch das graphische Ausgabefenster, in dem der entsprechende Verlauf der Kollektorspannung bei Veränderung der Betriebsspannung gezeigt ist.

Klickt man im Ausgabefenster auf den oben dargestellten Namen des Graphen, erscheint ein Cursor, mit dem sich einzelne Werte genau bestimmen lassen (Abbildung 5). Es lässt sich aber nicht nur ein einzelner Graph darstellen – hier ist es beispielsweise auch interessant, den zugehörigen Verlauf des Kollektorstromes zu sehen. Weitere Graphen können mit „View → Add Traces“ hinzugefügt werden. Wird der Kollektorstrom „Ic(q1)“ dargestellt, zeigt sich das erwartete Verhalten, dass mit steigender Betriebsspannung die Kollektorspannung nur leicht fällt und der Kollektorstrom stark ansteigt.

Wird nun im „DC sweep“-Menü noch eine zweite zu variierende Quelle („2nd Source“) angegeben, z. B. eine Temperaturänderung („source name“ ist dann „temp“), so ergibt sich eine Kurvenschar im Ausgabefenster.

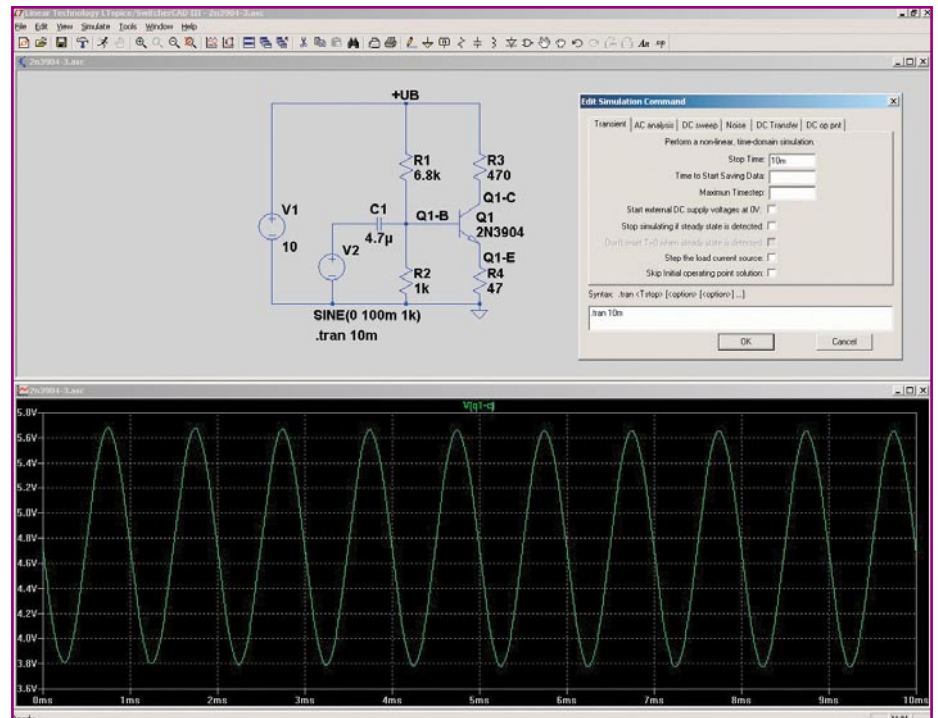
### „Transient“ – Bestimmung der Zeitabhängigkeit

Diese Simulationsart könnte man auch als „Oszilloskopfunktion“ betiteln. In diesem Simulationsmodus wird der zeitliche Verlauf eines Stromes oder einer Spannung bestimmt. Da in der bisherigen Schal-

tung keine zeitlich veränderlichen Spannungsquellen enthalten sind, muss das Schaltbild um eine entsprechende Quelle erweitert werden. Soll die Transistorschaltung beispielsweise als NF-Verstärker zum Einsatz kommen, so muss am Eingang (Basis) ein Sinussignal eingespeist werden. Dies geschieht durch Hinzufügen einer speziellen Spannungsquelle.

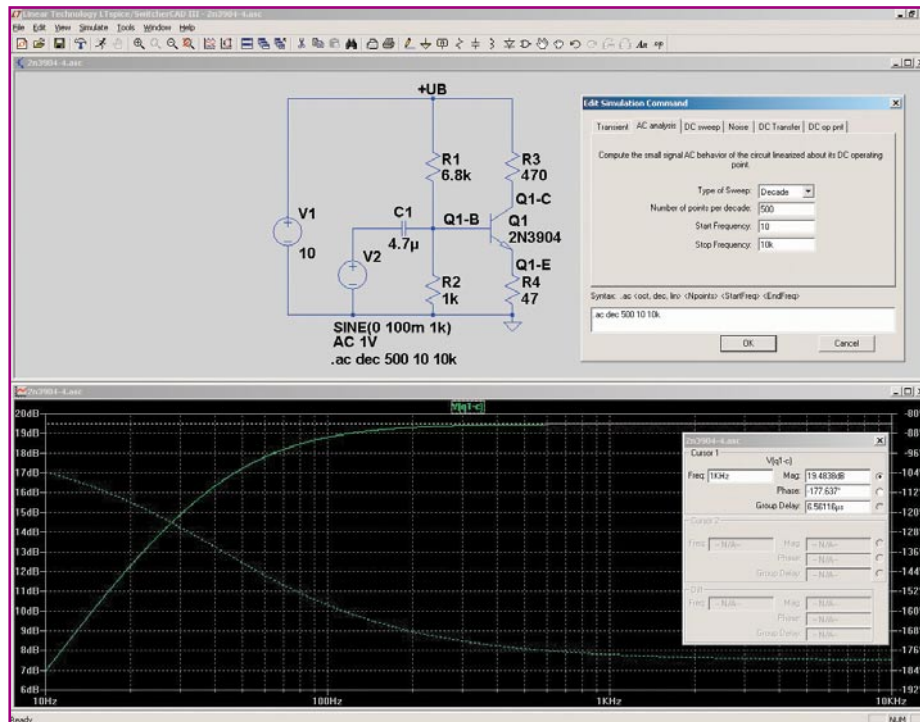
Dazu sind zunächst eine allgemeine Spannungsquelle und ein zur Entkopplung dienender Kondensator (den Wert mit „4,7 u“ festlegen) zu platzieren. Wird im Kontextmenü der Spannungsquelle der Button „Advanced“ ausgewählt, erscheint das Fenster mit den auswählbaren Parametern. Hier besteht die Möglichkeit, verschiedene Quellen mit verschiedenen Signalformen zu definieren. Die am meisten gebräuchlichen sind „PULSE“ (Rechtecksignal) und „SINE“ (Sinussignal). Zur Definition eines Sinussignales sind hier mindestens die Amplitude und die Frequenz anzugeben (vgl. Abbildung 6).

Ist die Schaltung so weit vorbereitet, er-



**Bild 7:** Simulation des Zeitverhaltens (Datei: 2n3904-3.asc)





**Bild 9: Frequenzganganalyse mit Amplituden- und Phasengang (Datei: 2n3904-4.asc)**

Starten der Simulation folgt zunächst wieder die Auswahl der darzustellenden Signale. Hier soll, wie in den Simulationen zuvor, das Signal am Kollektor des Transistors analysiert werden. Daher ist bei „Select Visible Waveforms“ das Signal „V(q1-c)“ zu wählen. Anschließend startet die Simulation selbstständig und das Ergebnis wird im Ausgabefenster graphisch dargestellt (Abbildung 9).

Zu einer vollständigen Wechselspannungsanalyse gehören der Amplitudengang, an dem die Verstärkung bzw. Dämpfung über der Frequenz abgelesen werden kann, und der Phasengang, der die zugehörige Phasendrehung angibt. SwitcherCAD III stellt beide Graphen in einem Diagramm dar. Die durchgezogene Linie ist dabei der Amplitudengang, die gestrichelte der Phasengang. So ist hier das Hochpassverhalten der simulierten Schaltung deutlich erkennbar.

Da die Quellenspannung für die AC-Analyse mit 1 V Amplitude angenommen wurde, gibt der Amplitudenwert im Ausgabefenster direkt die Verstärkung der Schaltung an (z. B. 19,48 dB @ 1 kHz). Dies würde der folgenden theoretischen Ausgangsspannung am Kollektor entsprechen:

$$U_{q1c} = 1V \cdot 10^{\frac{19,48dB}{20dB}} = 9,42V$$

Dies ist aber mit der gezeichneten Schaltung und der anliegenden Betriebsspannung nicht möglich. Daher ist bei dieser Analyseform immer zu bedenken, dass Übersteuerungen, nicht ausreichende Betriebsspannungen usw. hier nicht erfasst werden. Einer solchen AC-Analyse sollte immer eine entsprechende „Transient“-Analyse vorausgehen, in der geprüft wird, ob entsprechende Pegel überhaupt verarbeitet werden können.

Weitere Infos zu diesem praktischen Simulationstool SwitcherCAD III sind unter <http://www.linear.com> bei Linear Technology im Internet zu finden. Außerdem besitzt die Software eine umfangreiche Hilfefunktion.

Heutzutage ist eine rechnergestützte Schaltungssimulation aus dem Alltag eines Hardwareentwicklers nicht mehr wegzudenken. Die Simulation schützt zwar nicht vor Fehlern, da es doch noch einen Unterschied zwischen theoretischer Simulation und praktischem Aufbau gibt, aber die Arbeit wird wesentlich erleichtert. Der Entwicklergrundsatz: „Beweise, dass deine Schaltung funktioniert“ ist mit einem solchen Simulationstool sehr viel einfacher zu erfüllen. **ELV**

## AC analysis – Frequenzgang-ermittlung

Bei der oben beschriebenen Bestimmung des Zeitverhaltens erfolgt die Simulation bei konstanter Frequenz. In vielen Bereichen ist auch das Verhalten der Schaltung bei variabler Frequenz, sprich der Frequenzgang, von Bedeutung. Hier jetzt die „Transient“-Analyse mit verschiedenen Frequenzen durchzuführen, ist sehr mühselig. Daher gibt es die Möglichkeit einer reinen Wechselspannungsanalyse bei variabler Frequenz. Diese bezieht sich aber nur auf das Kleinsignal-Ersatzschaltbild der Schaltung. Übersteuerungen aufgrund von zu hohen Eingangspegeln usw. werden hier nicht (!) berücksichtigt und beeinflussen das Ergebnis nicht.

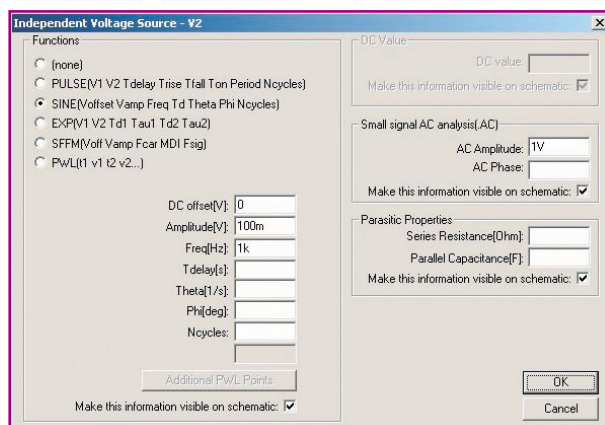
Zum Ausführen einer solchen Simulation ist es wiederum notwendig, eine entsprechende Signalquelle im Schaltbild zu definieren. Dazu wird das Kontextmenü zur speisenden Signalquelle „V2“ aufgerufen. Hier ist im Abschnitt „Small Signal AC analysis (.AC)“ ein Amplitudenwert

einzutragen. Da der Spannungspegel bei der Simulation eine untergeordnete Rolle spielt, kann beispielsweise der Wert auf 1 V festgelegt werden (vgl. Abbildung 8).

Anschließend sind die Simulationsparameter festzulegen: unter „Edit Simulation Cmd“ das Fenster „AC analysis“ anwählen, hier ist anschließend der Typ auszuwählen. Übliche Arten sind die lineare oder die dekadische Frequenzvariation, wobei die dekadische Analyse später in der doppellogarithmischen Darstellung die bekannte Diagrammform ergibt und daher die meist bevorzugte Art ist.

Die Angabe der Punkte pro Dekade ist ein Kompromiss zwischen Auflösung der Simulation und Rechenzeit. Im Allgemeinen reichen aber 500 Punkte pro Dekade für eine gute Auflösung aus. Start- und Stoppfrequenz kennzeichnen Anfang und Ende der Simulation – im Beispiel erfolgt die Betrachtung im Bereich von 10 Hz bis 10 kHz.

Anschließend wird die Einstellung abgeschlossen und die Kommandozeile wie gehabt im Schaltbild abgelegt. Nach dem



**Bild 8: Spezifikation der Wechselspannungsquelle – Erweiterung für den „AC sweep“**