

PC und Software - Hilfsmittel zum Verständnis alter Radio-Schaltungen

Teil 1: GRUNDIG Weltklang 396 W

Hermann Freudenberg, Netphen, GFGF

Erschienen in FUNKGESCHICHTE Nr. 119 (1998)

Von *Hermann Freudenberg* im Januar 2002 bearbeitet für <http://www.radiomuseum.org/>

Die Schaltungstechnik alter Röhrenradios zu studieren, kann von besonderem Reiz sein. Rein qualitative Überlegungen sind dabei unbefriedigend, alte Schaltungen messtechnisch zu untersuchen setzt voraus, dass das zu untersuchende alte Gerät funktionstüchtig wie in fabrikneuem Zustand ist und dass die entsprechenden Messgeräte zur Verfügung stehen. Vor der rechnerischen Behandlung umfangreicher und komplexer Schaltungen scheut nicht nur der Funkhistoriker zurück, auch würde sie den Rahmen der FUNKGESCHICHTE sprengen.

Inzwischen ist der Personal Computer, der PC, auch zum oft gebrauchten Hilfsmittel der Radiofreunde geworden. Aus wissenschaftlichen Instituten, Entwicklungslabors und Konstruktionsbüros ist die interaktive, computergestützte Konstruktion seit langem nicht mehr wegzudenken; Prototypen entstehen vielfach nur noch auf dem Bildschirm [2].

Das Simulationsprogramm PSpice

Geeignete Simulationsprogramme für Schaltungen der Nachrichtentechnik stehen für PC sehr preiswert zur Verfügung. Die im Literaturverzeichnis aufgeführten Simulationsprogramme, die auf Windows aufsetzen, sind leicht zu verstehen und leicht zu bedienen. Die Eingabe kann grafisch als Schaltplan, die Ausgabe als leicht verständliches Diagramm erfolgen. Mathematische Kenntnisse sind nicht erforderlich.

Unter den Simulationsprogrammen hat sich das Programm SPICE bzw. die für den Personal Computer abgewandelte Form PSpice besonders durchgesetzt; ursprünglich wurde es für die Simulation Integrierter Schaltungen entworfen, heute kann es für praktisch alle elektronischen Schaltungen verwendet werden. Über Herkunft und Verwendung ist in der im Literaturverzeichnis angegebenen Literatur zu lesen (teilweise gekürzt):

„Seit jeher ist man daran interessiert, ein gegebenes Ziel schnell, effektiv und ohne übertriebenen Aufwand zu erreichen. Dies gilt ganz besonders im Bereich der Elektronik. Das Netzwerkanalyseprogramm PSpice mit seinen Hilfsprogrammen ermöglicht eine schnelle und effektive Berechnung fast aller interessanten Größen einer gegebenen Schaltung, was durch die Benutzerfreundlichkeit noch unterstützt wird“ [5]. „PSpice hat sich als Analyseprogramm für elektrische Schaltungen einen großen Anteil im deutschen Markt gesichert. Nicht zuletzt durch seine große Verbreitung hat es diesen Platz sicherlich auch verdient“ [4].

„Das Programm SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Interface) ist Ende der sechziger Jahre an der Universität Berkeley, California, entstanden. Wie der Name sagt, wurde es hauptsächlich entwickelt, um integrierte Schaltungen vor dem Implementierungsprozess zu berechnen. Die Väter von SPICE waren Professor Pedersson und Professor Nagel. Interessanterweise wurden hier keine bahnbrechenden neuen Methoden entwickelt, sondern bereits bestehende, seit Jahrzehnten bekannte Algorithmen zur Lösung von nichtlinearen Gleichungssystemen auf die Tauglichkeit für Computer untersucht“ [4].

„Das an der University of California Berkeley entwickelte Simulationsprogramm SPICE ist der De-facto-Standard bei der Simulation elektronischer Schaltungen. PSpice ist eines der vielen kommerziellen Derivate und zudem das erste, welches auf dem IBM-Personalcomputer lauffähig war“ [6].

1989 erschien in der FUNKGESCHICHTE der Aufsatz „Rätselhafter Schwingkreis in GRUNDIG-Radio“ von Alexander Stiller [1]. Im folgenden wird das hier angesprochene „Rätsel“ mit der sehr preiswerten und mächtigen Demo-Version von PSpice [4] untersucht.

GRUNDIG Weltklang 396 W von 1950 [1]

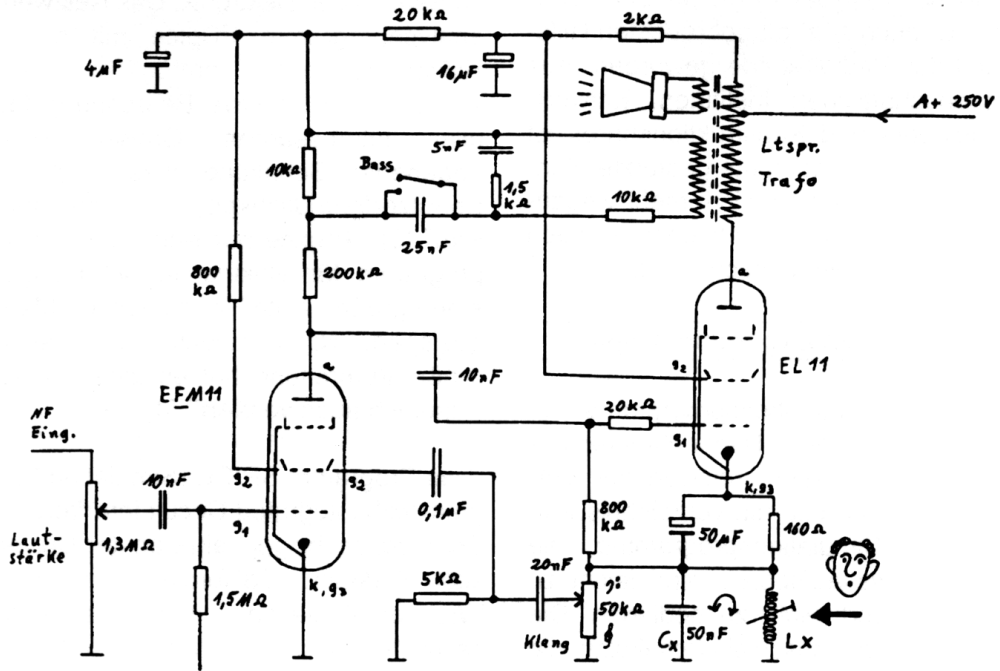


Bild 1: Schaltbild-Auszug GRUNDIG Weltklang 396 W [1]

Bild 1 [1] zeigt das Schaltbild (Lautstärkesteller bis Lautsprecher), Bild 2 die Wechselstromersatzschaltung für die Simulation, eingegeben und „gezeichnet“ mit dem Eingabeprogramm Schematics von PSpice.

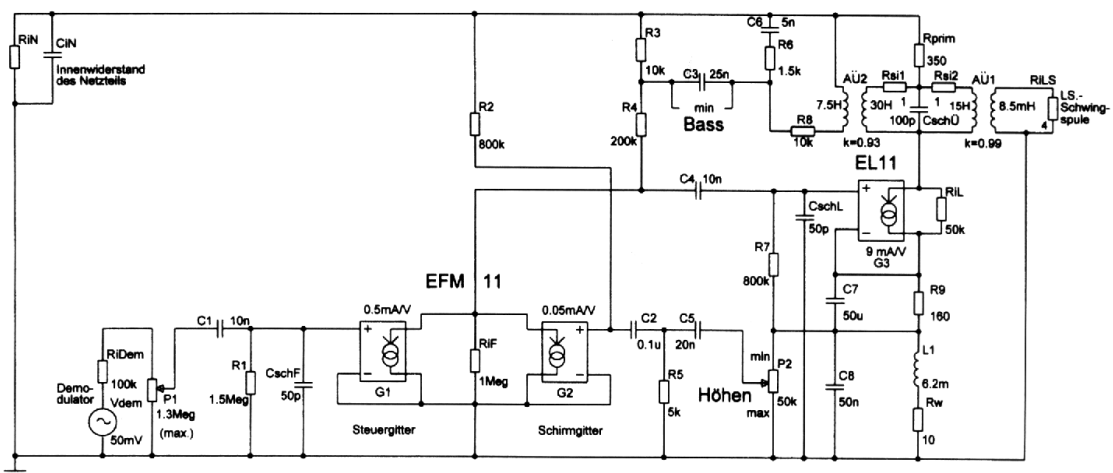


Bild 2: GRUNDIG 396 W: Wechselstromersatzbild und Simulationsmodell, editiert mit Schematics von PSpice

Für die hier gezeichnete Ersatzschaltung gelten folgende Regeln:

- Wirk- und Blindwiderstände des Schaltbildes werden mit Zahlen indiziert
- innere Wirk- und Blindwiderstände der Bauteile und der Schaltung werden mit Buchstaben indiziert
- Röhren werden durch spannungsgesteuerte Stromquellen, ihre Innenwiderstände durch parallel liegende Widerstände dargestellt

Ersatzschaltbild

In der Ersatzschaltung ist der Demodulator durch die Wechselspannungsquelle V_{dem} mit dem Innenwiderstand R_{iDem} ersetzt. Die Schaltkapazität der Gitterzuleitung zu Gitter 1 der EFM 11 ist mit $C_{schF} = 50 \text{ pF}$ angenommen.

Die EFM 11 ist durch die beiden spannungsgesteuerten Stromquellen G_1 für das Steuergitter mit einer Steilheit von $0,5 \text{ mA/V}$ und G_2 für das Schirmgitter mit einer Steilheit von $0,05 \text{ mA/V}$ (geschätzt auf $1/10$ der Steilheit des Steuergitters) ersetzt. Die Steilheit des Steuergitters ergibt sich aus der in [3] angegebenen NF-Verstärkung der EFM 11 im nicht geregelten Zustand. Der Innenwiderstand der EFM 11 wird auf $R_{iF} = 1 \text{ M}\Omega$ geschätzt. Die Röhrenkapazitäten können in der NF-Schaltung vernachlässigt werden.

In [1] wird berichtet, dass die Spule L_x (im Ersatzbild L_1) abstimmbar ist und dass sie aussieht wie eine „überdimensionale Langwellenspule“; dieser Beschreibung kann entnommen werden, dass es sich bei dem Schwingkreis um eine 9-kHz-Sperre handelt; diese soll den Interferenzton zwischen den Trägerfrequenzen zweier benachbarter Sender im Abstand von 9 kHz unterdrücken. Für eine Resonanzfrequenz von 9 kHz ergibt sich bei $C_8 = 50 \text{ nF}$ die Induktivität $L_1 = 6,2 \text{ mH}$. Der Wicklungswiderstand der Induktivität L_1 ist der Widerstand R_w ; dieser bestimmt wesentlich die Güte des Schwingkreises C_8/L_1 ; er wird geschätzt auf 10Ω .

Die EL 11 wird simuliert durch die Stromquelle G_3 mit einer Steilheit von 9 mA/V und den Innenwiderstand $R_{iL} = 50 \text{ k}\Omega$. Die Schaltkapazität der Gitterzuleitung wird wie bei der EFM 11 zu $C_{schL} = 50 \text{ pF}$ angenommen.

Der Lautsprechertrafo mit drei Wicklungen wird simuliert durch den linearen Ausgangsübertrager $AÜ_1$ mit der Primärwicklung 15 H und der Sekundärwicklung $8,5 \text{ mH}$ für die Anpassung des Lautsprechers. Die zweite, die Gegenkopplungswicklung, wird im Ersatzbild mit $AÜ_2$ ($L_{prim} = 30 \text{ H}$, $L_{sek} = 7,5 \text{ H}$, geschätzt) realisiert. Die Wicklung für die Brummkompensation bleibt unberücksichtigt, weil sie keinen Einfluss auf den Frequenzgang hat. Die primärseitige Wicklungs- und Schaltkapazität des Ausgangsübertragers wird mit $C_{schÜ} = 100 \text{ pF}$ angenommen.

Das Netzteil ist auf das Frequenzverhalten des NF-Verstärkers praktisch ohne Einfluss; sein Wechselstromwiderstand wird jedoch der Ordnung halber und zur Veranschaulichung durch den ohmschen Innenwiderstand R_{iN} und den kapazitiven Innenwiderstand C_{iN} der Elkos dargestellt.

Simulation

Nach der Eingabe des Schaltbildes mit dem **Schematics Editor** muss die AC-Analyse eingestellt werden. Dazu wird im Menü **Analysis „Setup“** und dann **„AC Sweep“** angeklickt. Für den Verstärker ist der Frequenzbereich 10 Hz bis 20 kHz interessant, deshalb wird unter **Start Frequ.** „10“ und unter **„End Frequ.“** 20k eingegeben; da für den Tonfrequenzbereich eine logarithmische Analyse sinnvoll ist, wird unter **AC Sweep Type** **„Decade“** angeklickt, und das Ganze mit **„OK“** und **„Close“** bestätigt. Jetzt wird im Menü **Analysis „Probe Setup“** angeklickt, **„Automatically Run After Simulation“** markiert und mit **„OK“** bestätigt, damit nach der Schaltungsberechnung das Ergebnis automatisch mit dem Programm Probe grafisch auf dem Bildschirm erscheint.

Jetzt kann im Menü **Analysis „Simulate“** angeklickt werden und das Frequenzverhalten der Schaltung wird im angegebenen Frequenzbereich berechnet und unter **„Probe“** automatisch grafisch angezeigt, nachdem im Menü **Trace/Add Traces** der gewünschte Knoten (im vorliegenden Beispiel V2(RiLS)) ausgewählt wurde, für den Strom oder Spannung dargestellt werden sollen.

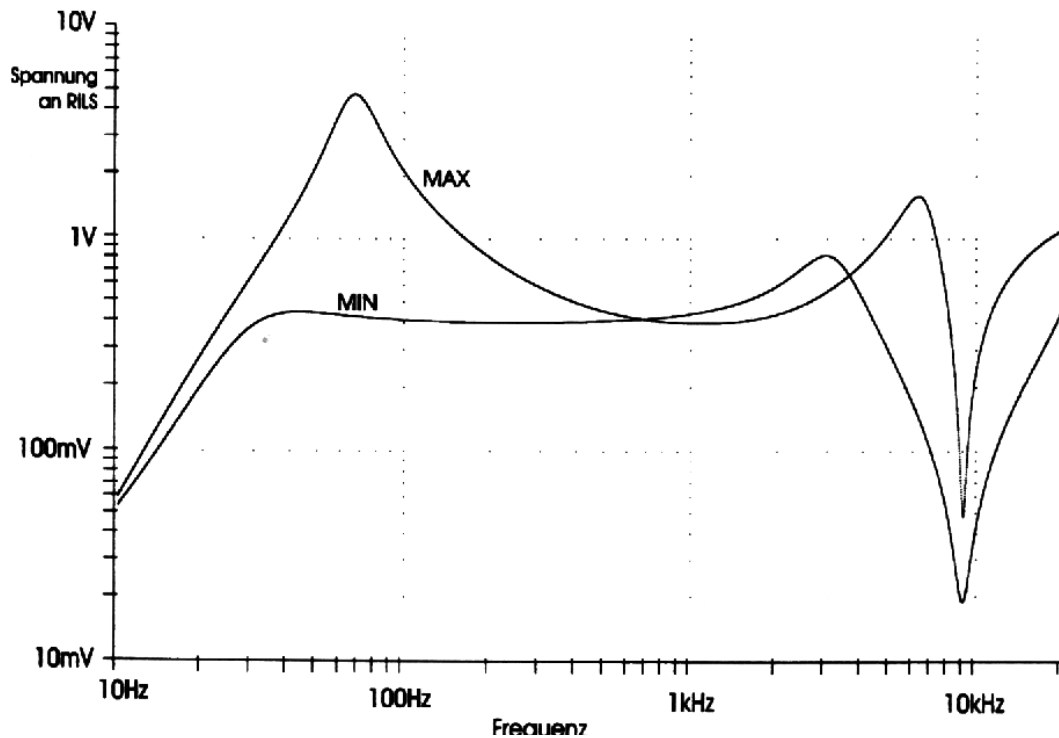


Bild 3: GRUNDIG Weltklang 396 W: NF-Frequenzgang für max. Anhebung (MAX) und für maximale Absenkung (MIN) der Höhen und Tiefen

Ergebnis der Simulation

Bild 3 zeigt die Spannung an der Schwingspule des Lautsprechers, dem Lautsprecherersatzwiderstand RiLS, für die beiden Klangeinstellungen

MAX: Bass max. (Schalter geöffnet) und Höheneinstellung auf „max“

MIN: Bass min. (Schalter geschlossen) und Höheneinstellung auf „min“

Man erkennt den Spannungseinbruch bei 9 kHz, hervorgerufen durch die Katoden-Gegenkopplung des Parallelschwingkreises $C8||L1$, die Höhenanhebung mit dem Maximum bei 6 kHz und die sehr kräftige Bassanhebung bei 70 Hz in der Einstellung MAX; dabei wird die Frequenz für max. Bassanhebung, wie die Untersuchung der Schaltung durch Variation der frequenzbestimmenden Komponenten mit PSpice zeigt, im wesentlichen durch $C3 = 25 \text{ nF}$ bestimmt, die Höhenanhebung durch $R6/C6$.

Bei der Kurve MIN hat sich das Maximum der Höhenanhebung von 6 kHz der Kurve MAX auf 3 kHz verschoben; ab 3 kHz erfolgt ein steiler Abfall der Frequenzkurve bis auf 9 kHz.

Dieser Abfall der Verstärkung bei etwa 3 kHz erfolgt durch die Gegenkopplung der Spannung am 9-kHz-Schwingkreis $C8||L1$ über $C5/R5/C2$ auf das Schirmgitter der EFM 11.

Die am Knoten C7/C8/R9/L1 wirksame Gegenkopplungsspannung für die Kurve MIN zeigt Bild 4. Sie gelangt über den Hochpass C5/R5 auf das Schirmgitter am Knoten C2/R2. Diese Spannung ist gegenphasig zur Spannung am Steuergitter der EFM 11, somit entsteht eine starke Gegenkopplung der hohen Frequenzen mit steiler Flanke bei 1 kHz.

Diese Gegenkopplung der hohen Frequenzen erfolgt auf das Schirmgitter; würde sie auf das Steuergitter erfolgen, dann wäre sie abhängig von der Stellung des Lautstärkestellers P1 und von der Regelspannung. Die geringere Verstärkung des Schirmgitters wird durch die große Gegenkopplungsspannung ausgeglichen.

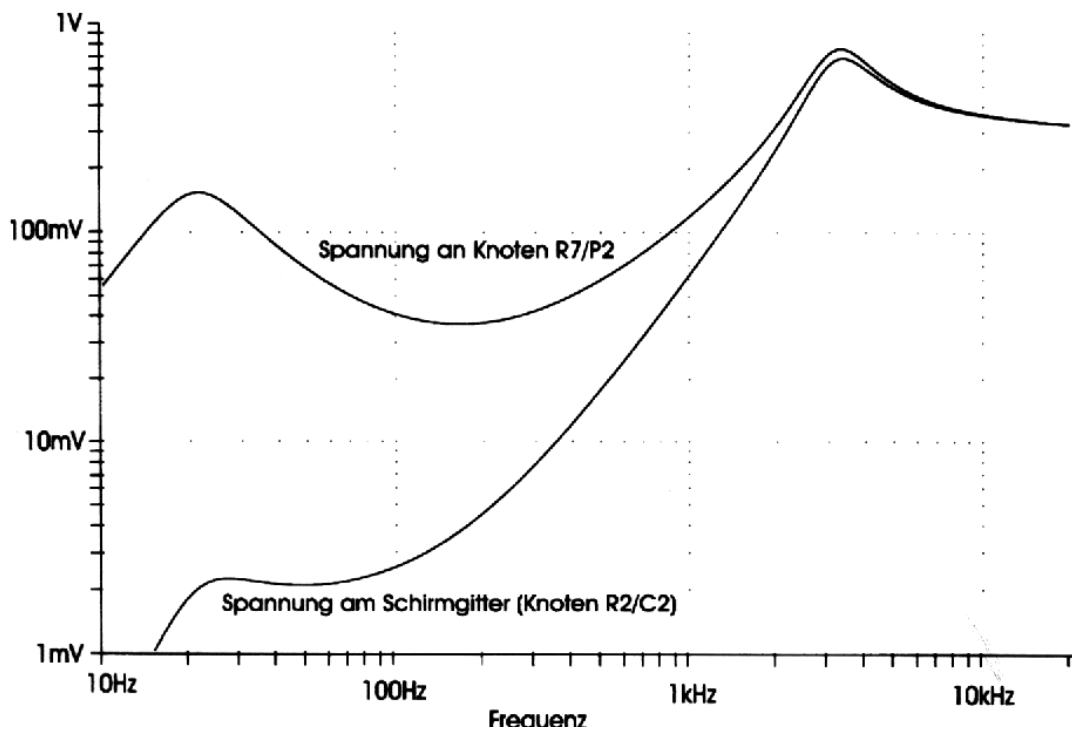


Bild 4: GRUNDIG Weltklang 396 W: Gegenkopplung am Schirmgitter der EFM 11 (P2 auf „min“)

Bezüglich der Anodenrückwirkung der Anode auf das Steuergitter ist praktisch gegenüber der empfohlenen Schaltung [3] mit 0,1 uF gegen Masse keine Änderung eingetreten: der Widerstand $R5 = 5 \text{ k}\Omega \ll R2 = 800 \text{ k}\Omega$ in Reihe mit $C2 = 0,1 \text{ uF}$ hat praktisch keinen Einfluss auf die Schirmwirkung des Schirmgitters. - Eine sehr geschickte Schaltung, bei der die 9-kHz-Sperre auch für die steilflankige Einstellung der oberen Grenzfrequenz durch den Höhensteller P2 ausgenutzt wird. - Zu untersuchen bliebe, wie sich die Schaltung bezüglich des Klirrfaktors verhält; dazu ist das vorliegende Ersatzschaltbild nicht geeignet, weil alle Bauelemente des PSpice-Modells linear beschrieben sind im Gegensatz zu den realen Röhren und Übertragern, deren Übertragungseigenschaften nichtlinear sind.

Hinweise für den Gebrauch

Die Schaltungssimulation erlaubt es auf einfachste Weise, die Eigenschaften einer gegebenen Schaltung, den Einfluss der einzelnen Bauelemente oder auch den Temperatureinfluss zu untersuchen. Beispielsweise kann leicht der Einfluss der Streuung des Ausgangsübertragers deutlich gemacht werden; eine Veränderung der Kopplung (sie wurde mit $k = 0.99$ angenommen) verändert das Frequenzverhalten im oberen Frequenzbereich, wie sich leicht feststellen lässt, wenn man den Kopplungsfaktor und damit die Streuung über die Tastatur verändert, wenn man damit „spielt“. - Eine Veränderung des Wicklungswiderstandes R_w veranschaulicht die Wirksamkeit der 9-kHz-Sperre bei veränderlicher Güte der Spule L1. - Diese Erkenntnisse kann man ohne Lötcolben, ohne Messgeräte, ja ohne das zu untersuchende Gerät selbst gewinnen, wenn die Schaltung bekannt ist.

Die Schaltungsangabe mit Schematics ist einfach und anschaulich; vor der Simulation wird die Schaltung vom Programm auf formale Fehler und auf Plausibilität geprüft. Z.B. dürfen zwei Induktivitäten nicht ohne zwischenliegende Widerstände „gezeichnet“ werden, weil jede Induktivität

einen Wicklungswiderstand besitzt; aus diesem Grund liegen in Bild 2 zwischen den beiden Übertragern AÜ1 und AÜ2 die beiden Widerstände R_{s1} und R_{s2} . - Bauelemente dürfen „nicht in der Luft hängen“; aus diesem Grund ist die Sekundärseite von AÜ1 mit Masse verbunden. - Werden Fehler gemacht, die das Programm erkennt, dann werden diese im Menü **Analysis** unter „**Examine Output**“ angezeigt.

In Teil 2 wird über die Simulation des HF-Teils des Limann-Bandfilter-Zweikreislers und in Teil 3 über die Simulation des NF-Teils des Philips Aachen-Supers D 57 („Bass-Drossel“) berichtet.

Literatur

- [1] *Stiller, A.*: Rätselhafter Schwingkreis in GRUNDIG-Radio. FUNKGESCHICHTE Nr. 64, (1989), S. 25 - 26
- [2] *Rose, B.*: Prototypen gibt es nur noch im Rechner. *VDI nachrichten*, Nr. 28, (1997), S. 9
- [3] *Ratheiser, L.*: Rundfunk-Röhren. Eigenschaften und Anwendung. Regalien's Verlag, Berlin, Hannover 1949
- [4] *Bursian, A.*: PSPICE für Einsteiger. Franzis-Verlag, Feldkirchen 1996 (mit mächtiger Demoversion auf CD). DM 69,--
- [5] *Duyan, H., Hahnloser, G., Traeger, D.H.*: PSpice. Eine Einführung. Teubner, Stuttgart 1992
- [6] *Kühnel, C.*: Schaltungsdesign mit PSPICE unter Windows. Franzis-Verlag, Poing 1994 (mit arbeitsfähiger Testversion 6.0 auf 4 Disketten)
- [7] *Santen, M.*: Das PSpice Design Center 6.1 Arbeitsbuch. Fächer Verlag, Karlsruhe 1994
- [8] *Günther, W.*: Schaltungen erfolgreich simulieren mit MICRO-CAP V. Franzis-Verlag, Feldkirchen 1997 (mit arbeitsfähiger Demoversion auf CD)
- [9] *ELECTINA*. Das komplette Elektroniklabor für Windows. Version 4.0. A & L Hard- und Software, Franzensbadstr. 6, Augsburg 1997 (Vollversion auf 2 Disketten)