



Leseprobe

Jürgen Liepe

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

Ein Übungs- und Arbeitsbuch

ISBN (Buch): 978-3-446-45097-4

ISBN (E-Book): 978-3-446-45115-5

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-45097-4>

sowie im Buchhandel.

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 90er 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

Vorwort zur 5. Auflage

Die Weiterentwicklung von NI MULTISIM EDUCATION EDITION zur neuen Version 14.0.1 machte eine Überarbeitung erforderlich, die die erfolgten Programmänderungen berücksichtigt. Dies betrifft besonders die Analysefunktionen.

Ich bedanke mich bei den Lesern für die anhaltende positive Resonanz.

Bei der Firma National Instruments möchte ich mich wieder für die Bereitstellung der neuen Programmversion und den Support bedanken.

Mein Dank gilt auch den Mitarbeitern des Hanser Verlages vom Fachbuchverlag Leipzig. Frau Franziska Jacob und Frau Franziska Kaufmann begleiteten wieder die Entstehung der neuen Auflage.

Besonders freue ich mich, dass der Hanser Verlag und National Instruments die Bereitstellung der Studentenversion von MULTISIM EDUCATION EDITION Version 14.0.1 ermöglichen.

Den Nutzern des Buches wünsche viel Freude und Erfolg.

Leipzig, im Dezember 2016

Jürgen Liepe

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	20
1.3.2	Tastatur-Befehle.....	26
1.3.3	Arbeit mit der Maus-Taste	27
1.3.4	Erklärung ausgewählter Menü-Befehle.....	29
1.4	Übersicht der Übungsbeispiele	83
2	Gleichstromkreis	84
2.1	Grundstromkreis	84
2.2	Reihenschaltung von Widerständen.....	90
2.3	Parallelschaltung von Widerständen	95
2.4	Gemischte Widerstandsschaltungen	97
2.5	Brückenschaltungen	103
2.6	Betriebszustände des Grundstromkreises.....	116
2.7	Netzwerke	123
3	Schaltvorgänge am Kondensator.....	130
4	Schaltvorgänge an der Spule.....	136
5	Wechselstromkreis.....	138
5.1	Grundlagen des Wechselstromes	138
5.2	Widerstand, Kondensator und Spule an einer Wechselspannung	143
5.3	Reihenschaltung von Widerstand, Kondensator und Spule.....	149
5.4	Parallelschaltung von Widerstand, Kondensator und Spule.....	152
5.5	Ausgewählte Wechselstromschaltungen	155
5.5.1	Reihen- und Parallelresonanz.....	155
5.5.2	Kompensation	161
5.5.3	Strombegrenzung und komplexer Spannungsteiler.....	162
5.5.4	Vierpole und passive Filter	165
5.5.4.1	Vierpole.....	165

5.5.4.2	Passive Filter	170
5.5.5	Phasendrehglieder	177
5.5.6	Wechselstrombrücken	178
6	Drehstromsysteme	182
6.1	Entstehung von Drehstrom und Verkettung von Wechselspannungen	182
6.2	Drehstromleistung	186
6.3	Kompensation in Drehstromnetzen	191
7	Analoge Schaltungen der Elektronik	194
7.1	Halbleiterdioden	194
7.1.1	Kennwerte	194
7.1.2	Arbeitspunkteinstellung	196
7.1.3	Anwendungsschaltungen	197
7.2	Z-Dioden	211
7.3	Transistoren	215
7.3.1	Bipolare Transistoren	215
7.3.1.1	Grundsaltungen und Arbeitspunkteinstellung	215
7.3.1.2	Verstärkerschaltungen mit bipolaren Transistoren	222
7.3.2	Feldeffekttransistoren	245
7.3.2.1	Verstärker mit Sperrschicht-FET	245
7.3.2.2	Verstärker mit MOSFET	249
7.3.2.3	Zweistufige Verstärker mit FET und bipolaren Transistoren	250
7.3.2.4	Leistungsverstärker	251
8	Operationsverstärker (OPV)	261
8.1	Grundsaltungen des OPV	261
8.1.1	Grundlagen und idealer OPV	261
8.1.2	Invertierender OPV	265
8.1.3	Dynamisches Verhalten eines OPV	266
8.1.4	Nichtinvertierender OPV	267
8.1.5	OPV als Differenzverstärker	269
8.2	Ausgewählte Anwendungsbeispiele mit OPV	271
9	Oszillatoren	279
10	Digitale Schaltungen der Elektronik	285
10.1	Schaltungen logischer Grundfunktionen	285
10.1.1	Transistor als Schalter	285
10.1.2	TTL- und CMOS-Schaltkreise	293
10.2	Kombinatorische Schaltungen	308
10.3	Sequentielle Schaltungen	323

10.3.1	Kippschaltungen	323
10.3.1.1	Astabile Kippschaltung (astabiler Multivibrator, Rechteck-Generator)	323
10.3.1.2	Monostabile Kippschaltung (Univibrator, Monoflop)	327
10.3.1.3	Bistabile Kippstufe (Flip-Flop)	330
10.3.1.4	Schwellwertschalter, Schmitt-Trigger	335
10.3.2	Zähler und Frequenzteiler.....	340
10.3.3	Register, Schieberegister.....	358
10.3.4	Analog/Digital- und Digital/Analog-Umsetzer.....	372
10.3.4.1	Analog/Digital-Umsetzer (ADU)	372
10.3.4.2	Digital/Analog-Umsetzer (DAU).....	378
11	Leistungselektronik.....	385
	Literatur	409
	Index	411
	Installationshinweis.....	424

2

Gleichstromkreis

■ 2.1 Grundstromkreis

Ein elektrischer Grundstromkreis besteht aus

- dem *aktiven Zweipol* (der Spannungsquelle) und
- dem *passiven Zweipol* (dem Verbraucher).

Im aktiven Zweipol wird nichtelektrische in elektrische Energie und im passiven Zweipol elektrische in nichtelektrische Energie gewandelt.

Die Kenngrößen des Grundstromkreises sind:

- Quellenspannung U_0
 - Klemmenspannung U
 - Stromstärke I
 - Innenwiderstand R_i
 - Außenwiderstand R_a
- **Hinweis:** Bei vielen Schaltungen, so auch bei Schaltungsuntersuchungen mit MULTISIM, wird der Innenwiderstand vernachlässigt. Dann sind Quellen- und Klemmenspannung gleich groß.

Spannung und *Stromstärke* sind vorzeichenbehaftete, skalare Größen, die durch Richtungspfeile dargestellt werden. Es ist festgelegt:

Eine Spannung ist positiv, wenn sie vom positiveren zum negativeren Potenzial gerichtet ist. Die Stromstärke ist positiv, wenn der Strom vom positiveren zum negativeren Potenzial fließt.

Der Zusammenhang zwischen der Spannung, der Stromstärke und dem Widerstand wird durch das ohmsche Gesetz beschrieben:

$$U = I \cdot R$$

In unserem ersten Übungsbeispiel wollen wir in dem Programm MULTISIM die Grundlagen zum Erstellen und zur Überprüfung einer Schaltung kennen lernen.

Übungsbeispiel 2.1: Erstellen und Überprüfen einer Schaltung

Bauen Sie einen Grundstromkreis mit einer Quellenspannung von 100 V, einem Innenwiderstand von $20\ \Omega$ und einem Außenwiderstand von $80\ \Omega$ auf. Weisen Sie die Spannungs- und Stromrichtung nach. Der Aufbau der Schaltung soll mit idealen Bauelementen erfolgen. Diese werden bei MULTISIM als „virtuelle Bauelemente“ bezeichnet.

Schritt 1: Eine neue Schaltung beginnen

Öffnen Sie das Programm MULTISIM. Nach dem Öffnen wird die leere Datei SCHALTUNG 1 ausgegeben. Ich möchte nochmals darauf verweisen, dass ich auf der Grundlage der Programmversion MULTISIM EDUCATION arbeite. Trotzdem sind fast alle dargestellten Handlungen und auch fast alle Programme mit der Studentenversion realisierbar.

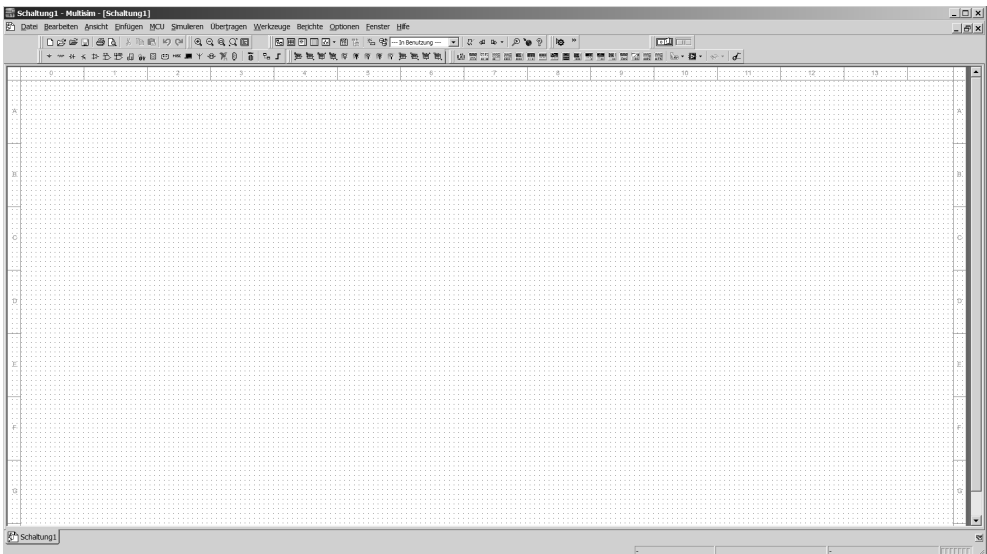


Bild 2.1 Die Arbeitsoberfläche von MULTISIM

Richten Sie die Arbeitsoberfläche entsprechend Ihren Bedürfnissen ein. Dazu rufen Sie das Menü OPTIONEN auf. Im Menüpunkt ALLGEMEINE EINSTELLUNGEN können Sie im Register PFADE den Speicherort ihrer Schaltungsdateien festlegen. Zweckmäßig ist die Aktivierung einer automatischen Sicherung während des Arbeitens und die Speicherung von Simulationsergebnissen. Das nehmen Sie im Register SPEICHERN vor. Wichtig ist es noch, im Register BAUELEMENTE, die DIN-Schaltzeichennorm zu aktivieren. Die gewünschten Seiteneigenschaften, wie Größe der Arbeitsoberfläche, Rastereinblendung, Farben der Schaltungsteile oder Sichtbarkeit von Schaltungskennzeichnungen werden unter dem Menüpunkt SEITENEIGENSCHAFTEN festgelegt.

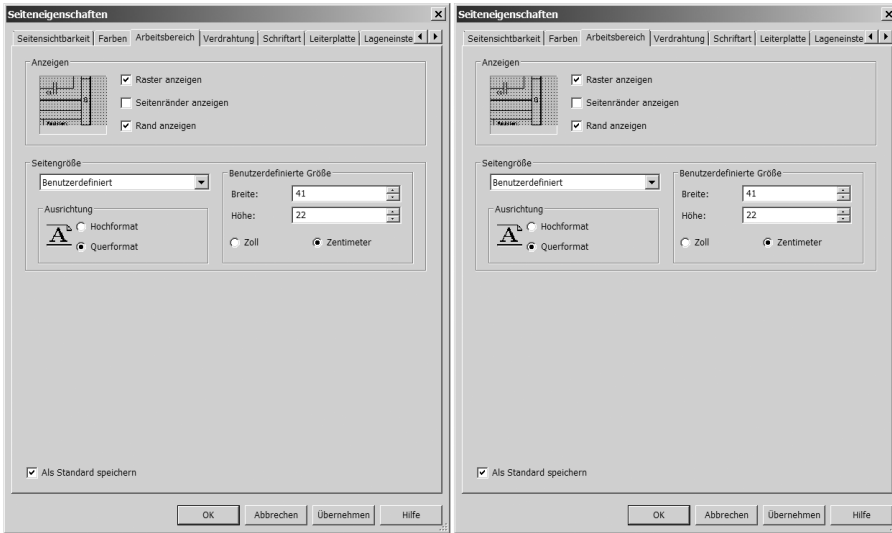


Bild 2.2 Festlegung der Seiteneigenschaften

Weitere Einstellmöglichkeiten für eine zweckmäßige Arbeitsoberfläche finden Sie auch im Menü ANSICHT. Der geeignete Inhalt der Symbolleiste hilft besonders bei der Arbeit.

Schritt 2: Auswahl der Bauelemente

Nachdem Sie die notwendigen Voreinstellungen abgeschlossen haben, beginnt die eigentliche Arbeit mit dem Erstellen der Schaltung. Dazu gehört die Auswahl der erforderlichen Bauelemente. MULTISIM bietet mehrere Varianten zum Einfügen von Bauelementen an. Sie können über das Menü EINFÜGEN/BAUELEMENTE gehen, diese aus der Symbolleiste wählen oder mit einem Klick der rechten Maustaste ein Kontextmenü aufrufen bzw. auch den Tastatur-Befehl Strg + W nutzen. Im Bild 2.3 sehen Sie diese Varianten. Oft ist ein Drehen der Bauelemente notwendig. Wählen Sie dazu mit einem Doppelklick das Bauelement aus. Dann können Sie über das Menü BEARBEITEN/ANZEIGERICHTUNG mit dem Aufrufen des Kontextmenüs über die rechte Maustaste oder wieder über einen Tastatur-Befehl das Bauelement in die gewünschte Richtung drehen.

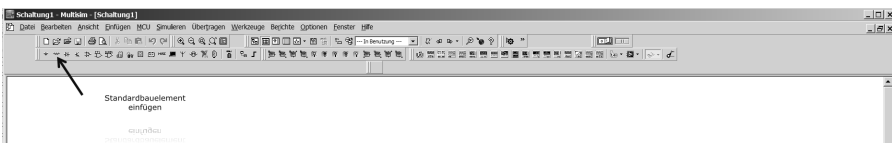


Bild 2.3 Auswahl der Bauelemente

- **Hinweis:** Für die Simulation benötigt MULTISIM einen Bezugspunkt. Dazu schließen Sie an den Minuspol der Spannungsquelle die Masse an (Toolbar Stromquellen-Familie). Da das Masse-Symbol in jeder Schaltung benötigt wird, ist es effektiv, das Masse-Symbol über ein Tastenkürzel, wie im Abschnitt 1.3.1 erklärt wird, festzulegen.

Schritt 3: Dimensionierung und Bezeichnung der Bauelemente

Ein Doppelklick auf das jeweilige Bauelement öffnet das Fenster BASIC VIRTUELL.

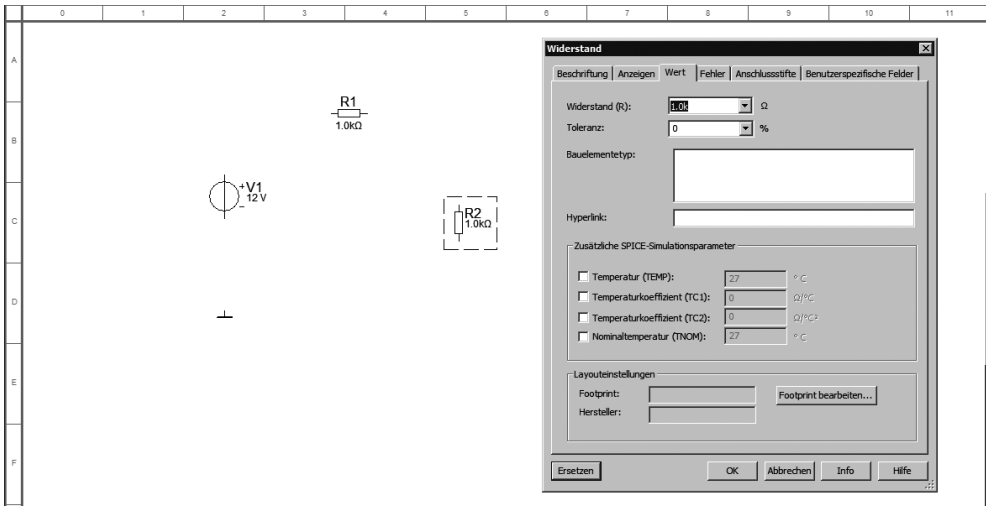


Bild 2.4 Dimensionierung und Bezeichnung der Bauelemente

Im Register WERT geben wir den gewünschten Widerstandswert ein und bestätigen mit OK. Wir wechseln nun zum Register ETIKETTE und ändern dort die Widerstandsbezeichnung in Ri bzw. Ra um.

Schritt 4: Verbinden der Bauelemente

Nachdem wir alle Bauelemente platziert haben, verbinden wir sie. Dabei können wir zwischen der automatischen und der manuellen Verbindung wählen. Bei der automatischen Verbindung gehen Sie mit der Maus an einen Anschlusspunkt des Bauelementes. Nach einem Mausklick wandelt sich der Mauszeiger in ein Fadenkreuz. Ziehen Sie bei gedrückter Maus-Taste das Fadenkreuz direkt zum nächsten gewünschten Anschlusspunkt. Lassen Sie nun die Maus-Taste los. Die Leiterbahnen bauen sich selbständig auf und verlaufen in einer bestimmten vertikalen oder horizontalen Richtung.

Beim manuellen Verbindungsaufbau klicken Sie ebenfalls den ersten Anschlusspunkt an, führen aber jetzt die gedrückte Maus entlang des gewünschten Leitungsweges in horizontaler oder vertikaler Richtung. Soll die Richtung geändert werden, muss ein Mausklick erfolgen und dann mit der gedrückten Maus-Taste in die neue Richtung geführt werden. Die Lage eines bestehenden Leiterzuges lässt sich ändern, wenn Sie den Mauszeiger an eine Leiterbahn führen. Dann ändert er sich in einen Doppelpfeil, den Sie in die angezeigten Richtungen verschieben können. Bei der Verbindung sind Leitungskreuzungen möglich. Eine Verbindung an einer Kreuzung entsteht nur, wenn ein Knotenpunkt gesetzt wird. In einen bestehenden Leiterzug kann ein Bauteil (Bauelement oder Messinstrument) direkt eingebunden werden, indem wir das Bauteil in den Leiterzug verschieben. Dazu klicken wir das Bauteil an und ziehen es bei gedrückter linker Maus-Taste in den Leiterzug. Wenn wir die Maus-Taste lösen, ist das Bauteil eingebunden.

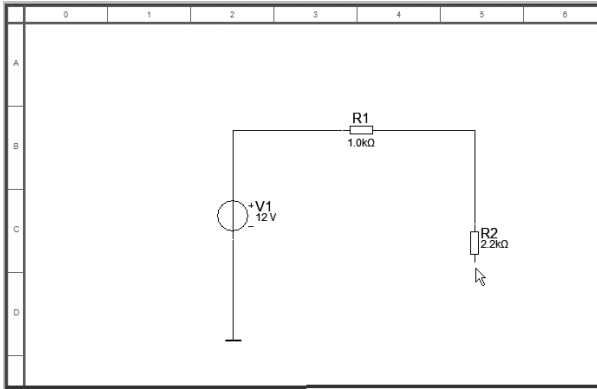


Bild 2.5 Verbinden der Bauelemente

Für die Leitungen kann eine Netznummerierung angezeigt werden. Dazu müssen wir unter OPTIONEN, BLATTEIGENSCHAFTEN das Register SCHALTUNG öffnen und dort bei NETZNAME den Schalter ALLES ANZEIGEN aktivieren.

Schritt 5: Einbau der Messinstrumente

Die für eine Schaltungsuntersuchung erforderlichen Messmittel legen Sie über ANSICHT/SYMBOLLEISTEN in der Symbolleiste ab. MESSBAUSTEINE sind dabei Strom- und Spannungsmesser sowie Tastköpfe. Tastköpfe signalisieren das Erreichen eines einstellbaren Spannungswertes und sind besonders in der Digitaltechnik sinnvoll. Unter INSTRUMENTE sind weitere Messmittel, wie Multimeter, Leistungsmesser oder Oszilloskop, zu finden. Diese können auch über SIMULIEREN/INSTRUMENTE aufgerufen werden.

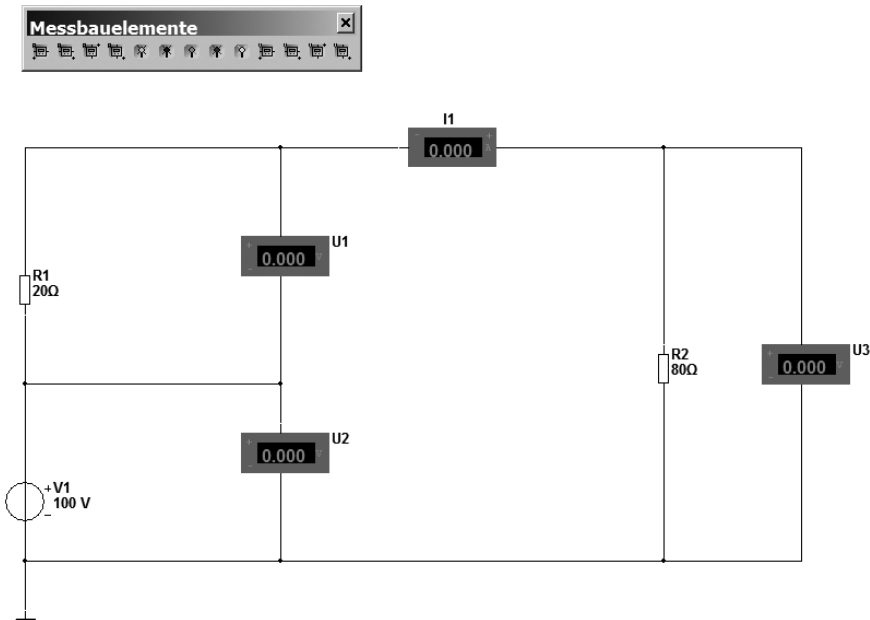


Bild 2.6 Einbau der Messinstrumente

Die Instrumente können entsprechend der benötigten Zahl beliebig kopiert werden. Achten Sie beim Anschluss auf die Einstellung der richtigen Spannungsart (Modus) und auf die Polung.

Schritt 6: Simulation der Schaltung

Für die Schaltungssimulation betätigen Sie den Schalter, der sich rechts oben in der Menüleiste befindet, oder Sie gehen über SIMULATION, START. In der Statusleiste wird die laufende Simulation erkennbar.

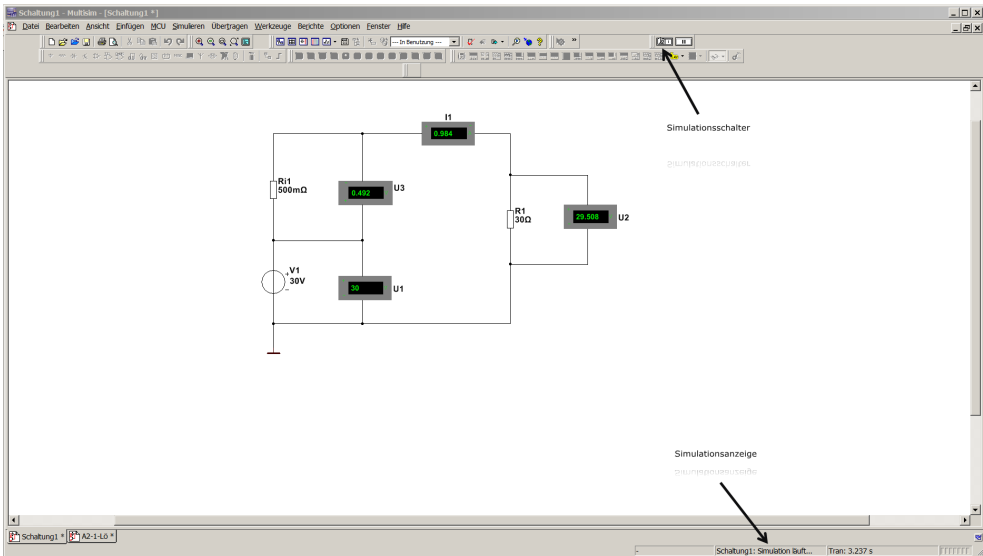


Bild 2.7 Simulation

Überprüfen Sie durch eine Berechnung die angezeigten Ergebnisse.

- **Hinweis:** Beenden Sie nach dem Anzeigen der Werte die Simulation wieder. Sie ersparen Ihrem PC fortlaufende Rechenarbeit.

Aufgabe 2.1

Ein Verbraucher mit einem Widerstand von $30\ \Omega$ benötigt eine negative Spannung, die von einer Spannungsquelle mit einer Quellenspannung von $10\ \text{V}$ und einem Innenwiderstand von $0,5\ \Omega$ geliefert werden soll. Entwickeln Sie die Schaltung und ermitteln Sie alle Schaltungsgrößen.

■ 2.2 Reihenschaltung von Widerständen

Bei der Reihenschaltung sind alle Bauelemente hintereinandergeschaltet. Es gelten folgende Gesetzmäßigkeiten:

Der fließende Strom ist an allen Stellen des Stromkreises gleich groß. Er ist deshalb die Bezugsgröße.

$$I = \text{konst.}$$

Die Summe aller Widerstände ergibt den Gesamtwiderstand.

$$R_1 + R_2 + R_3 = R$$

An jedem Widerstand entsteht ein Spannungsabfall, der sich proportional zur Größe des Widerstandes verhält.

$$U_{R_1} = I \cdot R_1 \quad U_{R_2} = I \cdot R_2 \quad U_{R_3} = I \cdot R_3$$

Die Summe der Spannungsabfälle über den Widerständen ergibt die Klemmenspannung.

$$U_{R_1} + U_{R_2} + U_{R_3} = U \quad \text{2. Kirchhoffsches Gesetz}$$

Die Spannungsabfälle verhalten sich wie die Widerstände, über denen sie abfallen.

$$\frac{U_{R_1}}{U_{R_2}} = \frac{R_1}{R_2} \quad \text{oder} \quad \frac{U_{R_1}}{U} = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} \quad \text{Spannungsteiler-Regel}$$

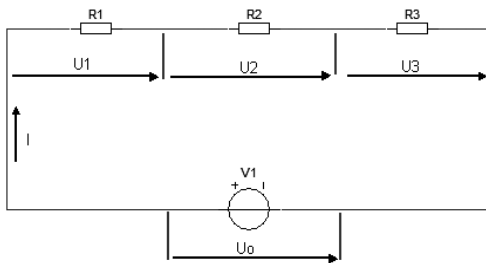


Bild 2.8 Reihenschaltung von Widerständen

Aufgabe 2.2

Beweisen Sie die Merkmale einer Reihenschaltung für eine Reihenschaltung von drei Widerständen mit $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 3 \text{ k}\Omega$ und $R_3 = 6 \text{ k}\Omega$, die an eine Gleichspannungsquelle mit 10 V angeschlossen werden. Stellen Sie die Messergebnisse in einer Tabelle zusammen.

Aufgabe 2.3

An einer Gleichspannungsquelle mit einer Klemmenspannung von 100 V sind vier Widerstände in Reihenschaltung angeschlossen. Bei einer Stromstärke von 100 mA soll an dem Widerstand R1 ein Spannungsabfall von 20 V und am Widerstand R2 von 30 V auftreten. An R3 und R4 muss der Spannungsabfall gleich groß sein. Entwickeln Sie die Schaltung und überprüfen Sie Ihre berechneten Werte.

Vorwiderstand

Eine wichtige Anwendung der Reihenschaltung ist die Nutzung als Vorwiderstand zur Spannungsherabsetzung bzw. zur Strombegrenzung an Bauelementen, wenn die Betriebsspannung höhere Spannungswerte als die Nennspannung des Bauelementes aufweist.

Aufgabe 2.4

Eine Glühlampe mit einer Nennspannung von 12 V und einer Nennleistung von 10 W soll an eine Spannungsquelle mit einer Klemmenspannung von 20 V angeschlossen werden. Ergänzen Sie die Schaltung nach Bild 2.9 und messen Sie alle Spannungen und Ströme.

- **Hinweis:** Die Betätigung des Schalters erfolgt während der Simulation über die <Leertaste>. Ein anderer Hotkey ist nach Doppelklick auf das Taster-Symbol einstellbar. Sie finden den Schalter bei PLATZIEREN, BAUTEIL, GRUPPE ELECTRO MECHANICAL.

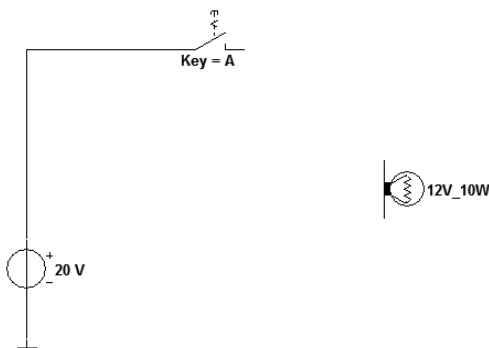


Bild 2.9 Lampe mit Vorwiderstand

Aufgabe 2.5

Das Reed-Relais EDR201A12 hat eine Nennspannung von 20 V und einen Wicklungswiderstand von 1 k Ω . Das Relais soll über einen Schalter an eine Gleichspannung von 60 V angeschlossen werden. Entwerfen Sie die Schaltung.

Index

1-aus-M-Kodierer 313
2-zu-1-Multiplexer 1 319
7-Segment-Dekoder 316
74HC00D_6V 304
74HC02D_6V 304
74HC73 352
74HC73D 344
74HC164 370
74HC194 365
74LS15D 300
74LS42D 314
74LS148 376
74LS157 319
74LS164 369
74LS165 369
74LS194 367
74LS248N 316
74LS253 320
74LS259 360
74LS395 367
74S09D 300
74S93D 342
4002BD_10V 302
7400N 303

A

A-Betrieb 222
AB-Betrieb 251
Abfallzeit 303
abgeglichene Brücke 103, 104
AC-Analyse 146
Addierer 271
ADU 372
- direkter 372
- mit Parallelumsetzung 372
- Spannungs-Zeit-Umsetzung 377
Akkumulator 370
aktiver Filter 271

Amplitudengang 166
Analog/Digitalumsetzer *siehe* ADU
Analysen und Simulation
- AC-Sweep 146
- DC-Sweep 262, 286, 393
- DC WOBBELN 386, 393
- Fourier 258
- Klirrfaktor 254
- Monte-Carlo 288
- Parameter-Sweep 278
- Worst-Case 289
Anpassung 117
Anstiegsgeschwindigkeit 266
Anstiegszeit 303
äquivalente Wechselstromschaltungen 160
Arbeitspunkt 211
Arbeitspunkteinstellung 196, 215, 217,
223, 246
Arbeitspunktstabilisierung 218
arithmetischer Mittelwert 138
Auflösung 372
Augenblickswert 138
Ausgangsstufe 294, 295
Ausgangswiderstand 223
Aussteuerbereich 223, 227

B

Bandbreite 155, 222, 268
Bandpass 170, 174, 276
Bandsperrung 170
Bargraph-Anzeige 315, 364, 366, 381
- UNDCD-Bargraph-Anzeige 314
Basis-Schaltung 215, 216
BCD/DEC-Kodierer 314
Begrenzerschaltungen mit Z-Dioden 213
Belastungsfälle 116
Betriebsfall, normaler 116
bipolare Transistoren 215

bistabile Kippstufe 330
 Bitmuster-Generator 295, 342, 350
 Blindleistung 144, 161, 186
 Blindleistungskompensation 191
 Blindleitwert 144
 Blindwiderstand
 – induktiver 144
 – kapazitiver 144
 Bode-Plotter 156, 225
 Brücke
 – abgegliche 103, 104
 – nicht abgegliche 103, 106
 Brückengleichrichter 200
 Brückengleichrichter MDA 2501 202
 Brückenschaltung 103, 178, 401, 408
 – Gleichrichter-Brückenschaltung 199
 Brücken zur Temperaturmessung 108
 Brummspannung 172, 205
 Brummwechselspannung 171

C

CMOS-Schaltkreis 293
 Colpitts-Oszillator 280
 Current Probe 205

D

Dämpfungsfaktor 165, 170
 Dämpfungsmaß 165, 170
 Daten-Eingang 333, 358
 DAU 378
 – mit Stromausgang 382
 – R2R-Netzwerk 380
 – Wägeverfahren 379
 Dekodierer 313
 – 7-Segment-Dekoder 316
 Demultiplexer 318, 322
 Dezimalzähler 347
 D-FF 333
 Diacs 385
 Differenzierglied 175
 Differenzverstärker 240, 241, 242, 243,
 244, 261, 269
 Digital/Analog-Umsetzer *siehe* ADU
 digitale Schaltungen 285
 Digitaltechnik 197, 261, 285, 339, 340,
 372

Diode 92, 194, 196
 – als Spannungsbegrenzer 208
 Diodenkennwerten 195
 Dioden-Kennwerte, Ermittlung 92
 Drehstrom 182
 Drehstromleistung 186
 Drehstrommotor 187, 192
 Drehstromnetz 186
 Dreieckschaltung 185
 Dreieck-Stern-Transformation 106
 Durchlassrichtung 194
 dynamische Flip-Flops 332

E

Effektivwert 138
 Eingangswiderstand 223
 Einpuls-Mittelpunktschaltung 407
 Einweggleichrichtung 199
 ELECTRONICS WORKBENCH 15
 Emitter-Schaltung 215, 216
 Entstörfilter 172
 Ermittlung der Dioden-Kennwerte 92
 Ersatzschaltbild eines
 Drehstrommotors 188
 Ersatzspannungsquelle 125
 Ersatzstromquelle 125
 Ersatzwiderstand 97
 EXCEL 16
 EXCEL EXPORTIEREN *siehe* IN EXCEL
 EXPORTIEREN

F

Feldeffekttransistoren (FET) 245
 FET, Sperrschicht 245
 Filter 170
 – aktiver 271
 – LC- 175
 – passiver 165, 170
 Filterschaltung 175
 Flip-Flop 330, 332, 333
 Folgeschaltungen 323
 Fourier-Analyse 283
 Freigabe-Eingang 358
 Frequenzgang 166, 265
 Frequenzmesser 357
 Frequenzteiler 343

G

Gatestrom 392
Gegenfrequenz 225
Gegenkopplung 218
Gleichrichter-Brückenschaltung 199
Gleichrichtung 198
Gleichrichtwert 138
Gleichstromkreis 84
Gleichstromzündung 396
Gleichtaktunterdrückung 240
Gleichtaktverstärkung 240
Grenzfrequenz 159, 170, 222, 225, 226, 229, 265
Grundstromkreis 84
Grundverknüpfung, logische 291
Gütefaktor 155

H

Halbleiterdioden 194
HIERARCHISCHER BLOCK 40, 43
Hochpass 170

I

IC 74192 355
IC 7643 384
Impedanzwandler 268
Impulsdauer 175
Impulsdiagramm 350, 352, 367
Impulsformung 175
Impulsgenerator 326
Impulsregenerierung 339
induktiver Blindwiderstand 144
IN EXCEL EXPORTIEREN 120
Installation 17
Integrierglied 175
Inverter 293

J

JK-FF 334

K

Kapazität 130, 144
Kapazitätsmessbrücke 181

kapazitiver Blindwiderstand 144
Kenngrößen 84, 165, 222
– des Grundstromkreises 84
– des Verstärkers 222
Kettenschaltung 169, 173, 176
Kippschaltung 323
Kippstufe 330
Kirchhoffsches Gesetz 90, 95
Kleinsignalverstärker 222
Klirrfaktor 254
Kodierer 313
– 1-aus-M-Kodierer 313
– BCD/DEC-Kodierer 314
Kollektor-Schaltung 215, 216
Komparator 325
Kompensation 191, 192
Kompensations-Blindleistung 191
Kompensationsschaltung 161
Komplementär-Transistor 239
Kondensator 130, 143
Konstantstromquelle 244
Konvertierung 312
Koppelglied 222, 235, 237
Koppel-Kondensator 236
Kopplung, direkte 237
Kurzschlussfall 116

L

Ladekondensator 203
Latch-FF 358, 359
LC-Filter 175
LC-Siebglied 172
Leerlauffall 116
Leistung 144
Leistungsanpassung 117
Leistungsfaktor 153, 161
Leistungsfaktor $\cos \phi$ 149
Leistungssteuerung 402, 404
Leistungsverstärker 251
Leiterspannung 185
Leiterströme 188
Leitwert 144
Lichtbandanzeige 364
LM555 338
Logik-Analysator 342
Logik-Analyser 298, 350

Logik-Konverter 295
 logische Grundverknüpfung 291
 LR-Siebglied 172
 LSB - Least Significant Bit 372

M

M1C-Schaltung 406
 Menü-Befehle, Übersicht 24
 Menü-Befehle

- ANSICHT
 - FENSTER FÜR DIE DIAGRAMMERSTELLUNG 32
 - STATUSLEISTE 24
- BEARBEITEN
 - TITELBLOCKPOSITION 24
- BERICHTSFENSTER 37, 93
- DATEI
 - LETZTE SCHALTUNG 24
- EXTRAS
 - DATENBANK 25
- SIMULIEREN
 - EINSTELLUNG FÜR SIMULATION DIGITALER BAUELEMENTE... 25

Messbereichsunterdrückung 214
 Messgeräte, Klirrfaktor- 254, 255
 Messprobe 239
 Mitkopplung 279

- Monoflop 327
- nachtriggerbar 327
- nicht nachtriggerbar 327

 Mittelpunktgleichrichter 202
 Mittelwert

- arithmetischer 138
- quadratischer 138

 Modulo-m-Zähler 347
 monostabile Kippschaltung 327
 Monte-Carlo-Analyse 288
 MOSFET 249
 Multiplexer 318, 319
 MULTISIM 15

- ANSICHT, FENSTER FÜR DIE DIAGRAMMERSTELLUNG 157
- Auswahl der Bauelemente 86
- Dimensionierung und Bezeichnung der Bauelemente 87
- Einbau der Messinstrumente 88

- neue Schaltung beginnen 85
- Simulation der Schaltung 89
- Temperaturanalyse 110
- Verbinden der Bauelemente 87
- vereinfachte Version 20
- virtuelle Verbindung 374

MULTISIM MCU-MODUL 17
 Multivibrator 323

N

Nadelimpuls 176
 Negator 291
 Netzgerät 213
 Netzgleichrichter 202
 Netzgleichrichtung 198
 NETZLISTENBERICHT 375
 Netzwerk 123
 nicht abgegliche Brücke 103, 106
 NI MULTISIM 15
 normaler Betriebsfall 116
 Normalform, disjunktive 312
 Nullkippspannung 385, 391, 392, 394

O

offener Kollektor 295
 Offsetstrom-Kompensation 270
 ohmscher Widerstand 143
 ohmsches Gesetz 84, 143
 OPTIONEN

- vereinfachte Version 20

 OPV 261

- Differenzverstärker 269
- ideal 261
- invertierender 265
- nichtinvertierender 267
- realer 261
- Slew Rate 266
- Spannungsfolger 268
- Subtrahierer 270
- Temperatur-Messbrücke 110
- Tiefpass 170
 - 1. Ordnung 274
 - 2. Ordnung 275
- Transitfrequenz 266
- Übertragungskennlinie 262

- Verstärkungsfaktor 222, 266, 267, 270
 - Vorverstärker 273
 - Wechselspannungsverstärker 261
- Oszillator 279
- durchstimmbarer 283
 - LC- 279
 - RC- 279, 280
 - Sinus- 279

P

- π -Glied 171
- Parallelregister 360
- Parallelschaltung von Widerständen 95
- Parallelschaltung von Widerstand,
Kondensator und Spule 152
- Parallelschwingkreis 155, 160
- Parallelübertrag 353
- Parameter-Sweep 118, 230
- passiver Filter 165, 170
- Phase Angle Controller 403
- Phasendrehbrücke 181, 400
- Phasendrehglied 177, 178
- Phasengang 166
- Phasenschieber, RC 280
- Phasenverschiebung 150
- Phasenwinkel 149
- ϕ 152
- Phasenwinkelcontroller 403

Q

- quadratischer Mittelwert 138
- Quarz-Oszillator 279

R

- R-2R-Schaltung 102
- RC-Glied 173
- RC-Oszillator 279, 280
- RC-Phasenschieber 280
- Rechteck-Generator 323
- Rechteckspannung 140
- Reflexionen 166
- Register 358
- Latch-FF 358
- Reihenschaltung von Widerständen 90

- Reihenschaltung von Widerstand,
Kondensator und Spule 149
- Reihenschwingkreis 155, 158
- Resonanz 155
- Resonanzbedingung 155
- Resonanzfrequenz 155, 158
- RS-FF 330

S

- Schalthysterese 335
- Schaltungen
- Abfallzeit 303
 - Anstiegszeit 303
 - digitale 285
 - kombinatorische 308
 - sequentielle 323
 - Signalübertragung 307
 - Störeinflüsse 305
 - Übertragungsleitung 339
 - Verzögerungszeit 303
- Schaltungsassistent 325
- Schaltungssynthese mit Logik-
Konverter 311
- Schaltungstransformation 107
- Scheinleistung 161, 186
- Scheinleitwert 152
- Scheinwiderstand 150
- Schieberegister 362
- 4-Bit-Rechts/Links- 365
 - Akkumulator 370
- Schleusenspannung 195
- Schmitt-Trigger 325, 335
- Schwellwertschalter 335
- SCR (silicon controlled rectifier) 391
- Serienaddition 370
- Serienübertrag 353
- Siebglied 171, 206
- Signalübertragung 307
- Signalverknüpfung 209
- Sinusoszillator 279
- Slew Rate 266
- Source-Schaltung 245
- Spannung 84
- Spannungsanpassung 117
- Spannungsbegrenzer 211
- Spannungsbegrenzung 197, 208, 211

Spannungsfolger 268
 Spannungs-Gegenkopplung 222, 233
 Spannungsstabilisierung 197, 211
 - mit Z-Diode 212
 Spannungsteiler 162
 Spannungsteiler-Regel 90
 Spannungsüberlagerung 143
 Sperrrichtung 194
 Sperrschicht-FET 245
 Sperrschicht-FET BF 256B 247
 Spike 349
 - belasteter Spannungsteiler 100
 - unbelasteter Spannungsteiler 93
 Spule 136, 143
 Stabilisierungsschaltungen 211
 Stapel-Analyse 255
 Sternpunkt 183
 Störeinflüsse bei digitalen
 Schaltungen 305
 Strangspannung 185
 Strangstrom 187
 Stromanpassung 117
 Strombegrenzung 162
 Stromflusswinkel 204
 Strom-Gegenkopplung 221, 232
 Stromrichterschaltungen 405
 Stromstärke 84
 Subtrahierer 270
 symmetrische Leitung 176

T

taktflankengesteuerte FF 332
 taktzustandsgesteuerte FF 332
 Temperaturabhängigkeit 196
 - einer Diode 196
 Temperaturanalyse, mit MULTISIM 108
 Temperaturkoeffizient 109
 Temperatur-Messbrücke 110
 T-Glied 173
 Thyristor 385, 391, 395, 403, 404, 405,
 406
 Tiefpass 170
 - 1. Ordnung 274
 - 2. Ordnung 275
 Timer-Baustein NE 555 325
 Torschaltung 208

Totem-Pole-Ausgang 295
 Transformator 161, 184, 191, 199, 200,
 202, 203, 399, 400, 407
 Transistor
 - bipolar 215
 - unipolar 245
 Transistor 2N2218 217
 Transistor BC 107BP 218
 Transistorgrundschaltung 216
 Transistor-Schalter 285
 Transitfrequenz 266
 Triggerschaltung 323
 Tristate-Ausgang 295
 T-Schaltung 167
 TS-Schaltkreis 293
 TTL-Schaltkreis 294

U

U7A 358
 Überlagerung 142
 - von Wechselspannungen 142
 Überlagerungsmethode 124
 Übernahmeverzerrung 254
 Übertragungsfaktor 165
 Übertragungsfunktion 287
 Übertragungsleitung 306, 339
 Übertragungsmaß 165
 Übertragungsverhalten 165
 - der Leitungen 306
 ULTIBOARD 17
 Umlaufspeicher 362
 UNDCD-Bargraph-Anzeige 314
 UND-Funktion 210
 unipolare Transistoren 245
 Univibrator 327
 unsymmetrische Belastung 189

V

Verdopplerschaltung 207
 Verkettung 184
 Verknüpfungsschaltung 308
 Verlustfaktor 154, 155
 Verstärker 222
 - mit Gegenkopplung 228
 - MOSFET 249

- ohne Gegenkopplung 223
 - zweistufiger Verstärker 235
 - Verstärkerbetrieb 217
 - Verstärkungsfaktor 222, 225, 232, 234, 265-267
 - Verzögerungszeit 303
 - Vierkanaloszilloskop 202
 - Vier-Kanal-Oszilloskop 304
 - Vierleiter-Netz 184
 - Vierpol 165, 167, 169
 - Kettenschaltung 169
 - symmetrisch 167
 - unsymmetrisch 167
 - virtuelle Verbindung 374
 - Volladdierer 321
 - Vorwärts-/Rückwärtszähler 355
 - Vorwiderstand 212
- W**
- Wahrheitstabelle 291, 309
 - Wechselspannung 142, 143
 - Wechselstrom 138
 - Wechselstrombrücke 178, 179
 - Wechselstromkreis 138
 - Wechselstromschaltungen 155
 - äquivalente 160
 - Wechselstromzündung 397, 398, 399
 - Wellenwiderstand 165, 168
 - Wheatstonsche Messbrücken 104
 - Widerstand 143
 - Widerstandsschaltungen 97
 - Wien-Robinson-Brücke 280, 282
 - Wired-AND-Funktion 300
 - Wirkleistung 143, 144, 161, 186
 - Wirkungsgrad 121
 - Wirkwiderstand 143
 - WORST-CASE-ANALYSE 289

Z

- Zähler 340
 - Bereichszähler 349
 - Binärzähler 340
 - dekadische Vorwärts-/Rückwärtszähler 355
 - Dezimalzähler 347

- mehrstufiger 354, 355
- Modulo-m-Zähler 347
- Parallelübertrag 353
- programmierbare 355
- Rückwärtszähler 345
- Serienübertrag 353
- synchroner 352
- Verzögerungszeit 352, 353
- Vorwärtszähler 345
- Zählkapazität 353
- Z-Diode 92, 211
- Zeitkonstante 130, 136, 175
- zeitmultiplexe Übertragung 368
- Zündwinkel 396, 401, 402, 403, 406
- Zustandstabelle 292, 366
- Zweipol 84
- Zweipuls-Brückenschaltung 408
- Zweipulsgleichrichtung 199
- Zweirichtungsdioden 385
- Zweirichtungs-Thyristordiode 385
- Zweitore 165