Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 53 (1962)

Heft: 18

Artikel: Logische Schaltungen mit Transistoren und Dioden

Autor: Bachmann, A.E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916970

Damit hat sich aber der Kreis geschlossen, denn es folgt nun zwangsläufig die Frage, wie diese technischen Forderungen bzw. die Werkstoffeigenschaften gemessen werden sollen, damit der Vergleich ermöglicht wird.

In Abschnitt 1 wurde gezeigt, dass für viele der interessierenden Grössen noch kein befriedigendes Mass gefunden wurde und die interessierenden Daten in den meisten Fällen noch nicht gemessen wurden. Abschnitt 3 hat wohl demonstriert, dass Konstruktion, Werkstoffwahl und Verwendung untrennbar verquickt sind, doch konnte kein Schlüssel zum Ausfüllen der Solltabellen angegeben werden.

Zweifellos ist schon viel erreicht, wenn man sich wenigstens über die qualitativen Zusammenhänge im Klaren ist und dieser Erkenntnis auch praktisch Rechnung trägt, aber es sollte nun auf Grund dieser Erkenntnisse versucht werden, die interessierenden Grössen in zunehmendem Masse auch quantitativ zu erfassen.

Das ist ein sehr umfangreiches Programm, das nicht in wenigen Jahren bewältigt werden kann. Aber durch systematische Untersuchungen wird man sich dem erstrebten Ziel allmählich nähern.

Literatur

[1] *Plechl, O.:* Die Kontaktwärme als Kriterium für die Bemessung der Strombahnen elektrischer Schaltgeräte. Elin-Z. 3(1951)2, S. 53...56.

[2] *Holm, R.:* Electric Contacts Handbook. 3. Aufl. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1958.

[3] *Keil, A.:* Werkstoffe der elektrischen Kontakte. Berlin. Göttingen, Heidelberg: Springer 1960.

[4] *Millian, K.* und *W. Rieder:* Kontaktwiderstand und Kontaktoberfläche. Z. angew. Phys. 8(1956)1, S. 28...34.

[5] *Rieder, W.:* L'échauffement des contacts sur l'appareillage de couplage et les jonctions de barres omnibus. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 16. Session 1956, Bd. 2, Rapp. 124.

[6] *Hilgarth, G.:* Über die Grenzstromstärken ruhender Starkstromkontakte. ETZ-A 78(1957)6, S. 211...217.

[7] *Rieder, W.:* Leistungsbilanz der Elektroden und Charakteristiken frei brennender Niederstrombögen. Z. Phys. 146(1956)5, S. 629...643.

[8] *Suggs, A. M.:* An Electrical Contact Testing Machine. ASTM Bull. —(1942)119, S. 25...30.

[9] *Merl, W.:* Stoffwanderung an Gold- und Gold-Nickel-Kontaktstücken. ETZ-A 77(1956)7, S. 201...205.

[10] *Zielasek, G.:* Zur Feinwanderung in elektrischen Abhebekontakten. Arch. Elektrotechn. 43(1957)4, S. 249...275.

[11] *Browne, T. E.:* Extinction of Short A-C. Arcs. Trans. AIEE 50(1931)4, S. 1461...1464; Diskussion: S. 1464...1465.

[12] *Rieder, W.* und *P. Sokob:* Probleme der Lichtbogendynamik: Rasche Strom- und Längenänderungen von Lichtbögen. Sci. Electr. 5(1959)3, S. 93...112.

[13] *Rieder, W.* und *H. Schneider:* On the Reignition of A-C. Arcs. Proc. IV. Internat. Conf. Jonization Phenomena in Gases 1959, S. 397...401.

[14] *Jussila, J.* und *W. Rieder:* A-C. Arc Reignition in a Transverse Magnetic Field. Proc. V. Internat. Conf. Jonization Phenomena in Gases 1961, I, S. 1082...1087.

[15] *Ramberg, W.:* Über den Mechanismus des elektrischen Lichtbogens. Ann. Phys. 12(1932)3, S. 319...352.

[16] *Eidinger, A.* und *W. Rieder:* Das Verhalten des Lichtbogens im transversalen Magnetfeld (Magnetische Blasung). Arch. Elektrotechn. 43(1957)2, S. 94...114.

[17] *Rieder, W.:* Die technisch-wirtschaftliche Bedeutung und die Probleme des Schalterbaus. Techn. Rdsch. 53(1961)41, S. 17...19; 45, S. 37...45.

Adresse des Autors:

Dr. W. *Rieder*, AG Brown, Boveri & Cie., Baden (AG).

Logische Schaltungen mit Transistoren und Dioden [1])

Von *A. E. Bachmann*, Bern

621.316.31 : 519.1 : 621.382.2/.3

Ausgehend von den logischen Verknüpfungen der Schaltalgebra wird ein einfaches Beispiel mit der Lösung einer logischen Aufgabe besprochen. Daran anschliessend werden zuerst die logischen Grundschaltungen UND, ODER und NICHT, sowie auch einige gebräuchliche erweiterte logische Schaltungen wie NOR-, UND-NICHT-, EXKLUSIVE-ODER-Schaltung eingeführt. Einige kurze Bemerkungen über die Folgelogik, ferner die Arbeitsgeschwindigkeit, Störeinflüsse, Zuverlässigkeit und den Materialaufwand beschliessen den Artikel.

En partant des liaisons logiques de l'algèbre de la commutation, l'auteur discute de la solution d'un problème logique, à l'aide d'un exemple simple. Il passe ensuite aux couplages logiques de base ET, OU et NON, ainsi qu'à quelques couplages logiques plus complexes, tels que NOR, ET-NON, EXCLUSIF-OU. Il termine son exposé par quelques brèves remarques au sujet de la logique séquentielle, de la vitesse de travail, des influences perturbatrices, de la sécurité de fonctionnement et du matériel nécessaire.

1. Einleitung

Ein Schalter kann normalerweise nur offen oder geschlossen sein; ein Flip-Flop kann nur einen von zwei möglichen Zuständen einnehmen; ein Impuls kann in seiner einfachsten Umschreibung nur vorhanden oder nicht vorhanden sein. Die logische Schaltungstechnik beruht deshalb auf zwei streng diskreten Zuständen. Sie ist in ihrem Wesen binär. Auch die Aussagen der Logik sind binär, denn sie können nur «wahr» oder «falsch» sein. Aus diesem Zusammenhang folgt der Name «logische Algebra» für die Schaltalgebra.

Die Algebra der Logik wurde vor mehr als 100 Jahren durch den Mathematiker *G. Boole* [1] [2]) begründet. Im Jahre 1938 machte *C. E. Shannon* in seiner Diplomarbeit am MIT Untersuchungen über den Aufbau von Netzwerken mit Schaltern [2]. Er verwendete dazu die Algebra der Logik und wurde so in jungen Jahren der Begründer der heutigen Schaltalgebra.

Die gebräuchlichsten Systeme für logische Operationen (Kombinationslogik) basieren auf dem Vorhandensein oder Nichtvorhandensein eines bestimmten Gleichspannungspegels (DC-Logik) oder eines Impulses (Impuls-Logik). Die einzelnen Grundschaltungen sind bei beiden Systemen ähnlich aufgebaut.

Im folgenden werden vorwiegend Gleichspannungsschaltungen untersucht. Die Umdeutung auf die entsprechende Impulsschaltung ist stets sehr einfach.

2. Schaltalgebra

Die zweiwertige Schaltalgebra [3]...[6] dient zur Abkürzung von Aussagen über den Zustand eines Schaltsystems. Die ternäre Schaltalgebra [7] befasst sich mit jenen Systemen, wo das einzelne Schaltelement drei Zustände einnehmen kann.

2.1 Grundlegende logische Verknüpfungen

Es ist üblich, einfachere logische Zusammenhänge mit Hilfe der sog. Kombinations- oder Wahrheits-

[1]) Nach *E. R. Hauri* und *A. E. Bachmann*, Grundlagen und Anwendungen der Transistoren, Generaldirektion PTT, Bern 1962, Kapitel 13 (gekürzt).

[2]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

tabellen (truth tables) zu definieren. Wie dies gemeint ist, zeigt das erste Beispiel der Konjunktion.

Als Wahrheitswert sei «1» verwendet (andere Vorschläge: L, W, ∞, $\overline{0}$, 0) und als Falschwert «0» (andere Vorschläge: F, 1). Die Variablen (Eingänge) werden z. B. mit $x_1, x_2, \ldots$ und die Funktion (Ausgang) mit y bezeichnet. Jede Variable kann nur die beiden Werte 0 und 1 annehmen. Deshalb hat jede Wahrheitstabelle 2^n Zeilen.

2.1.2 Konjunktion (UND-Schaltung)

Satz 1: Die Konjunktion (Zeichen $\cdot$) ist dann und nur dann wahr, wenn beide Variable x_1 und x_2 wahr sind.

Dieser Satz folgt unmittelbar aus der Wahrheitstabelle von Figur 1a. Er wird in der Form von Gl. (1) abgekürzt geschrieben. Ein einfachstes Beispiel einer UND-Schaltung mit gewöhnlichen Kontakten ist in derselben Figur 1c dargestellt. Satz 1 lautet dort:

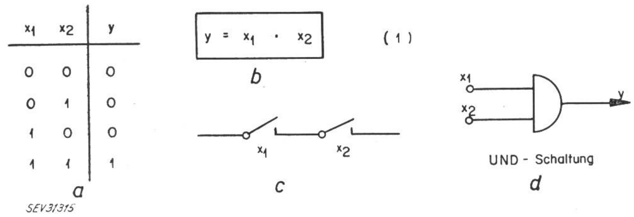


Fig. 1
Konjunktion
a Wahrheitstabelle; *b* Schreibweise; *c* Kontaktnetzwerk; *d* graphisches Symbol

Die Schalterkombination von Figur 1c ist dann und nur dann geschlossen (1), wenn beide Schalter x_1 und x_2 geschlossen (1) sind.

Figur 1d zeigt das graphische Symbol für die Konjunktion.

Der Name UND-Schaltung (auch UND-Tor, UND-Gatter, AND-Gate) wird praktisch universell verwendet. Seltener wird von einem Koinzidenzgatter sowie Mal-Tor gesprochen.

2.1.2 Disjunktion (ODER-Schaltung)

Satz 2: Die Disjunktion (Zeichen $+$) ist dann wahr, wenn eine der beiden Variablen x_1 oder x_2, oder beide zusammen wahr sind (Fig. 2).
Die ODER-Schaltung gibt dann ein Ausgangssignal (1), wenn einer der beiden Eingänge x_1 oder x_2 oder beide zusammen ein Signal (1) aufweisen.

Die Bezeichnung ODER-Schaltung (ODER-Tor, ODER-Gatter, OR-Gate) ist wieder praktisch universell. Seltener wird Mischgatter sowie PLUS-Tor verwendet.

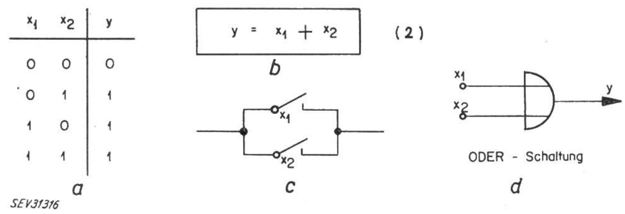


Fig. 2
Disjunktion
a Wahrheitstabelle; *b* Schreibweise; *c* Kontaktnetzwerk; *d* graphisches Symbol

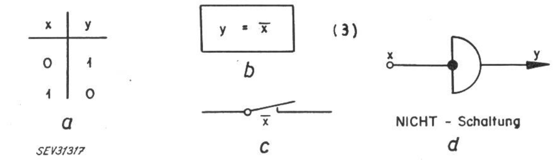


Fig. 3
Negation
a Wahrheitstabelle; *b* Schreibweise; *c* Kontaktnetzwerk; *d* graphisches Symbol

2.1.3 Negation (NICHT-Schaltung)

Die NICHT-Schaltung (Negator, Umkehrverstärker, NOR-Gate) ist ein Inverter. Das Eingangssignal wird in sein Gegenteil verkehrt, dann erscheint es am Ausgang (Fig. 3).

2.2 Zusammenhänge und Beziehungen

In den folgenden wichtigen Zusammenhängen bedeutet das Gleichheitszeichen eine Identität. Diese kann stets durch Aufstellen der Wahrheitstabelle nachgeprüft werden.

Kommutatives Gesetz:

$$x_1 + x_2 = x_2 + x_1 \quad (4)$$

$$x_1 \cdot x_2 = x_2 \cdot x_1 \quad (5)$$

Assoziatives Gesetz:

$$(x_1 + x_2) + x_3 = x_1 + (x_2 + x_3) \quad (6)$$

$$(x_1 \cdot x_2) \cdot x_3 = x_1 \cdot (x_2 \cdot x_3) \quad (7)$$

Distributives Gesetz:

$$x_1 \cdot (x_2 + x_3) = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_3 \quad (8)$$

$$(x_1 + x_2) \cdot (x_1 + x_3) = x_1 + (x_2 \cdot x_3) \quad (9)$$

De Morgans Theorem:

$$\overline{x_1 + x_2} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \quad (10)$$

$$\overline{x_1 \cdot x_2} = \overline{x_1} + \overline{x_2} \quad (11)$$

Diese Zusammenhänge werden bei der Umformung von Funktionen benötigt. Wichtig sind die distributiven Gesetze und das De Morgan-Theorem.

Als besonders wichtige Sonderfälle der allgemeinen Gesetze seien die folgenden erwähnt.

$$\overline{1} = 0 \qquad \overline{0} = 1 \quad (12)$$

$$x_1 + x_1 = x_1 \qquad x_1 \cdot x_1 = x_1 \quad (13)$$

$$x_1 + 1 = 1 \qquad x_1 \cdot 1 = x_1 \quad (14)$$

$$x_1 + \overline{x_1} = 1 \qquad x_1 \cdot \overline{x_1} = 0 \quad (15)$$

$$\overline{\overline{x_1}} = x_1 \qquad x_1 + x_1 \cdot x_2 = x_1 \quad (16)$$

Mit Hilfe aller dieser Beziehungen können die meisten Funktionen der Schaltalgebra stark vereinfacht werden.

2.3 Anwendungsbeispiel

Die eingeführte Systematik lässt sich auf beliebige Systeme mit binären Elementen anwenden, z. B. auf Schaltkontakte von Relais. Bezeichnet man mit x_1 einen normalerweise offenen Schaltkontakt (Arbeitskontakt), dann ist $\overline{x_1}$ ein normalerweise geschlossener Schaltkontakt (Ruhekontakt). Es bedeutet ferner «1» der geschlossene und «0» somit der offene Zustand des Schalters.

Beispiel:

Gesucht sei ein möglichst einfaches Netzwerk mit drei Schaltern x_1, x_2, x_3 zum Zünden einer Lampe wie folgt:

Die Lampe brennt immer wenn x_2 geschlossen ist oder wenn x_1 und x_3 gegengleich stehen (d. h. wenn x_1 geschlossen ist, muss x_3 offen sein und umgekehrt).

Lösung:

Die Lösung wird gefunden, indem zuerst die Kombinationstabelle aller möglichen Schalterstellungen ($2^3 = 8$) aufgestellt wird. $y = 1$ bedeutet, dass der Strompfad geschlossen ist, und die Lampe brennen kann; $y = 0$ heisst, dass die Lampe gelöscht ist.

Kombinationstabelle 2

x_1	x_2	x_3	y	Zeile
0	0	0	0	1
0	0	1	1	2
0	1	0	1	3
0	1	1	1	4
1	0	0	1	5
1	0	1	0	6
1	1	0	1	7
1	1	1	1	8

Man findet die y-Werte wie folgt:

a) Die gestellte Forderung sagt, dass $y = 1$ ist überall dort wo $x_2 = 1$ ist (Zeilen 3, 4, 7, 8).

b) Weiter ist $y = 1$ dort, wo x_1 und x_3 ungleich sind (Zeile 2, 4, 5, 7).

c) Bei den restlichen Schalterstellungen (Zeile 1, 6) ist demzufolge $y = 0$.

Das in der Kombinationstabelle 2 dargestellte Resultat lautet (Zeile um Zeile gelesen):

Die Lampe brennt, wenn: Zeile

x_1 offen und x_2 offen und x_3 geschlossen ist 2
oder
x_1 offen und x_2 geschlossen und x_3 offen ist 3
oder
x_1 offen und x_2 geschlossen und x_3 geschlossen ist 4
oder
x_1 geschlossen und x_2 offen und x_3 offen ist 5
oder
x_1 geschlossen und x_2 geschlossen und x_3 offen ist 7
oder
x_1 geschlossen und x_2 geschlossen und x_3 geschlossen ist 8

Mit Hilfe der logischen Verknüpfungen geschrieben heisst dies:

$$y = (\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3) + (\bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3) + (\bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot x_3) + + (x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3) + (x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3) + (x_1 \cdot x_2 \cdot x_3) \quad (17)$$

Unter Anwendung der Gesetze in den Gl. (4)...(16) lässt sich die Gl. (17) vereinfachen:

$$y = \bar{x}_1 \cdot (\bar{x}_2 \cdot x_3 + x_2) + x_1 \cdot (\bar{x}_3 + x_2 \cdot x_3) \quad (18)$$

$$y = \bar{x}_1 \cdot (x_2 + x_3) + x_1 \cdot (\bar{x}_3 + x_2) \quad (19)$$

$$y = x_2 + \bar{x}_1 \cdot x_3 + x_1 \cdot \bar{x}_3 \quad (20)$$

Diese Lösung in Gl. (20) ist dargestellt in der Fig. 4. In Fig. 4a ist sie eingetragen mit Hilfe der Symbole der logischen Verknüpfungen, während Fig. 4b eine tatsächliche Lösung mit Schaltkontakten zeigt.

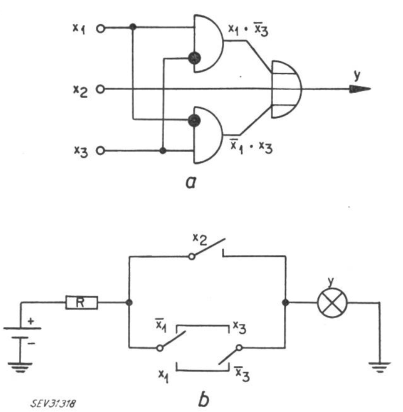


Fig. 4
Serienetzwerk mit 3 Schaltern x_1, x_2, x_3 zum Zünden der Lampe y
a logische Verknüpfung; *b* praktische Lösung mit Schaltkontakten

Diese kurze Einführung in die Schaltalgebra ist bei weitem nicht vollständig. Sie will nur zeigen, dass der Konstrukteur von Netzwerken in ihr ein Mittel hat, welches ihm erlaubt, bei der Lösung von Problemen systematisch vorzugehen.

3. Logische Grundschaltungen

Es sollen nun einige Beispiele von UND-, ODER- und NICHT-Schaltungen mit Transistoren und Dioden besprochen werden. Dabei ist zu erwähnen, dass solche Torschaltungen auch mit Vakuumröhren, Magnetkernen usw. hergestellt werden können [9].

3.1 UND-Schaltungen

Für die UND-Schaltungen (Konjunktion) gilt nach Gl. (1):

$$y = x_1 \cdot x_2$$

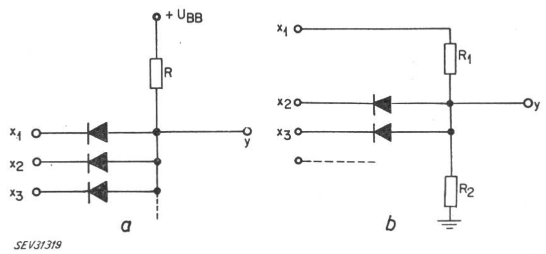


Fig. 5
UND-Schaltung mit Dioden: $y = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \ldots$
a mit externer Quelle U_{BB}; *b* ohne Quelle

Fig. 5a zeigt eine einfache UND-Schaltung mit Dioden. Der Ausgang y ist nur dann hoch, wenn die Eingänge x_1 und x_2 und x_3 und ... gleichzeitig hoch sind. Wenn nur einer der Eingänge noch tief ist, so hält dessen Diode auch den Ausgang tief. Der Zustand eines Ein- oder Ausganges wird hier und im folgenden mit «hoch» bezeichnet, wenn er gegenüber Erde ein positives Potential von z. B. $U_{BB} = +6$ V aufweist. Er ist «tief», wenn er direkt an Erde (0 V) liegt. Erst wenn alle Eingänge hoch sind, ist auch der Ausgang hoch. Man ordnet deshalb dem Zustand hoch die «1» und dem Zustand tief die «0» zu. So erhält man die Wahrheitstabelle der Konjunktion nach Gl. (1).

Fig. 5b zeigt eine UND-Schaltung, welche ohne Quellenspannung U_{BB} auskommt. Der Ausgang y ist nur hoch (1), wenn alle Eingänge hoch (1) sind. Wenn nur einer der Eingänge tief (0) ist, so ist auch der Ausgang tief (0). Dies entspricht der Konjunktion. Der Ausgang ist — je nach dem Verhältnis von R_1/R_2 — kleiner als die Eingänge, weil die Spannung $U(x_1)$ über R_1 und R_2 geteilt wird:

$$U(y) \approx U(x_1)\, R_2/(R_1 + R_2)$$

Die Anzahl der möglichen Eingänge ist wegen des Reststromes der Dioden im gesperrten Zustand begrenzt. Der totale Sperrstrom darf über dem Widerstande R (bzw. R_1) nicht einen zu grossen Spannungsabfall erzeugen, damit der Unterschied zwischen «1» und «0» gewahrt bleibt.

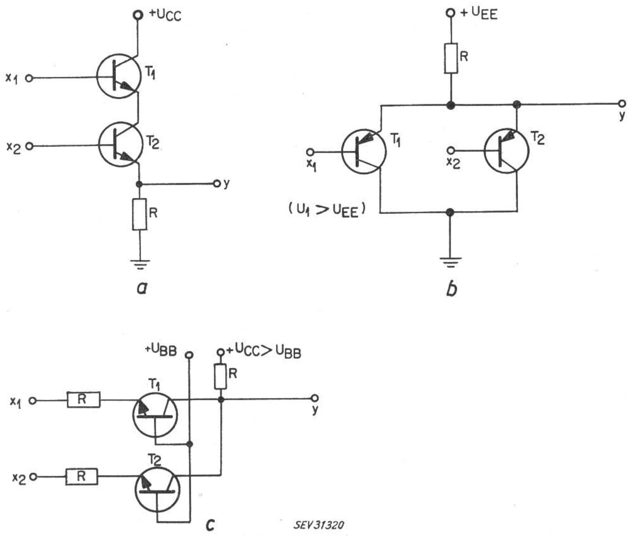


Fig. 6
UND-Schaltungen mit Transistoren: $y = x_1 \cdot x_2$
a npn-Kollektorschaltung; *b* pnp-Kollektorschaltung;
c npn-Basisschaltung

Fig. 6 zeigt drei einfache UND-Schaltungen mit pnp- und npn-Transistoren. Wieder wird die «1» durch positive Pegel dargestellt. Sie erscheint am Ausgang y der Schaltung a) nur, wenn beide Eingänge hoch sind, so dass beide Transistoren leiten. Ist noch einer tief (0), dann sperrt der betreffende Transistor, es fliesst kein Strom (nur der kleine Sperrstrom) und der Ausgang ist noch tief (0). Der Nachteil dieser Schaltung a) ist der, dass nicht allzuviele Transistoren in Serie geschaltet werden können, so dass die Zahl der maximalen Eingänge beschränkt ist. Im Falle b) tritt die «1» am Ausgang y nur auf, wenn beide Transistoren sperren.

Fig. 6c zeigt eine weitere UND-Schaltung mit npn-Transistoren in Basisschaltung (BS).

3.2 ODER-Schaltungen

Für die ODER-Schaltungen gilt die Gl. (2) der Disjunktion $y = x_1 + x_2$. Fig. 7 zeigt eine ODER-Schaltung mit Dioden, wenn die «1» wieder durch positive Spannungen dargestellt wird. Jeder der n positiven Eingänge x_1 erzeugt einen positiven Ausgang y, was gleichbedeutend ist mit der folgenden Aussage:

Der Ausgang y ist positiv (1), wenn x_1 oder x_2 oder x_3 oder . . . . . . oder alle miteinander positiv sind.

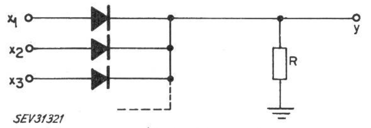


Fig. 7
ODER-Schaltung mit Dioden: $y = x_1 + x_2 + x_3 \ldots$

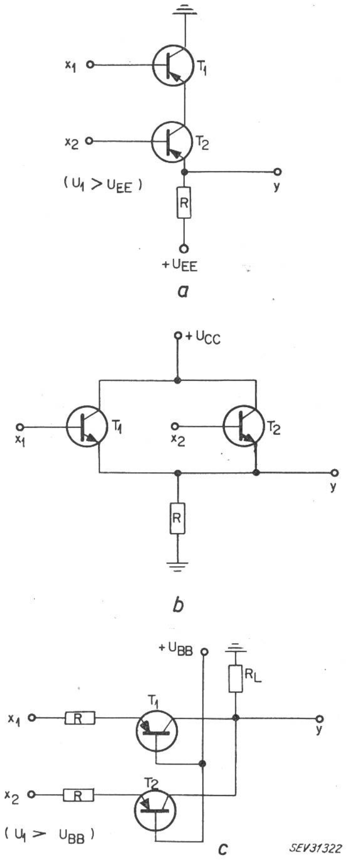


Fig. 8
ODER-Schaltungen mit Transistoren: $y = x_1 + x_2$
a pnp-Kollektorschaltung; *b* npn-Kollektorschaltung;
c pnp-Basisschaltung

Fig. 8 zeigt wieder drei einfache ODER-Schaltungen mit Transistoren, mit der Darstellung der «1» als positive Spannungswerte. Der Ausgang y in der Schaltung 8a ist hoch (1), wenn einer der beiden Eingänge x_1 oder x_2 oder beide zusammen hoch (1) sind, so dass die Transistoren sperren. Bedingung ist, dass die Eingangsspannungen $U_1 > U_{EE}$ sind.

In der Schaltung nach Fig. 8b und 8c sperren beide Transistoren, wenn die Eingänge tief (0) sind, so dass auch der Ausgang y tief (0) ist. Wenn x_1 oder x_2 oder beide hoch sind, leitet der betreffende Transistor und der Ausgang wird ebenfalls hoch (1). In der Schaltung nach Fig. 8c tritt eine Spannungsteilung zwischen R und R_L auf.

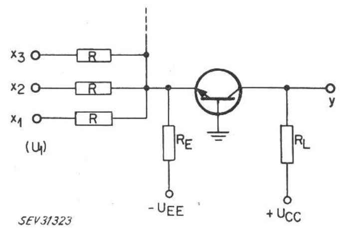


Fig. 9
ODER-Schaltung mit npn-Transistor in Basisschaltung:
$y = x_1 + x_2 + x_3 \ldots$

Wenn in der Schaltung von Fig. 9 alle Eingänge an Erde liegen, so hat der Emitter über R_E und U_{EE} die notwendige Vorspannung, dass der Transistor vollständig leitet und somit der Kollektor die kleine Spannung gegen Erde aufweist, also praktisch auch auf 0 V liegt. Wird nun einer der Eingänge positiv, so steigt das Potential des Emitters auf mehr als 0 V, der Transistor sperrt und der Ausgang steigt auf etwa $+ U_{CC}$. Jeder weitere positive Eingang hebt das Emitterpotential noch mehr, so dass der Transistor weiterhin gesperrt bleibt.

Alle ODER-Schaltungen mit einem Transistor lassen sich bei entsprechender Wahl der Eingangspegel in UND-Schaltungen überführen. Sie müssen nur so eingestellt werden, dass $n - 1$ Eingänge gerade noch nicht genügen, um den Transistor zu schalten. Erst wenn alle n Eingänge gleichzeitig angelegt werden, schaltet der Transistor. Solche Schaltungen mögen für $n = 2$ noch angehen. Sie sind aber sehr kritisch für grosse n und deshalb kaum zu empfehlen. Immerhin kann es u. U. sehr nützlich sein, wenn man nur durch Änderung der Vorspannung die eine Schaltung in die andere umwandeln kann.

3.3 NICHT-Schaltungen (Inverter)

Die Emitterschaltung nach Fig. 10 und 11 ist ein idealer Inverter. Der Ausgang ist hoch (1) wenn der Eingang tief (0) ist und umgekehrt.

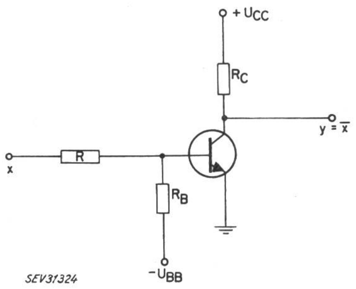


Fig. 10
NICHT-Schaltung mit npn-Transistor in Emitterschaltung: $y = \overline{x}$

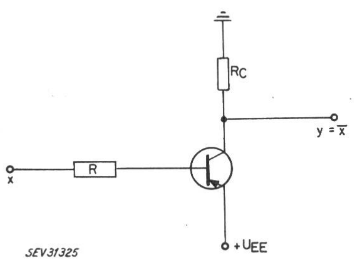


Fig. 11
NICHT-Schaltung mit pnp-Transistor in Emitterschaltung: $y = \overline{x}$

4. Erweiterte logische Grundschaltungen

Es kann gezeigt werden, dass sämtliche logischen Operationen prinzipiell je mit Hilfe der beiden in Abschnitt 3 beschriebenen Grundschaltungen NICHT und UND oder NICHT und ODER allein aufgebaut werden können. Jedes dieser beiden Paare stellt also einen für den Aufbau von logischen Netzwerken genügenden Satz dar. Dies bedeutet aber noch nicht, dass man damit z. B. Netzwerke mit einer minimalen Anzahl von Elementen herstellen kann, was oft sehr erwünscht ist. Es wurden deshalb eine ganze Anzahl erweiterter logischer Grundschaltungen entwickelt, deren Vorteile hauptsächlich bei grossen Netzwerken zu Tage treten. Das erste Beispiel, die im englischen Sprachgebrauch mit NOR (Abkürzung für NOT OR) bezeichnete Schaltung ist sogar die grundlegendste aller Schaltungen, indem sie allein genügt für die Durchführung sämtlicher logischen Operationen.

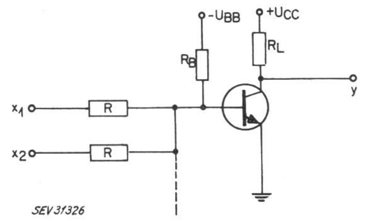


Fig. 12
NICHT-ODER-Schaltung mit einem npn-Transistor in Emitterschaltung: $y = \overline{x_1 + x_2 + x_3 \ldots}$

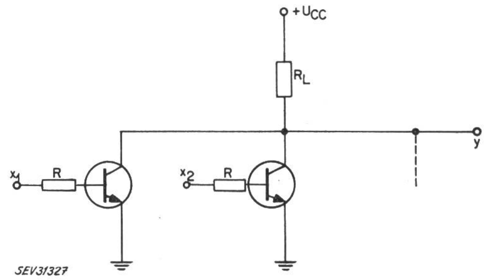


Fig. 13
NICHT-ODER-Schaltung mit mehreren npn-Transistoren in Emitterschaltung: $y = \overline{x_1 + x_2 \ldots}$

4.1 NICHT-ODER-Schaltung (NOR-gate)

Die Fig. 12 und 13 zeigen jede eine NICHT-ODER-Schaltung mit npn-Transistoren in Emitterschaltung (ES). Der Ausgang ist nicht hoch ($\overline{1} = 0$), wenn der Eingang x_1 oder x_2 oder ... hoch (1) ist. Dies wird dargestellt durch die Gl. (21):

$$y = \overline{x_1 + x_2 + \ldots} \tag{21}$$

Emitterschaltungen haben die Eigenschaft, dass sie das Resultat in invertierter Form darbieten. Dies ist nicht unbedingt ein Nachteil; denn wenn in einem längeren Schaltprozess mehrere solcher NICHT-ODER-Schaltungen hintereinander vorkommen, dann ist das Resultat wieder in Ordnung, wenn es eine gerade Anzahl Stufen durchlief. Der grosse Vorteil der Emitterschaltungen liegt darin, dass die Eingangsgrössen (Leistung und Spannung) viel kleiner sein müssen als die Ausgangsgrössen. Dies ist vor allem vorteilhaft bei langen Ketten. Es ist eine Erfahrungstatsache, dass sich ausgedehnte Schalternetzwerke nur mit einfachem Aufwand realisieren lassen, wenn jede Stufe fähig ist, mindestens drei nachfolgende Stufen zu treiben, d. h. einen Pyramidenfaktor von drei besitzt.

4.2 UND-NICHT-Schaltung (Inhibitor)

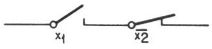
Die Definition der Inhibition ist gegeben durch die Kombinationstabelle von Fig. 14. Eine Realisierung wäre möglich mit einem Inverter für x_2 und einer UND-Schaltung anschliessend für $x_1 x_2$. Eine direkte

x_1	x_2	y
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	0

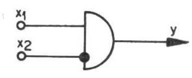
a

$$y = x_1 \cdot \overline{x_2} \qquad (22)$$

b



c



d

SEV31328

Fig. 14
UND-NICHT-Verknüpfung
a Wahrheitstabelle; *b* Schreibweise; *c* Kontaktnetzwerk; *d* graphisches Symbol

Schaltung ist angegeben in Fig. 15. Wenn in dieser Figur x_2 hoch ist und $x_2 > x_1$, dann sperrt der Transistor und der Ausgang ist 0 V. Ist dagegen $x_2 = 0$ V, dann erzeugt x_1 über R_B einen Spannungsabfall, der auch am Ausgang erscheint, womit dieser hoch (1) ist.

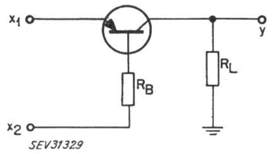


Fig. 15
UND-NICHT-Schaltung mit pnp-Transistor: $y = x_1 \cdot \overline{x_2}$

4.3 EXKLUSIVE-ODER-Schaltung

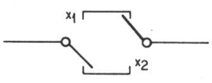
Die Wahrheitstabelle in Fig. 16 gibt die Definition dieser Verknüpfung. Es entsteht demnach immer dann ein Ausgangssignal, wenn die beiden Eingänge ungleich sind, was auch das Kontaktnetzwerk veranschaulicht. Aus diesem Grunde wird die Schaltung

x_1	x_2	y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

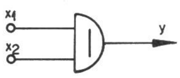
a

$$y = x_1 \cdot \overline{x_2} + \overline{x_1} \cdot x_2 \qquad (23)$$

b



c



d

SEV31330

Fig. 16
EXKLUSIVE-ODER-Verknüpfung
a Wahrheitstabelle; *b* Schreibweise; *c* Kontaktnetzwerk; *d* graphisches Symbol

auch etwa UNGLEICH-Schaltung genannt. Der Ausdruck von Gl. (23) kommt in den Lösungen eines Problemes mit Hilfe der Schaltalgebra sehr oft vor [siehe Gl. (20) des Beispieles mit der Lampe]. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass EXKLUSIVE-ODER-Schaltungen bei der Realisierung eines Netzwerkes häufig anzutreffen sind. Fig. 17 zeigt eine mögliche Schaltung mit zwei pnp-Transistoren.

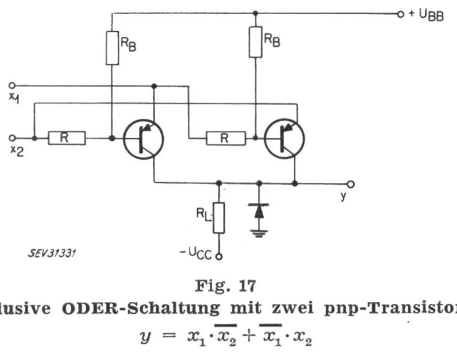


Fig. 17
Exklusive ODER-Schaltung mit zwei pnp-Transistoren:
$y = x_1 \cdot \overline{x_2} + \overline{x_1} \cdot x_2$

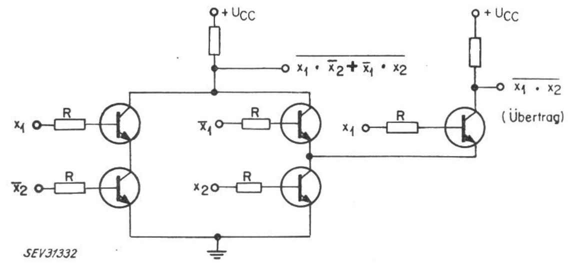


Fig. 18
Halbaddierschaltung (mit inversen Ein- und Ausgangssignalen)

4.4 Addierschaltungen

Eine Volladdierschaltung liefert an ihrem Ausgang sowohl die Partialsumme als auch den Übertrag und verarbeitet dasselbe (Summe und Übertrag) an ihrem Eingang. Häufig wird nur die Halbaddierschaltung verwendet, welche keinen Eingang für einen vorangehenden Übertrag aufweist. Fig. 18 zeigt eine einfache Halbaddierschaltung, bei welcher vorausgesetzt ist, dass alle Eingangsgrössen normal und invertiert zur Verfügung stehen, und dass die Resultate auch invertiert erhalten werden können. Bei grösseren Netzwerken kommt dies oft vor.

5. Folgelogik

Die in den vorangehenden Abschnitten verwendete gewöhnliche Logik kann als Kombinationslogik bezeichnet werden. Der Ausgang ist nur eine Funktion der Kombination der Eingänge im selben Augenblick. Abgesehen von kurzen Übergangszeiten spielt die Zeit in dieser Logik keine besondere Rolle. Dies auch dann nicht, wenn mit Impulsen gearbeitet wird und das ganze System mit einem starren Taktimpuls (clock pulse) arbeitet.

Bei der sog. Folgelogik hängt nun ein Ausgang von den Kombinationen der Eingangswerte in zwei (oder mehreren) verschiedenen vorausgegangenen Perioden ab. Die Zeit, d. h. Takt-Periode, spielt hier also eine ausschlaggebende Rolle. In dieses Gebiet fallen Zählschaltungen, Schieberegister und dynamische Speicher [11...14]. Die Speicher sind von elementarer Notwendigkeit, da es dauernd Zeichen über verschiedene Zeitperioden zu speichern gibt. Als ausgezeichnete Grundelemente der Folgelogik werden z. B. Multivibratoren verwendet.

6. Ergänzende Bemerkungen

Das in den vorangegangenen Abschnitten Gesagte entspricht nur dem Allereinfachsten, was über logische Schaltungen ausgeführt werden kann. Tatsächlich ist es auch so, dass bei der Dimensionierung eines grösseren praktischen Netzwerkes die eigentlichen Probleme erst beginnen.

Man wird bei einer praktischen Schaltung folgende Punkte beachten müssen:

1. Betriebsweise
2. Leistungsaufnahme
3. Arbeitsgeschwindigkeit
4. Störeinflüsse
5. Zuverlässigkeit
6. Materialaufwand

Dazu ist zu sagen, dass die Betriebsweise meistens schon durch die Problemstellung selber gegeben ist. Es steht dann schon von Anfang an fest, ob im statischen oder impulsförmigen Betrieb gearbeitet wird. Im zweiten Fall ist zusätzlich ein Generator für den Taktimpuls notwendig, was sich auf die Ziffern 2...6 auswirken kann.

Bei gegebener Grösse des logischen Netzwerkes und des Arbeitsprogrammes hängt die Leistungsaufnahme davon ab, welcher der beiden binären Zustände «0» oder «1» häufiger vorkommt. Es ist deshalb möglich, dass man jenen Zustand, der weniger häufig auftritt, dem leitenden und jener, welcher häufiger ist, dem sperrenden Zustand des Schalters zuordnet. So wird die Leistungsaufnahme des Netzwerkes kleiner als umgekehrt.

Die Arbeitsgeschwindigkeit hängt — wie dies auch für die Multivibratorschaltungen gilt — von den Hochfrequenzeigenschaften des Schaltelementes selber und von der Kopplungsart zwischen den Stufen ab. Diodennetzwerke arbeiten im allgemeinen bis zu höhern Frequenzen [15]. Bei Transistorschaltern verkürzt man die Schaltzeiten mit Hilfe von Beschleunigungskondensatoren und clamping Dioden, welche den Transistor ausserhalb des Sättigungsgebietes und damit der Trägerspeicherung halten. An der Verbesserung der Geschwindigkeit des Schaltelementes wird ja dauernd weitergearbeitet. So entstanden die sehr schnellen Mesa-Transistoren, Tunneldioden, aber auch das Kryotron (durch Magnetfeld gesteuerter Supraleiter) usw. [16].

Störeinflüsse an elektronischen Schaltern treten auf infolge Temperatureinwirkung, Alterung und Abnützung, z. B. durch radioaktive Einstrahlung. Sie wirken sich aus auf eine Veränderung der Parameter des Elementes, insbesondere der Sperrströme und des Stromverstärkungsfaktors. Alle Schaltungen müssen unter Berücksichtigung dieser Veränderungen dimensioniert werden, was insbesondere bei Toren mit vielen Eingängen nicht immer einfach ist [10; 3].

Diese Störeinflüsse können sich stark auf die Zuverlässigkeit der ganzen Schaltung auswirken. Obschon die Qualität der elektronischen Elemente — und der ganzen Schaltungen — dauernd verbessert wird, treten grosse Probleme auf, wenn man bedenkt, dass ein modernes Rechennetzwerk, z. B. tausende von Dioden, Transistoren und Widerständen verwendet [17]. Solche grosse Netzwerke werden unterteilt in einzelne Blöcke und Blockschaltungen. Sie besitzen vorteilhaft auch ein Prüfprogramm mit automatischer Fehleranzeige, wodurch der Unterhalt wesentlich erleichtert wird. Kritische Elemente (oder ganze Blöcke) müssen für Geräte, welche im Dauerbetrieb arbeiten (z. B. Telephonzentralen) mehrfach ausgeführt werden.

Der zur Lösung eines bestimmten logischen Problemes notwendige Materialaufwand kann ganz verschieden sein, je nachdem welcher Typ von Grundschaltungen verwendet und in welcher Form dieselben ineinander verschachtelt werden. Die Schaltalgebra hat Methoden entwickelt, welche erlauben, gewisse Lösungen zu minimalisieren [3; 5]. Eine Minimalisierung der Anzahl der Schaltelemente wirkt sich nicht nur auf die Kosten, sondern auch auf die Zuverlässigkeit der Schaltung aus. Im allgemeinen benötigen die direkt gleichstrommässig gekoppelten Schaltungen am wenigsten Elemente. Dafür sind aber die Anforderungen an bestimmte Parameterwerte kritischer. Statt den beiden binären Zuständen 1 und 0 je einen Spannungswert zuzuordnen, werden gerade bei den direktgekoppelten Schaltungen auch etwa zwei Stromzustände zugeteilt [3; 19]. Wohl unkritischer und auf die Dauer stabiler und zuverlässiger sind jene direktgekoppelten Schaltungen, welche auch nutzbringenden Gebrauch von Widerständen machen [18].

Literatur

[1] *Boole, G.:* An Investigation of the Laws of Thought. Dover: 1854.

[2] *Shannon, C. E.:* A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits. Trans. AIEE 57(1938), Dez., S. 713...723.

[3] *Hurley, R. B.:* Transitor Logic Circuits. New York: Wiley 1961.

[4] *Weyh, U.:* Elemente der Schaltungsalgebra. 2. erw. Aufl., München: Oldenbourg 1961.

[5] *Caldwell, S. H.:* Switching Circuits and Logical Design. New York: Wiley 1958.

[6] *Zemanek, H.:* Schaltalgebra. Nachrichtentechn. Fachber. 3 (1956), S. 93...113.

[7] *Mühldorf, E.:* Ternäre Schaltalgebra. AEÜ 12(1958)3, S. 138...145. *Mühldorf, E.:* Schaltungen für ternäre Schaltvariable. AEÜ 12(1958)4, S. 176...182.

[8] *Rekowski, W.:* Ein Vorschlag für einheitliche Symbole logischer Verknüpfungen. NTZ 14(1961)7, S. 325...330. *Gerecke, E.:* Graphische Symbole der Automatik. Neue Technik 2(1960)9, S. 6...35.

[9] *Rösler, H.:* Tafel für den Entwurf von Verknüpfungsschaltungen in der digitalen Rechentechnik. Elektronik 9(1960)8, S. 228...232.

[10] *Brändle, H.:* Optimale Auswahl von Halbleitern für die logischen Grundschaltungen. Neue Technik 3(1961)1, S. 12...26.

[11] *Aschmoneit, E. K.:* Einfacher Binärzähler für Addition und Subtraktion. Elektronik 9(1960)8, S. 232...234. *Gerlach, A.:* Transistorbestückte Zählschaltungen mit Anzeige-Glimmlampen. Ionen und Elektronen 2(1959)3, S. 17...19.

[12] *Trent, R. L.:* A Transistor Reversible Binary Counter. Proc. Nat. Electronics Conf. 8(1952), S. 345...357. *Wettstein, H.:* Umkehrbarer Dualzähler mit Transistoren. Elektronik 10(1961)5, S. 135...139.

[13] *Scollar, I.:* An Economical Reversible Transistor Decade Counter. Electronic Engng. 33(1961)403, S. 597...599.

[14] *Transistor Circuit Engineering.* Ed. by *R. F. Shea.* New York: Wiley; London: Chapman & Hall 1957. *Hurley, R. B.:* Junction Transistor Electronics. New York: Wiley; London: Chapman & Hall 1956. *Millman, J.* und *H. Taub:* Pulse and Digital Circuits. New York: McGraw-Hill 1957.

[15] *Cagle, W. B.* und *W. H. Chen:* A New Method of Designing Low Level, High-Speed Semiconductor Logic Circuits. IRE Wescon Conv. Rec. 1(1957)2, S. 3...9. *Yokelson, B. J.* und *W. Ulrich:* Engineering Multistage Diode Logic Circuits. Trans. AIEE, Commun. & Electronics 74(1955)20, S. 466...475.

[16] *Leary, F.:* Computers Today. Electronics 34(1961)17, S. 63...94.

[17] *Felker, J. H.:* Performance of TRADIC Transistor Digital Computer. Proc. Eastern Joint Computer Conf., 1954. *McMullan, V. J.* und *P. Cox:* The Reliability of an Experimental Transistorized Data Handling System. J. Brit. IRE 22 (1961)1, S. 17...19.

[18] *Arnold, J. S.* und *R. H. Bennion:* Transistor Logic and its Applications to Data Processing Systems. A.T.E.-J. 17(1961)3, S. 135...144.

[19] *Angel, J. B.:* Direct Coupled Logic Circuitry. Proc. Western Joint Computer Conf., 1958.

Adresse des Autors:

Dr. *A. E. Bachmann,* Abteilung Forschung und Versuche der Generaldirektion PTT, Speichergasse 6, Bern.