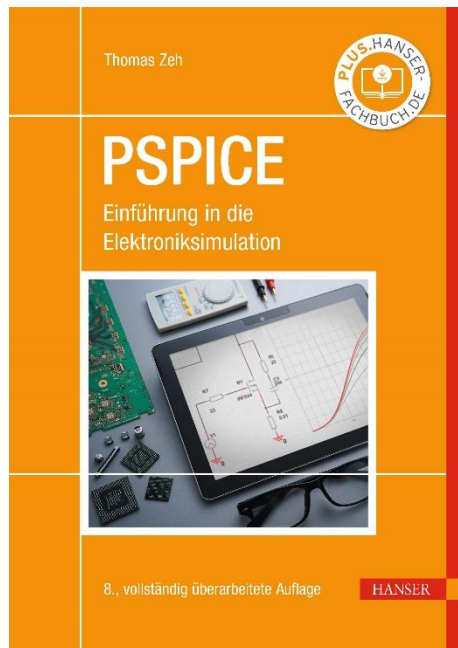


HANSER



Leseprobe

zu

PSpice

von Thomas Zeh

Print-ISBN: 978-3-446-46779-8

E-Book-ISBN: 978-3-446-47148-1

E-Pub-ISBN: 978-3-446-47575-5

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446467798>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Inhalt

Vorwort	1
0 SPICE und PSpice, Informationen auf plus.hanser-fachbuch.de, Software-Installation	7
0.1 Die Entwicklung von PSpice und andere SPICE-Derivate	7
0.2 OrCAD PSpice Designer, OrCAD für Studierende, PSpice for TI	8
0.3 Zusatzinformationen auf plus.hanser-fachbuch.de	9
0.4 Softwareinstallation OrCAD PSpice Designer Lite 17.2 und Zusatzbibliotheken	10
0.5 Zahlenformate, Einheiten und Typografie	15
1 Zeichnen von Schaltplänen	16
1.1 Capture starten	16
1.2 Ein neues Projekt anlegen	17
1.3 Werkzeugleisten: Capture-, Draw- und PSpice-Toolbars	21
1.4 Bauteile finden und positionieren	23
1.5 Schaltpläne zeichnen	28
1.6 Bauteilattribute (Properties) editieren	37
1.7 Gleichstrom-Arbeitspunktanalyse der Reihenschaltung	42
1.8 Einheiten und Zahlenvorsätze in PSpice	45
1.9 Übungen	46

2	Der PSpice-Workflow, Einstieg in die Simulation, Bias Point Analysis	48
2.1	Basis- und Fortgeschrittene Analysen	48
2.2	Der PSpice-Workflow	50
2.3	Die Ausgabedatei *.out von PSpice (Output-File) und die Alias-Datei *.als	53
2.4	Gleichspannungen und -ströme im Arbeitspunkt: Bias Point Analysis ..	60
2.5	Nicht (sofort) simulierbare Schaltungen	70
	2.5.1 Simulationsmethode	70
	2.5.2 Einschränkungen der Lite-Version	74
2.6	Übungen	75
3	PSpice als Software-Oszilloskop: Time Domain (Transient) Analysis	79
3.1	Schaltplan und Parametrisierung der Transienten-Analyse	80
3.2	Probe-Diagramme darstellen.	85
3.3	Eine zweite y-Achse einfügen	91
3.4	Nutzung von Probe-Funktionen und -Operatoren.	93
3.5	Probe Dokumentation: Transient Simulation Report	100
3.6	Anzeigen von Effektivwert, arithmetischem Mittelwert, Gleichrichtwert und Leistungswerten	101
3.7	Schaltvorgänge	105
3.8	Übungen	108
4	Die Wechselstrom-Analyse: AC Sweep/Noise Analysis	111
4.1	AC-Analyse bei einer einzigen Frequenz	112
4.2	Frequenzgang-Analyse AC Sweep	119
	4.2.1 AC Sweeps mit linearen und logarithmischen Achsenskalierungen	120
	4.2.2 Lineare und logarithmische Verteilung der Datenpunkte	124
	4.2.3 Ergebnisse früherer Simulationen wieder zurückholen	129
	4.2.4 Diagramme verschiedener Simulationen gemeinsam darstellen ..	130
4.3	Übungen	132

5	Gleichstromanalyse: DC Sweep Analysis	135
5.1	Primary Sweep: Sweep mit einer Variablen	136
5.1.1	DC Sweep Voltage Source: Gleichspannungsquelle als Sweep-Variable	136
5.1.2	DC Sweep Current Source: Gleichstromquelle als Sweep-Variable	139
5.1.3	DC Sweep Temperature: Bauteiltemperatur als Sweep-Variable	146
5.1.4	DC Sweep Model Parameter: Modellparameter als Sweep-Variable	152
5.1.5	DC Sweep Global Parameter: Global-Parameter als Sweep-Variable	154
5.2	Secondary Sweep: Sweep mit zwei geschachtelten Variablen	162
5.2.1	Geschachtelter DC Sweep von zwei Global-Parametern	162
5.2.2	Geschachtelter DC Sweep von Temperatur und Modellparameter	164
5.3	Übungen	168
6	Parametrische Analysen: Parametric Sweep	170
6.1	Parametric Sweep im Rahmen eines DC Sweep	171
6.1.1	Brückenspannung U_{AB} einer Temperaturmessbrücke: die Kurvenschar $U_{AB} = f(\vartheta)$ mit Temperaturkoeffizient TCI als Parameter	171
6.1.2	Die Ausgangskennlinien eines MOSFET-Transistors: die Kurvenschar des Drainstroms $I_D = f(V_{DS}, V_{GS})$ mit V_{GS} als Parametric Sweep	175
6.2	Parametric Sweep im Rahmen eines AC Sweep	178
6.3	Der Parametric Sweep in der Transienten-Analyse, Faktoren als sweepbare Global-Parameter	183
6.4	Übungen	193
7	Simulation in der Digitaltechnik	194
7.1	Beschreibungsmodell eines digitalen Bauteils	194
7.2	PSpice als statischer Logik-Analysator	197
7.3	Dynamische Digitalsimulation: Zeitablaufdiagramme	204
7.3.1	Knotenbezeichnungen in der Digitalsimulation	204
7.3.2	Darstellung unbestimmter Schaltzeitpunkte im Probe-Fenster	208
7.3.3	Digital-Spannungsquellen	209
7.4	Zoom und Cursor in der Digitalsimulation	215

7.5	Digitale Stimulierung über einen Daten-Bus.	218
7.6	Zähler-Anwendungen, Tipps und Tricks	222
7.6.1	Asynchrone Zähler	222
7.6.2	Asynchroner BCD-Zähler.	224
7.6.3	Asynchroner BCD-Zähler mit dezimaler Ausgabe	226
7.6.4	Hexadezimale Darstellung von Bitkombinationen	227
7.6.5	Programmierung von Stimulusfolgen	229
7.7	Parametrierung von Digital-Bauteilen	231
7.7.1	Initialisieren von Flip-Flops	231
7.7.2	Laufzeiten und deren Toleranzen.	233
7.7.3	Wahl des I/O-Levels	240
7.8	Die Worst-Case-Analyse in der Digitaltechnik	244
7.8.1	Überlappen von Ambiguity: Ambiguity Convergence Hazard.	245
7.8.2	Überlappen von Ambiguity: Cumulative-Ambiguity-Hazard.	253
7.8.3	Nichteinhalten von Grenzwerten: Timing-Violations	255
7.9	Übungen	261
8	Anpassungen, Operatoren und Funktionen von Probe.	267
8.1	Anpassung des Probe-Fensters	267
8.1.1	Farbe und Linienbreite der Probe-Diagramme ändern	268
8.1.2	Das Menü VIEW	270
8.1.3	Alternative Ansichten des Bildschirminhalts: Alternate Display ..	272
8.1.4	Multi-Windows-Fähigkeit von PSpice und CAPTURE.	273
8.2	Skalieren der X-Y-Achsen	276
8.3	Operatoren und Funktionen in Probe anwenden	277
8.4	Diagramme entflechten mit Add Plot.	279
8.5	Die Werkzeugleisten von Probe	281
8.6	Ausschnittvergrößerungen	283
8.7	Der Probe-Cursor	284
8.8	Messfunktionen: Evaluate Measurement	290
8.9	Übungen	292

9	Erweiterte Analysen: Fourier, Rauschgrößen, Performance, Arbeitspunkt, Monte-Carlo und Worst-Case	298
9.1	Die Fourier-Analyse	298
9.1.1	Das Frequenzspektrum einer Rechteckspannung	299
9.1.2	Frequenzspektrum der Ausgangsspannung eines Verstärkers ...	305
9.2	Rauschanalyse	311
9.2.1	Ursache und Beschreibung von Rauschsignalen	311
9.2.2	Rauschanalyse einer Emitterschaltung	318
9.3	Performance-Analyse	325
9.4	Hilfsmittel zur Festlegung und Analyse des Arbeitspunktes	335
9.4.1	Die Bias-Point-Detail-Analyse	335
9.4.2	Die Transfer-Analyse	335
9.4.3	Die DC-Sensitivity-Analyse	336
9.5	Die Monte-Carlo-Analyse	337
9.6	Die Worst-Case-Analyse	347
9.6.1	Überblick über den Aufbau der Worst-Case-Analyse	348
9.6.2	Ermittlung des Worst Case eines aktiven Filters	350
9.7	Übungen	355
10	Analoge Verhaltensbeschreibung: Analog Behavioral Modeling ABM	356
10.1	Anwendungen	356
10.2	ABM-Funktionen und Bauteile	357
10.3	Mit mathematischen Funktionen arbeiten: Attribut EXPR	361
10.4	Arbeiten mit Tabellen: Attribut TABLE	365
10.5	Es wird komplex: Laplace-Gleichungen mit LAPLACE, ELAPLACE und GLAPLACE	367
11	Anwendungen in der analogen und digitalen Schaltungs- technik, Leistungselektronik und Regelungstechnik	371
11.1	Analoge Schaltungstechnik	371
11.1.1	Einstufige Transistorverstärker	371
11.1.2	Hi-Fi-Verstärker mit MOSFET-Endstufe	376

11.1.3	Transistoren in Schaltanwendungen	382
11.1.4	Schaltungen mit Operationsverstärker	390
11.2	Leistungselektronik	395
11.2.1	Gesteuerte Thyristorbrücken	395
11.2.2	Blindleistungskompensation im Dreiphasennetz	399
11.3	Digitale und Mixed-Mode-Schaltungen	402
11.3.1	Analog-Digitalwandler und Digital-Analogwandler	402
11.3.2	Synchroner Modulo-x-Zähler	415
11.4	Regelungstechnik	416
11.4.1	Reglerparameter	417
11.4.2	P-Regelung	417
11.4.3	I-Regelung	418
11.4.4	PI-Regelung	419
11.4.5	PID-Regelung	420
12	Elektrische Stressanalyse: Smoke Analysis.	422
12.1	Die Belastungsgrenzen eines Bauteils: Smoke Parameter	423
12.2	Sorgt für gezielte Unterlast: Derating	431
13	Modelle einbinden.	439
13.1	Grundsätzliches über SPICE/PSpice-Modelle	439
13.2	Modell-Bibliotheken an- und abmelden	443
13.3	Symbol-Bibliotheken an- und abmelden	445
13.4	Modelle an Symbole anbinden	447
13.5	Neue PSpice-Modelle einbinden mit Symbolen aus <i>discretes2005.olb</i>	449
13.6	<i>discretes2005.olb</i> : Symbole für importierte Modelle	454
13.7	Neue PSpice-Modelle und -Symbole einbinden mithilfe des Model Editors	465
13.8	Erstellen von neuen Bauteilsymbolen mit der Funktion Generate Part	470
13.9	Übungen	472

Anhang	474
Handbücher.....	474
Die Farben des Probe-Bildschirms ändern	475
Übersicht Tastaturbefehle (Shortcuts)	475
Probe: mathematische Operatoren und Funktionen.....	480
Bauteil-Liste der Bibliothek <i>eval.olb</i> auf plus.hanser-fachbuch.de	484
Bauteil-Liste der Bibliothek <i>misc.olb</i> bzw. <i>sample.lib</i> auf plus.hanser-fachbuch.de	484
Die Spannungsquellen für die Transienten-Analyse	484
Die Messgeräte in <i>misc.olb</i>	489
Die Schalter aus <i>misc.olb</i>	490
Die Drehstromquelle aus <i>misc.olb</i>	494
Die regelungstechnischen Bausteine aus <i>misc.olb</i>	495
Zusatzmodelle auf plus.hanser-fachbuch.de	502
Weiterführende Informationen und Literaturliste	503
Index	505

Vorwort

Essentially, all models are wrong, but some are useful!

George Edward Pelham Box

In der Geschichte der Elektrotechnik gab es nur wenige Innovationen, von denen die Arbeit der elektronischen Schaltungsentwicklung so stark beeinflusst wurde, wie die Einführung von SPICE (*Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*) bzw. PSpice (*Personal SPICE*). Seit der Einführung von PSpice genügt ein handelsüblicher PC, um das Betriebsverhalten komplexer elektronischer Schaltungen im Detail zu simulieren.

Der Grad der Übereinstimmung zwischen Simulation und realer Schaltung steht und fällt mit der Qualität der Simulationsmodelle und der Berücksichtigung von Randbedingungen wie beispielsweise Umgebungstemperatur oder Streuung von Bauteilwerten. Hier gibt es in den vergangenen Jahren zwei Trends zu beobachten: Zum einen wurde PSpice ständig weiterentwickelt und durch neue Analysen erweitert. Zum anderen erkannten Hersteller von elektronischen Bauteilen, dass die Verfügbarkeit von hochwertigen Simulationsmodellen die Entwicklungszeit von Baugruppen deutlich verkürzen hilft. Probleme einer Schaltung können frühzeitig erkannt und bereits in der Entwicklung berücksichtigt werden. Damit wird die Verfügbarkeit von hochwertigen Simulationsmodellen zu einem Marktvorteil gegenüber anderen Herstellern. Ein Zeichen für diese Entwicklung ist die Kooperation des Bauteilherstellers Texas Instruments Inc. (TI) mit der Firma Cadence Design Systems Inc., aus der das Produkt *PSpice for TI* hervorgegangen ist, oder auch die Weiterentwicklung und Pflege des Simulators *LTspice* durch den Bauteilhersteller Analog Devices Inc.

Das oben angeführte Zitat „Essentially, all models are wrong, but some are useful“ bezog George Box, der britische Professor der Universität Wisconsin, zunächst auf statistische Modelle. Seine Aussage wurde im Nachgang auf andere wissenschaftlich-technische Modellierungen und Simulationen erweitert. Sinngemäß seien ihrem Wesen nach alle Modelle und Simulationen falsch, da sie die Wirklichkeit nur bis zu einem gewissen Grad abbilden. Aber dennoch sind Modellierung und Simu-

lation hilfreich und notwendig, auch wenn sie keine perfekte Abbildung der Wirklichkeit liefern. Eine Simulation oder ihr Modell ist dann „valide“, wenn die Eignung für eine konkrete Zielsetzung erfüllt ist. Die Erfahrungen des Autors haben gezeigt: Wenn eine Schaltung in der Simulation zum gewünschten Ergebnis führt, dann kann die Schaltung auch in der Praxis funktionieren, muss sie aber nicht zwangsläufig. Denn die Realität ist bei der Erzeugung von Problemen und Hindernissen sehr erfindungsreich! Und das ist genau das interessante Spannungsfeld, in dem sich ein:e Elektroniker:in befindet. Bei der Inbetriebnahme von Schaltungen in der Praxis können sich beispielsweise Kopplungen von Störsignalen auf Leitungen, unvorhergesehene Spannungs- und Stromeinbrüche oder nicht spezifiziertes Temperaturverhalten als Problem herausstellen. In der Praxis versucht man in diesen Fällen, das Simulationsmodell zu verfeinern. Im Umkehrschluss könnte formuliert werden: Zeigt eine Schaltung in der Simulation nicht das gewünschte Ergebnis, dann wird sie dies mit großer Sicherheit auch nicht in der Praxis tun.

Für professionelle Schaltungsentwickler:innen, in der Maker-Szene und für Hobbyisten sind Simulationsprogramme elektronischer Schaltungen zum unverzichtbaren Werkzeug geworden. Es gibt davon eine ganze Reihe, fast alle sind Weiterentwicklungen des legendären Programms SPICE, das an der Universität Berkeley entwickelt wurde. PSpice markiert unter diesen Programmen immer noch eindrucksvoll den Standard, auch wenn an leistungsfähigen Alternativen gearbeitet wird.

Das Buch erhebt den Anspruch, eine Einführung in PSpice zu geben, die dem oder der interessierten Elektroniker:in Freude bereitet. Der PSpice-Lehrgang dieses Buches besteht aus überschaubaren und in sich abgeschlossenen Abschnitten. Die Beispielschaltungen, mit denen Sie die PSpice-Simulation kennenlernen, sind in der Regel typische Schaltungen der elektrotechnischen Grundlagen. Auf diese Weise können Sie die Ergebnisse der Simulation jederzeit selbst auf Richtigkeit überprüfen und so das nötige Vertrauen in Ihre eigene Arbeit sowie in die Arbeit von PSpice gewinnen. Dieses Vertrauen benötigen Sie z. B. bei der Analyse größerer nichtlinearer elektronischer Schaltungen, bei denen die Simulationsergebnisse oftmals auch dem oder der routinierten Elektroniker:in nicht auf den ersten Blick einleuchten. Trotzdem sollten Sie Simulationsergebnisse stets kritisch hinterfragen. Liegt beispielsweise die Stromstärke durch ein Bauteil statt im erwarteten Milliampere-Bereich bei mehreren Kiloampere, dann ist vermutlich etwas an der Simulation faul und nicht an Ihrer Vorstellung! Die Gründe können vielfältig sein: Wurde lediglich ein Widerstandswert von Megaohm fälschlicherweise mit „m“ statt „meg“ angegeben oder ist vielleicht das Simulationsmodell des Bauteils fehlerhaft?

In der Lite-Version von PSpice werden bereits ca. 300 Symbolbibliotheken mitgeliefert. Schaltzeichen und Symbole folgen dabei dem amerikanischen *IEEE Std 315* Standard. Speziell für das Buch wurden Schaltzeichen nach den internationalen, in Europa gebräuchlichen Normen *IEC 60617* bzw. *DIN EN 60617* entwickelt und wer-

den auf plus.hanser-fachbuch.de zur Verfügung gestellt. Die Schaltpläne des Buches lassen sich auch mit amerikanischen Symbolen zeichnen, in einigen Beispielen wurden diese Symbole ausschließlich verwendet.

In diesem Buch wird folgender „Spagat“ versucht: Es soll gleichzeitig Einführungslehrgang für den Einsteiger, angemessene Hilfe für den Fortgeschrittenen und Nachschlagewerk für Einsteiger und Fortgeschrittene sein. Diesem Anspruch soll die folgende Gliederung des Buches dienen:

- Der erste Teil mit den Kapiteln 1 bis 7 vermittelt Grundlagen und richtet sich an Einsteiger:innen. In diesem Teil soll durch viele Schritt-für-Schritt-Aktionen die Vorgehensweise transparent und einfach nachvollziehbar werden. Nach sorgfältigem Durcharbeiten beherrschen Sie die wichtigsten Analysearten und können PSpice sinnvoll nutzen.
- Der zweite Teil mit den Kapiteln 8 bis 13 vermittelt Detailkenntnisse und richtet sich an fortgeschrittene Leser:innen bzw. an diejenigen, die den ersten Teil bearbeitet und daran anschließend bereits einige Erfahrungen in der Anwendung von PSpice gewonnen haben. Folglich wird zur besseren Übersichtlichkeit in vielen Fällen auf die detaillierten Schritt-für-Schritt-Aktionen verzichtet und ein Schwerpunkt auf Anwendungen gelegt.

Mit den Kenntnissen, die Sie durch das Studium dieses Buches erwerben, sind Sie hoffentlich gut vorbereitet, um PSpice erfolgreich für Grundsaltungen der elektronischen Schaltungstechnik in Ausbildung, Studium und beruflicher Praxis einsetzen zu können.

Allen Kolleginnen und Kollegen, Studierenden und Leser:innen, deren Anregungen dabei eingeflossen sind, sei herzlich gedankt. Meinem geschätzten Kollegen Prof. Dr. Frank Fischer danke ich herzlich für die kritische Durchsicht des Manuskripts! An dieser Stelle möchte ich mich auch bei Frau Christina Kubiak und Herrn Frank Katzenmayer und ihrem Team vom Carl Hanser Verlag für die hervorragende Unterstützung und stets motivierende, vertrauensvolle Zusammenarbeit bei der Überarbeitung des Buches bedanken! Mein Dank geht an die Firma Cadence Design Systems Inc. und dem Distributor FlowCAD GmbH, die im Rahmen des OrCAD-Studierendenprogramms gebührenfrei eine professionelle Vollversion des OrCAD PCB Designers mit dem PSpice Simulator anbieten. Ebenso danke ich für die Genehmigung, den Leser:innen die PSpice-Lite-Version zur Verfügung stellen zu können.

Eine Herzensangelegenheit ist mein Dank an meine Familie und besonders an meine Frau Evelyn für ihre Geduld und Unterstützung!

München, im September 2022

Thomas Zeh

Überarbeitung der achten Auflage

Die Resonanz auf die bisherigen Auflagen hat das Konzept des Autors Robert Heinemann eindrucksvoll bestätigt. In meiner beruflichen Praxis in der Industrie und Hochschule habe ich sein Buch bei der Anwendung von PSpice außerordentlich schätzen gelernt. Seit dem Erscheinen der siebten Auflage sind nun über elf Jahre vergangen und sowohl PSpice als auch die Computertechnik haben sich signifikant weiterentwickelt. Die der siebten Auflage zugrunde liegende PSpice-Version 16.0 wird von den aktuellen Windows-Versionen nicht mehr unterstützt. Umso mehr habe ich mich gefreut, dass Herr Heinemann sofort bereit war, mein Anliegen zur Überarbeitung des Buches zu unterstützen. Für diese Bereitschaft und Unterstützung möchte ich mich herzlich bedanken.

Die Neuauflage des Buches basiert auf der Version OrCAD PSpice 17.2 Lite, welche unter plus.hanser-fachbuch.de heruntergeladen werden kann. Die Version 17.2 ist bisher die letzte Lite-Version von PSpice. Für die aktuelle Version 17.4 wurde das Lizenzmodell umgestellt: Für Studierende gibt es im Rahmen des OrCAD-Studentenprogramms gebührenfrei eine professionelle Vollversion. Den kommerziellen Kunden steht vor der Kaufentscheidung eine zeitlich limitierte „Free Trial“-Option zur Verfügung. In der Version 17.4. wurden neben einigen Verbesserungen die Menüstruktur und das Erscheinungsbild von OrCAD PSpice modernisiert. Nutzer:innen der Version 17.2 werden sich schnell in der neuen Version zurechtfinden und die Schaltungsbeispiele des Buches simulieren können. Für einige Leser:innen dürfte auch die Nutzung des Produkts *PSpice for TI* interessant sein, für welches bei Texas Instruments Inc. eine gebührenfreie Lizenz angefordert werden kann. Zur Nutzung und zum Funktionsumfang von *PSpice for TI* finden Sie Details im Einführungskapitel.

Für die achte Auflage wurde das Buch grundlegend überarbeitet. Die bisherige Dreiteilung aus „Grundlagen“, „Hohe Schule“ und „Einblicke sowie Anwendungen“ wurde zugunsten einer Zweiteilung aus den Grundlagenkapiteln 1–7 und den Aufbaukapiteln 8–13 aufgehoben. Dabei wurden gleichartige Themen aus separaten Kapiteln zu einem Kapitel zusammengeführt wie beispielsweise

- *Digitaltechnik 1* und *Digitaltechnik 2* zum neuen Kapitel 7 *Simulation in der Digitaltechnik*,
- *Anwendungen 1*, *Anwendungen 2* und *Regelungstechnik* zu einem umfangreichen Kapitel 11 *Anwendungen in der analogen und digitalen Schaltungstechnik, Leistungselektronik und Regelungstechnik*. Hinzugekommen sind Schaltungen der Verstärkertechnik, Schaltanwendungen und lineare Spannungsregler.

Sämtliche Kapitel der vorherigen Auflage wurden auf PSpice 17.2 aktualisiert. Neu hinzugekommene Themen sind beispielsweise in

- Abschnitt 2.2 *Der PSpice-Workflow*,
- Abschnitt 2.5 *Schaltungen, die sich nicht (sofort) simulieren lassen*,

- Abschnitt 7.1 *Beschreibungsmodell eines digitalen Bauteils*,
- Kapitel 8 *Anpassungen, Operatoren und Funktionen von Probe*,
- Kapitel 9 *Erweiterte Analysen: Fourier, Rauschgrößen, Performance, Arbeitspunkt, Monte-Carlo und Worst-Case*,
- Kapitel 10 *Analoge Verhaltensbeschreibung: Analog Behavioral Modeling ABM*,
- Kapitel 12 *Elektrische Stressanalyse: Smoke Analysis*

zu finden. Die für die Schaltungen benötigten Bauteile werden nun in übersichtlichen Listen mit Referenzen zu den Bibliotheken zusammengefasst.

In der Praxis hat die Bestimmung von Rauschgrößen in elektronischen Schaltungen eine wichtige Bedeutung. Dieses Thema ist zugegebenermaßen nicht ganz einfach zu erfassen, aber PSpice erleichtert die Arbeit. Im neuen Abschnitt *Ursache und Beschreibung von Rauschsignalen* in Kapitel 9 werden Rauschgrößen und deren Verwendung in PSpice im Detail diskutiert. Der Vergleich von mathematischen Berechnungen mit den Simulationsergebnissen soll ein besseres Verständnis schaffen, die Rauschparameter in PSpice zu durchblicken und diese in der Praxis anzuwenden.

Mit der analogen Verhaltensbeschreibung (Analog Behavioral Modeling, kurz ABM) bietet PSpice eine mächtige Funktionserweiterung, mit der sich Bauteile, Ströme und Spannungen mittels mathematischer Funktionen oder gesteuerten Quellen beschreiben lassen. Das neue Kapitel 10 *Analoge Verhaltensbeschreibung: Analog Behavioral Modeling ABM* soll beim Einsatz von ABM unterstützen.

Nachdem sich mit PSpice Spannungen, Ströme und Leistungen sehr genau simulieren lassen, liegt es nahe, die vom Bauteilhersteller vorgegebenen Belastungsgrenzen der Simulation hinzuzufügen und das Simulationsergebnis auf Einhaltung der Grenzen zu überprüfen. Genau dies erledigt die Smoke Analysis, die im neuen Kapitel 12 *Elektrische Stressanalyse: Smoke Analysis* erläutert wird. Mit der *Smoke Analysis* können gezielt Belastungsgrenzen reduziert werden. In der Industrie kennt man das Verfahren als *Derating* (Herabsetzung, Unterlastung). Es ist mittlerweile eine Standardprozedur bei der Entwicklung von Elektronik mit hohen Zuverlässigkeitsanforderungen.

Für Kommentare und Anregungen zum Buch bin ich stets dankbar, bitte nutzen Sie hierfür die E-Mail-Adresse zeh.spicelab@web.de. Auf plus.hanser-fachbuch.de finden Sie neben den Zusatzmaterialien auch ein Korrekturverzeichnis (Errata). Ich würde mich freuen, wenn auch die achte Auflage des Buches eine gute Unterstützung bei der Schaltungssimulation für Sie ist und Ihnen interessante Einblicke sowie Freude beim Lesen und bei der Bearbeitung ermöglicht!

München, im September 2022

Thomas Zeh

■ Robert Heinemann zur Neuauflage des Buches

Die 7. Auflage dieses Buches habe ich erstellt, als ich schon lange die Altersgrenze überschritten hatte. Die Arbeit an dem Buch machte mir zwar immer noch viel Freude, aber meine Kräfte hatten nachgelassen, so dass ich für mich beschloss, keine neue Auflage mehr zu erstellen. Als Prof. Zeh vorschlug, das Buch neu herauszugeben, habe ich begeistert zugestimmt. Ich wünsche Prof. Zeh und dem Buch viel Erfolg und noch viele Auflagen.

Braunschweig, im September 2022
Robert Heinemann

SPICE und PSpice, Informationen auf plus.hanser-fachbuch.de, Software-Installation

■ 0.1 Die Entwicklung von PSpice und andere SPICE-Derivate

PSpice basiert auf dem Schaltungssimulator SPICE, einer Software zur Simulation analoger, digitaler und gemischter Schaltungen. Im April 1973 präsentierte Prof. Donald O. Pederson mit seinem Doktoranden Laurence W. Nagel auf dem *Midwest Symposium on Circuit Theory* in Waterloo/USA den Konferenzbeitrag *Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis (SPICE)*. Das am Department EECS der University of California (Berkeley) entwickelte Programm umfasste damals 15000 Fortran- und Assembler-Statements und wurde auf dem Rechner CDC 6400 der Control Data Corporation ausgeführt. Im gleichen Jahr implementierte ein Student das Programm SPICE auf dem Rechner DEC 1020 der damaligen Fachhochschule Furtwangen, der heutigen Hochschule Furtwangen HFU. Zwei Jahre später veröffentlichte Laurence W. Nagel seine Dissertation mit dem Titel *SPICE2: A Computer Program to Simulate Semiconductor Circuits*. Unter anderem führte die Veröffentlichung des Programm-Quelltexts und die damit gegebene Möglichkeit der Weiterentwicklung zu einer großen Verbreitung und Popularität von SPICE. Bis heute steht der C-Quelltext der Version SPICE 3f5 auf den Internetseiten der University of California frei zur Verfügung.

Zurück zur Geburtsstunde von PSpice:

- Im Jahr 1984 gründeten Wolfram Blume und Paul Tuinenga die Firma MicroSim.
- Im Jahr 1984 stellte die Firma MicroSim das kommerzielle Programm PSpice für den PC von IBM vor. Das „P“ in Personal Computer gab PSpice dabei seinen Namen.
- Im Jahr 1985 wurde die grafische Analyseoberfläche Probe für PSpice eingeführt. PSpice wurde nun intensiv weiterentwickelt und es folgten regelmäßig neue Releases.

- Im Jahr 1997 führte MicroSim das Release 8.0 PSpice A/D ein. Seit dem Release 6 wird zur Erstellung der Schaltpläne der Editor MicroSim Schematics genutzt, in den PSpice voll integriert ist. Die mühsame textbasierte Eingabe der PSpice-Netzlisten und -Simulatoranweisungen konnte damit entfallen. PSpice wurde Teil des integrierten EDA (Electronic Design Automation)-Programmpakets DesignLab, welches weitere Tools, z.B. für das FPGA-Design oder zum Board-Layout enthielt.
- Im Jahr 1998 fusionierten MicroSim Corporation und der EDA-Hersteller OrCAD. Der Schaltplaneditor OrCAD Capture erhielt eine Schnittstelle zu PSpice. Auch der ursprüngliche Editor MicroSim Schematics wurde noch in etlichen, nachfolgenden Releases von PSpice unterstützt.
- Im Juli 1999 wurden das Unternehmen OrCAD und seine Produkte von Cadence Design Systems übernommen, welches bis heute PSpice pflegt und weiterentwickelt.
- Im Jahr 2020 stellten Cadence Design Systems und Texas Instruments die in Zusammenarbeit entwickelte Version PSpice for TI vor. Im Vergleich zum kostenpflichtigen PSpice Designer Plus hat diese Version einen etwas reduzierten Funktionsumfang. Ein Vorteil ist die Nutzung der Referenzdesigns von Texas Instruments, falls keine separate PSpice-Lizenz von Cadence vorhanden ist.

PSpice blieb nicht das einzige, auf SPICE basierende Produkt. Als Beispiele seien genannt:

- LTspice von Analog Devices Inc. („LT“ wegen der Übernahme von Linear Technology Inc.),
- TINA-TI von Texas Instruments,
- Multisim von National Instruments,
- ngspice, Open-Source-Projekt,
- HSPICE von Synopsys,
- spice3 der University of California, häufig referenziert als Version „3F5“.

■ 0.2 OrCAD PSpice Designer, OrCAD für Studierende, PSpice for TI

Die Anleitungen und fast alle Schaltungen dieses Buches basieren auf dem Softwarepaket OrCAD PSpice Designer in der Version Lite 17.2. Die Version 17.2 ist die bislang letzte Version, für die eine kostenfreie Lite-Variante erstellt wurde. Mit freundlicher Genehmigung von Cadence Design Systems können Sie sich das Pro-

grammpaket unter *plus.hanser-fachbuch.de* nach Eingabe des Codes auf der ersten Seite des Buchs herunterladen: *OrCAD_PSpice_Designer_Lite_17.2-2016-S038.zip*.

In Kapitel 2 finden Sie eine Übersicht zu den Einschränkungen der Lite-Version. Der europäische Partner und Distributor von Cadence Design Systems ist die Firma FlowCAD. Studierende können im Rahmen des OrCAD-Studierendenprogramms gebührenfrei eine professionelle Vollversion des OrCAD PCB Designers mit dem PSpice-Simulator erhalten. Details hierzu finden Sie auf den Internetseiten der FlowCAD GmbH unter <https://www.flowcad.com>. Studierenden stehen nicht nur PSpice, sondern weitere Möglichkeiten wie der Entwurf von Leiterplatten (PCBs) und der Signal Explorer kostenfrei zur Verfügung.

Wie zuvor beschrieben haben Cadence Design Systems und Texas Instruments in Zusammenarbeit die Version PSpice for TI entwickelt. Im Vergleich zum kostenpflichtigen PSpice Designer Plus hat diese Version einen reduzierten Funktionsumfang. Werden Fremdmodelle von Bauteilen verwendet – also Bauteile nicht von TI –, dann können in Probe maximal drei Signale betrachtet werden. Auch Optionen der sogenannten PSpice Advanced Analysis stehen nicht zur Verfügung. Somit lassen sich die Beispiele aus Kapitel 12 (Elektrische Stressanalyse: Smoke Analysis) nicht simulieren. Aber die überwiegende Anzahl der Beispiele im Buch sollte bearbeitbar sein. PSpice for TI benötigt ein 64 bit Windows ab der Version 10.

■ 0.3 Zusatzinformationen auf plus.hanser-fachbuch.de

Neben dem Programmpaket OrCAD PSpice Designer Lite finden Sie auf *plus.hanser-fachbuch.de* weitere Informationen:

- zusätzliche Symbolbibliotheken im Archiv *add_symbol_libs.zip* unter dem Verzeichnis *add_symbol_libs*. Die Bauteil-Symbole der in Europa gebräuchlichen Norm IEC 60617 sind integriert.
- zusätzliche PSpice-Modell-Bibliotheken in *add_model_libs.zip* unter dem Verzeichnis *add_model_libs*.
- Bereits in der Lite-Version haben Sie Zugriff auf die volle Produktdokumentation. Die wichtigsten fünf Handbücher sind in *handbooks.zip* zusammengefasst:
 - PSpice User Guide,
 - PSpice AD Reference Guide,
 - PSpice Advanced Analysis User Guide,

- OrCAD Lite Reference,
- OrCAD Capture User Guide.
- Bauteil-Liste der Bibliotheken *eeval.olb*, *misc.olb* und *sample.lib* sowie weitere Zusatzmodelle.
- Als Anhang: Korrekturverzeichnis (Errata) mit Korrekturen und zusätzlichen Hinweisen zur 8. Auflage.

■ 0.4 Softwareinstallation OrCAD PSpice Designer Lite 17.2 und Zusatzbibliotheken

Folgende Voraussetzungen müssen erfüllt sein, um OrCAD PSpice Designer in der Version Lite 17.2 und die Zusatzbibliotheken des Buches zu installieren.

Hardwarevoraussetzungen:

- Prozessor mindestens Intel® Pentium® 4 oder AMD Athlon XP 2000,
- mindestens 8 GB Arbeitsspeicher und 2 GB freier Festplattenspeicher.

Betriebssystem Microsoft in der Version:

- Windows® 7 Professional, Enterprise, Ultimate, Home Premium (64-bit) oder
- Windows® 8 (64-bit) oder
- Windows® 10 (64-bit),
- Windows® 11 (64-bit) wurde vom Autor erfolgreich getestet. Der Installationsfehler *ERROR(15053): Can not initialize PSpice UI* entstand dadurch, dass das Verzeichnis *cdssetup* nicht im Homeverzeichnis stand, also nicht unter *%HOME%/cdssetup*. Den Wert der Umgebungsvariable *HOME* finden Sie auf Ihrem Rechner in den erweiterten Systemeinstellungen der Windows-Systemsteuerung.

Dateien von plus.hanser-fachbuch.de:

- *OrCAD_PSpice_Designer_Lite_17.2-2016-S038.zip*,
- *add_symbol_libs.zip*,
- *add_model_libs.zip*.

Installieren Sie nun Schritt-für-Schritt den PSpice Designer Lite:

- I. Entpacken Sie *OrCAD_PSpice_Designer_Lite_17.2-2016-S038.zip* in ein frei gewähltes Installationsverzeichnis und starten Sie *setup.exe* mit der Option *Als Administrator ausführen*. Wenn Windows meldet *Wollen Sie zulassen, dass durch diese App Änderungen...* bestätigen Sie dies mit *Ja*. Der Installer startet (Bild 0.1) und mit *Next>* werden Sie zum License Agreement geführt, das Sie mit *I accept...* bestätigen.

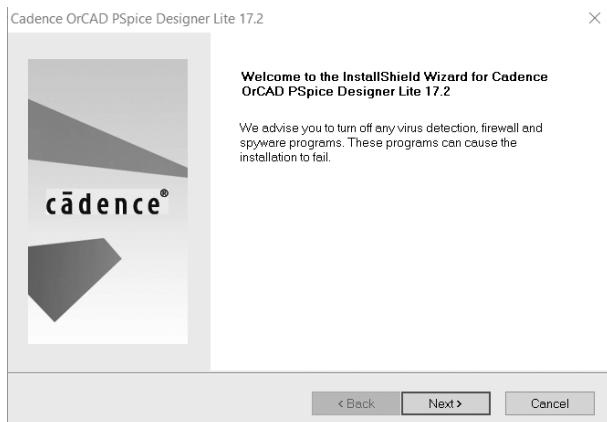


Bild 0.1 Installationsstart

- II. Im folgenden Schritt können Sie festlegen, ob nur Sie oder alle Benutzer des Computers OrCAD benutzen sollen. Wählen Sie die von Ihnen gewünschte Option. Ein *Next>* führt Sie zu den Installation Settings. Da die nachfolgende Dokumentation auf das vorgeschlagene Verzeichnis *\Cadence\SPB_17.2* Bezug nimmt, belassen Sie am besten den vorgeschlagenen Pfad. Nach einem weiteren *Next>* erscheint das Fenster *Start Copying Files* mit einer Zusammenfassung. Wählen Sie nun *Install* (Bild 0.2).

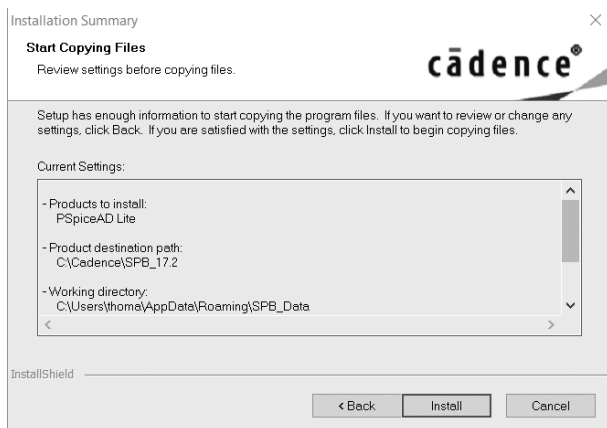


Bild 0.2 Zusammenfassung der Installationseinstellungen

III. Die Installationsroutine kann je nach Computer ca. 10 min dauern und endet nach erfolgreicher Installation mit dem **Setup Complete** Fenster (Bild 0.3). Wenn Sie nun noch die Option **Generate doc index...** wählen, wird bereits vor dem ersten Start der internen OrCAD-Hilfe ein Index erzeugt. Schließen Sie die Installation mit **Finish** ab.

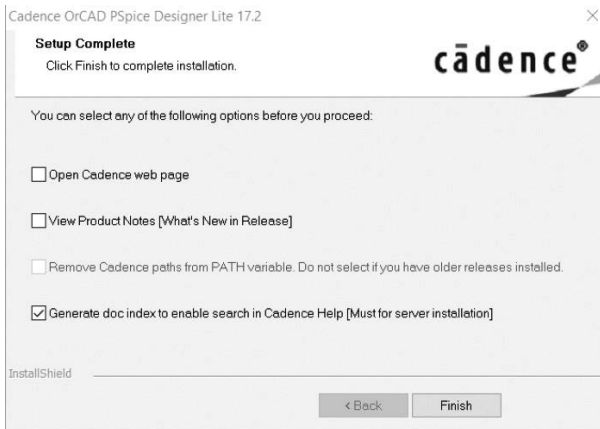


Bild 0.3 Erfolgreicher Installationsprozess

IV. Entpacken Sie die beiden Verzeichnisse *add_symbol_libs* und *add_model_libs* aus dem Archiv *add_libs.zip* in das zuvor frei gewählte Installationsverzeichnis. Bild 0.4 zeigt die Verzeichnisinhalte.

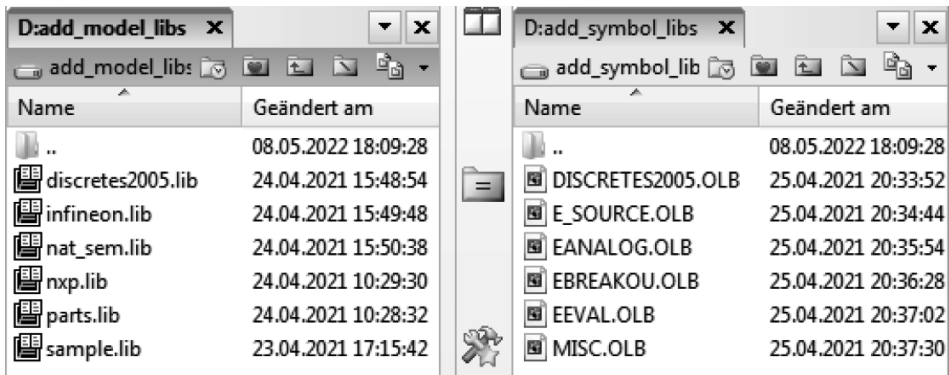


Bild 0.4 Zusätzliche Symbolbibliotheken *add_symbol_libs* (rechts) und PSpice-Modell-Bibliotheken *add_model_libs* (links)

V. Kopieren Sie das Verzeichnis der Symbolbibliotheken *add_symbol_libs* nach *C:\Cadence\SPB_17.2\tools\capture\library\pspice* (vgl. Bild 0.5)

und das Verzeichnis der Modell-Bibliotheken *add_model_libs* nach

C:\Cadence\SPB_17.2\tools\pspice\library (vgl. Bild 0.6.)

Verwenden Sie einen anderen Pfad, falls Sie im Schritt II ein abweichendes Verzeichnis gewählt haben.

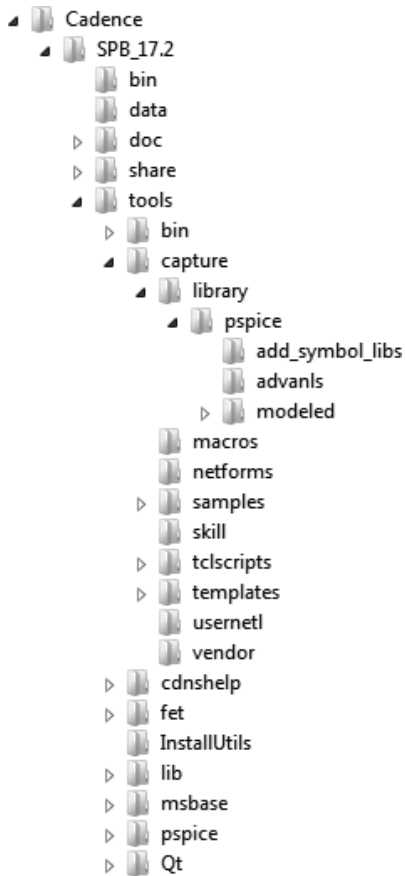


Bild 0.5 Pfad zu *add_symbol_libs*

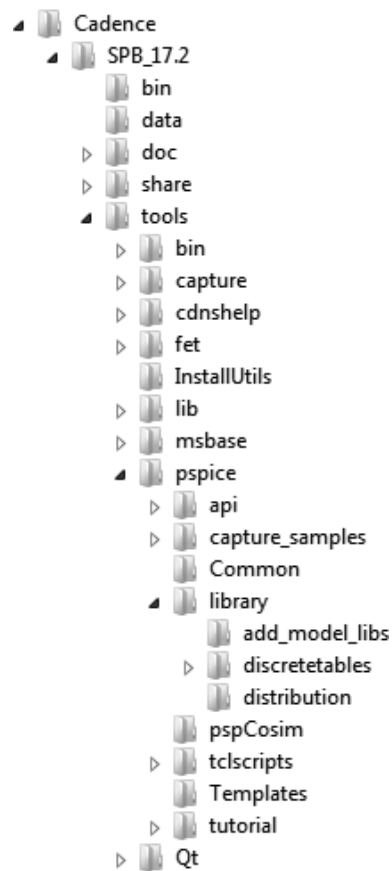


Bild 0.6 Pfad zu *add_model_libs*

VI. Der Installationsprozess ist damit abgeschlossen. Im Startmenü von Windows sollten Sie eine Programmgruppe Cadence Release 17.2-2016 finden (Bild 0.7).

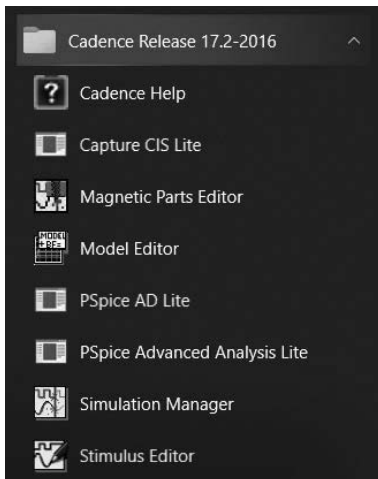


Bild 0.7 Programmgruppe Cadence Release 17.2-2016 nach erfolgreicher Installation

VII. Starten Sie testweise den Schaltplaneditor Capture CIS Lite. Beim erstmaligen Start werden automatisch noch etliche Dateiregistrierungen vorgenommen (Bild 0.8). Nach der Erstinstallation beim Öffnen eines neuen Projektes erhalten Sie die Meldung *PSpice A/D license was not found. [...] Would you like to launch Simulation Manager Lite?* Die Frage bestätigen Sie mit Yes und aktivieren das Feld Don't ask me again before launching lite version of the tools.

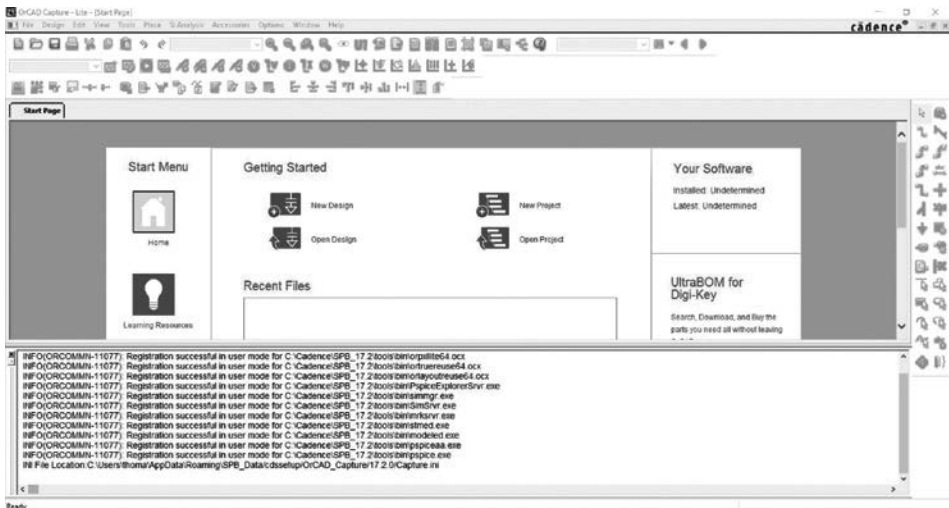


Bild 0.8 Erster Start des Schaltplaneditors Capture CIS Lite

Nun sind Sie bereit zur Bearbeitung des ersten Kapitels. Die oben gezeigte Installation wurde unter Windows 10 durchgeführt. Die Programmgruppe sieht unter Windows 7 wie in Bild 1.1 im ersten Hauptkapitel aus. Diese unterscheidet sich also etwas vom obigen Bild 0.7.

■ 0.5 Zahlenformate, Einheiten und Typografie

PSpice ist wie SPICE ein amerikanisches Programm und nutzt daher die in Amerika übliche Zahlendarstellung.

- PSpice verwendet den im englischsprachigen Raum üblichen Punkt als Dezimaltrennzeichen. Um Verwechslungen zu vermeiden, wird im Buchtext ebenfalls der Punkt statt dem Komma verwendet, z. B. $I = 3.45 \text{ A}$.
- Die Angabe von Einheiten wie z. B. A für Ampere oder V für Volt wertet PSpice nicht aus. Die Einheit wird als Kommentar interpretiert, allerdings darf zwischen Zahlenwert und Einheit nicht – wie formal korrekt – ein Leerzeichen stehen. Dies würde PSpice mit einer Fehlermeldung quittieren. Im Text wird überwiegend ein Leerzeichen zwischen Zahlenwert und Einheit eingefügt. Es sei denn, dass dies zum beschriebenen Problem führt. Beispiel: *Geben Sie für die Stromquelle I1 bei DC den Wert 3A ein* und nicht...*bei DC den Wert 3 A ein*.
- Zehnerpotenzen werden wahlweise ausgeschrieben oder mit E abgekürzt: z. B. $5.23 \cdot 10^{-12}$ oder 5.23E-12.
- Statt des Zahlenvorsatzes „u“ für Mikro wird – wie auch in PSpice – im Buchtext häufig das „µ“ verwendet.
- Auf eine Übersetzung gebräuchlicher, englischer Begriffe wird häufig verzichtet und es werden vorzugsweise PSpice-Begriffe verwendet: Analysis statt Analyse, Profile statt Profil etc.
- Projekte, Variablen, Bauteilsymbole, Attribute, PSpice-Menüs, -Fenster, -Optionen, -Befehle, -Schaltflächen: Schmalschrift, z. B. Copy.
- Befehlsfolgen: Trennung durch Schrägstrich oder Pfeil, z. B. Edit/Copy oder File → Save As
- Textzitate, Dateien, Ordner: Kursiv-Schrift, z. B. *misdiode.opj*.
- Tastenbezeichnungen: spitze Klammern, z. B. <Alt>
- Heißt es im Text „Anklicken mit der Maus“ ist – wenn nicht anders angegeben – die linke Maustaste gemeint. Mit einem Rechtsklick öffnet sich in PSpice, wie in Windows üblich, erst mal nur ein Kontextmenü. Die Auswahl sowie die Durchführung einer Aktion erfolgt in der Regel per linker Maustaste.

1

Zeichnen von Schaltplänen

■ 1.1 Capture starten

Zum Zeichnen von Schaltplänen starten Sie Capture aus dem Windows-Startmenü.



Aktion 1.1

Aktivieren Sie Capture aus dem Windows-Startmenü heraus durch Anklicken des Namens Capture CIS Lite mit der Maus (Bild 1.1). CIS steht für Component Information System und ermöglicht die Anbindung an eine Komponenten-Datenbank. Diese Möglichkeit wird hier aber nicht genutzt.

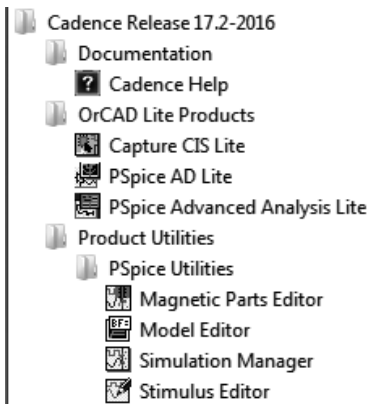


Bild 1.1 Windows-Startmenü mit markiertem Suchweg zu Capture

Nach der Erstinstallation erhalten Sie die Meldung *PSpice A/D license was not found. [...] Would you like to launch Simulation Manager Lite?* Die Frage bestätigen Sie mit Yes und aktivieren das Feld *Don't ask me again before launching lite version of the tools.*

Es öffnet sich der Startbildschirm von Capture (Bild 1.2).

Index

A

ABM 356, 416
Absolute Maximum Ratings 423
AC-Ameter 489
AC-Analyse 111
Achsenformatierung
– logarithmisch und linear 119
AC Sweep 119
AC-Vmeter 489
ADC8break 413
Add Library 26
addlibs 443
add_model_libs 9f.
Add Plot 280
Add Plot to Window 280
add_symbol_libs 9f.
AD-Umsetzer 402
Advanced Analysis 49
aktive Filter 392
– Worst-case 349
Alias-Datei 53
Alias-Namen 57, 87
ALL 345
Alternate Display 267, 272
Ambiguity 208
Ambiguity Convergence Hazard 249
Ameter_trans 101, 490
Amplitudengang 119
Analog Behavioral Modeling 356, 416
Analog-Digital-Umsetzung 402
analoge Verhaltensbeschreibung 356
Analogschalter 403, 492
Anfangszustand 231

Anreicherungstyp 461
Anstiegsgeschwindigkeit, Slew Rate 378
Append 130
äquivalentes Eingangsrauschen 320
Arbeitspunkt 335
– Bias-Point-Detail-Analyse 335
– DC Sensitivity Analyse 336
– Transfer-Analyse 335
Area 284
Arrhenius-Gleichung 431
Asynchrone Zähler 233
Attribute 29, 37
– setzen 37
Ausgabedatei 53
Ausgangswiderstand 335
Ausschnitt 283
Ausschnittvergrößerung 216f.
Available Sections 173

B

B2H-Thyristorbrücke 395
Bandbreite 333
Bauteile
– rotieren 28
– spiegeln 28
Belastungsgrenzen 423, 427
Bezugspunkt 61
Bias-Point-Detail 335
Bias Point Preferences 43
Bibliothek
– Modell 440, 442
– Schaltzeichen 28
– Symbole 442, 445

Bipolartransistor 455
Bitkombinationen 227
blank (blank project) 18
Blindleistung 103, 110, 399

C

Capture
– Arbeitsfenster 19
– PSpiceAA 39
– Startbildschirm 16
– Toolbar 22
Cascade 275
Category 232
clockcycle 212
COMMAND, Stimulusquelle 221
Cumulative-Ambiguity-Hazard 253
Current properties 39

D

DAC8break 404
Darlington-Transistor, npn 456
Darlington-Transistor, pnp 456
Datenbereich
– einschränken 300
– restricted 301
Datenbus 218
– Stimulierung 218
– verlegen 218
Datenleitungen 219
– benennen 219
Datenpunkte
– berechnete markieren 127
DA-Umsetzer 402
dB 119
DC Sensitivity Analyse 336
DC Sweep 135
– Bauteiltemperatur als Sweep-Variable 146
– Gleichstromquelle als Sweep-Variable 139
– Spannungsquelle als Sweep-variable 136
– Widerstandswert als Sweep-Variable 152, 154

Default-Parameter 440
Derating 422, 426 f., 431
Design Cache 26
DEV 346
Device Equations 439
Device Property File 423
Dezibel 119
Dezimaltrennzeichen 15
DF 113
Diac 464
Diagramme, gemeinsame Ergebnisse aus verschiedenen Simulationen 130
DigClock 213
DIGINITSTATE 232
DIGIOLVL 240
Digital-Analog-Umsetzung 402
digitale Zustände 200
Digital Plot Size 207
Digital-Simulation 194, 215
– dynamisch 204
– statisch 197
– Zeitablaufdiagramme 204
– Zoom 215
Digital Size 207
DIGMNTYMX 235, 245, 257
Dimmer 472
Diode 458
Display Precision 43
Display Properties 37
Do not skip Sections 131
doppelt logarithmische Achsen 124
Draw-Toolbar 22
Dreiphasennetz 399
Dualgate-Feldeffekttransistor 463
Dual-Slope-Verfahren 408

E

Edit PSpice Model 196
eeval.olb 484
Effektivwert 101
Eingangswiderstand 335
Einheiten 15
Einpunkt-AC-Sweep 114
Empfindlichkeit 338

- Empfindlichkeitsanalyse 64
- Enable Bias Power Display 64
- Enable Bias Voltage Display 62
- End (Simulation Status Window) 85
- Ergebnisse aus verschiedenen Simulationen 129
- Examine Output 54, 60
- Exklusiv-ODER-Glied 199
- Extended Preferences Setup 32

F

- Faktoren als Sweepparameter 183
- FALL (MC/Worst-case) 345
- Farbe
 - Probe-Bildschirm 475
- Fehlerdiagnose 252
- Fehlermeldung 53
 - digitale Worst-Case-Analyse 245
- Fehlstellungen digitaler Zustände 245
- Feldeffekttransistor 457
- Fenster
 - Add Traces 86
 - aktiv 275
 - Create PSpice Project 18
 - Digital Plot Size 207
 - Display Properties 41
 - New Project 17
 - Section Information 269
 - X Axis Settings 276
 - Y Axis Settings 276
- FFT 298, 301
- Filter by 39
- Final Time 85
- Format, Stimulusquelle 221
- Fourier-Analyse 298
 - Daten im Output-File 303
 - Transistorverstärker 305
- Frequenzgang 119
- Frequenzspektrum 299
- Frontend 18
- Functions or Macros 86, 331
- Funktionen 86

G

- Gate-Level Simulation 231f.
- Gaussian 338
- Gaußverteilung 338
- Gegenkopplung 308
- Gegenüberstellung
 - Messung und Simulation 382
- Gitterraster 40
- Gleichrichter 395
- Gleichrichtwert 101
- Glitch 245
- Glitchunterdrückung 248
- Global-Parameter 154
- Grid 30, 33
 - Display 34
 - Spacing 34

H

- Harmonic Distortion 307
- harmonische Verzerrung 308
- Haupt-Sweep 135
- Hazard 244
- Heißeiter 464
- hexadezimale Ausgabe 227
- Hi-Element 203
- Hi-Fi-Endstufe 376
- Hi-Fi-Verstärker 376
- Hold-Zeit 233

I

- labs (Gleichrichtwert) 101
- lavg (arithm. Mittelwert) 101
- IC (Initial Condition) 82, 106
- I-Element, Attribute 496
- IGBT 460
- Imaginärteil 295
- Inconsistent Sections 131
- Information
 - Kontextmenü von Diagrammen 269
- Initial Condition (IC) 82
- Initialisieren, Flip-Flops 231
- Insulated Gate Bipolar Transistor 460
- Interval, AC Sweep 320

I/O-Level 240
 I-Regelung 418
 I-Regler 418
 I-Regler, Attribute 496
 Irms (Effektivwert) 101

J

JFet 457
 Junction 31, 36
 – on multiple connections on wire end 32
 – on wire break only 32
 – Points 32

K

Kaltleiter 153
 Kapazitätsdiode 458
 Klirrfaktor 305
 Knoten 53
 Knotenbezeichnungen bei Digital-simulation 204
 Knotennamen 54
 Knotenpunkt 36
 Knotenpunktpotenziale, Differenz 98
 Kontextmenü
 – Probe-Diagramme 268
 Konvergenzprobleme 99
 Koordinatenachsen 119

L

Label für Datenleitungen 219
 Laufzeittoleranzen 231, 233
 Leistungen 103
 Leistungsbandbreite 377
 Leistungselektronik 395
 Leistungsmesser 103, 490
 Libraries 23
 LIST 345
 Location 18, 61
 Lo-Element 203
 Log 122

Logik-Analyse 197
 – dynamisch 204
 logische Zustände 198, 211
 LOT 338

M

Macros 331
 Main Sweep 135
 Mark Data Points 127
 Marker 90, 267
 Markieren berechneter Datenpunkte 127
 Massezeichen 34, 61
 MAX 345
 Max(1) 332
 Maximum Operating Conditions 423
 Maximum Step Size 83 f.
 Measurement Definitions 328
 Measurements 331
 Messergebnisse 376
 Messfunktionen 328
 – Bandwidth (1,db_level) 333
 – Max(1) 332
 MIN 345
 Mirror Horizontally 28
 Mirror Vertically 28
 misc.olb 484
 Mittelwert
 – arithmetischer 101
 – Effektivwert 101
 – Gleichrichtwert 101
 Mixed Mode Simulation 195, 202
 MNTYMXDLY 236
 Model Editor 423
 Modell-Bibliothek 440
 – abmelden 444
 – anmelden 444
 Modelle, einbinden 439
 model parameter 439
 model type 439
 Modulationsindex 489
 Monte-Carlo-Analyse 337
 – Ergebnisse, statistische Verteilung 343
 MOSFET-Endstufe 376
 Multi-Windows-Fähigkeit 273
 Multi-Windows-Technik 267

N

Nachstellzeit 419, 497, 499
Neben-Sweep 135
Net Alias 31
Netzliste 54
New Project 17
New Simulation Profile 62
N-Kanal-MOSFET 462
Noise Analysis 311
nomd.lib 444
Nominal-Run 338, 349
NPN 456
ntc 153, 464
NTOT(ONoise) 322

O

Öffner 491
olb, Suffix für Bibliotheken 443
Operationsverstärker 459
Operatoren
– Probe 93
ORCAD-PSpice, Attributfilter 99
Ortskurve 295
Output-File 53
Output Var 342
Output-Window, Probe 271

P

Parameter
– Anmeldung 156
Parameterized Models 423
PARAMETERS 156
– Attributfenster 156
Parametersatz
– Diode 440
Parametric Sweep
– Available Sections 174
– Kurvenschar 180
Part List 26
PD-Regler 498
P-Element 495
– Attribute 495

Performance-Analyse 325
– AC Parametric Sweep 326
Phasengang 119
Phasenreserve 417
physikalische Größen 45
PID-Regelung 420
PID-Regler 420, 499
Pinnamen 442
PI-Regelung 419
PI-Regler 419, 497
P-Kanal-MOSFET 460 f.
Place-Menü 22
Place Voltage Marker 90
Platzieren, Bauteile 36
Plot Window Templates 331
PNP 456
P-Regelung 417
P-Regler 417, 495
– Attribute 495
Probe 53
– Cursor 284
– Kontextmenü 269
– Werkzeuggestreife 281
Probe-Diagramme 85
– Farbe ändern 267
– Strichstärke ändern 267
Probe-Fenster 53, 79, 85
– Anpassung 267
– Größe ändern 223
Programmierung, Stimulusfolgen 229
Projekt anlegen 17
Projektmanager 19
Propagation Delay 233
Properties
– Kontextmenü von Diagrammen 269
Property-Editor 39
PSpice Advanced Analysis 422, 430
PSpice.ini 475
PSpice-Modelle 416
Pspice-Toolbar 23
P-Strecke 495
PT1-Element 417, 500
PT2-Element, Attribute 501
ptc 153

Q

Quellen 209, 484

R

R-2R-Netzwerk 403
 RANGE 345
 Rauschabstand 311, 380
 Rauschanalyse 311
 Rausch-Frequenzgang 320
 Rauschspannung 320
 Rbreak 146, 150
 Realteil 295
 Reference Designator 37
 Regelabweichung, bleibende 418
 Regelkreis 418
 Regelstrecke 417
 Reglerparameter 417
 RISE 345
 RUN, Monte-Carlo 345

S

sample.lib 484
 Scale 122
 Schalt3Phase 493
 Schalter 490, 493
 Schaltfläche
 – Add as Global 444
 – Add Library... 446
 – Options 232
 – Remove Library 446
 Schaltflächenleisten, Probe,
 verschieben 272
 Schaltungstechnik, analog 371
 Schaltvorgänge 105
 Schematic Page Properties 30
 Schließer 490
 Schottky-Diode 458
 Schrittweite der Simulation 83, 89
 Secondary Sweep 135
 SEED 345
 SENSITIVITY 68
 Sensitivity Analysis 64, 68, 336

Setup

– DC Parametric Sweep 171
 – Transienten-Analyse 84
 – Zeit 233
 Simulationsergebnisse mathematisch
 verknüpfen 85
 Simulationslauf 338
 Simulationsmodelle
 – aus dem Internet laden 449
 Simulationsprofil 96
 Simulation Status Window, Probe 271
 Slew Rate 378
 Smoke Analysis 422
 Smoke Parameter 423
 Snap to grid 40
 Spannungsmesser 489
 – für AC-Analyse 111
 Spannungsquellen
 – analog 484
 – digital 209
 Spannungsverstärker, einstufiger 372
 spektrale Leistungsdichte 322
 Sperrschichttemperatur 434
 SPICE 7
 Sprungantwort 495
 Statistik 344
 Statusbar, Probe 271
 Sternschaltung 399
 STIM1 210
 STIM4 219
 Stimulusfolgen 230
 Stimulussignal 209
 Stochastik 343
 Störabstand 201
 Stressanalyse 422
 Streuung 346
 Ströme, Zählrichtung 96
 Strommesser 489
 – AC-Analyse 111
 Subcircuit Nodes 87
 Subcircuits 441
 Sw_analog 492
 Sweep-Variable 136
 Sw_perChange 80, 492
 Sw_perClose 491

Sw_perOpen 491
Symbol-Bibliotheken 442
– abmelden 445
– anmelden 446
Symbole, an Modelle anbinden 447

T

TC1 147, 439
TD 113
Temperaturbeiwert 146
Temperature Coefficient 147
Temperaturmessbrücke 147
Thyristorbrücke 395
Tile Horizontally 275
Tile Vertically 275
Time 85
Time Domain (Transient) Analysis 79
Timestep 85, 213
Timing-Hazard 244
Timing-Violations 255
TNOM 63
TOL 340
Toolbar 19, 21
Total Harmonic Distortion 308
Totzeitelement 502
Trace 86
Trace Color Scheme 93
Trace-Expression-Zeile 88
Trace-Liste 86
Trägerfrequenz 489
Transfer-Analyse 336
Transformator 395
Transistorverstärker 371
Triac 464
TTL-Pegel 198
TTL-Technik 199
Typografie 15

U

Uabs (Gleichrichtwert) 101
Uavg (arithm. Mittelwert) 101
Überlappung 249
Umgebungstemperatur 422f., 425

unbestimmte Zustände 200, 208
Uniform 338
Universalfilter 392f.
Unterlastung 422, 431
Unterschaltkreise 87
Urms (Effektivwert) 101
User Defined 123

V

V3Phase 494
VAMPL 113
Varicap 458
Varistor 465
VDC 29
VDR 465
Verarmungstyp 462
Verbindungspunkt 31
Verdrahten 29f.
Verdrahtungsmodus 30
Vergleich, Simulation und Messung 376
Vergrößern, digital 216
Verknüpfen, Probe-Ergebnisse 85
Verschieben
– Probe-Schaltflächenleisten 272
– Schaltzeichen 28
Verteilung 338
Verzerrungen 305
VEXP 487
Violation 244
Vmeter_trans 101, 490
VOFF 113
V(ONoise) 322
Vorhaltezeit 420, 498
Vorlage 18
Vorzeichen, Ströme 96
VPULSE 109, 486
VPWL 378, 487
VPWL_ENH 487
VSFFM 488
VSIN 113, 485
VSRC 487

W

- Wägeverfahren, AD-Umsetzung 410
- Wechselschalter 492
- Wire 30
- Wmeter_trans 103, 490
- Worst-case-Analyse 347
 - Fenster 348

X

- x-Achse, Achsenvariable ändern 137, 295
- x-Achse, linear und logarithmisch 122
- X-Axis Settings 122

Y

- y-Achse
 - eine zweite einfügen 91
- YMAX 345

Z

- Zählverfahren, AD-Umsetzung 407
- Z-Diode 458
- Zoom 29, 283
- Zoom, digital 216
- Zusatzmodelle 502
- Zustände, logische 210