

HANSER



Leseprobe

zu

„Schaltungen der Elektrotechnik und Elektronik – verstehen und lösen mit NI Multisim“

von Jürgen Liepe

Print-ISBN: 978-3-446-46269-4

E-Book-ISBN: 978-3-446-46277-9

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-46269-4>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort zur 6. Auflage

Meine Idee, Probleme der Elektrotechnik und Elektronik mit Hilfe einer ausgezeichneten Simulationssoftware und zielgerichteten Aufgaben verständlich zu machen, hat bei vielen Lesern Anklang gefunden. Für diese positive Resonanz möchte ich mich bedanken.

In der 6. Auflage wurden alle Schaltungsdateien an die neue NI MULTISIM EDUCATION EDITION 14.2 angepasst. Das Kapitel Operationsverstärker wurde um zehn Aufgaben erweitert.

Ich möchte mich beim Carl Hanser Verlag dafür bedanken, dass er eine Neuauflage des Buches ermöglichte. Frau Christina Kubiak und Herr Frank Katzenmayer haben mich von Seiten des Lektorats, Frau Anne Kurth von Seiten der Herstellung unterstützt. Ich danke ihnen.

Bei der Firma National Instruments möchte ich mich für die erneute Bereitstellung der aktuellen Programmversion bedanken.

Leider war es nicht möglich, dem Buch wieder eine preisgünstige Softwareversion beizulegen. Die für das Selbststudium mit diesem Buch notwendige Software Multisim 14.2 können Sie jedoch über die folgenden Optionen beziehen.

1. Hochschullizenz

Als Student oder Studentin einer Hochschule, die über eine Academic Site Licence (<https://www.ni.com/de-de/shop/academic-site-license.html>) verfügt, können Sie mit der „Student Install Option“ Multisim Education über Ihre Hochschule beziehen, solange Sie bei dieser eingeschrieben sind. Die Student Install Option umfasst das gleiche Softwarepaket wie die Academic Site Licence (<http://www.ni.com/white-paper/8115/en/>). Der Bezug dieser Lizenz erfolgt direkt über Ihre Hochschule und nicht über National Instruments. Die Lizenz ist, abhängig vom Hochschulvertrag, bis zu einem Jahr gültig.

2. Bezug einer Evaluierungslizenz

Sie können über <https://www.ni.com/de-de/shop/electronic-test-instrumentation/application-software-for-electronic-test-and-instrumentation-category/what-is-multisim/multisim-education.html> die aktuelle Multisim Education-Version zur Evaluierung herunterladen. Nach der Installation können Sie die Software 7 Tage lang kostenfrei nutzen. Durch die Verknüpfung der Installation mit einem ni.com-Profil können Sie die Evaluierung um 45 Tage verlängern. Sie können auch die professionelle Version Multisim for Designers kostenfrei evaluieren.

Ich wünsche allen Lesern viel Freude und Erfolg.

Leipzig, im Juli 2020

Jürgen Liepe

Vorwort

Fast 40 Jahre habe ich in der Berufs-, Meister- und Techniker-Ausbildung Elektrotechnik und Elektronik unterrichtet und kenne die Schwierigkeiten, die Schüler und Studenten beim Erkennen der elektrotechnischen Gesetzmäßigkeiten oder beim Verstehen elektronischer Schaltungen zum Ausbildungsbeginn haben. Das Begreifen und Vorstellen von vermeintlich abstrakten Vorgängen fällt sehr schwer. Anfang der 1990er- Jahre lernte ich die Simulationssoftware ELECTRONICS WORKBENCH kennen, die heute nach der Übernahme durch National Instruments und vielen Verbesserungen und Erweiterungen MULTISIM heißt. Sie ermöglicht vollkommen neue Möglichkeiten des Kenntniserwerbs, denn hier ist der Lernende am Lernprozess nicht mehr passiv beteiligt, sondern setzt sich aktiv mit dem Lehrstoff auseinander. Er konzentriert sich voll auf die Unterrichtsinhalte, die sehr effektiv auf die jeweiligen Anforderungen angepasst werden können. Es ist für mich eine Freude, dass die Firma National Instruments für dieses Buch auf CD eine kostenlose Evaluationssoftware MULTISIM zur Verfügung stellt.

In dem vorliegenden Arbeitsbuch werden nach einer Einführung in das Programm MULTISIM 152 Aufgaben aus dem Bereich der Elektrotechnik und 194 Aufgaben aus der Elektronik vorgestellt, die mit dem Simulationsprogramm gelöst werden können. Die Aufgabenauswahl gewährleistet ein schrittweises Erarbeiten der Stoffgebiete. Eine parallele Nutzung entsprechender Lehrbücher (siehe Literaturverzeichnis) wird zur Ergänzung und Vertiefung empfohlen. Alle im Buch angeführten Schaltungen liegen auf CD als Datei im Ordner „Schaltungen“ vor. Die Dateibezeichnung entspricht dabei der Aufgabenbezeichnung. Die Lösung der meisten Aufgaben finden Sie auf meiner Homepage <http://jliepe.de>.

Auf Grund der Aufgabenstruktur kann das Buch für Schüler und Studenten von der Berufsausbildung bis zur Hochschulausbildung eingesetzt werden. Ein besonderer Vorteil für die Lehrenden ergibt sich bei der Begabtenförderung oder bei der Nachhilfe, denn sehr einfach können Aufgaben erweitert oder ergänzt werden. Das Buch ist auch hervorragend für das Selbststudium, zur Auffrischung oder Erweiterung von Kenntnissen geeignet.

Ich bedanke mich bei Herrn Ingo Földvári und Herrn Philipp Krauss von der Firma National Instruments für die Ermunterung zu diesem Buch und die gewährte technische Unterstützung. Frau Erika Hotho und Frau Franziska Kaufmann vom Fachbuchverlag Leipzig danke ich für die sehr gute Zusammenarbeit bei der Gestaltung dieses Buches. Bei meiner Familie und besonders meiner Frau möchte ich mich für die Geduld bedanken, die sie während der Erarbeitung aufbringen mussten.

Bei der Arbeit mit diesem Buch wünsche ich viel Freude.

Leipzig, Juli 2008

Jürgen Liepe

Alle im Buch angeführten Schaltungen und die Lösungen zu den Aufgaben sind unter <https://www.hanser-fachbuch.de/9783446462694> verfügbar.

Die Lösungen der meisten Aufgaben und weitere Informationen zum Buch finden Sie auch auf der Homepage des Autors <http://jliepe.de>.

Geleitwort

Einer der ältesten Menschheitsträume, Dinge vorausbestimmen zu können, bevor sie Realität werden, hat zumindest in einem technischen Umfeld unlängst realistische Züge angenommen. Die Rede ist hier mitnichten von Prophezeiungen oder gar Wahrsagerei – nein schlicht und einfach von Simulationen.

Was aber versteht man genau unter Simulation? Eine etwas nüchterne Definition dieses Begriffes findet sich in den VDI-Richtlinien (VDI 3633,1993): „Simulation ist die Nachbildung eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Insbesondere werden die Prozesse über die Zeit entwickelt. Im weiteren Sinne wird unter Simulation das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten gezielter Experimente mit einem Simulationsmodell verstanden.“ Die Simulation stellt damit ein wichtiges Hilfsmittel des Technikers bzw. Ingenieurs dar – vor allem im Bereich der technischen Wissensvermittlung – und fördert insgesamt das systemdynamische Denken. Der Lernende hat die Möglichkeit, sinnvolle Parameter als Bedingungen anzugeben, woraufhin veranschaulicht wird, wie sich das repräsentierte System unter entsprechenden Bedingungen verhalten würde. Simulationen sind also eine gute Möglichkeit, Theorie sichtbar zu machen und vor allem Ursache- und Wirkungszusammenhänge aufzuzeigen. Dies macht sie zu wertvollen und anschaulichen Instrumenten der Erkenntnis für vor allem abstrakte, nicht leicht zugängliche Denksysteme. Kurzum, sie erlauben ein neues Arbeiten mit Theorien in einem experimentellen Sinne.

Die Vorzüge des didaktischen Potenzials der Simulation sind zwar unumstritten, dennoch müssen einige entscheidende Fragen im Vorfeld geklärt werden, wie beispielsweise: Wann sind welche Simulationswerkzeuge sinnvoll einsetzbar? Wie viel Gewicht soll auf die fundierte Vermittlung von Grundlagen und „dem Rechnen mit Papier und Bleistift“ gelegt werden, in welchen Bereichen bringt ein Simulationswerkzeug Vorteile und ab wann ist es nötig, einen Übergang in die Praxis zu schaffen?

Garanten für den Erfolg der Simulation in der Didaktik sind die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen allen Beteiligten und die Verzahnung von Theorie, Empirie und Praxis: Lehrer, Ausbilder und Dozenten müssen diesen integralen Ansatz vorleben. Theorie, Simulation und Praxis müssen nahtlos ineinander übergehen. Firmen müssen sicherstellen, dass Schnittstellen zum Informationsaustausch zwischen ihren Werkzeugen bestehen. Lerninhalte müssen diese Ansätze aufgreifen und in didaktische Materialien abgebildet werden.

Oft fällt es den Lernenden – unabhängig vom Fachgebiet (Physik, Nachrichtentechnik, Energietechnik o. ä.) – schwer, die im praktischen Elektroniklabor ermittelten Werte richtig zu interpretieren. Dies liegt weniger an der Art der Vermittlung von Theorie, sondern vielmehr an deren unzureichender Vertiefung und aussagekräftigen Vergleichen mit der Praxis.

SPICE (Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis) gilt seit vielen Jahren als Standard für die Modellierung und Simulation von Analog- und Digitalschaltungen. Jedoch bringt die ursprüngliche SPICE-Engine Syntaxkomplexitäten mit sich, die eine Handhabung für viele Anwender häufig umständlich gestalten. Gerade für den Lehrenden ist eine intensive Einarbeitung nahezu unmöglich, da der reguläre Schulbetrieb kaum Freiräume dazu bietet. Hier schafft National Instruments Abhilfe: NI Multisim (vormals Multisim von Electronics Workbench) stellt Anwendern ausgereifte Werkzeuge zur intuitiven Schaltplaneingabe sowie leistungsstarke Analysen und interaktive virtuelle Messgeräte zur Verfügung, die dem Anspruch von kurzer Einarbeitungszeit und qualitativ hochwertigen Lernzielen gerecht werden. Die in Multisim implementierten Messgeräte, z. B. Funktionsgenerator, Oszilloskop, Logik- oder Spektrumanalysator, lassen in Kombination mit interaktiven Bauteilen (z. B. Schalter und Taster, Potentiometer, veränderbare Kapazitäten und Induktivitäten sowie 7-Segmentanzeigen, LEDs, LCDs und weiteren Anzeigen) einen SPICE-basierten Schaltplan zu einer virtuell erlebbaren Schaltung werden.

Der Schwerpunkt der am Markt verfügbaren SPICE-Simulatoren liegt in der Regel in der Qualität von Simulationsergebnissen. So wird der Implementierung anspruchsvoller mathematischer Algorithmen zur nachträglichen Verarbeitung von Ergebnissen sowie der Flexibilität in der Darstellung von Daten kaum Bedeutung beigemessen. Auch hier spielt Multisim seine Stärken aus und bietet dem Anwender neben dem integrierten Post-Processor auch eine Vielzahl von Exportfunktionen. Professionelle Datenmanagement-Werkzeuge können diese Daten importieren und mittels mathematisch intensiven Analysen und designspezifischen Darstellungen sowie Berichten neue Erkenntnisse über das Verhalten der zu entwickelnden Baugruppe liefern.

Ein sicherlich naheliegender, dennoch bisher selten konsequent durchgeführter Schritt innerhalb der Elektronikausbildung ist es, die beiden Disziplinen – Simulation und Laborpraxis – miteinander zu integrieren. Werden bereits während der Erstellung der Lehrunterlagen die beiden traditionell getrennt betrachteten Gebiete als eine integrierte Einheit behandelt, so können die verschiedenen Einzelschritte besser aufeinander abgestimmt werden. Seit der Erweiterung der NI-Produktpalette durch Multisim im Februar 2005 wurden viele Weichen gestellt, um die Welten der Simulation und der Mess- und Prüftechnik miteinander in Einklang zu bringen. Konkret wurden die Entwicklungsumgebung LabVIEW und die Schaltungssimulationssoftware Multisim aufeinander abgestimmt. Dadurch gelingt ein echtes und nahezu nahtloses designbegleitendes Messen und Testen, was in der Industrie seinesgleichen sucht. In vielen Laboren wird LabVIEW für die PC-basierte Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik eingesetzt, um charakteristische Signale, die mithilfe der Simulation ermittelt wurden, auf einfache Art und Weise mit ihren Pendanten realer Schaltungen zu vergleichen. Eventuelle Abweichungen können quantifiziert und mithilfe der Messtechnik auf ihre Ursache zurückgeführt werden. Die reale Ursache, z. B. die Auswirkung einer rauschenden Spannungsversorgung auf die zu entwickelnde Elektronik, kann dann wiederum in den standardisierten Datenformaten gespeichert und als Quelle für die Simulation genutzt werden. Nötige Schaltungserweiterungen lassen sich direkt mit den realen Stimuli auf ihre Wirkung überprüfen.

Der Aha-Effekt für den Lernenden tritt dann ein, wenn ihm plastisch vor Augen geführt wird, dass sich Schaltungen in der Theorie und Praxis unterschiedlich verhalten. Reale Einflüsse zu verstehen, vorherzusagen und entsprechende Maßnahmen dagegen einzulei-

ten, darum geht es in erster Linie bei der praktischen Arbeit eines Technikers und Ingenieurs. Diesem Buch gelingt der Brückenschlag zwischen Theorie und Praxis auf einem didaktisch hohen Niveau, ohne dass der Spaßfaktor dabei zu kurz kommt.

In diesem Sinne danke ich Herrn Liepe für sein unermüdliches Engagement bei der Erstellung dieses für die Theorie und Praxis der Schaltungssimulation wegweisenden Standardwerks.

Dipl.-Ing. Rahman Jamal
Technical & Marketing Director Central Europe
National Instruments Germany GmbH

Inhalt

1	Einführung in die Simulationssoftware MULTISIM	15
1.1	Was ist und was kann MULTISIM?	15
1.2	Installation	17
1.3	Hilfe und Support	19
1.3.1	Benutzeroberfläche	19
1.3.2	Tastatur-Befehle.....	25
1.3.3	Arbeit mit der Maus-Taste	26
1.3.4	Erklärung ausgewählter Menü-Befehle.....	28
1.4	Übersicht der Übungsbeispiele	82
2	Gleichstromkreis	83
2.1	Grundstromkreis	83
2.2	Reihenschaltung von Widerständen.....	89
2.3	Parallelschaltung von Widerständen	94
2.4	Gemischte Widerstandsschaltungen	96
2.5	Brückenschaltungen	102
2.6	Betriebszustände des Grundstromkreises.....	115
2.7	Netzwerke	122
3	Schaltvorgänge am Kondensator	129
4	Schaltvorgänge an der Spule.....	135
5	Wechselstromkreis.....	137
5.1	Grundlagen des Wechselstromes	137
5.2	Widerstand, Kondensator und Spule an einer Wechselspannung	142
5.3	Reihenschaltung von Widerstand, Kondensator und Spule.....	148
5.4	Parallelschaltung von Widerstand, Kondensator und Spule.....	151
5.5	Ausgewählte Wechselstromschaltungen	154
5.5.1	Reihen- und Parallelresonanz.....	154
5.5.2	Kompensation	160
5.5.3	Strombegrenzung und komplexer Spannungsteiler	161
5.5.4	Vierpole und passive Filter	164
5.5.4.1	Vierpole.....	164

5.5.4.2	Passive Filter	169
5.5.5	Phasendrehglieder	176
5.5.6	Wechselstrombrücken	177
6	Drehstromsysteme	181
6.1	Entstehung von Drehstrom und Verkettung von Wechselspannungen	181
6.2	Drehstromleistung	185
6.3	Kompensation in Drehstromnetzen	190
7	Analoge Schaltungen der Elektronik	193
7.1	Halbleiterdioden	193
7.1.1	Kennwerte	193
7.1.2	Arbeitspunkteinstellung	195
7.1.3	Anwendungsschaltungen	196
7.2	Z-Dioden	210
7.3	Transistoren	214
7.3.1	Bipolare Transistoren	214
7.3.1.1	Grundsaltungen und Arbeitspunkteinstellung	214
7.3.1.2	Verstärkerschaltungen mit bipolaren Transistoren	221
7.3.2	Feldeffekttransistoren	244
7.3.2.1	Verstärker mit Sperrschicht-FET	244
7.3.2.2	Verstärker mit MOSFET	248
7.3.2.3	Zweistufige Verstärker mit FET und bipolaren Transistoren....	249
7.3.2.4	Leistungsverstärker	250
8	Operationsverstärker (OPV)	260
8.1	Grundsaltungen des OPV	260
8.1.1	Grundlagen und idealer OPV	260
8.1.2	Invertierender OPV	264
8.1.3	Dynamisches Verhalten eines OPV	265
8.1.4	Nichtinvertierender OPV	266
8.1.5	OPV als Differenzverstärker	268
8.2	Ausgewählte Anwendungsbeispiele mit OPV	270
9	Oszillatoren	287
10	Digitale Schaltungen der Elektronik	293
10.1	Schaltungen logischer Grundfunktionen	293
10.1.1	Transistor als Schalter	293
10.1.2	TTL- und CMOS-Schaltkreise	301
10.2	Kombinatorische Schaltungen	316
10.3	Sequentielle Schaltungen	331

10.3.1	Kippschaltungen	331
10.3.1.1	Astabile Kippschaltung (astabiler Multivibrator, Rechteck-Generator)	331
10.3.1.2	Monostabile Kippschaltung (Univibrator, Monoflop)	335
10.3.1.3	Bistabile Kippstufe (Flip-Flop)	338
10.3.1.4	Schwellwertschalter, Schmitt-Trigger	343
10.3.2	Zähler und Frequenzteiler	348
10.3.3	Register, Schieberegister	366
10.3.4	Analog/Digital- und Digital/Analog-Umsetzer	380
10.3.4.1	Analog/Digital-Umsetzer (ADU)	380
10.3.4.2	Digital/Analog-Umsetzer (DAU)	386
11	Leistungselektronik.....	393
Literatur		417
Index		419

1

Einführung in die Simulationssoftware MULTISIM

■ 1.1 Was ist und was kann MULTISIM?

NI MULTISIM, ehemals ELECTRONICS WORKBENCH, ist ein sehr leistungsfähiges und innovatives Softwareprogramm, das die Schaltungserfassung, die Entwicklung von elektrischen und elektronischen Schaltungen, die Eingabe von Schaltungsdaten sowie die Simulation und Analyse der Schaltung effizient und auf einem hohen Niveau ermöglicht. Es basiert auf dem Standard-Simulationsprogramm SPICE, arbeitet jedoch mit einer rein grafischen Oberfläche. Kenntnisse der „SPICE-Sprache“ sind nicht erforderlich. Die NI Circuit Design Suite umfasst NI MULTISIM und Ultiboard und ist eine vollständige Plattform für Entwurf, Simulation und Validierung von Schaltplänen sowie den Leiterplattenentwurf. Mithilfe einer umfassenden Bauteilebibliothek können Schaltungen zügig erstellt und das Schaltungsverhalten analysiert werden. Ultiboard ist eine Umgebung für den flexiblen Leiterplattenentwurf und das Routing. In MULTISIM erstellte Schaltungen können problemlos in Ultiboard übertragen werden. Des Weiteren können Entwürfe für die Herstellung exportiert werden.

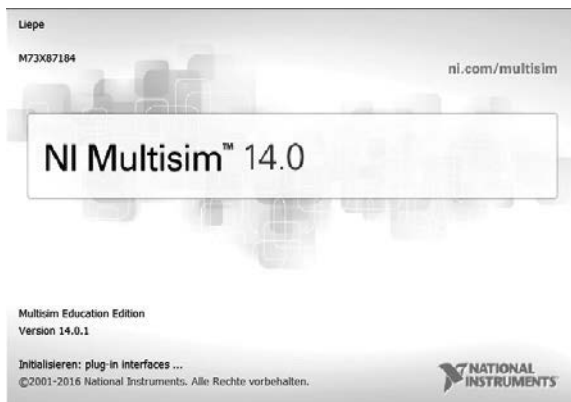


Bild 1.1 Das Start-Fenster von MULTISIM

Die Software MULTISIM ist als Base, Full und Power Pro Edition erhältlich. Einen Vergleich dieser Edition finden Sie unter <http://www.ni.com/multisim/buy/pro/d/> Für die Ausbildung und Lehre stellt NI die Circuit Design Suite als Education Edition bereit. Sie bietet eine vollständige Umgebung für den Schaltungs- und Elektronikunterricht mit speziellen Funktionen für Ausbildung und Lehre. Sie unterstützt Lehrende dabei, Schüler und Studenten für das Unterrichtsthema zu begeistern und die Schaltungstheorie mithilfe eines

interaktiven, praxisnahen Ansatzes bei der Untersuchung des Schaltungsverhaltens zu festigen. Eine abgespeckte Version der Education Edition stellt MULTISIM Student Edition dar.

Aus einer umfangreichen, logisch geordneten Bibliothek mit bis zu 17000 Bauelementen können reale, virtuelle, animierte oder interaktive Elemente ausgewählt werden, was durch eine komfortable Suchfunktion unterstützt wird. Bei Bedarf kann zusätzlich eine eigene Benutzerdatenbank generiert werden. In der aktuellen MULTISIM-Version wurde die Datenbank durch elektromechanische Modelle, AC/DC-Spannungsumformer und Schaltnetzteile für den Entwurf im Bereich der Leistungselektronik erweitert. SPICE- und XSPICE-Modelle werden ebenso unterstützt wie HF-Modelle bis zu einer Frequenz von 4 GHz. Nach der Auswahl erfolgen die Platzierung der Bauelemente und Messgeräte auf der Arbeitsoberfläche und die Festlegung der Bauelementeparameter. Die Verdrahtung der Bauelemente kann automatisch durch Anklicken des Quell- und des Zielanschlusses oder manuell mit einem gewünschten Leitungsverlauf erfolgen. Eine mögliche virtuelle Verdrahtung gestattet bei aufwendigen Schaltungen einen übersichtlichen Schaltungsaufbau. Mit Hilfe eines leistungsfähigen und flexiblen Symboleditors können komplexe Bauelemente generiert werden. So lassen sich beispielsweise Baugruppen zusammenfassen oder neue ICs erstellen. Für vier ausgewählte Grundschaltungen (555-Timer, Filter, OP-Verstärker und Transistorverstärker in Emitterschaltung) stehen Schaltungsassistenten zur Verfügung. Die Simulation der aufgebauten Schaltung erfolgt mit Hilfe von 20 virtuellen Messgeräten. Diese sind teilweise sowohl optisch als auch funktionell mit realen Geräten identisch. So werden beispielsweise Geräte der Firmen Tektronix und Agilent eingesetzt, deren Bedienung wie bei den Originalen vorgenommen werden muss. Mit diesem umfangreichen Gerätepark, der sich über die Kopierfunktion stückzahlmäßig beliebig erweitern lässt, ist eine optimale, gefahrlose und zerstörungssichere Schaltungsuntersuchung gewährleistet. MULTISIM stellt neben der benutzerdefinierten Untersuchung 20 verschiedene Analysefunktionen zur Verfügung, die eine umfassende, effiziente und bei realen Laboruntersuchungen kaum mögliche Funktionskontrolle erlauben. Die Simulationsergebnisse können in einem Diagrammfenster dargestellt und weiterverarbeitet werden. So ist eine Exportfunktion zum Tabellenkalkulationsprogramm Excel möglich. Ein besonderer Postprozessor erlaubt weitere Berechnungen mit den Simulationsergebnissen. Mithilfe der simulationsgesteuerten Messgeräte und versteckter Fehler können Sie sich zudem mit Fehlerbehebungsmethoden vertraut machen.

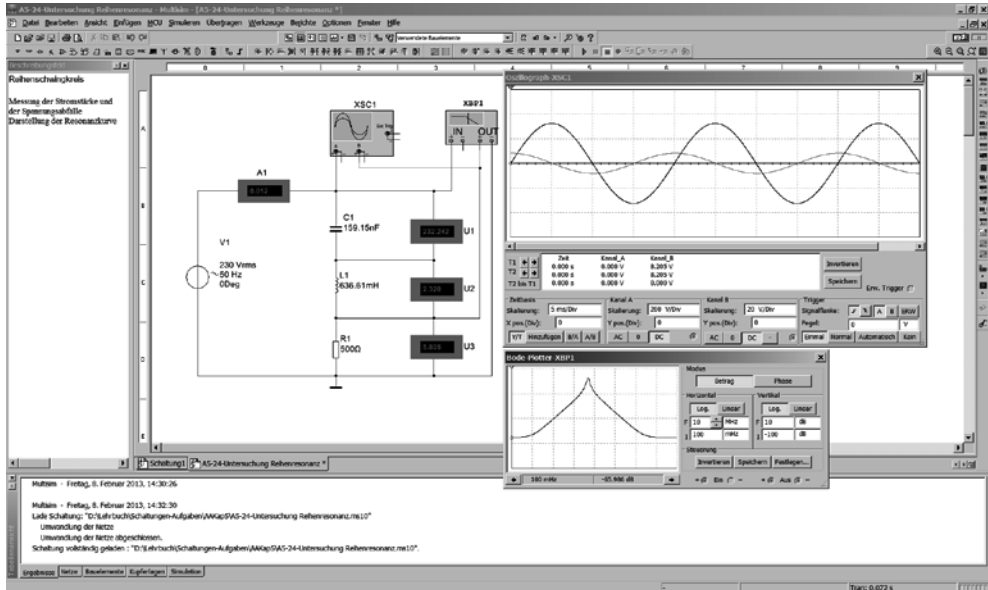


Bild 1.2 Schaltungsbeispiel

Die entwickelte und überprüfte Schaltung kann von MULTISIM an das Programm Ultiboard übergeben werden. Es erlaubt die Leiterplattenentflechtung, die Durchführung von CAD-Operationen, Bauelementplatzierung und Layout-Funktionen. Außerdem ist die Zusammenarbeit mit dem Programm MULTISIM MCU-MODUL möglich, mit dem die Co-Simulation von Mikrocontrollern auf der Basis von Assembler und C-Code durchgeführt werden kann. Alle drei Programme sind Bestandteil der NI Circuit Design Suite.

1.2 Installation

Systemanforderungen für die NI Circuit Design Suite

Als minimale Ausstattung benötigt Ihr System:

- einen Pentium 4 oder gleichwertigen Mikroprozessor (mindestens Pentium III)
- 512 MB Arbeitsspeicher (mindestens 256 MB)
- 2 GB freien Festplattenspeicher
- Open-GL®-fähige 3D-Grafikkarte (Videoadapter mit SVGA-Auflösung mit einer Auflösung von mindestens 800 × 600, vorzugsweise 1024 × 768 oder höher)

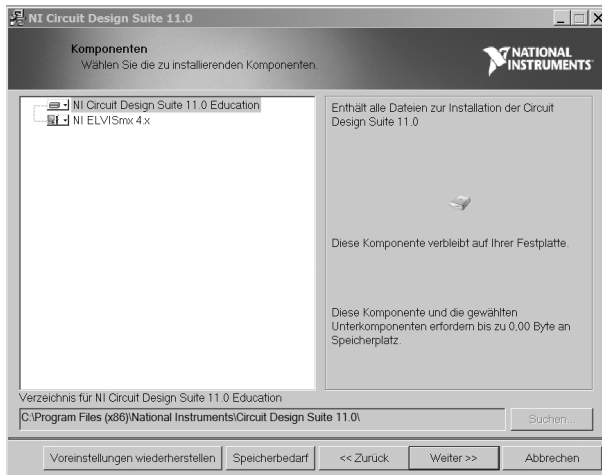


Bild 1.3 Installationsstart

Installieren Sie MULTISIM (Vollversion) wie folgt:

1. Notieren Sie sich die Seriennummer, die Sie mit MULTISIM erhalten haben.
2. Beenden Sie alle Programme.
3. Legen Sie die DVD von MULTISIM in das Laufwerk ein. Klicken Sie im Startfenster auf „Installation der NI Circuit Design Suite“, um die Installation zu starten.
4. Folgen Sie zur Installation des Programms den Aufforderungen auf dem Bildschirm.
5. Bei der Anfrage, ob ELVISmx installiert werden soll, klicken Sie auf den Button **BE-ENDE**N. Hinweise zu ELVISmx finden Sie unter <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/9123>

Für MULTISIM wird außerdem ein Aktivierungscode benötigt, den Sie innerhalb einer Evaluierungszeit von 30 Tagen eingeben müssen. Nach dem Ablauf dieser Frist startet MULTISIM ohne Eingabe des Codes nicht mehr. Die Aktivierung erhalten Sie automatisch während der Installation oder auch jederzeit über die Website <http://www.ni.com/activate>. Dabei werden die Seriennummer und die Computer-ID, die Sie vom NI Licence Manager erhalten, benötigt.

Bei der Mehrbenutzerversion gibt es nur eine Seriennummer, die für alle Computer gilt. Es muss jedoch für jeden Computer, auf dem MULTISIM installiert ist, ein Aktivierungscode angefordert werden.

Die Schulversion von MULTISIM kann als Mehrbenutzerversion oder auch als Serverversion installiert werden. Bei der Serverversion wird MULTISIM lokal installiert und die Aktivierung erfolgt über den Volumen-Lizenz-Manager (VLM) von National Instruments.

■ 1.3 Hilfe und Support

MULTISIM bietet eine umfangreiche Hilfe an. Sie können aus dem Programm heraus wie üblich die Hilfe-Funktion nutzen, die aber nur in der englischen Version bereitsteht.

Eine sehr umfangreiche Anleitung finden Sie unter dem Programm-Punkt ERSTE SCHRITTE, der PDF-Produktbroschüren von den Programmen MULTISIM und Ultiboard enthält. Eine weitere Hilfe-Möglichkeit finden Sie im Internet. Die Website <http://www.ni.com/multisim> bzw. <http://www.ni.com/academic/circuits> bietet neben vielen Beispielpogrammen und Tutorien auch den Zugang zum technischen Support und zu Diskussionsforen.

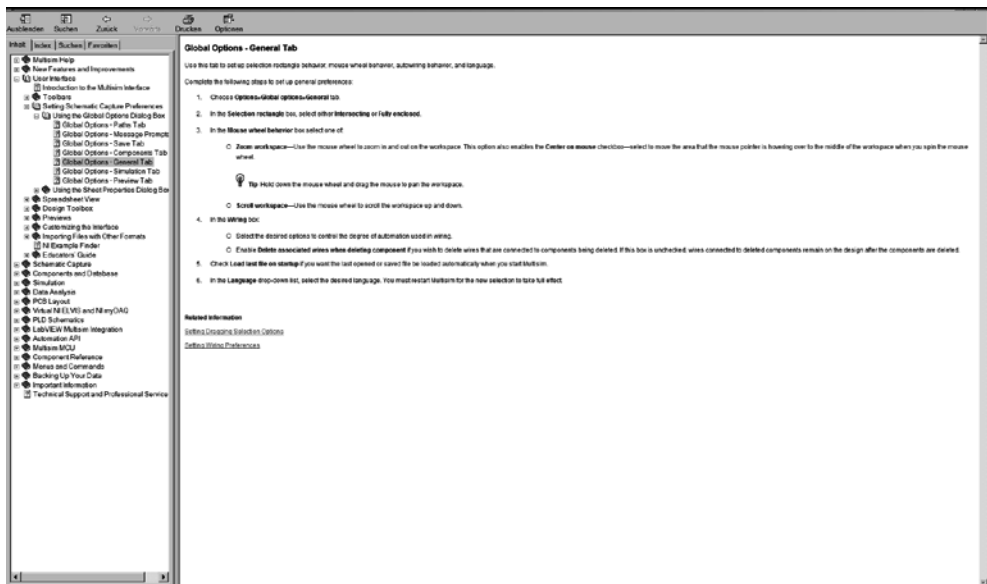


Bild 1.4 Das Hilfe-Fenster von MULTISIM

1.3.1 Benutzeroberfläche

Wir starten MULTISIM über die Schaltfläche START, PROGRAMME, MULTISIM oder über einen angelegten Button im Desktop*. Das Programm kann in zwei verschiedenen Ausführungen geöffnet werden: in der ausführlichen oder in der vereinfachten Version (in der Studentenversion gibt es keine Versionsunterschiede). Die Umschaltung erfolgt über den Menüpunkt OPTIONEN, EINFACHE VERSION. Die vereinfachte Version enthält eine eingeschränkte Auswahl von Befehlen.

Die gewünschte Anzeige der Symbol-Leisten kann über ANSICHT, SYMBOLLEISTEN ausgewählt werden oder über das Klicken mit der rechten Maus-Taste an einer freien Stelle des Menüfensters. Eine weitere Möglichkeit ergibt sich über OPTIONEN, BENUTZEROBERFLÄCHE ANPASSEN. Nach einem Klick öffnet sich ein Kontextmenü (siehe Bild 1.6).

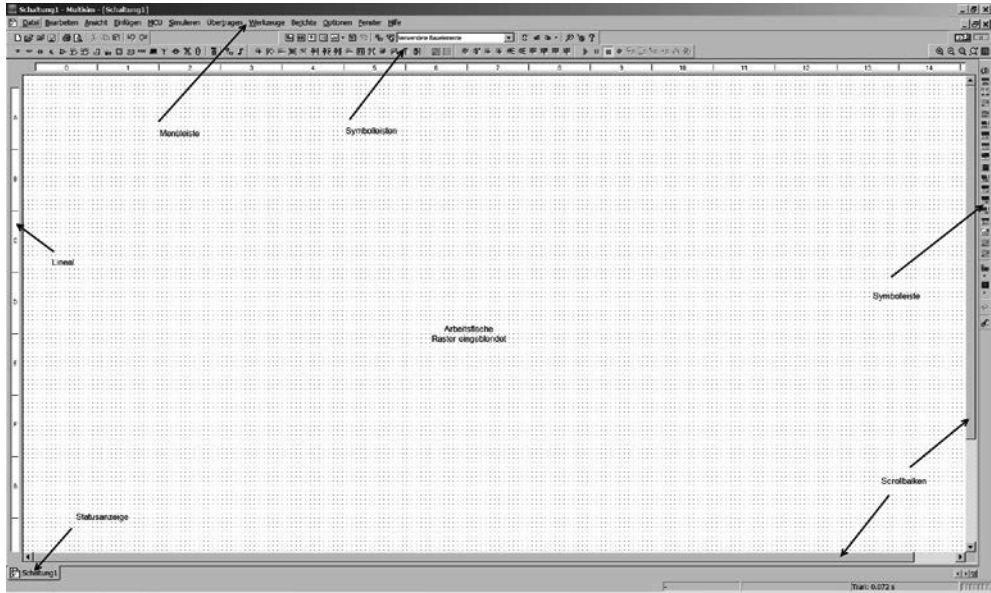


Bild 1.5 Benutzeroberfläche der ausführlichen Version

Bei der Befehlsauswahl werden für die wichtigsten Befehle Buttons (Schaltflächen) angezeigt, die wir mit der linken Maus-Taste in das Menüfenster ziehen können. Die Auswahl der Toolbars erfolgt, wie im Bild 1.7 zu sehen ist, im Register Symbolleisten durch Betätigung der entsprechenden Schalter. Es erleichtert die Arbeit, wenn vor dem Erstellen einer Schaltung die benötigten Toolbars geöffnet werden. Öffnet man zu viele, dann verliert man leicht die Übersicht.

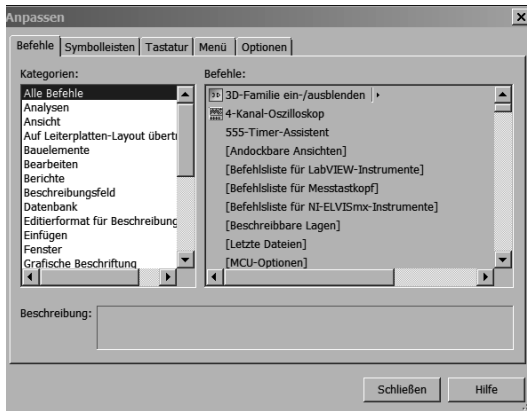


Bild 1.6 Anpassen der Befehle

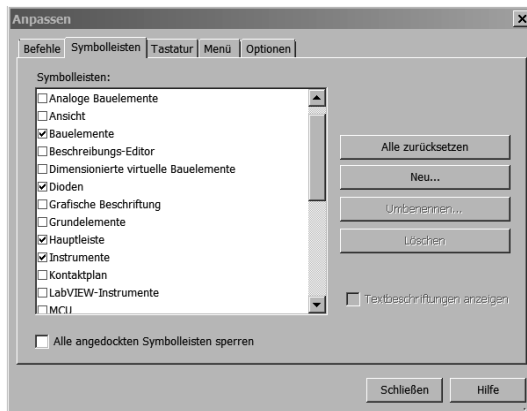


Bild 1.7 Auswahl der Symboleisten

Im Register TASTATUR ist die Festlegung von Tastatur-Befehlen möglich. Das ist für oft wiederkehrende Eingaben nützlich. So benötigen wir bei jeder Schaltung mindestens einmal das Masse-Symbol. Sie sehen im Bild 1.8, wie dafür eine Tastenkombination zugewiesen wird. Eine Übersicht der standardmäßig vorhandenen Tastaturbefehle befindet sich im Abschnitt 1.3.2.

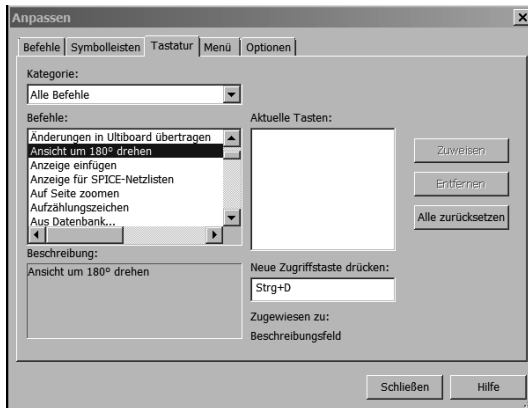


Bild 1.8 Zuweisung von Tastatur-Befehlen

Beachten Sie, dass die gewünschte Anpassung der Menü-Leiste für jede Version und jeden Arbeitsplatz separat durchgeführt werden kann. Eine mögliche Benutzeroberfläche der erweiterten Version sehen Sie im Bild 1.9.

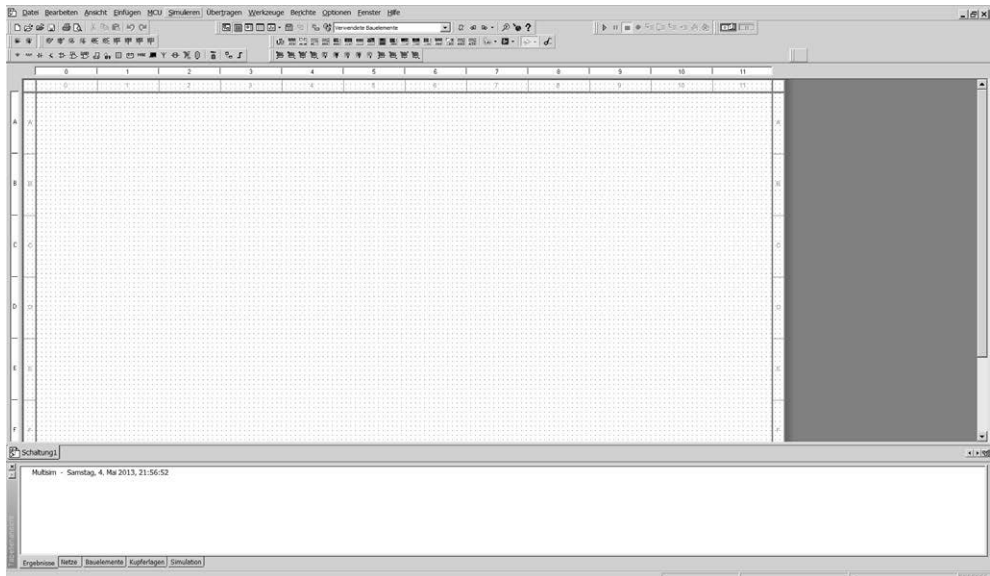


Bild 1.9 Eine eingestellte Benutzeroberfläche der erweiterten Version

Eine Übersicht der Menü-Befehle für die erweiterte Version ist in den Bildern 1.10 bis 1.12 zu finden.

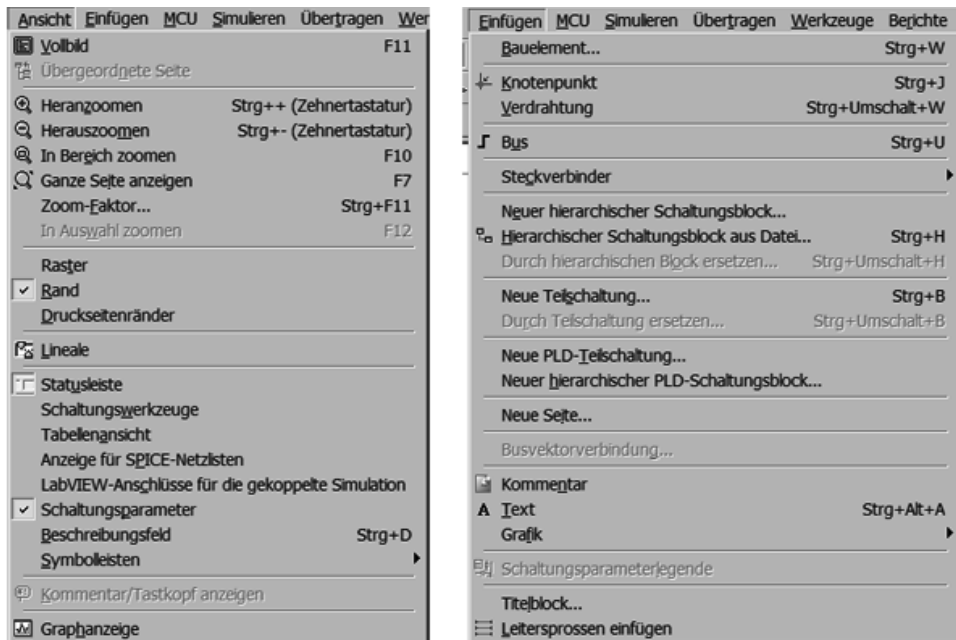


Bild 1.10 Die Menüs DATEI, BEARBEITEN, ANSICHT, EINFÜGEN, MCU

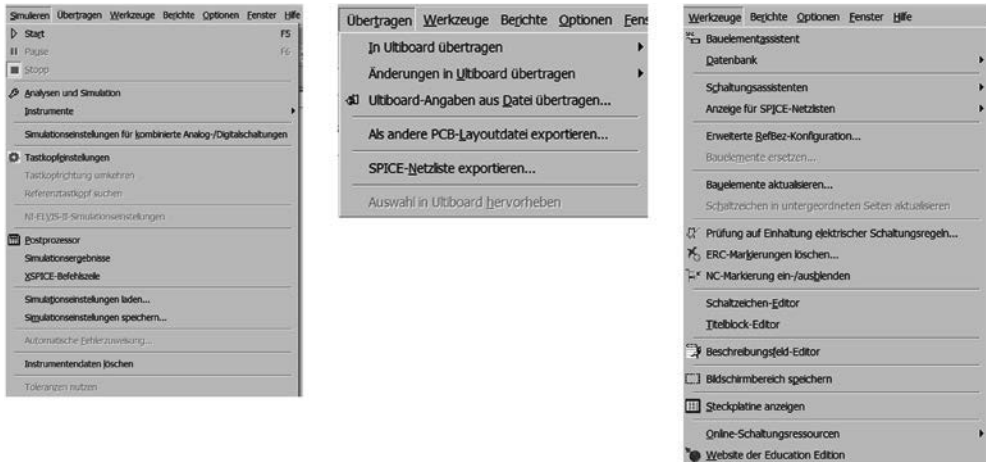


Bild 1.11 Die Menüs PLATZIEREN, FORMAT, SIMULIEREN, TRANSFER, EXTRA

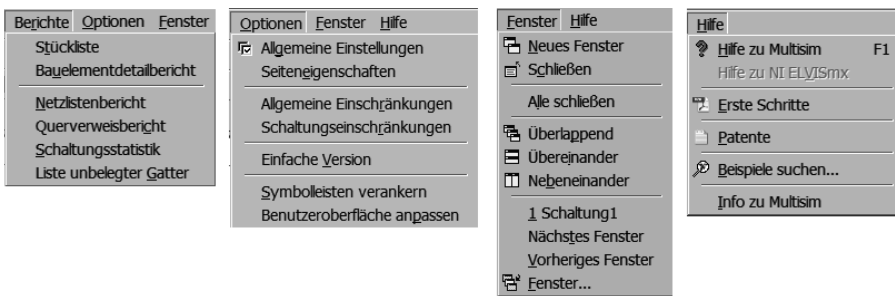


Bild 1.12 Die Menüs BERICHTE, OPTIONEN, FENSTER, HILFE

Eine Reihe von Befehlen ist von verschiedenen Stellen aus aufrufbar. Beispielsweise kann der Befehl SCHRIFT über OPTIONEN, SEITENEIGENSCHAFTEN..., SCHRIFTART, SCHRIFT oder über FORMAT, SCHRIFTART oder mit Klick der rechten Maus-Taste im Arbeitsfenster aufgerufen werden. Ob das immer sinnvoll ist, sei dahingestellt. Nicht in allen Fällen erscheint die Zuordnung der Befehle vernünftig. Wollen wir beispielsweise eine Schaltungsbeschreibung anzeigen, dann öffnen wir mit ANSICHT, BESCHREIBUNGSFELD das Fenster SCHALTUNGS-BESCHREIBUNG. Für die Texteingabe müssen wir dann über WERKZEUGE, BESCHREIBUNGSEDITOR... den Editor öffnen. Zum Glück ist die Arbeit mit den eigentlichen Schaltungen wesentlich einfacher gelöst. Die Erklärung der einzelnen Menü-Befehle erfolgt unter Abschnitt 1.3.4 und bei Bedarf bei den jeweiligen Schaltungen.

Die Entscheidung, ob mit der vereinfachten oder der erweiterten Version gearbeitet wird, hängt neben dem persönlichen Geschmack von der Art der zu bearbeitenden Aufgabe ab. Wie die Übersicht der Menü-Befehle zeigt, stehen einige Programm-möglichkeiten nur in der erweiterten Version zur Verfügung, beispielsweise die sehr nützliche Diagramman-sicht (ANSICHT, FENSTER FÜR DIAGRAMMERSTELLUNG), mit der die Auswertung von grafi-

schen Darstellungen (zum Beispiel von Oszillogrammen) möglich ist. Die Umschaltung von der einen in die andere Version ist auch während der Arbeit bei einem geöffneten Schaltungsfenster möglich.

1.3.2 Tastatur-Befehle

Die Arbeit mit einem Programm können wir durch die Nutzung von Tastatur-Befehlen effektiver gestalten. In der Tabelle 1.1 sind einige definierte Tastatur-Befehle zusammengestellt.

Tabelle 1.1 Tastatur-Befehle von MULTISIM

Befehl	Tastenkombination
DATEI NEU	Strg+N
DATEI ÖFFNEN	Strg+O
DATEI SPEICHERN	Strg+S
DRUCKEN	Strg+P
HIERARCHISCHEN BLOCK EINFÜGEN	Strg+H
SUCHEN	Strg+F
RÜCKGÄNGIG	Strg+Z
ALLES AUSWÄHLEN	Strg+A
ZOOM GRÖßER	Strg++
ZOOM KLEINER	Strg+-
ZOOM BEREICH	F10
VOLLBILD	F11
BESCHREIBUNGSFELD	Strg+D
BAUELEMENT PLATZIEREN	Strg+W
KNOTENPUNKT PLATZIEREN	Strg+J
BUS	Strg+U
NEUE TEILSCHALTUNG	Strg+B
TEXT EINFÜGEN	Strg+Alt+A
SIMULATION STARTEN	F5
HB/TS-VERBINDUNG	Strg+I
BUS-STECKVERBINDUNG	Strg+Umsch+I
EIGENSCHAFTEN	Strg+M

Bei Bedarf können Sie sich, wie bereits im Abschnitt 1.3.1 erklärt wurde, weitere Tastatur-Befehle selbst erstellen.

Index

1-aus-M-Kodierer 321
2-zu-1-Multiplexer 1 327
7-Segment-Dekoder 324
74HC00D_6V 312
74HC02D_6V 312
74HC73 360
74HC73D 352
74HC164 378
74HC194 373
74LS15D 308
74LS42D 322
74LS148 384
74LS157 327
74LS164 377
74LS165 377
74LS194 375
74LS248N 324
74LS253 328
74LS259 368
74LS395 375
74S09D 308
74S93D 350
4002BD_10V 310
7400N 311

A

A-Betrieb 221
AB-Betrieb 250
Abfallzeit 311
abgeglichene Brücke 102, 103
AC-Analyse 145
Addierer 270
ADU 380
- direkter 380
- mit Parallelumsetzung 380
- Spannungs-Zeit-Umsetzung 385
Akkumulator 378
aktiver Filter 270

Amplitudengang 165
Analog/Digitalumsetzer *siehe* ADU
Analysen und Simulation
- AC-Sweep 145
- DC-Sweep 261, 294, 401
- DC WOBBELN 394, 401
- Fourier 257
- Klirrfaktor 253
- Monte-Carlo 296
- Parameter-Sweep 286
- Worst-Case 297
Anpassung 116
Anstiegsgeschwindigkeit 265
Anstiegszeit 311
äquivalente
 Wechselstromschaltungen 159
Arbeitspunkt 210
Arbeitspunkteinstellung 195, 214, 216,
 222, 245
Arbeitspunktstabilisierung 217
arithmetischer Mittelwert 137
Auflösung 380
Augenblickswert 137
Ausgangsstufe 302, 303
Ausgangswiderstand 222
Aussteuerbereich 222, 226

B

Bandbreite 154, 221, 267
Bandpass 169, 173, 284
Bandsperr 169
Bargraph-Anzeige 323, 372, 374, 389
- UNDCD-Bargraph-Anzeige 322
Basis-Schaltung 214, 215
BCD/DEC-Kodierer 322
Begrenzerschaltungen mit Z-Dioden 212
Belastungsfälle 115
Betriebsfall, normaler 115

bipolare Transistoren 214
 bistabile Kippstufe 338
 Bitmuster-Generator 303, 350, 358
 Blindleistung 143, 160, 185
 Blindleistungskompensation 190
 Blindleitwert 143
 Blindwiderstand
 - induktiver 143
 - kapazitiver 143
 Bode-Plotter 155, 224
 Brücke
 - abgegliche 102, 103
 - nicht abgegliche 102, 105
 Brückengleichrichter 199
 Brückengleichrichter MDA 2501 201
 Brückenschaltung 102, 177, 409, 416
 - Gleichrichter-Brückenschaltung 198
 Brücken zur Temperaturmessung 107
 Brummspannung 171, 204
 Brummwechselspannung 170

C

CMOS-Schaltkreis 301
 Colpitts-Oszillator 288
 Current Probe 204

D

Dämpfungsfaktor 164, 169
 Dämpfungsmaß 164, 169
 Daten-Eingang 341, 366
 DAU 386
 - mit Stromausgang 390
 - R2R-Netzwerk 388
 - Wägeverfahren 387
 Dekodierer 321
 - 7-Segment-Dekoder 324
 Demultiplexer 326, 330
 Dezimalzähler 355
 D-FF 341
 Diacs 393
 Differenzierglied 174
 Differenzverstärker 239, 240, 241, 242,
 243, 260, 268
 Digital/Analog-Umsetzer *siehe* ADU
 digitale Schaltungen 293

Digitaltechnik 196, 260, 293, 347, 348,
 380
 Diode 91, 193, 195
 - als Spannungsbegrenzer 207
 Diodenkenndaten 194
 Dioden-Kennwerte, Ermittlung 91
 Drehstrom 181
 Drehstromleistung 185
 Drehstrommotor 186, 191
 Drehstromnetz 185
 Dreieckschaltung 184
 Dreieck-Stern-Transformation 105
 Durchlassrichtung 193
 dynamische Flip-Flops 340

E

Effektivwert 137
 Eingangswiderstand 222
 Einpuls-Mittelpunktschaltung 415
 Einweggleichrichtung 198
 ELECTRONICS WORKBENCH 15
 Emitter-Schaltung 214, 215
 Entstörfilter 171
 Ermittlung der Dioden-Kennwerte 91
 Ersatzschaltbild eines
 Drehstrommotors 187
 Ersatzspannungsquelle 124
 Ersatzstromquelle 124
 Ersatzwiderstand 96
 Excel 16
 EXCEL EXPORTIEREN *siehe* IN EXCEL
 EXPORTIEREN

F

Feldeffekttransistoren (FET) 244
 FET, Sperrschicht 244
 Filter 169
 - aktiver 270
 - LC- 174
 - passiver 164, 169
 Filterschaltung 174
 Flip-Flop 338, 340, 341
 Folgeschaltungen 331
 Fourier-Analyse 291
 Freigabe-Eingang 366
 Frequenzgang 165, 264

Frequenzmesser 365

Frequenzteiler 351

G

Gatestrom 400

Gegenfrequenz 224

Gegenkopplung 217

Gleichrichter-Brückenschaltung 198

Gleichrichtung 197

Gleichrichtwert 137

Gleichstromkreis 83

Gleichstromzündung 404

Gleichtaktunterdrückung 239

Gleichtaktverstärkung 239

Grenzfrequenz 158, 169, 221, 224, 225,
228, 264

Grundstromkreis 83

Grundverknüpfung, logische 299

Gütefaktor 154

H

Halbleiterdioden 193

HIERARCHISCHER BLOCK 39, 42

Hochpass 169

I

IC 74192 363

IC 7643 392

Impedanzwandler 267

Impulsdauer 174

Impulsdiagramm 358, 360, 375

Impulsformung 174

Impulsgenerator 334

Impulsregenerierung 347

induktiver Blindwiderstand 143

IN EXCEL EXPORTIEREN 119

Installation 17

Integrierglied 174

Inverter 301

J

JK-FF 342

K

Kapazität 129, 143

Kapazitätsmessbrücke 180

kapazitiver Blindwiderstand 143

Kenngrößen 83, 164, 221

- des Grundstromkreises 83

- des Verstärkers 221

Kettenschaltung 168, 172, 175

Kippschaltung 331

Kippstufe 338

Kirchhoffsches Gesetz 89, 94

Kleinsignalverstärker 221

Klirrfaktor 253

Kodierer 321

- 1-aus-M-Kodierer 321

- BCD/DEC-Kodierer 322

Kollektor-Schaltung 214, 215

Komparator 333

Kompensation 190, 191

Kompensations-Blindleistung 190

Kompensationsschaltung 160

Komplementär-Transistor 238

Kondensator 129, 142

Konstantstromquelle 243

Konvertierung 320

Koppelglied 221, 234, 236

Koppel-Kondensator 235

Kopplung, direkte 236

Kurzschlussfall 115

L

Ladekondensator 202

Latch-FF 366, 367

LC-Filter 174

LC-Siebglied 171

Leerlauf 115

Leistung 143

Leistungsanpassung 116

Leistungsfaktor 152, 160

Leistungsfaktor $\cos \varphi$ 148

Leistungssteuerung 410, 412

Leistungsverstärker 250

Leiterspannung 184

Leiterströme 187

Leitwert 143

Lichtbandanzeige 372

LM555 346
 Logik-Analysator 350
 Logik-Analyser 306, 358
 Logik-Konverter 303
 logische Grundverknüpfung 299
 LR-Siebglied 171
 LSB – Least Significant Bit 380

M

M1C-Schaltung 414
 Menü-Befehle, Übersicht 23
 Menü-Befehle
 – ANSICHT
 – FENSTER FÜR DIE
 DIAGRAMMERSTELLUNG 31
 – STATUSLEISTE 23
 – BEARBEITEN
 – TITELBLOCKPOSITION 23
 – BERICHTSFENSTER 36, 92
 – DATEI
 – LETZTE SCHALTUNG 23
 – EXTRAS
 – DATENBANK 24
 – SIMULIEREN
 – EINSTELLUNG FÜR SIMULATION DIGITALER
 BAUELEMENTE... 24
 Messbereichsunterdrückung 213
 Messgeräte, Klirrfaktor- 253, 254
 Messprobe 238
 Mitkopplung 287
 – Monoflop 335
 – nachtriggerbar 335
 – nicht nachtriggerbar 335
 Mittelpunktgleichrichter 201
 Mittelwert
 – arithmetischer 137
 – quadratischer 137
 Modulo-m-Zähler 355
 monostabile Kippschaltung 335
 Monte-Carlo-Analyse 296
 MOSFET 248
 Multiplexer 326, 327
 MULTISIM 15
 – ANSICHT, FENSTER FÜR DIE
 DIAGRAMMERSTELLUNG 156
 – Auswahl der Bauelemente 85

– Dimensionierung und Bezeichnung der
 Bauelemente 86
 – Einbau der Messinstrumente 87
 – neue Schaltung beginnen 84
 – Simulation der Schaltung 88
 – Temperaturanalyse 109
 – Verbinden der Bauelemente 86
 – vereinfachte Version 19
 – virtuelle Verbindung 382
 MULTISIM MCU-MODUL 17
 Multivibrator 331

N

Nadelimpuls 175
 Negator 299
 Netzgerät 212
 Netzgleichrichter 201
 Netzgleichrichtung 197
 NETZLISTENBERICHT 383
 Netzwerk 122
 nicht abgegliche Brücke 102, 105
 NI MULTISIM 15
 normaler Betriebsfall 115
 Normalform, disjunktive 320
 Nullkippspannung 393, 399, 400, 402

O

offener Kollektor 303
 Offsetstrom-Kompensation 269
 ohmscher Widerstand 142
 ohmsches Gesetz 83, 142
 OPTIONEN
 – vereinfachte Version 19
 OPV 260
 – Differenzverstärker 268
 – ideal 260
 – invertierender 264
 – nichtinvertierender 266
 – realer 260
 – Slew Rate 265
 – Spannungsfolger 267
 – Subtrahierer 269
 – Temperatur-Messbrücke 109
 – Tiefpass 169
 – 1. Ordnung 282
 – 2. Ordnung 283

- Transitfrequenz 265
 - Übertragungskennlinie 261
 - Verstärkungsfaktor 221, 265, 266, 269
 - Vorverstärker 280
 - Wechselspannungsverstärker 260
- Oszillator 287
- durchstimmbarer 291
 - LC- 287
 - RC- 287, 288
 - Sinus- 287

P

- π -Glied 170
- Parallelregister 368
- Parallelschaltung von Widerständen 94
- Parallelschaltung von Widerstand,
Kondensator und Spule 151
- Parallelschwingkreis 154, 159
- Parallelübertrag 361
- Parameter-Sweep 117, 229
- passiver Filter 164, 169
- Phase Angle Controller 411
- Phasendrehbrücke 180, 408
- Phasendrehglied 176, 177
- Phasengang 165
- Phasenschieber, RC 288
- Phasenverschiebung 149
- Phasenwinkel 148
- φ 151
- Phasenwinkelcontroller 411

Q

- quadratischer Mittelwert 137
- Quarz-Oszillator 287

R

- R-2R-Schaltung 101
- RC-Glied 172
- RC-Oszillator 287, 288
- RC-Phasenschieber 288
- Rechteck-Generator 331
- Rechteckspannung 139
- Reflexionen 165
- Register 366
- Latch-FF 366

- Reihenschaltung von Widerständen 89
- Reihenschaltung von Widerstand,
Kondensator und Spule 148
- Reihenschwingkreis 154, 157
- Resonanz 154
- Resonanzbedingung 154
- Resonanzfrequenz 154, 157
- RS-FF 338

S

- Schalthysterese 343
- Schaltungen
- Abfallzeit 311
 - Anstiegszeit 311
 - digitale 293
 - kombinatorische 316
 - sequentielle 331
 - Signalübertragung 315
 - Störeinflüsse 313
 - Übertragungsleitung 347
 - Verzögerungszeit 311
- Schaltungsassistent 333
- Schaltungssynthese mit Logik-
Konverter 319
- Schaltungstransformation 106
- Scheinleistung 160, 185
- Scheinleitwert 151
- Scheinwiderstand 149
- Schieberegister 370
- 4-Bit-Rechts/Links- 373
 - Akkumulator 378
- Schleusenspannung 194
- Schmitt-Trigger 333, 343
- Schwellertschalter 343
- SCR (silicon controlled rectifier) 399
- Serienaddition 378
- Serienübertrag 361
- Siebglied 170, 205
- Signalübertragung 315
- Signalverknüpfung 208
- Sinusoszillator 287
- Slew Rate 265
- Source-Schaltung 244
- Spannung 83
- Spannungsanpassung 116
- Spannungsbegrenzer 210

Spannungsbegrenzung 196, 207, 210
 Spannungsfolger 267
 Spannungs-Gegenkopplung 221, 232
 Spannungsstabilisierung 196, 210
 - mit Z-Diode 211
 Spannungsteiler 161
 Spannungsteiler-Regel 89
 Spannungsüberlagerung 142
 Sperrrichtung 193
 Sperrschicht-FET 244
 Sperrschicht-FET BF 256B 246
 Spike 357
 - belasteter Spannungsteiler 99
 - unbelasteter Spannungsteiler 92
 Spule 135, 142
 Stabilisierungsschaltungen 210
 Stapel-Analyse 254
 Sternpunkt 182
 Störeinflüsse bei digitalen
 Schaltungen 313
 Strangspannung 184
 Strangstrom 186
 Stromanpassung 116
 Strombegrenzung 161
 Stromflusswinkel 203
 Strom-Gegenkopplung 220, 231
 Stromrichterschaltungen 413
 Stromstärke 83
 Subtrahierer 269
 symmetrische Leitung 175

T

taktflankengesteuerte FF 340
 taktzustandsgesteuerte FF 340
 Temperaturabhängigkeit 195
 - einer Diode 195
 Temperaturanalyse, mit MULTISIM 107
 Temperaturkoeffizient 108
 Temperatur-Messbrücke 109
 T-Glied 172
 Thyristor 393, 399, 403, 411, 412, 413,
 414
 Tiefpass 169
 - 1. Ordnung 282
 - 2. Ordnung 283
 Timer-Baustein NE 555 333

Torschaltung 207
 Totem-Pole-Ausgang 303
 Transformator 160, 183, 190, 198, 199,
 201, 202, 407, 408, 415
 Transistor
 - bipolar 214
 - unipolar 244
 Transistor 2N2218 216
 Transistor BC 107BP 217
 Transistorgrundschaltung 215
 Transistor-Schalter 293
 Transitfrequenz 265
 Triggerschaltung 331
 Tristate-Ausgang 303
 T-Schaltung 166
 TS-Schaltkreis 301
 TTL-Schaltkreis 302

U

U7A 366
 Überlagerung 141
 - von Wechselspannungen 141
 Überlagerungsmethode 123
 Übernahmeverzerrung 253
 Übertragungsfaktor 164
 Übertragungsfunktion 295
 Übertragungsleitung 314, 347
 Übertragungsmaß 164
 Übertragungsverhalten 164
 - der Leitungen 314
 Ultiboard 17
 Umlaufspeicher 370
 UNDCD-Bargraph-Anzeige 322
 UND-Funktion 209
 unipolare Transistoren 244
 Univibrator 335
 unsymmetrische Belastung 188

V

Verdopplerschaltung 206
 Verkettung 183
 Verknüpfungsschaltung 316
 Verlustfaktor 153, 154
 Verstärker 221
 - mit Gegenkopplung 227

- MOSFET 248
- ohne Gegenkopplung 222
- zweistufiger Verstärker 234
- Verstärkerbetrieb 216
- Verstärkungsfaktor 221, 224, 231, 233, 264-266
- Verzögerungszeit 311
- Vierkanaloszilloskop 201
- Vier-Kanal-Oszilloskop 312
- Vierleiter-Netz 183
- Vierpol 164, 166, 168
 - Kettenschaltung 168
 - symmetrisch 166
 - unsymmetrisch 166
- virtuelle Verbindung 382
- Volladdierer 329
- Vorwärts-/Rückwärtszähler 363
- Vorwiderstand 211

W

- Wahrheitstabelle 299, 317
- Wechselspannung 141, 142
- Wechselstrom 137
- Wechselstrombrücke 177, 178
- Wechselstromkreis 137
- Wechselstromschaltungen 154
 - äquivalente 159
- Wechselstromzündung 405, 406, 407
- Wellenwiderstand 164, 167
- Wheatstonsche Messbrücken 103
- Widerstand 142
- Widerstandsschaltungen 96
- Wien-Robinson-Brücke 288, 290
- Wired-AND-Funktion 308

- Wirkleistung 142, 143, 160, 185
- Wirkungsgrad 120
- Wirkwiderstand 142
- WORST-CASE-ANALYSE 297

Z

- Zähler 348
 - Bereichszähler 357
 - Binärzähler 348
 - dekadische Vorwärts-/Rückwärtszähler 363
 - Dezimalzähler 355
 - mehrstufiger 362, 363
 - Modulo-m-Zähler 355
 - Parallelübertrag 361
 - programmierbare 363
 - Rückwärtszähler 353
 - Serienübertrag 361
 - synchroner 360
 - Verzögerungszeit 360, 361
 - Vorwärtszähler 353
- Zählkapazität 361
- Z-Diode 91, 210
- Zeitkonstante 129, 135, 174
- zeitmultiplexe Übertragung 376
- Zündwinkel 404, 409, 410, 411, 414
- Zustandstabelle 300, 374
- Zweipol 83
- Zweipuls-Brückenschaltung 416
- Zweipulsgleichrichtung 198
- Zweirichtungsdioden 393
- Zweirichtungs-Thyristordiode 393
- Zweitore 164