

HANSER

Elektrotechnik für Ingenieure

Rainer Ose

Bauelemente und Grundschaltungen mit PSPICE

ISBN 3-446-40678-6

Leseprobe

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser.de/3-446-40678-6> sowie im Buchhandel

1 Grundlagen der Elektrotechnik mit PSPICE

Im ersten Kapitel dieses Lehrbuchs sollen ausgewählte Abschnitte der Grundlagen der Elektrotechnik, die sich auf elementare schaltungstechnische Realisierungen beziehen, mit PSPICE¹⁾ simuliert werden. Dabei wird das Ziel verfolgt, den Einsatz dieses äußerst universellen und leistungsfähigen Programms zur Entwicklung und zur Simulation elektronischer Schaltungen bereits im Grundlagenbereich zu nutzen. Die daraus abgeleiteten Erfahrungen im Umgang mit PSPICE sollen das Verständnis für die Anwendungen in den nachfolgenden Kapiteln fördern. Eine der wichtigsten Aufgaben des Anwenders der Simulationssoftware PSPICE besteht in der kritischen Bewertung und der richtigen Interpretation der Ergebnisse einer Simulation. Dazu ist ein solides Grundlagewissen erforderlich, denn:



Simulationsergebnisse von PSPICE setzen Verständnis beim Anwender voraus.

Im folgenden Kapitel wird diese Bewertung von Simulationsergebnissen an Beispielen aus dem Lehrbuch „Elektrotechnik für Ingenieure“ – Grundlagen – [1] demonstriert. Eine kurze Einführung in PSPICE kann und soll dabei kein Ersatz für ein intensives Studium der PSPICE-Spezialliteratur²⁾ sein. In dieser Kurzeinführung wird folgende Notation verwendet:

KAPITÄLCHEN	Programme/Verzeichnisse
> steil <	Tasten und Schaltflächen
<i>kursiv</i>	Fenstertitel/Menüs/Dialoge
<i>kursiv</i> → <i>kursiv</i>	Menüverzweigungen
<i>kursiv</i> -Fenster	Fenster-Bezeichnungen
<i>kursiv</i> -Liste	Listen-Bezeichnungen
GROSSBUCHST.	PSPICE-Bezeichnungen

¹⁾ Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis

1.1 Kurzeinführung in PSPICE

Nach dem Programmstart meldet sich die Arbeitsoberfläche von SCHEMATICS.



Hier wird zunächst die gewünschte Schaltung gezeichnet und mit den entsprechenden Bauelemente-Werten versehen.

1.1.1 Zeichnen einer Schaltung

Zum Zeichnen einer Schaltung aktiviert man über das Menü *Draw* (siehe Kopfzeile) oder direkt über das Symbol in der Kopfzeile die Schaltfläche > Get New Part <. Es öffnet sich der *Part Browser Advanced*. Durch Betätigen der Schaltfläche > Libraries < gelangt man in den *Library Browser*. Von dort aus werden die erforderlichen Bauelemente und Hilfsmittel (vorerst in einer beliebigen Position) auf der Arbeitsoberfläche angeordnet. Dazu wird das jeweilige Bauelement in der *Part*-Liste markiert und mit > OK < zur Anzeige gebracht. Die Schaltfläche > Place < gibt dann dieses Element über den Mauszeiger frei. Mit jedem Mausklick setzt man jetzt ein Element auf die Arbeitsoberfläche. Ein Doppelklick beendet diesen Vorgang. Nun kann ein neues Element gewählt und gesetzt werden. Der *Browser* wird danach mit > Close < wieder geschlossen.



Im nächsten Schritt müssen die Symbole an der gewünschten Stelle auf der Arbeitsoberfläche positioniert werden. Nach der Markierung mit einem Mausklick auf das Symbol (jetzt rot dargestellt) sind folgende Maßnahmen möglich:

- > Entf < Löschen überflüssiger Elemente
- > Strg + r < Linksdrehung des Elementes
- > Strg + f < Kippen des Elementes
- Mauszeiger: Verschieben des Elementes

²⁾ siehe z.B.: [2]; [3]; [4]; [13]; [14]

Ein weiterer Klick mit dem Mauszeiger auf die Arbeitsoberfläche beendet die jeweilige Maßnahme.

Nun müssen noch die Verbindungsleitungen eingefügt werden. Diese Leitungen zeichnet man mit dem Mauszeiger. Der dazu erforderliche Stift wird mit *Draw* → *Wire* oder direkt über die Schaltfläche > Draw Wire < (siehe Symbolleiste) aktiviert. Ein erster Mausklick setzt den Anfangspunkt, weitere Klicks setzen Abwinkelungen und ein Doppelklick beendet den Vorgang.



Zum Abschluss muss noch der Potentialbezugspunkt festgelegt werden. Dazu positioniert man das Massezeichen (\perp) mit dem Namen AGND aus der *Part*-Liste der Library PORT.SLB an einem Knotenpunkt oder an einer Verbindungsleitung.



PSPICE arbeitet auf der Grundlage des Knotenpotentialverfahrens¹⁾.

- ◆ Der Wert des elektrischen Potentials eines Punktes in einer Schaltung, in einem Netzwerk oder allgemein in einem elektrischen Feld kann nur relativ zum Potential eines frei wählbaren Potentialbezugspunktes PB angegeben werden. Diesem Potentialbezugspunkt wird ein beliebiges Bezugspotential φ_{PB} (z.B.: $\varphi_{PB} = 0$ V) zugeordnet.
- ◆ Bei einer Veränderung dieser Zuordnung (z.B.: durch die Positionierung von PB an einem anderen echten oder virtuellen Knoten einer Schaltung) ändern sich dann auch die Potentialwerte aller anderen Knotenpunkte. Die Potentialdifferenzen zwischen jeweils zwei Knoten (Spannungen) verändern sich aber nicht.

PSPICE arbeitet mit echten und virtuellen Knoten. Jede Verbindung zwischen zwei Bauelementen, die nicht durch einen echten Knoten (Stromteilung) miteinander verbunden sind, wird als ein virtueller Knoten

(Messpunkt zwischen zwei in Reihe geschalteten Elementen) aufgefasst. Unechte Knoten entstehen durch die Verbindung zweier Punkte einer Schaltung über einen Kurzschlusszweig. PSPICE fasst diese unechten Knoten zu einem echten Knotenpunkt zusammen.

1.1.2 Setzen von Bauelemente-Attributen

Zur Festlegung der Bauelemente-Werte und ihrer Bezeichnung müssen Attribute gesetzt werden. Dazu klickt man das zu bearbeitende Bauelemente-Symbol mit einem Doppelklick an. Es öffnet sich die *PartName*-Liste. Der gleiche Effekt wird erreicht, wenn für ein markiertes Bauelement die Schaltfläche > Edit Attributes < betätigt wird.



In der *PartName*-Liste kann der Wert und die Bezeichnung des jeweiligen Bauelementes eingegeben und abgespeichert werden. Schnelle Änderungen dieser Attribute (z.B. im Sinne des Experimentierens) sind über einen Doppelklick auf die Bauelemente-Bezeichnung oder den Wert direkt von der Arbeitsoberfläche aus möglich. Es meldet sich der Dialog *Edit Reference Designator* für die Änderung der Bezeichnung oder der Dialog *Set Attribute Value* für die Änderung des Bauelemente-Wertes²⁾.



PSPICE arbeitet nur auf der Grundlage eindeutiger Zuordnungen.

- ◆ Gleiche Bezeichnungen für Bauelemente dürfen nicht mehrfach vergeben werden.
- ◆ Für das Komma steht der Dezimalpunkt.
- ◆ Bei Dateinamen sind Umlaute und viele Sonderzeichen nicht zulässig.

Die so fertiggestellte Schaltung muss nun noch unter einem zulässigen Dateinamen z.B. im Verzeichnis SCHEMATIC PROJECTS mit *File* → *Save As* abgespeichert werden.

¹⁾ siehe z.B.: [1] – Abschn. 5.5.2 und 8.2.2

²⁾ Schreibweise von Zehnerpotenzen: siehe Anlage A_2

1.1.3 Simulation von Projekten

Eine Schaltungssimulation wird über die Menüs *Analysis* → *Simulate* oder direkt über die Schaltfläche > Simulate < (siehe Kopfzeile) gestartet. Es öffnet sich das PROBE-Fenster im Programm ORCAD PSPICE. Im linken unteren Fensterteil werden eventuell aufgetretene Simulationsfehler¹⁾ angezeigt. Durch das Schließen dieses Fensters kehrt man wieder zur Arbeitsoberfläche zurück und erhält die Ergebnisse einer Gleichstrom-Simulation.



Nach Betätigen der Schaltfläche > Enable Bias Voltage Display < > werden die berechneten Werte der Potentiale aller Knoten (echte und virtuelle Knoten) als Spannungen relativ zum gewählten Potentialbezugspunkt (grün unterlegt) angezeigt. Der Spannungszählpfeil ist bei diesen Angaben immer von der grünen Fläche zum Potentialbezugspunkt gerichtet. Ein negativer Spannungswert sagt demzufolge aus, dass das Potential des Bezugspunktes positiver ist.

Durch Betätigen der Schaltfläche > Enable Bias Current Display < > werden die Werte der Ströme durch alle Bauelemente angezeigt (blau unterlegt). Jeder Stromzählpfeil beginnt an der blauen Fläche und ist für einen positiven Wert des Stromes durch das jeweilige Bauelement gerichtet.

Überflüssige Angaben beider Displays können nach dem Markieren (Mausklick) durch Betätigung der Taste > Entf < wieder gelöscht werden.

1.1.4 Auswertung von Simulationen

Die Ergebnisse einer Schaltungssimulation werden in der Regel für weitere Aufgaben wieder benötigt. Dazu sind sie zu Archivieren und zu Dokumentieren. Viele Anwen-

der nutzen dazu ein Textverarbeitungssystem wie WORD.

Nach einer kritischen Wertung des von PSPICE bereitgestellten Simulationsergebnisses (z.B. durch eine Probe mit dem Maschensatz und/oder dem Knotenpunktsatz) ist bei einer Gleichstrom-Analyse lediglich die Ablage der simulierten Schaltung erforderlich. Dazu markiert man die Schaltung auf der Arbeitsoberfläche mit dem Mauszeiger und legt sie im Clipboard über die Menüpunkte *Edit* → *Copy to Clipboard* ab. Nach einem Wechsel in das Textverarbeitungssystem kann die Schaltung mit den angezeigten Simulationsergebnissen über die Menüpunkte *Bearbeiten* → *Einfügen* in ein Dokument übernommen werden.

Lehrbeispiel 1.1:

Führen Sie für das Netzwerk in [1] – Bild 5.1 eine Gleichstrom-Simulation²⁾ durch.

Geg.: $U_A = 24 \text{ V}$, $U_B = 12 \text{ V}$ und $U_C = 5 \text{ V}$
sowie $R_1 = R_2 = R_3 = 1 \text{ k}\Omega$

Zunächst wird das Netzwerk gezeichnet. Dazu benötigt man drei ideale Gleichspannungsquellen VDC aus der Library SOURCE.SLB, drei Widerstände Rx aus der Library ANALOG.SLB und das Massezeichen AGND (\perp) aus der Library PORT.SLB (siehe Entwurf im Bild 1.1).

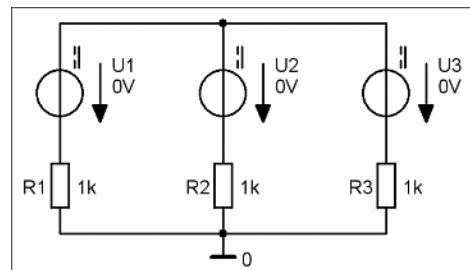


Bild 1.1: Netzwerkentwurf zum Lehrbeispiel 1.1

Beachten Sie bitte, dass Ihnen die zuletzt verwendeten Symbole (maximal 10) über das Rollfenster > Get Recent Part < in der oberen Menüleiste für weitere Projekte zur Verfügung stehen.

¹⁾ Fehlermeldungen: siehe Anlage A_3

²⁾ Tipps dazu unter: [2] – Rezepte 2.1 bis 2.7

Nun werden die Attribute der Bauelemente festgelegt. Die Bezeichnungen der Widerstände und ihre Werte stimmen zufälligerweise bereits mit der Aufgabenstellung überein. Die Bezeichnung der Quellen und die Eingaben ihrer Quellenspannungswerte führt zu Bild 1.2.

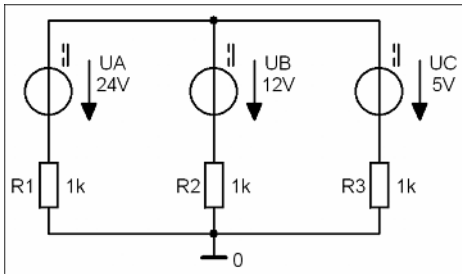


Bild 1.2: Setzen der Attribute im Lehrbeispiel 1.1

Abschließend wird die Simulation durchgeführt. Nach dem Löschen redundanter Analyseergebnisse und einer leichten Korrektur ihrer Anordnung in der Schaltung (Anklicken und Verschieben) erhält man Bild 1.3.

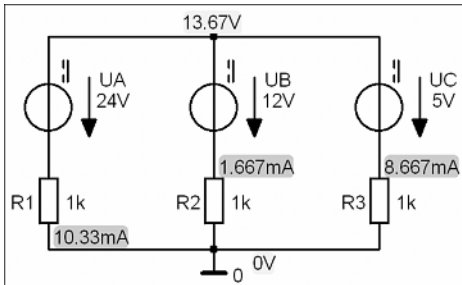


Bild 1.3: Simulationsergebnisse zum Lehrbeispiel 1.1

Beachten Sie bitte, dass Ihnen mit einem Mausklick auf eine Strommarke ein roter Zählpfeil (↓ oder ↑) für den jeweiligen Zweigstrom angezeigt wird.

Eine Probe über den Knotenpunktsatz bestätigt die Richtigkeit der Simulationsergebnisse ¹⁾:

$$I_3(\downarrow) = I_1(\uparrow) - I_2(\downarrow)$$

$$I_3(\downarrow) = 10,3 \text{ mA} - 1,6 \text{ mA} = 8,6 \text{ mA}$$

¹⁾ siehe [1] – Abschn. 5.1

1.2 Simulation von Gleichstromkreisen

In den folgenden Ausführungen werden Gleichstromkreise betrachtet, in denen sich mindestens eine Bauelemente-Kenngröße ändert. Zum Zeichnen der jeweiligen Schaltung sind folgende Elemente erforderlich:

- VDC ideale Gleichspannungsquelle
- IDC ideale Gleichstromquelle
- R Widerstand
- POT Potentiometer
- AGND Potentialbezugspunkt/Masse
- PARAM Parameterliste

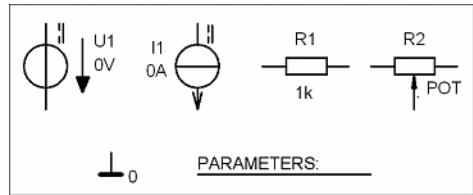


Bild 1.4: Elemente zur Gleichstrom-Simulation

Die im Lehrbeispiel 1.1 noch nicht verwendeten Elemente findet man in der *Part*-Liste folgender Libraries:

- BREAKOUT.SLB → POT
- SPECIAL.SLB → PARAM

Als Beispiel für die folgenden Betrachtungen soll der im Bild 1.5 dargestellte Grundstromkreis (vgl. auch [1] – Bild 3.21) untersucht werden. Er besteht aus einer linearen Quelle mit U_q und R_i sowie einem variablen Lastwiderstand R_a .

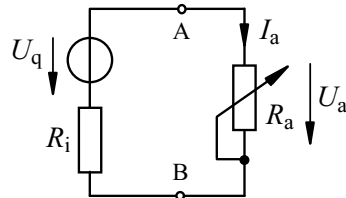


Bild 1.5: Grundstromkreis mit variabler Last

Die Simulationsaufgabe für PSpice besteht nun darin, den Lastwiderstand R_a von einem Anfangswert R_{a1} in einer gewählten Schrittweite ΔR_a bis zu einem Endwert R_{a2} zu variieren. Im Ergebnis sollen folgende Funktionen ¹⁾ dargestellt werden:

$$U_a = f(R_a); I_a = f(R_a); P_a = f(R_a)$$

Dazu bietet PSpice ein äußerst leistungsfähiges Hilfsmittel an – die Sweep-Funktion.

1.2.1 DC-Main-Sweep-Funktionen

PSpice stellt für den Gleichstromfall (DC) unterschiedliche Möglichkeiten zur Variation von Quellengrößen, der Temperatur und von deklarierten Parametern (sog. DC-Sweeps) bereit. Diese Variation kann mit verschiedenen Sweep-Types vorgenommen werden (siehe Tabelle 1.1).


Zur Einstellung eines DC-Sweeps öffnet man das *Analysis-Setup*-Fenster mit *Analysis* → *Setup*  oder direkt über die Schaltfläche > Setup Analysis <. Die Betätigung der Schaltfläche > DC Sweep < zeigt eine Übersicht der Variationsmöglichkeiten gemäß Tabelle 1.1.

Tabelle 1.1: DC-Sweep-Types

Swept Var. Type	Variation von:
Voltage Source	Quellenspannung (VDC)
Temperature	Temperatur
Current Source	Quellenstrom (IDC)
Model Parameter	Speziellen Parametern
Global Parameter	Globalen Parametern

Sweep Type	Variationsart:
Linear	Lineare Variation
Octave	Variation mit Faktor 2
Decade	Variation mit Faktor 10
Value List	Variation gemäß Werteliste

Zur Lösung der Simulationsaufgabe muss der Lastwiderstand $R_a = R_L$ variiert werden. Dazu ist er zunächst als Parameter zu deklarieren. Diese Festlegung wird in der *PartName*-Liste vorgenommen, die sich nach einem Doppelklick auf das Bauelement öffnet. Hier ersetzt man den Wert des Bauelementes (VALUE=1k) durch einen Variablennamen in geschweiften Klammern (z.B.: {RL} für R_L)²⁾. Nach dem Abspeichern mit > Save Attr < wird die *PartName*-Liste mit > OK < wieder verlassen.

Nun muss dieser Parameter noch auf der Arbeitsoberfläche angemeldet werden. Das gelingt mit dem Einfügen des Elementes PARAM an einer beliebigen Position. Ein Doppelklick auf das PARAMETERS-Symbol öffnet die *PartName*-Liste PARAM. Hier ist der Parameter-Name ohne die geschweiften Klammern unter NAME1=RL sowie ein Wert unter VALUE1=1k (beliebig) einzugeben. Nach dem Abspeichern mit > Save Attr < wird die *PartName*-Liste mit > OK < wieder verlassen.

Abschließend muss noch der DC-Sweep eingestellt werden. Nach dem Öffnen des *Analysis-Setup*-Fensters wird der DC-Sweep mit > Enabled < (✓) freigegeben. Mit der Schaltfläche > DC Sweep < gelangt man in das *DC-Sweep*-Fenster gemäß der vereinfachten Darstellung in Tabelle 1.1. Hier werden folgende Einstellungen vorgenommen:

- Global Parameter Name: RL
- Linear Start Value: 1
- End Value: 1k
- Increment: 1

Mit diesen Einstellungen wird der Lastwiderstand R_a vom Anfangswert $R_{a1} = 1 \Omega$ in 1- Ω -Schritten bis zum Endwert $R_{a2} = 1 \text{ k}\Omega$ linear durchgemustert.

¹⁾ siehe [1] – Abschn. 3.5.3

²⁾ Schreibweise PSpice: RL → Schreibweise DIN: R_L