



Leseprobe

Gerald Zickert

Leiterplatten

Stromlaufplan, Layout und Fertigung Ein Lehrbuch für Einsteiger

ISBN (Buch): 978-3-446-44289-4

ISBN (E-Book): 978-3-446-44416-4

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44289-4>

sowie im Buchhandel.

Vorwort

Das vorliegende Lehrbuch entstand im Zusammenhang mit den Vorlesungen *Leiterplattenentwurf* und *Aufbau- und Verbindungstechnik* im Hauptstudium der Studiengänge Informationstechnik und Kraftfahrzeugelektronik.

Die Elektronik ist unser ständiger Begleiter sowohl im beruflichen wie im privaten Umfeld. Wesentlicher Teil elektronischer Geräte ist die Leiterplatte, die mit großem Abstand das häufigste Verbindungselement der Elektronik darstellt.

Der Entwurf einer Leiterplatte beginnt mit dem Stromlaufplan, der in symbolischer Form bereits alle Bauelemente und deren Verbindungen untereinander und nach außen enthält. Mit diesen Informationen werden unter Nutzung eines Leiterplatten-Layoutsystems die Bauelemente angeordnet und Verbindungen in Form von Leitern gelegt. Dabei sind zahlreiche Restriktionen in Bezug auf die künftige Fertigung zu beachten. Der Entwurf mündet in die Erstellung der Fertigungsdaten.

Auf Basis dieser Daten werden zunächst die Leiterplatten strukturiert und für die Weiterverarbeitung vorbereitet. Danach werden die elektronischen Bauelemente bestückt und gelötet. Damit diese Fertigungsschritte kostengünstig und fehlerfrei ausgeführt werden können, müssen sie bereits beim Entwurf berücksichtigt werden, weshalb der Konstrukteur auch fertigungstechnische Kenntnisse benötigt.

Die Nutzung eines CAD-Systems ist selbstverständlich und wird produktneutral und ohne Einschränkung auf die Bedienung eines speziellen Systems dargestellt.

Ziel dieses Lehrbuches ist es, vor allem Einsteigern den Prozess des Leiterplattenentwurfes durchgängig von der Aufgabenstellung über Layout und Fertigung bis zur funktionsfähigen Leiterplatte zu vermitteln. Ein durchgängiges und leicht verständliches Beispiel dient der Illustration.

Ich danke dem Fachbuchverlag Leipzig und besonders Frau Franziska Jacob für die Anregung zu diesem Buch und für die Betreuung dieses Projektes.

Zwickau, Januar 2015

Gerald Zickert

Inhalt

1	Grundlagen der Konstruktion	11
1.1	Technische Zeichnungen	11
1.2	Ablauf und Methoden der Konstruktion	12
1.2.1	Entwurfsprozess	13
1.2.2	Konstruktionsprozess	13
1.2.3	Elektrokonstruktion	14
1.3	Normung	16
1.3.1	Begriff und Inhalt technischer Normen	16
1.3.2	Rechtliche Stellung der Normen	17
1.3.3	Normungsgremien	18
1.4	Rechnerunterstützte Konstruktion	19
1.4.1	Computer Integrated Manufacturing (CIM)	19
1.4.2	Inhalte der rechnerunterstützten Konstruktion	21
1.4.3	Rechnerunterstützte Konstruktion in der Elektrotechnik	23
2	Regeln für das Anfertigen von Stromlaufplänen	27
2.1	Grundlegende Gestaltungshinweise	27
2.1.1	Formatsystem und Faltungsregeln	27
2.1.2	Standardschriftfeld	29
2.1.3	Linienarten	30
2.2	Grafische Symbole für Schaltunterlagen	31
2.2.1	Grundsätze der Symbolik	31
2.2.2	Binäre Elemente	32
2.2.3	Analoge Elemente	38
2.2.4	Bibliotheken im CAD-System	38
2.3	Stromlaufplan	41
2.3.1	Gestaltung und Inhalt	43
2.3.2	Anordnung der Stromkreise	44
2.3.3	Verteilte Darstellung	46
2.3.4	Referenzkennzeichen	47
2.3.5	Anschlusskennzeichnung	51
2.3.6	Angaben an Verbindungen	52
2.4	Stückliste	53

3	Aufbauprinzipien	58
3.1	Leiterplatten	58
3.1.1	Materialien für Leiterplatten	59
3.1.2	Lagenzahl	60
3.2	Weitere Schaltungsträger	61
3.2.1	Hybrid-Schaltkreise	61
3.2.2	Multi Chip Modul (MCM)	63
3.2.3	Dreidimensionale Schaltungsträger	64
3.3	Bauelemente	65
3.3.1	Bauelemente für Durchsteckmontage	65
3.3.2	Bauelemente für Oberflächenmontage	66
3.3.3	Chip on Board	71
3.3.4	Footprintbibliothek im CAD-System	72
3.4	Wärmeabführung	77
3.4.1	Physikalische Grundlagen	77
3.4.2	Dimensionierung eines Kühlkörpers	81
4	Leiterbildentwurf	84
4.1	Ausgangspunkt	85
4.2	Vorbereitung	86
4.2.1	Kontrolle und Vervollständigung der Footprintbibliothek	86
4.2.2	Optionen einstellen	87
4.3	Bauelemente platzieren	90
4.3.1	Floorplanning	90
4.3.2	Manuelles Platzieren	91
4.3.3	Automatisches Platzieren (Autoplacer)	93
4.3.4	Optimieren von Platzierung und Packaging	93
4.4	Leiter legen (interaktives Routing)	95
4.4.1	Werkzeuge	96
4.4.2	Reihenfolge	97
4.4.3	Routinghinweise	99
4.4.4	Abschließende Arbeiten	101
4.5	Autorouter	102
4.6	Multilayer	102
4.6.1	Durchkontaktierungen	102
4.6.2	Multilayeraufbau	103
4.7	Eigenstörsicherheit	105
4.7.1	Kopplungen und Gegenmaßnahmen	106
4.7.2	Hinweise zur Layoutgestaltung	108
4.7.3	Impedanzdefinierte Leiterplatte	108
4.8	Abgeleitete Unterlagen	115
4.8.1	Bohrplan	117
4.8.2	Bestückungsplan	117
4.8.3	Beschriftungszeichnung	118
4.8.4	Lötmaskenzeichnung	119

4.8.5	Lotpastenzeichnung	120
4.9	Übungsaufgaben zum Layout	122
5	Produktionsdaten	126
5.1	Leiterbild	126
5.1.1	Gerber-Datenformat	128
5.1.2	Extended-Gerber-Datenformat	130
5.2	Ergänzende Produktionsdaten	131
5.2.1	Bohrdaten	131
5.2.2	Bestückungsdaten	132
5.2.3	Daten für Serviceaufdruck	133
5.2.4	Daten für den Lötmaskendruck	134
5.2.5	Daten für den Lotpastendruck mit Schablone	135
6	Leiterplattenfertigung	137
6.1	Ablauf der Leiterplattenfertigung	137
6.2	Subtraktive Leiterbildstrukturierung	139
6.2.1	Leiterbildstrukturierung mit dem Siebdruckverfahren	140
6.2.2	Leiterbildstrukturierung mit Fotodruck	141
6.2.3	Unterätzung	142
6.3	Fräs-Bohr-Plotter	143
6.4	Multilayer	144
6.5	Bohrungen und Durchkontaktierungen	146
6.6	Oberflächen	148
6.6.1	Metallische Oberflächen	148
6.6.2	Lötmaske	148
6.6.3	Serviceaufdruck	148
7	Baugruppenfertigung	151
7.1	Bauteile (SMD) bestücken	151
7.1.1	Bestückungsautomat	151
7.1.2	Bauteile kleben	152
7.2	Lötverfahren	154
7.2.1	Lot, Flussmittel und Lotpaste	155
7.2.2	Wellenlöten	158
7.2.3	Reflowlöten	163
7.3	Leitkleben	170
7.4	Gehäuse	171
7.4.1	Aufgaben des Gehäuses	171
7.4.2	Gehäuse aus dem 19-Zoll-Aufbausystem	173
8	Lösungen	180

Formelzeichen 193

Glossar 195

Literatur und Normen 203

Index 207

2

Regeln für das Anfertigen von Stromlaufplänen

Als erster Schritt des Leiterplattenentwurfes muss in das Layoutsystem eingegeben werden, welche Bauelemente benutzt werden sollen und wie deren Anschlüsse miteinander zu verbinden sind. Am gebräuchlichsten für diese Aufgabe ist der Stromlaufplan, da er genau diese Angaben enthält und zusätzlich die Schaltung funktional dokumentiert. Für die Erfassung des Stromlaufplanes enthält jedes Layoutsystem ein passendes Modul, welches häufig „CAPTURE“ genannt wird.



Der Stromlaufplan dokumentiert die Schaltung funktional und ist der Ausgangspunkt für den Leiterplattenentwurf.

Im Mittelpunkt dieses Kapitels steht deshalb der Stromlaufplan als die zentrale planerische Unterlage der Elektrotechnik. Weitere Unterlagen der Elektrokonstruktion sind in [ZICK13] beschrieben.

■ 2.1 Grundlegende Gestaltungshinweise

Die folgenden Hinweise für die Gestaltung von Stromlaufplänen sind allgemeingültig und damit auch für weitere technische Unterlagen zutreffend.

2.1.1 Formatsystem und Faltungsregeln

Formatsystem (DIN EN ISO 216)

Die Blattgrößen werden nach einfachen Regeln, den *Grundsätzen des Formatsystems* gebildet:

- Die Fläche des Ausgangsformates (A0) beträgt 1 m^2 .
- Die Ableitung weiterer Formate erfolgt durch Halbieren.
- Die Formate sind geometrisch ähnlich, sie haben das gleiche Seitenverhältnis.
- Das Seitenverhältnis beträgt eins zu Wurzel aus zwei.

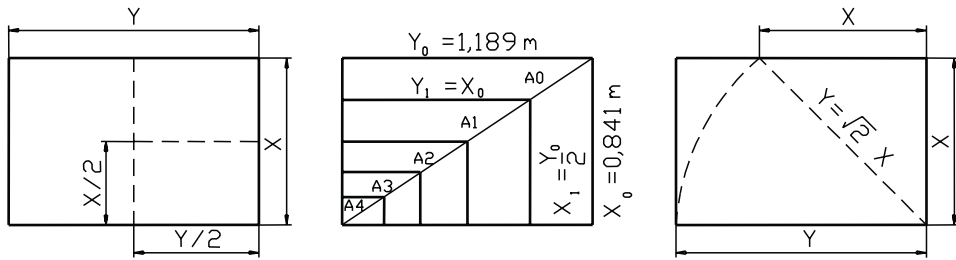


Bild 2.1 Grundsätze des Formatsystems

Daraus ergeben sich folgende Abmessungen für das beschnittene Blatt (Fertigblatt). Zusätzlich sind die Maße der Zeichenfläche (ohne Zeichnungsrand) und die Abmessungen des unbeschnittenen Blattes (mit zusätzlichem Rand) angegeben.

Tabelle 2.1 Papier-Endformate der A-Reihe [DIN EN ISO 5457]

Blattgrößen Reihe A	Beschnittenes Blatt (Maße in mm)	Zeichenfläche (Maße in mm)	Unbeschnittenes Blatt (Maße in mm)
A 0	841 × 1189	821 × 1159	880 × 1230
A 1	594 × 841	574 × 811	625 × 880
A 2	420 × 594	400 × 564	450 × 625
A 3	297 × 420	277 × 390	330 × 450
A 4	210 × 297	180 × 277	240 × 330

Anwendung in der Elektrotechnik

Das Format ist so auszuwählen, dass die Schaltung in ihrem Umfang unter Berücksichtigung von Verständlichkeit und Lesbarkeit auf dem Blatt platziert werden kann. Hierbei hat sich jedoch zunehmend die Aufteilung umfangreicher Schaltungen auf mehrere Seiten durchgesetzt. Diese Seiten können in gleicher Wertigkeit „nebeneinander“ liegen oder Bestandteil einer Projekthierarchie sein.

Damit werden in der Elektrotechnik das Format A3 (oft auf A4 verkleinert gedruckt) und das Format A4 am häufigsten genutzt.

Faltung auf Ablageformat (DIN 824)

Je nach Art der Zeichnungsablage stehen drei *Faltungssysteme* zur Verfügung:

- Form A mit herausgefaltetem Heftrand,
- Form B mit angeklebtem Heftrand,
- Form C ohne Heftrand für die Aufbewahrung, z. B. in Klarsichthüllen.

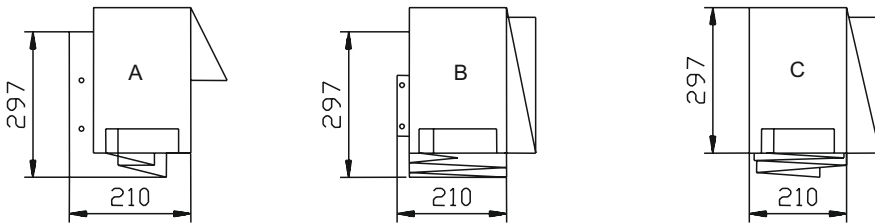


Bild 2.2 Varianten der Faltung

Die *Faltungsregeln* ergeben sich aus einfachen und sinnvollen Grundsätzen:

- Das Schriftfeld ist ohne Entfalten sichtbar (liegt oben).
- Das Entfalten ist ohne Ausheften möglich (Formen A und B).
- Es wird auf das Format A4 gefaltet, evtl. mit Heftrand.
- Die Faltung wird erst längs, dann quer ausgeführt.

In der Elektrotechnik wird neben dem Format A4 vorzugsweise das Format A3 mit der Faltung nach Bild 2.3 angewendet.

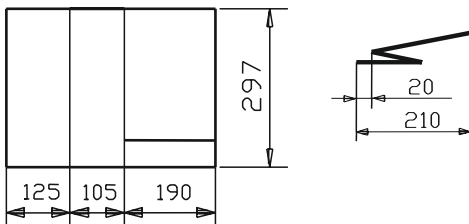


Bild 2.3 Faltung für A3 nach Form A

2.1.2 Standardschriftfeld

In DIN EN ISO 7200 werden beispielhaft zwei Schriftfeldvarianten zur Anwendung in allen Arten von Dokumenten auf allen Gebieten der Ingenieurwissenschaften angegeben. Neben diesen Beispielen werden nur wenige und sinnvolle Vorgaben gemacht, was einen großen Gestaltungsspielraum ermöglicht.

Verantw. Abt.	Techn. Referenz	Dokumentenart	Dokumentenstatus		
	Erstellt durch:				
	Genehmigt von:				
			Änd.	Ausgabedatum	Spr. Blatt

Bild 2.4 Schriftfeld nach DIN EN ISO 7200 in Kompaktform

Dieses Standardschriftfeld ist auch für den Bereich des Leiterplattenentwurfes anwendbar, berücksichtigt jedoch nicht dessen spezifische Anforderungen. Hierzu zählt, dass es sich häufig um eine Dienstleistung handelt, womit zwei Unternehmen (Auftraggeber und Auftragnehmer) im Schriftfeld mit Firmennamen und unterschiedlichen Zeichnungsnummern eingetragen werden. Der vorhandene Spielraum ermöglicht aber passende Schriftfelder zu gestalten.

2.1.3 Linienarten

Grundsätzlich werden die Pläne der Elektrotechnik in *schwarzer Farbe* auf weißem Hintergrund und mit überwiegend *einheitlicher Linienbreite* angefertigt. Die Linienbreite ist in Abhängigkeit von Größe und Inhalt der Zeichnung aus der Reihe (.../0,25/0,35/0,5/0,7/1,0/1,4/2,0/...) auszuwählen, wobei schmale, breite und sehr breite Linien zueinander im Breitenverhältnis 1 : 2 : 4 liegen sollen. Zusätzlich wird zwischen Volllinie, Strichlinie und Strich-Punkt-Linie unterschieden.

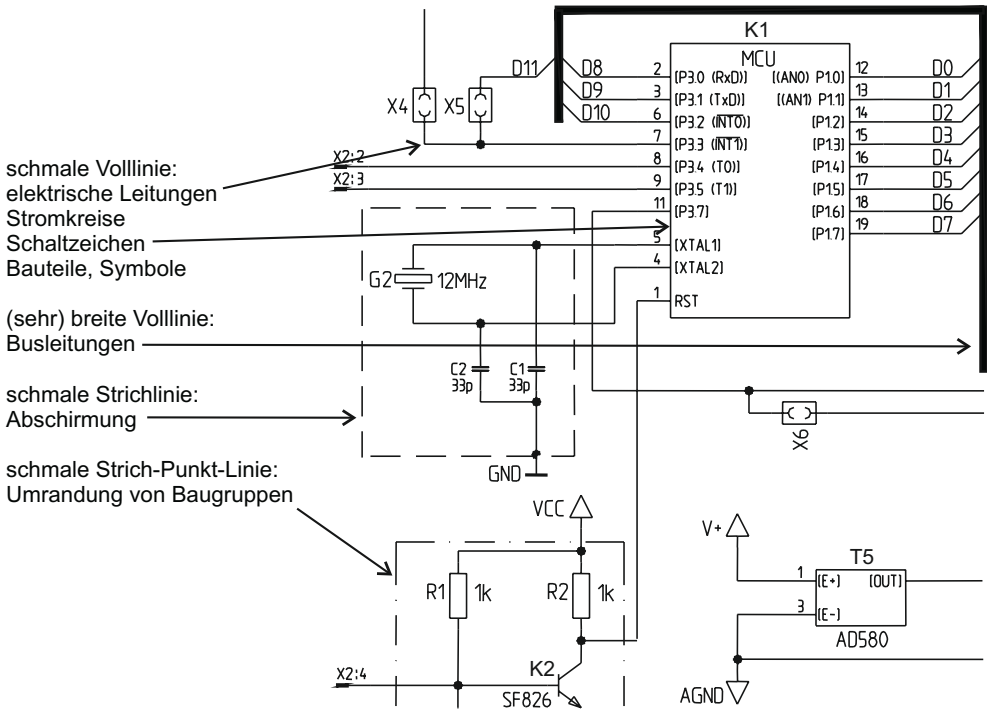


Bild 2.5 Anwendung der Linienarten

2.2 Grafische Symbole für Schaltunterlagen



Schaltzeichen sind Symbole, Grafiken o. Ä. zur Darstellung elektrischer oder elektronischer Bauelemente und Einrichtungen.

2.2.1 Grundsätze der Symbolik

Die Symbolik stellt dabei die elektrische Eigenschaft ohne Berücksichtigung der Geometrie oder des mechanischen Aufbaus dar. Die wichtigsten Symbole sind in DIN EN 60617 enthalten. Zusätzlich ist es möglich, mit Elementen der genormten Symbole neue Schaltzeichen zu bilden.

Sind für eine *Anwendung* mehrere Symbole angegeben, werden bei der Auswahl nachstehende Regeln beachtet:

- Es wird die einfachste Form gewählt, die für die beabsichtigte Aufgabe ausreichend ist.
- Soweit angegeben, wird die bevorzugte Form genutzt.
- Die Symbolverwendung muss im gesamten Zeichnungssatz einheitlich sein.

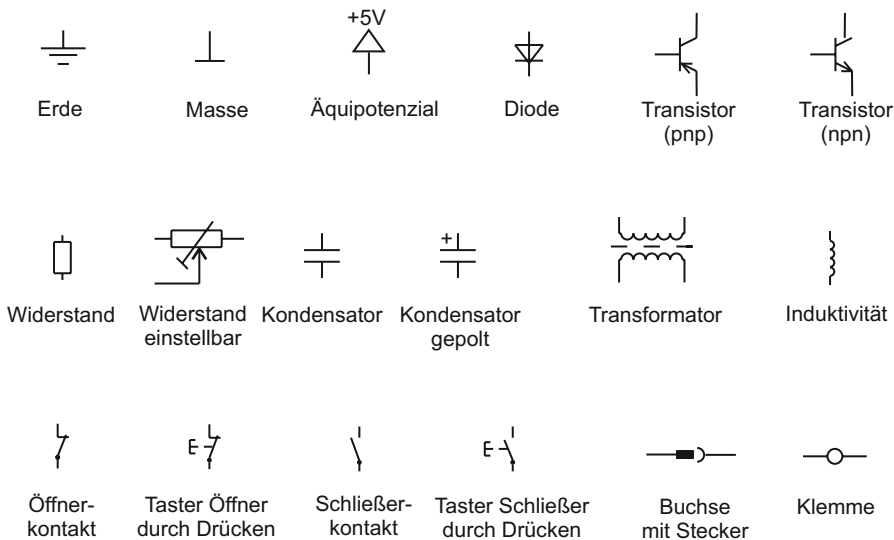


Bild 2.6 Beispiele für Symbole

Hinsichtlich der *Ausführung* ist das Folgende zu beachten:

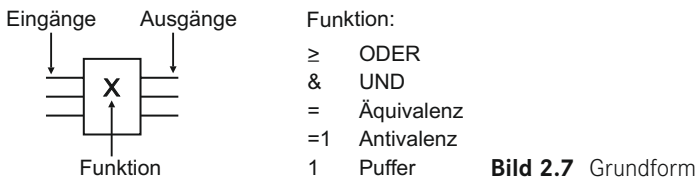
- Die Darstellung erfolgt im ausgeschalteten bzw. stromlosen Zustand.
- Die Symbole werden im gesamten Zeichnungssatz in gleicher Größe dargestellt. Hier von abweichend, ist es möglich, durch Vergrößerung auf besonders wichtige Symbole hinzuweisen oder durch Verkleinerung das Symbol als nachrangig darzustellen.

- Symbole werden vorzugsweise senkrecht oder waagrecht angeordnet. Für Brückenschaltungen ist auch die Drehung in 45°-Schritten möglich. Jedes Symbol kann gespiegelt werden.
- Die Linien, Texte und Flächen werden schwarz dargestellt. Die Linien haben überwiegend die gleiche Linienbreite.

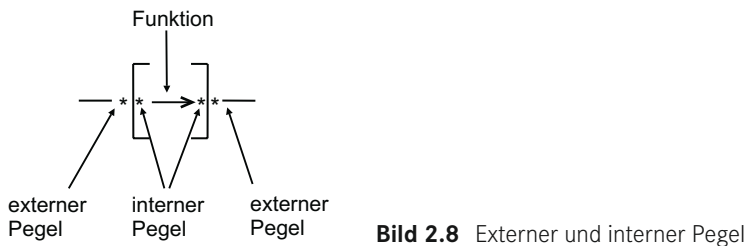
2.2.2 Binäre Elemente

Durch die Anwendung einfacher Bildungsregeln nach DIN EN 60617-12 ist es möglich, binäre Elemente selbst zu gestalten bzw. vorgegebene Darstellungen korrekt zu interpretieren.

Die *grundlegende Form* des Symbols für ein binäres Element ist ein Rechteck. Im Rechteck wird die logische Funktion angegeben, links sind die Eingänge, rechts sind die Ausgänge.



Es werden *grafische Anschlusskennzeichnungen* verwendet, wenn es eine Signalwandlung zwischen externem und internem Pegel gibt.



Für die Anschlusskennzeichnung stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung.

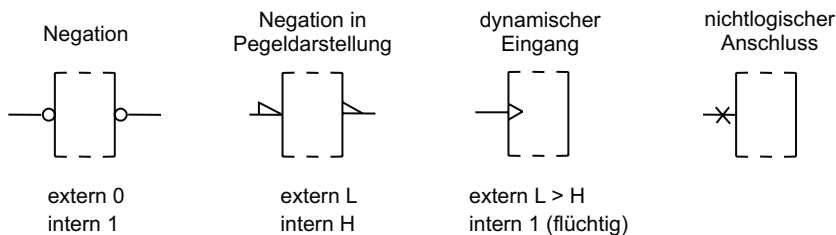


Bild 2.9 Beispiele für grafische Anschlusskennzeichnungen

Zusätzlich zu diesen grafischen Anschlusskennzeichnungen wird die Funktion des jeweiligen Anschlusses durch eine Buchstabenkennzeichnung, das *Funktionsanschlusskennzeichen*, angegeben.

Tabelle 2.2 Beispiele für Funktionsanschlusskennzeichnungen

Buchstabenkennzeichnung	Beschreibung	Buchstabenkennzeichnung	Beschreibung
R, S	Rücksetz-, Setzeingang	EN	Freigabe-Eingang (Enable)
J, K	Eingänge am J-K-Trigger	→, ←	Schiebeeingang (re., li.)
D	Eingang am D-Trigger	+, -	Zähleingang (vor, zurück)

Zusätzlich können Abhängigkeiten zwischen den Anschlüssen gekennzeichnet werden.

Kombination von Elementen

Unter bestimmten Bedingungen können zur Platzersparnis oder zur besseren Übersichtlichkeit die Darstellungen binärer Elemente miteinander und ineinander kombiniert werden. Diese Kombination ist jedoch nicht für alle binären Schaltungen, sondern nur für komplexe und in dieser Kombination handelsübliche Schaltkreise möglich.

Wenn zwischen den Elementen *keine Logikverbindung* besteht und sie nebeneinander im Signalfluss liegen, können sie „vertikal“ aneinandergesetzt werden. Haben die Elemente die gleiche Funktion, muss diese nur im ersten Element angegeben werden.

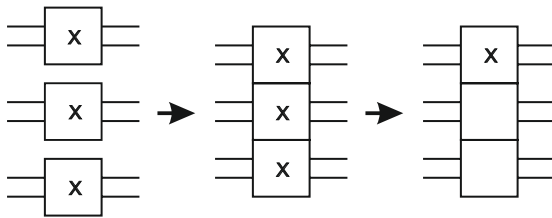


Bild 2.10 Kombination von Elementen (vertikal)

Wenn zwischen den Elementen *mindestens eine Logikverbindung* besteht und sie damit im Signalfluss hintereinander liegen, können sie „horizontal“ aneinandergesetzt werden und so einen gemeinsamen Block bilden.

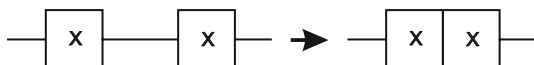


Bild 2.11 Kombination von Elementen (horizontal)

Haben die miteinander kombinierten Elemente ein gemeinsames Steuersignal, so wird dieses an einen zusätzlichen *Steuerblock* gelegt, der vorzugsweise am oberen Ende der Kombination platziert wird. Das Element, das dem Steuerblock am nächsten liegt, ist das niederwertigste Element¹ der Anordnung.

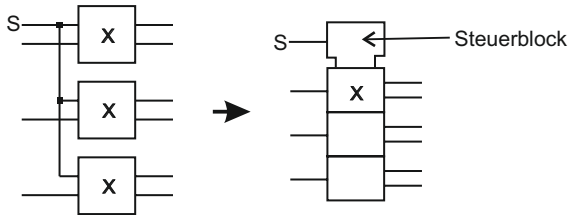


Bild 2.12 Steuerblock

Ist ein gemeinsamer, von allen Elementen der Kombination abhängiger Ausgang vorhanden, wird dieser am *Ausgangsblock* dargestellt. Der Ausgangsblock wird am Ende der Anordnung, gegenüber dem evtl. vorhandenen Steuerblock, angeordnet. Alternativ kann er auch im Steuerblock platziert werden.

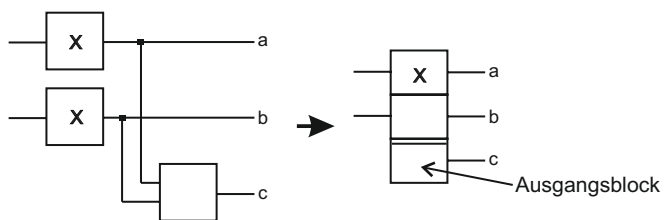


Bild 2.13 Ausgangsblock

Kennzeichnung von Abhängigkeiten

Diese Kennzeichnung erlaubt die Darstellung von Beziehungen zwischen Eingängen und zwischen Ausgängen ohne explizite Angabe der entsprechenden logischen Elemente und Verbindungen. Die Kennzeichnung von Abhängigkeiten wird nur bei komplexen und handelsüblichen Schaltkreisen angewendet.

Hierzu erfolgt die

- Kennzeichnung der *steuernden Anschlüsse* (Ein-, Ausgänge) mit einem Buchstaben für die Funktion und einer Kennzahl und die
- Kennzeichnung der *gesteuerten Anschlüsse* (Ein-, Ausgänge) mit der gleichen Kennzahl (mehrere durch Komma getrennt).

Die Abhängigkeiten werden zusätzlich zu eventuellen Funktionsanschlusskennzeichen angegeben.

¹ Im binären Zahlensystem $2^0 = 1$

Index

3D-MID 64
3D-Molded Interconnect Devices 64
19-Zoll-Aufbausystem 173

A

Abbruchstelle 52
Abhängigkeit 34
Ablageformat 28
Aktivator 157
analoges Element 38
Analyse 13
anisotrop leitfähiger Klebstoff 171
Anschlussform
- Ball Grid Array 70
- BGA 70
- Gull-Wing 69
- J-Lead 69
- Land Grid Array 70
- LGA 70
Anschlusskennzeichnung 51, 52
- Funktions- 33
- Produkt- 51
ANSI 19, 195
Aufgabenstellung 14
Aufkupfern 147
Aufschwimmen 167
Autoplacer 93
Autorouter 102

B

Ball Grid Array 70, 168
Bauelement
- Chip Scale Package 70
- CSP 70
- Durchsteckmontage 65
- Flat Chip 67
- MCM 70

- MELF 67
- Metal Electrode Face Bonded 67
- Multi Chip Modul 70
- Oberflächenmontage 66
- Plastic Leaded Chip Carrier 69
- PLCC 69
- QFP 69
- Quad Flat Pack 69
- Small Outline Integrated Circuit 69
- Small Outline Transistor 68
- SO-IC 69
- SOT 68
- Surface Mounted Device 66
- Through Hole Technology 65
Baugruppe 174
Baugruppenträger 174
Bauteilliste 85
Bestückung
- automatisch 151
- halbautomatisch 151
- Hand- 151
Bestückungsautomat 151
Bestückungsdaten 132
BGA 70, 168
Bibliothek 38
- Footprint- 72
- Symbol- 40
- Typ- 40
binäres Element 32
bleifreies Lot 156
Blendentabelle 128
Blind-Via 103
Bohrdaten 131
Bohrplan 117
Braunoxidieren 145
Buried-Via 103

C

CAD 19, 20
CAE 20
CAM 20
CAP 20
CAQ 20
CEN 18
CENELEC 18
Chemisch-Zinn 148
Chip on Board 71
Chip Scale Package 70
Chip & Wire 71
CIM 20
coated Microstrip 112
COB 71
Cofired Ceramic 63
Computer Aided Design 19, 20
Computer Aided Engineering 20
Computer Aided Manufacturing 20
Computer Aided Planning 20
Computer Aided Quality Assurance 20
Computer Integrated Manufacturing 20
coplanar Impedance 110
CSP 70

D

Darstellung
- verteilte 43, 44
Design Rule Check 101
Desmear 146
differential-coplanar Impedance 110
differential Impedance 110
digitales Element 32
DIN 18
Dispensen 154, 164
DKE 18
DRC 101
dual Stripline 114
Durchkontaktierung 102, 146
- blinde 103
- durchgehende 103
- verdeckte 103

E

Eigenstörsicherheit 105
Einbaubedingung 14
elektrische Konsistenzprüfung 102
Elektro-CAD 23
elektromagnetische Verträglichkeit 105
embedded Microstrip 111
EMV 105
Enterprise-Resource-Planning 20
Entwurfsprozess 13
ERP 20
Europakarte 177
eutektischer Punkt 155
Excellon-Format 131
Extended-Gerber-Datenformat 130

F

Faltung 28
Faltungsregel 29
FED 19
Fertigungsdaten 126
Flat Chip 67
Flip Chip 71
Floorplanning 90
Flussmittel 156
- Aktivator 157
- Flussmittelbasis 157
- Klassifizierung 157
Fluxer
- Schaum- 159
- Sprüh- 160
Footprint 72, 86
Footprintbibliothek 72
Format 28
Formatsystem 27
- A-Reihe 27
Fotodruck 141
Fotoresist 141
Fräs-Bohr-Plotter 143
FR-Klassifizierung 59
Frontplatte 175
Funktionsanschlusskennzeichen 33

G

galvanische Kopplung 106
Gate-Swapping 93
Gehäuse 171, 174
GenCAD-Format 132
geometrische Abstandsprüfung 101
Gerber-Datenformat 128
- Blendentabelle 128
- Extended- 130
- Formatparameter 129
Gestaltung 15
Grabsteineffekt 166
Gull-Wing 69

H

HAL 148
Handbestückung 151
Höheneinheit 176
Hot Air Leveling 148
Hybrid-Schaltkreis 61
- Cofired Ceramic 63
- Dickschichttechnik 61
- Dünnschichttechnik 62

I

IEC 18
Impedance
- coplanar 110
- differential 110
- differential-coplanar 110
- single ended 110
impedanzdefinierte Leiterplatte 108
Impedanzklasse 110
Impedanztyp 110
induktive Kopplung 107
Infrarotlöten 165
IPC 19
ISO 18
Isolationsfräsen 143
Isolierstoffträger
- flexibel 60
- starr 59
isotrop leitfähiger Klebstoff 170

J

J-Lead 69

K

kapazitive Kopplung 106
Klebepunkt 152
Klebstoff
- anisotrop leitfähiger 171
- isotrop leitfähiger 170
Klebstoffauftrag 153
Konstruktion 13
- rechnerunterstützte 19
Konstruktionsphasen 13
Konstruktionsprozess 13
Konvektion 78, 79
Konvektionslöten 165
Kopplung 105
- galvanische 106
- induktive 107
- kapazitive 106
- Strahlungs- 107
Kühlkörper 81

L

Lage
- Entwurfs- 88, 116
- Leiterplatten- 60, 87, 88
- Signal- 60, 88
- Versorgungs- 60, 88
Land Grid Array 70
Lastenheft 14, 180
Layoutsystem 24
Legierung 155
Leiter 59
Leiterabstand 89
Leiterbildstrukturierung 139
Leiterbreite 88
Leiter legen 95
- automatisch 102
- interaktiv 95
- Regeln 99
- Reihenfolge 97
- Werkzeuge 96
Leiterplatte 58, 175
- doppelseitig 60

- einseitig 60
- impedanzdefinierte 108
- Mehrlagen- 60, 103
- Leiterplattenentwurf 24
- Leitkleben 170
- LGA 70
- Linienart 30
- Liquidustemperatur 155
- Lot 155
 - bleifrei 156
- Lotbrücke 162
- Löten 154
 - BGA 168
 - Dampfphasen- 166
 - Infrarot- 165
 - Konvektions- 165
 - Reflow- 163
 - Selektiv- 161
 - Wellen- 158
- Lotfänger 162
- Lötfehler
 - Aufschwimmen 167
 - Grabsteineffekt 166
 - Lotbrücke 162
 - Reflowlöten 166
 - Schatteneffekt 163
 - Wellenlöten 162
- Lötmaske 134, 148
- Lötmaskenzeichnung 119
- Lotpaste 158
- Lotpastenauftrag 164
- Lotpastendruck 135
- Lotpastenzeichnung 120
- Lötprofil
 - Reflowlöten 165
 - Wellenlöten 161
- Lötwellen 160

M

- Mapping 40, 45
- MCM 63, 198
- MELF 67
- Metal Electrode Face Bonded 67
- Microstrip 110
- mil
 - 1/1000\ 59

- Multi Chip Modul 63, 198
- Multilayer 60, 103, 144
- Multilayer-Bauplan 105, 145

N

- Negativ-Verfahren 140, 142
- NEMA 19
- Netzliste 85
- Norm 16
- Normung 16
- Normungsarbeit 16
- Normungsgremien 18

O

- Oberfläche
 - Chemisch-Zinn 148
 - Heißverzinnung 148
- Originalzeichnung 11

P

- Pad 76
- Padstack 76, 86
- Pastenauftrag
 - Klebstoff- 153
 - Lot- 164
- PCB 58
- PDM 20
- Pflichtenheft 14, 180
- Pin-Swapping 93
- Plan 12
- Plastic Leaded Chip Carrier 69
- Platzieren 90
 - automatisches 93
- Platzierungsraster 88
- PLCC 69
- PLM 20
- Positiv-Verfahren 140, 141
- PPS 20
- Prepreg 103
- Printed Circuit Board 58
- Printed Wiring Board 58
- Product-Lifecycle-Management 20
- Produktanschlusskennzeichen 51
- Produktdatenmanagement 20
- Produktionsdaten 126

Produktionsplanung und -steuerung 20
Projektmanagement 14
PWB 58

Q

QFP 69
Quad Flat Pack 69

R

Raster
- Platzierungs- 88
- Routing- 88
Rechnerunterstützte Konstruktion 19
Referenzkennzeichnung 47
- Kennbuchstabe 48
- Produktaspekt 48
- Zählnummer 50
Reflowlötten 163
Resist 141
- Negativ- 141
- Positiv- 141
RoHS 156
RoHS-2 156
Routing 95
- Auto- 102
- interaktiv 95
- Regeln 99
- Reihenfolge 97
- Werkzeuge 96
Routingraster 88

S

Schablonendruck 153, 164
Schaltschrank 174
Schaltzeichen 31, 40
Schatteneffekt 163
Schaumfluxer 159
Schriftfeld 29
Schutzgas
- Reflowlötten 165
- Wellenlötten 161
Selektivlötten 161
Serviceaufdruck 133, 148
Siebdruck 140, 153, 164
Sieb&Meyer-Format 131

single ended Impedance 110
single Stripline 113
Skizze 11
Small Outline Integrated Circuit 69
Small Outline Transistor 68
SMD 66
SO-IC 69
Solidustemperatur 155
SOT 68
Spannungsversorgung 45
- Schaltkreise 45
- Zweileitersystem 45
Sprühfluxer 160
Steckplatte 174
Steckverbinder 175
Stempelverfahren 153
Strahlungsaustauschkonstante 81
Strahlungskopplung 107
Stripline 110
Stromlaufplan 24, 43
- Anordnung der Stromkreise 44
- Inhalt 44
Strukturierung
- Fotodruck 141
- Leiterbild- 139
- Siebdruck 140
Stückliste 53
Surface Microstrip 110
Surface Mounted Device 66
Symbol 31, 40
- analoges Element 38
- Anwendung 31
- Ausführung 31
- Ausgangsblock 34
- binäres Element 32
- Steuerblock 34
Symbolbibliothek 40
Synthese 13

T

technische Zeichnung 11
Teilungseinheit 176
Temperatur
- Liquidus- 155
- Solidus- 155
thermischer Widerstand 78

Through Hole Technology 65
THT 65
Typbibliothek 40

U

Umgebungsbedingung 14
Unterätzung 143
Unterlagen der Elektrotechnik 12

V

Verbindung
- Abbruchstelle 52
Verfahren
- Negativ- 140, 142
- Positiv- 140, 141
verteilte Darstellung 43, 44
Via 102
- Blind- 103
- Buried- 103
- Through-Hole- 103

Vorheizung
- Reflowlöten 165
- Wellenlöten 160

W

Wärmeabführung 77
Wärmeleitung 78, 79
Wärmestrahlung 78, 80
Wärmestrom 78
Wärmeübergangskoeffizient 80, 81
Wellenlöten 158
Widerstand
- thermischer 78

Z

Zeichenregel 12
Zeichnung
- technische 11
Zustandsdiagramm 155