

DONALD O. PEDERSON und LAURENCE W. NAGEL veröffentlichten 1973 an der University of California das Memorandum **SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)**.

Das englische Wort **Emphasis** stammt aus dem Griechischen und bedeutet Betonung oder Nachdruck; bei **SPICE** wird also besonderer Wert auf die Berechnung von ICs gelegt [NAP].

2.7.3 Netzwerkanalyse mit SPICE

Die Analyse eines größeren Netzes wird zweckmäßig mit einem PC durchgeführt. Hierfür gibt es eine Vielzahl geeigneter Programme. Viele dieser Programme basieren auf dem Memorandum **SPICE**, das an der Universität in Berkeley (bei San Francisco) entwickelt wurde.

Um den Programmkern von SPICE entwickelten mehrere Firmen jeweils ein Programm für die grafische Eingabe mit der Bezeichnung **Schematics** und ein weiteres für die grafische Ausgabe auf PCs hinzu, das **Probe** genannt wird.

Wir verwenden im Folgenden das Programm **Micro-Cap**, das von der Firma Spectrum Software in Sunnyvale, California entwickelt wurde und zur Zeit (2019) in der Version 12 vorliegt. Von diesem Programm gibt es eine kostenlose Demoversion mit eingeschränktem Funktionsumfang. Die Bezeichnung Micro-Cap ist die Abkürzung von **Microcomputer Circuit Analysis Program**. Als dieses Programm 1982 entwickelt wurde, war es üblich, einen PC als Microcomputer zu bezeichnen.

In Deutschland wird das Programm Micro-Cap von der Firma gsh-Systemelectronik GmbH in München vertrieben. Unter gsh-system.de kann man ein kostenloses Demoprogramm herunterladen, das einen beträchtlichen Funktionsumfang aufweist und für die in diesem Buch beschriebenen Beispiele ausreicht.

In diesem Lehrbuch können wir nur eine kurze Einführung geben, die dazu ausreicht, unsere Beispiele und Aufgaben zu bearbeiten. Eine ausführliche Anleitung bietet das Buch *Simulation elektronischer Schaltungen mit MICRO-CAP* von Joachim Vester, das im Verlag Springer Vieweg erschienen ist.

Tabelle 2.3 Spice-Kennbuchstaben

C	Kondensator
D	Diode
E	spannungsgesteuerte Spannungsquelle
F	stromgesteuerte Stromquelle
G	spannungsgesteuerte Stromquelle
H	stromgesteuerte Spannungsquelle
I	Stromquelle
J	Sperrschicht-FET
L	Induktivität
M	MOSFET
Q	Bipolartransistor
R	Widerstand
X	Operationsverstärker
V	Spannungsquelle

2.7.4 Start mit Schematics

Nach dem Start durch einen Klick auf das Icon **Micro-Cap 12 Evaluation** kann im Tableau **File New** durch einen Klick auf **Schematic File** die Arbeitsfläche für die Zeichnungseingabe gewählt werden. Dort sind im Tableau **Analog Primitives** unter **Passive Components** die Bauelemente verfügbar, z. B. bei **Resistor** ein Widerstand. Jeder Widerstand lässt sich mit der Maus an die gewünschte Position bewegen; soll er dort verbleiben, so legt man ihn mit einem Klick auf die linke Maustaste ab. Danach öffnet sich ein Fenster, in dem un-

ter **VALUE** der gewünschte Wert, z. B. 1k eingetragen werden kann. Damit ist natürlich der Wert 1 k Ω gemeint, denn Spice kennt keine griechischen Buchstaben.

Zunächst erscheint jeder Widerstand senkrecht. Soll seine Lage geändert werden, so klicken wir ihn mit der linken Maustaste an und sein Hintergrund erscheint grün. Dann klicken wir auf die rechte Maustaste und es öffnet sich ein Fenster, in dem wir bei **Rotate** die gewünschte Lageänderung eingeben können.

Die Widerstände werden vom Programm aufsteigend durchnummeriert. Sind genügend Widerstände platziert, so kann man mit der Taste (Esc) den Vorgang abschließen.

Jede Schaltung enthält mindestens eine Quelle. Für die Gleichanalyse benötigen wir die Gleichspannungsquelle mit dem Namen **Battery**, die entweder oben in der Symbolleiste oder links unter **Waveform Sources** zu finden ist; sie hat den Kennbuchstaben V. Die wichtigsten Kennbuchstaben sind in der Tabelle 2.3 aufgelistet.

Dann muss in der Schaltung mindestens einem Punkt das Potenzial 0 V zugewiesen werden; dies geschieht dadurch, dass das Schaltzeichen **Ground** an geeigneter Stelle platziert wird.

Zum Schluss der Zeichenarbeit müssen die Bauelemente und das Ground-Symbol durch Leitungen verbunden werden. Klicken Sie das Icon **Wire Mode** an und das Maussymbol ändert sich entsprechend. Ziehen Sie nun die benötigten Leitungsverbindungen. Danach wird die Schaltung unter einem passenden Namen abgespeichert.


2.7.5 Gleichanalyse

Spice kennt drei Analysearten. Wir befassen uns zunächst mit der **Gleichanalyse (DC analysis)**, bei der nur Gleichspannungen und Gleichströme vorliegen. Zu Beginn der Analyse klicken wir im Menü **Analysis** die Zeile DC... an und tragen in dem Fenster geeignete Werte für die Variable, die grafisch dargestellt werden soll, und den Bereich der Grafik ein.

Beispiel 2.18

Wir wollen den Ersatzwiderstand R_e der Schaltung des Beispiels 2.11 für $R_1 = R_4 = 1,5 \text{ k}\Omega$, $R_2 = R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ und $R_5 = 2,2 \text{ k}\Omega$ berechnen.

Wir zeichnen die Schaltung, wobei wir die Widerstände R1 und R3 so spiegeln, dass sich der Plus-Anschluss oben und der Minus-Anschluss unten befindet; damit die Bezeichnungen angezeigt werden, klicken

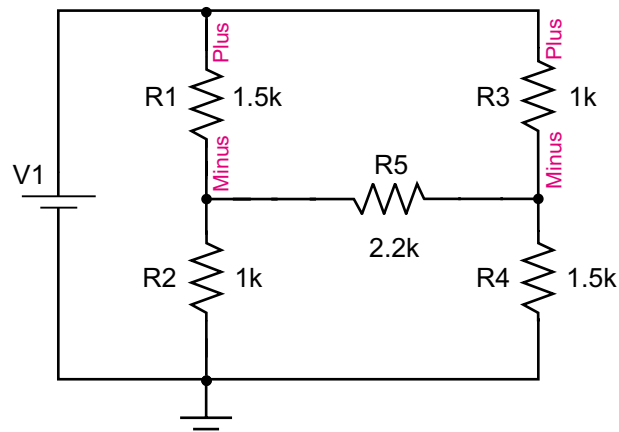
 Spice unterscheidet nicht zwischen Klein- und Großbuchstaben; es ist also 1m = 1M und das bedeutet Milli. Für 1 M Ω muss 1Meg oder 1MEG oder 1meg geschrieben werden (ohne Zwischenraum zwischen Zahl und Buchstabe).



⚠ Spice legt für jedes Eintor die Bezugspfeile nach dem Verbraucher-pfeilsystem zugrunde. Bei einer Quelle ist der Bezugssinn von „+“ nach „-“ festgelegt. Bei einem Widerstand oder einem anderen Eintor kann man sich den Bezugssinn durch Anklicken des Kästchens bei Pin Names anzeigen lassen.

im Menü das Kästchen bei **Pin Names** an, worauf dort ein Häkchen eingetragen wird. Natürlich ist das „Bauelement“ Widerstand unge-richtet, die Bezeichnungen Plus und Minus sind lediglich ein Hinweis auf den Bezugssinn des Stromes.

Schließlich speichern wir die Zeichnung unter k2bei18 ab.



Zur Analyse klicken wir unter **Analysis** die Zeile DC... an und tragen als **Variable1** die Bezeichnung V1 und bei **Range** 10,9 ein; dies bedeutet, dass die Spannung der Quelle V1 zwischen 9 V und 10 V durchlaufen wird.

Bei **X Expression** steht bereits DCINPUT1. Der gesuchte Widerstand ist der Quotient aus der Quellenspannung und der Summe der Ströme, die durch die Widerstände R1 und R3 fließen. Deshalb tragen wir in die Spalte **Y Expression** die Bezeichnung $V(V1)/(I(R1)+I(R3))$ ein. Bei **X Range** wählen wir 10,9 und bei **Y Range** 2k,1k. Dann starten wir die Berechnung durch einen Klick auf **Run**.

Als Ergebnis bekommen wir im Programmteil Probe eine waagrechte Linie beim Wert 1.232k, also bei 1,232 kΩ. Dieser Wert ist in diesem Diagramm nur dadurch abzulesen, dass man mit der Maus an die Linie heranfährt, und das Ergebnis wird in einem Kästchen angezeigt.

Fragen

- Was ist ein Netzwerk?
- Erläutern Sie den Begriff Netzwerkanalyse.
- Was kann man mit dem Knotenpotenzialverfahren berechnen?
- Was kann man bei der Gleichanalyse von Micro-Cap berechnen?
- Aus welchen Programmteilen besteht Micro-Cap?
- Wie wird bei Micro-Cap das Bezugspotenzial 0 V festgelegt?

Es gibt aber noch eine andere Möglichkeit, das gesuchte Ergebnis zu erhalten. Dazu verlassen wir das Programm Probe dadurch, dass wir auf die Bezeichnung k2bei18.CIR klicken, die links unten angezeigt wird; danach kommen wir im Programmteil Schematics an. Hier klicken wir zunächst oben auf DC und dann auf **Exit Analysis**: Nun können wir Änderungen an der Schaltung vornehmen. Bei einem Klick auf das Icon **Node Voltages** wird uns die Spannung 10 V der Quelle angezeigt und bei einem Klick auf **Currents** ihr Strom 8,118 mA. Der Quotient aus diesen Größen ist der gesuchte Widerstand.

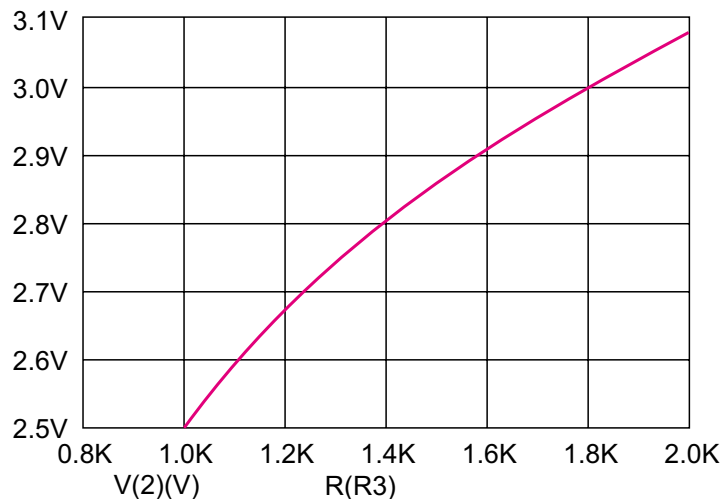
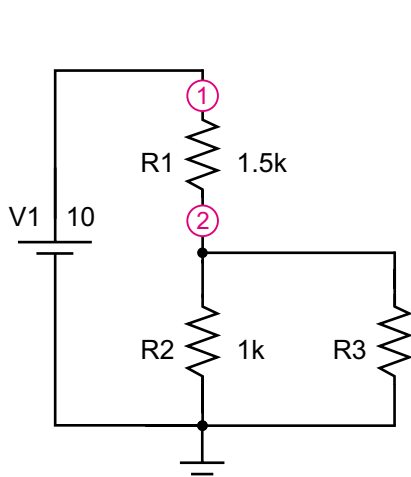
2.7.6 Variation von Bauelementwerten

Die Veränderung einer beliebigen Größe ist in Micro-Cap ohne weiteres möglich. Soll z. B. ein Widerstandswert geändert werden, so wird dieser in dem Tableau, das sich nach dem Anklicken der Analyseart öffnet, als **Variable1** eingetragen und der Bereich bei **Range** geeignet gewählt.

Beispiel 2.19

Wir wollen einen belasteten Spannungsteiler aus $R_1 = 1,5 \text{ k}\Omega$ und $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ an $U = 10 \text{ V}$ untersuchen, dessen Lastwiderstand R_3 den Bereich von $1 \text{ k}\Omega$ bis $2 \text{ k}\Omega$ durchläuft.

Zunächst zeichnen wir die Schaltung und lassen uns durch einen Klick auf das Icon **Node Numbers** die Knotennummern anzeigen. Dann speichern wir die Zeichnung unter k2bei19 ab.



Zur Analyse klicken wir unter **Analysis** die Zeile DC... an und tragen als **Variable1** die Bezeichnung R3 und bei **Range** 2k,1k ein.

Bei **X Expression** steht bereits DCINPUT1. Da die Spannung zwischen den Knoten 2 und 0 angezeigt werden soll, tragen wir in die Spalte **Y Expression** die Bezeichnung V(2) ein. Bei **X Range** wählen wir 2k,800,200 und bei **Y Range** 3.1,2.5,0.1. Dann starten wir die Berechnung durch einen Klick auf **Run** und erhalten das abgebildete Ergebnis.

Wollen Sie Zwischenergebnisse erhalten, dann ziehen Sie die Maus an den gewünschten Wert.

