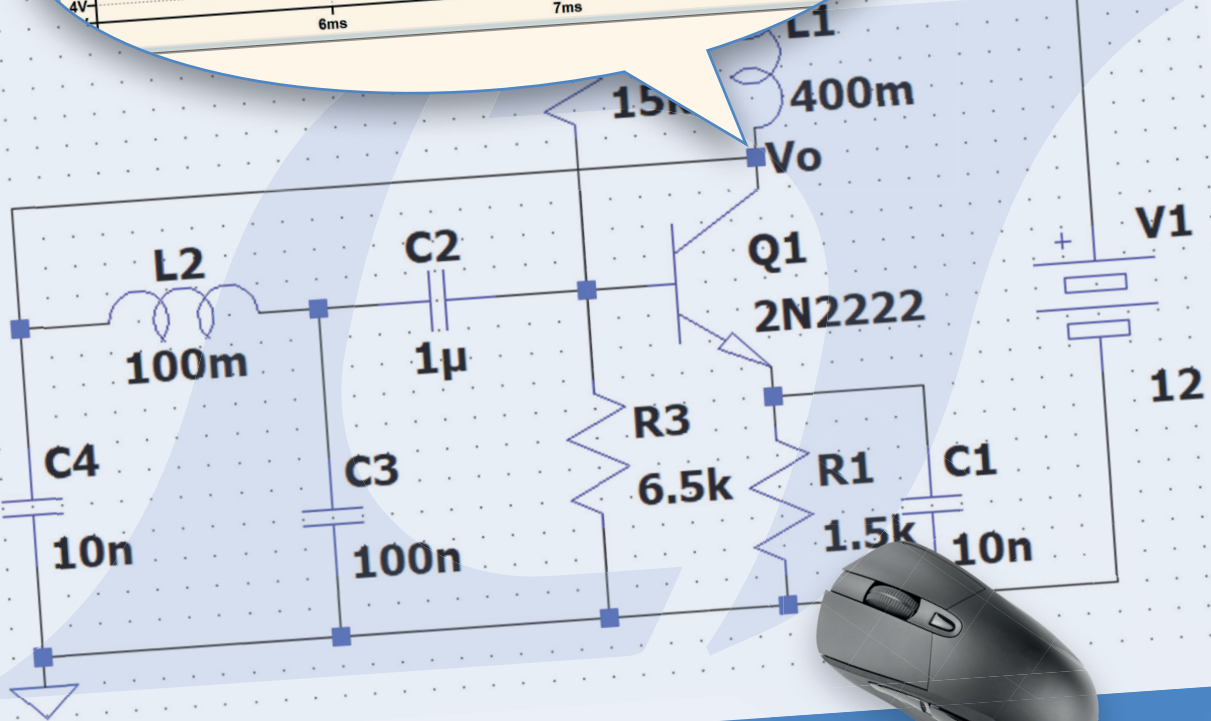
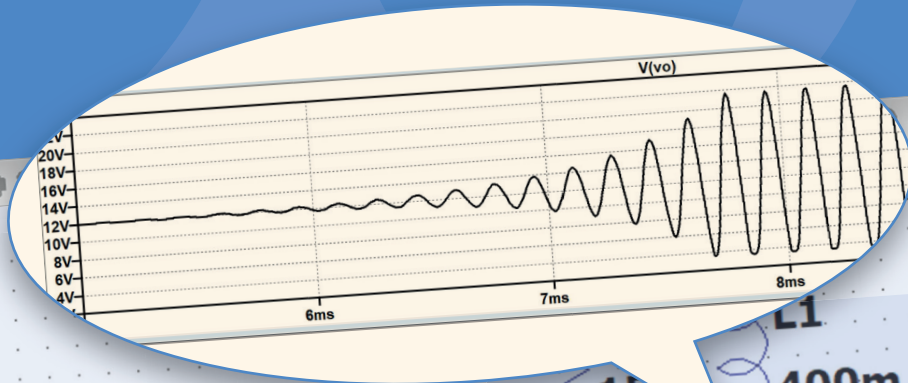


LTspice Grundlagen

Eine Einführung in die Schaltungssimulation



Dogan Ibrahim

LTspice Grundlagen

Eine Einführung in die Schaltungssimulation



Dr. Dogan Ibrahim

● © 2025: Elektor Verlag GmbH, Aachen.

1. Auflage 2025

● Alle Rechte vorbehalten.

Die in diesem Buch veröffentlichten Beiträge, insbesondere alle Aufsätze und Artikel sowie alle Entwürfe, Pläne, Zeichnungen und Illustrationen sind urheberrechtlich geschützt. Ihre auch auszugsweise Vervielfältigung und Verbreitung ist grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung des Herausgebers gestattet.

Die Informationen im vorliegenden Buch werden ohne Rücksicht auf einen eventuellen Patentschutz veröffentlicht. Die in diesem Buch erwähnten Soft- und Hardwarebezeichnungen können auch dann eingetragene Warenzeichen sein, wenn darauf nicht besonders hingewiesen wird. Sie gehören dem jeweiligen Warenzeicheninhaber und unterliegen gesetzlichen Bestimmungen.

Bei der Zusammenstellung von Texten und Abbildungen wurde mit größter Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag, Herausgeber und Autor können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen.

Für die Mitteilung eventueller Fehler sind Verlag und Autor dankbar.

● Erklärung

Autor und der Verlag haben ihr Bestes getan, um die Richtigkeit der in diesem Buch enthaltenen Informationen sicherzustellen. Sie übernehmen keine Haftung und lehnen hiermit jegliche Verantwortung gegenüber Dritten für Verluste oder Schäden ab, die durch Fehler oder Auslassungen in diesem Buch verursacht wurden, unabhängig davon, ob diese Fehler oder Auslassungen aus Fahrlässigkeit oder aus anderen Gründen resultieren..

● **ISBN 978-3-89576-682-4** Print

ISBN 978-3-89576-683-1 eBook

● Satz und Aufmachung: D-Vision, Julian van den Berg | Oss (NL)

Übersetzung: Markus Freund

Druck: Ipskamp Printing, Enschede (NL)

Elektor Verlag GmbH, Aachen

www.elektor.de

Elektor ist die weltweit wichtigste Quelle für technische Informationen und Elektronik-Produkte für Maker, Ingenieure und Elektronik-Entwickler und für Firmen, die diese Fachleute beschäftigen. Das internationale Team von Elektor entwickelt Tag für Tag hochwertige Inhalte für Entwickler und DIY-Elektroniker, die über verschiedene Medien (Magazine, Videos, digitale Medien sowie Social Media) in zahlreichen Sprachen verbreitet werden. www.elektor.de

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1 • Einführung	11
1.1 Warum simulieren?	11
1.2 Elektroniksimulation.	13
1.3 Der LTspice Simulator.	13
1.3.1 Schematic Capture	14
1.3.2 DC-Analyse	14
1.3.3 AC-Analyse	14
1.3.4 Transientenanalyse	14
1.3.5 Darstellung der Ergebnisse	14
1.3.6 Rauschanalyse	15
1.3.7 Fourieranalyse (FFT)	15
1.3.8 Simulation digitaler Schaltungen	15
1.3.9 Analyse mittels Laplacetransformation	15
1.3.10 Expression Editor	15
1.3.11 AC Sweep	15
1.3.12 DC Sweep	15
1.3.13 Parametersweep	15
1.3.14 SPICE-Modelle	15
1.3.15 Netzliste	15
1.3.16 Onlinehilfe	16
Kapitel 2 • Die ersten Schritte mit LTspice.	17
2.1 Übersicht	17
2.2 Installation von LTspice mit Windows	17
2.3 Start von LTspice	17
2.4 Erstellung eines neuen Schaltplans	18
2.5 Simulatoreinstellungen.	28
2.6 Beispielschaltungen	28
2.6 Onlinehilfe	28
Kapitel 3 • Einführung in die Schaltungsanalyse und -simulation mit Gleichspannungen	29

3.1 Übersicht	29
3.2 Einfache Schaltung mit vier Widerständen	29
3.3 Eine komplexere Widerstandsschaltung	33
3.4 Ein Spannungsteiler – Sweep einer Gleichspannung.	36
3.5 Spannungsteiler – Sweep eines Widerstandswertes	38
3.6 Die Verlustleistung in einem Gleichspannungskreis	40
3.7 Zeitlicher Verlauf einer RC-Schaltung	42
3.8 Zeitlicher Verlauf einer RLC-Schaltung	44
3.9 Eingangswiderstand, Ausgangswiderstand und Übertragungsfunktion	49
Kapitel 4 • Einführung in die Schaltungsanalyse und -simulation mit Wechselspannungen.	53
4.1 Übersicht	53
4.2 RC-Schaltung	53
4.3 RL-Schaltung.	54
4.4 RLC-Schaltung.	55
4.5 Satz des Thévenin – Wechselstromanalyse	58
4.6 Dreiphasige Schaltungen	61
4.6.1 Sternschaltung mit Widerstandslasten.	62
4.6.2 Sternschaltung mit Widerstands- und Induktivitätslasten.	64
4.7 Gegeninduktivität	65
4.7.1 Eine Schaltung mit Gegeninduktivität	65
4.8 Verwendung eines Transformators	67
4.9 Frequenzdurchlauf.	68
4.10 Fast Fourier Transform (FFT)	70
4.11 Eingangs- & Ausgangsimpedanz und Verstärkung	71
Kapitel 5 • Schaltungen mit Dioden.	78
5.1 Übersicht	78
5.2 Einweggleichrichter	78
5.3 Brückengleichrichter	80
5.4 Brückengleichrichter mit einem Transformator	82
5.5 Spannungsregler mit Z-Diode	84
5.6 Klemmdiode	86

5.7 Spannungsvervielfacher	87
5.8 UI-Kennlinie einer Diode	90
Kapitel 6 • Entwurf, Simulation und Analyse mit Transistoren	92
6.1 Übersicht	92
6.2 Bipolartransistor (BJT) Ausgangskennlinienfeld	92
6.3 Verstärker in Emitterschaltung – Analyse	93
6.4 Verstärker in Emitterschaltung – Entwurf	96
6.5 Audioleistungsverstärker	98
6.5.1 Simulation eines Klasse A Audioleistungsverstärkers	100
6.5.2 Klasse AB Audioleistungsverstärkers	101
6.6 Der Bipolartransistor im Schalterbetrieb	104
6.7 JFET-Verstärker in Sourceschaltung	105
6.8 MOSFET Ausgangskennlinienfeld	108
Kapitel 7 • Thyristoren, Diacs und Triacs – Import eines SPICE-Modells	110
7.1 Übersicht	110
7.2 Thyristoren, Diacs und Triacs	110
7.2.1 Triac-Diac Phasenanschnittsteuerung	111
7.3 Einfügen eines Potentiometers – Verwendung eines Potentiometermodells	115
Kapitel 8 • Oszillatoren	118
8.1 Übersicht	118
8.2 Sinusförmiger Oszillator mit Transistor	118
8.2.1 Colpitts-Oszillator	118
8.2.2 Hartley-Oszillator	120
8.3 Sinusförmige Oszillatoren mit Operationsverstärkern	121
8.3.1 Phasenschiebersoszillator	122
8.3.2 Wien-Brücken-Oszillator	125
8.3.3 Colpitts-Oszillator	128
8.3.4 Hartley-Oszillator	129
8.4 Rechteckgenerator mit Operationsverstärker	131
8.5 Der 555 Timerbaustein	133
8.5.1 Astabiler Multivibrator mit dem 555	133
8.5.2 Blinkende LED	134

8.5.3 Metronom	136
8.5.4 Parametersweep.	137
Kapitel 9 • Simulation von verschiedenen Analogschaltkreisen	140
9.1 Übersicht	140
9.2 Der LT1086 Spannungsregler	140
9.3 10 V am Ausgang	141
9.4 DC Boost-Converter.	142
9.5 Simulation eines Optokopplers	143
9.6 Operationsverstärker mit Single Supply	144
9.7 Durchlauf eines Widerstandswerts	145
Kapitel 10 • Filter – Erstellung von Blöcken mit Subcircuits	147
10.1 Übersicht	147
10.2 Tiefpassfilter	147
10.3 Werkzeug für den Entwurf eines Filters.	148
10.3.1 Aktive Tiefpassfilter.	149
10.4 Subcircuits – Block eines Tiefpassfilters zweiter Ordnung	153
10.4.1 Verwenden des Filterblocks	154
10.5 Übergabe von Parametern in Subcircuits.	155
10.5.1 Verwendung des programmierbaren Blocks	156
10.6 Erstellung eines eigenen Symbols	158
10.7 LTspice Filterbibliothek	160
Kapitel 11 • Digitale Bausteine	161
11.1 Übersicht	161
11.2 Digitale Bausteine	161
11.3 Halbaddierer mit Logikgattern	161
11.4 Volladdierer mit zwei Halbaddierern	163
11.5 Import der 74HC Familie.	165
11.6 Multiplexer mit zwei Eingängen	168
11.7 4 Bit Binärzähler	170
11.8 Mehrere Eingänge	171
11.9 Volladdierer.	172

11.10 Monostabile Kippstufe	173
11.11 Rechteckgenerator	175
Kapitel 12 • SPICE-Modelle	177
12.1 Übersicht	177
12.2 Die Struktur von SPICE-Modellen.	177
12.3 Passive Bauteile.	177
12.4 Aktive Bauteile	179
12.4.1 Dioden.	179
12.4.2 Bipolartransistoren	181
12.4.3 MOSFETs	182
12.4.4 Erstellen eines neuen Diodenmodells.	183
12.5 Logikgatter	185
12.6 SPICE-Direktiven	185
Kapitel 13 • Nützliche Werkzeuge und Funktionen	188
13.1 Übersicht	188
13.2 Erzeugen von Dreieck- und Sägezahnspannungen	188
13.3 Erzeugen von beliebigen periodischen Spannungsverläufen.	190
13.4 Der spannungsgesteuerte Schalter.	192
13.5 Simulation basierend auf einer Laplace-Transformation	193
Anhang A – SPICE-Modelle von Drittanbietern	197
Index	201

Vorwort

In allen Bereichen der Elektrotechnik und Elektronik ist eine Simulation von Schaltkreisen unerlässlich. Studierende setzen dabei das Gelernte aus ihren Kursen in die Praxis um und erhalten dadurch die Möglichkeit die komplexe Theorie in anwendungsbezogenen Experimenten umzusetzen. Praktizierende Ingenieure simulieren und optimieren elektronische Schaltungen bevor diese zum Testen aufgebaut werden.

Im Bereich der Elektrotechnik und Elektronik ist die Schaltungstheorie ein Kernfach und grundlegender Bestandteil in den Fächern der Ingenieurausbildung. Üblicherweise müssen für die Versuche in einem Entwicklungslabor Messgeräte und Elektronikbauteile gekauft und zusammengebaut werden um Schaltungen für Versuche und eine Validierung aufzubauen. Es ist normal, besonders in der Entwicklungsphase, dass die Bestimmung der Bauteile für einen Aufbau kostspielig und manchmal auch schwierig sein kann. Eine Schaltung zu simulieren ist viel billiger und schneller. Bauteile und Messinstrumente können nicht zerstört werden und sind in beliebiger Stückzahl verfügbar.

LTspice wurde von Mike Engelhardt entwickelt und gehört nun zu Analog Devices. Es handelt sich dabei um ein Zeichnungsprogramm für Schaltungen, einen leistungsstarken, schnellen und kostenlosen SPICE-Simulator sowie eine Anzeige von Kurvenverläufen mit einer großen Datenbank an Bauteilen, die weltweit mit SPICE-Modellen unterstützt wird. Mit LTspice kann man einfach und schnell einen Schaltplan zeichnen. Dank der leistungsfähigen Grafikfunktionen kann man sich die Spannungen und Ströme in einer Schaltung und die Leistungsaufnahme der Bauteile und vieles mehr anzeigen lassen.

LTspice ist ein leistungsfähiges Werkzeug zur Simulation von elektronischen Schaltungen mit vielen Funktionen und Möglichkeiten. All diese im Detail zu behandeln ist im Umfang dieses Buches nicht möglich. Deshalb werden in diesem Buch die gängigsten Themen wie DC- und AC-Analyse, Parametersweep, Übertragungsfunktionen, Oszillatoren, Diagramme, etc. dargestellt. Wenngleich dieses Buch eine Einführung in LTspice ist, deckt es die meisten Interessensgebiete derjenigen ab, die sich mit der Simulation von elektronischen Schaltungen befassen.

Das Buch richtet sich an Elektroingenieure und Elektronikentwickler, Studierende, Lehrer und Bastler. Im Buch werden viele getestete Simulationen gezeigt. Die Leser benötigen keine Programmierkenntnisse, doch ist es hilfreich, wenn Sie mit den Grundlagen des Schaltkreisentwurfs und deren Funktionsweisen vertraut sind. Diejenigen, die tiefer in die Materie eintauchen möchten, finden umfangreiche Tutorials, Artikel, Videos, Dateien mit Schaltungen und SPICE-Modelle von Schaltkreisen im Internet.

Alle in diesem Buch verwendeten Simulationsbeispiele befinden sich als herunterladbare Dateien auf der zugehörigen Webseite dieses Buches. Die Leser sind eingeladen diese Beispiele zum Lernen zu verwenden oder sie für ihre eigenen Anwendungen zu verändern. Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen dieses Buches und dass Sie LTspice für Ihr nächstes elektrisches/elektronisches Simulationsprojekt verwenden.

Prof. Dogan Ibrahim