



Title: Patentanmeldung Z391 (1941) (Konrad Zuse) mit
Einleitung von Raúl Rojas und Alexander Thurm
Author(s): Konrad Zuse, Raúl Rojas, Alexander Thurm
Date: 1941
Published by: Konrad Zuse Internet Archive
Source: Essay - ZIA ID: 0229

The Konrad Zuse Internet Archive preserves and offers free access to the digitized original documents of Konrad Zuse's private papers and to other related sources.

The Konrad Zuse Internet Archive is a nonprofit service that helps scholars, researchers, students and other interested parties discover, use and build upon a wide range of content in a digital archive. For more information about the Konrad Zuse Internet Archive, please contact zusearchive@zib.de.

Your use of the Konrad Zuse Internet Archive indicates your acceptance of the Terms & Conditions of Use (<http://zuse.zib.de/tou>) including the following license agreement. If you do not accept the Terms & Conditions of Use you are not permitted to use the material.

This work by Konrad Zuse Internet Archive is licensed under a
Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>).

Based on a work at <http://zuse.zib.de>



Attribution (BY) - You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor (but not in any way that suggests that they endorse you or your use of the work). Attribute with "Konrad Zuse Internet Archive (<http://zuse.zib.de>)".

Noncommercial (NC) - You may not use this work for commercial purposes.

Share Alike (SA) - If you alter, transform, or build upon this work, you may distribute the resulting work only under the same or similar license to this one.

The usage of this document requires the consideration of possible third party copyrights, and might necessitate obtaining the consent of the copyright holder. The Konrad Zuse Internet Archive assumes no liability with respect to the rights of third parties. The Konrad Zuse Internet Archive is not responsible for the claims of any third party resulting from any infringement of copyright laws.

Die Patentanmeldung Z391 von Konrad Zuse

Raúl Rojas und Georg-Alexander Thurm

Anmerkungen zur Edition des Textes

Der nachfolgende Text von Konrad Zuse war bisher nicht veröffentlicht worden. Es handelt sich um die Patentanmeldung, die der deutsche Erfinder am 16.7.1941 über seinen Patentanwalt einreichte. Das ursprüngliche Aktenzeichen war Z26476. Nach der Wiedereröffnung des Patentamts wurde das Anmeldeverfahren 1951 unter dem Aktenzeichen Z391 neu aufgenommen (siehe Seite ??).

Die Struktur des Textes erklärt sich aus seiner Vorgeschichte. Nachdem das Patentamt wiederholt die Prioritätsansprüche von Zuse in Frage gestellt hatte, meldete er nicht mehr ein abstraktes Verfahren, sondern eine konkrete Rechenmaschine an. Deren Neuigkeit bestand für Zuse in der „Kombination zum größten Teil bekannter Einzelvorrichtungen“, die die Abarbeitung von Programmen ermöglichten. Entsprechend der Forderung des Patentamts legte Zuse hier erstmals die Gesamtstruktur und Algorithmen der Maschine offen, was den heutigen Fachmann ermöglicht, dem Dokument alle wesentlichen Eigenschaften der Z3 zu entnehmen.

Für die Edition des Manuskriptes standen uns Fotokopien aus dem von der GMD geführten Zuse-Archiv zur Verfügung (Zuse Papiere 005/011). Die Qualität der Materialien erlaubte uns eine getreue Wiedergabe des Textes. Wir haben die Satzbildung, die gelegentlich schwerfällig ist, nicht verändert. Die Zeichensetzung entspricht weitgehend dem Original. Um die Struktur des Dokumentes zu verdeutlichen, haben wir Überschriften eingefügt. *Alle* Fußnoten stammen von uns; sie sollen dem Leser an bestimmten Stellen weiterhelfen oder möglichen Mißverständnissen vorbeugen.

Der Originaltext wurde mit einer Schreibmaschine angefertigt. Die Unterstreichungen im Original werden im edierten Text *kursiv* gesetzt, ebenso die Namen von Relais und Variablen.

Die Abbildungen wurden aus dem Original nachgezeichnet. Die Handskizzen der Patentanmeldung hat Zuse selbst gemacht. Bei einigen wenigen Abbildungen waren die Ränder der erhaltenen Fotokopien kaum lesbar, wir konnten aber aus dem Text und aus der Struktur der Schaltung die fehlenden Komponenten ableiten. Uns stand auch eine überarbeitete Fassung der Patentanmeldung zur Verfügung („Beschreibung der Programmgesteuerten Rechenanlage Zuse Z3“), die von Mitarbeitern der Zuse KG in den Jahren 1962–1963 angefertigt wurde. Dabei wurden einige Schaltungen verändert und andere Bezeichnungen verwendet. Wir haben

uns an das Original gehalten und auf das zweite Dokument, das eher dem Nachbau der Z3 in München entspricht, nur im Zweifelsfall zurückgegriffen.

Bei allen Abbildungen haben wir *eigene* Anmerkungen hinzugefügt, die dem Leser die Analyse der Schaltungen erleichtern sollen. Die Anmerkungen sind in vielen Fällen redundant in bezug auf den Text der Patentanmeldung und redundant untereinander. Jedoch bieten sie dem Leser wichtige Information über die Kreuzverbindungen zwischen den verschiedenen Schaltungen. Wir wissen aus eigener Erfahrung, wie schwierig und mühsam es ist, die Verknüpfungen zwischen bestimmten Teilen der Maschine zu verstehen, wenn man jedesmal einzelne Relais suchen muß. Auch in den Text der Patentanmeldung haben wir Hinweise auf die Abbildungen eingefügt: wo eine Abbildung besprochen wird, wurde die Abbildungsnummer mit einem Pfeil als Randbemerkung hinzugefügt, damit der Text zu einzelnen Abbildungen schnell gefunden werden kann.

Der Vergleich der Patentanmeldung mit den Schaltungen der Rekonstruktion der Z3 im Deutschen Museum zeigt, daß die Pläne beider Rechner an entscheidenden Stellen voneinander abweichen. Wir haben den Eindruck, daß die Rekonstruktion der Z3, die von Zuse und Mitarbeitern seiner Firma vorgenommen wurde, an bestimmten Stellen verändert wurde, um die Schaltungen zu optimieren oder die Fehlersuche zu vereinfachen. So enthält z. B. der Befehlssatz der Originalmaschine keinen Halte-Befehl. Die Maschine stoppt nur dann, wenn eine numerische Eingabe erwartet wird oder wenn das Resultat angezeigt wurde. Die Z3 in München dagegen sieht einen Halte-Befehl mit einem entsprechenden Befehlscode vor. Ein anderes Beispiel: Die Inhalte der Register der Originalmaschine konnten nicht direkt inspiziert werden, während die Maschine in München Lampen und zwei Tasten besitzt, mit denen die Inhalte der Argumentregister überprüft werden können.

Die Patentanmeldung Z391 verlangt mehr als eine flüchtige Lektüre: der Text lädt zum Selbststudium und zu konzentrierter Auseinandersetzung mit den besprochenen Schaltungen ein. Damit wird aber die Erforschung der Computergeschichte etwas Lebendiges, das Informatiker und Studierende der Informatik neu für unser Fach begeistern kann.

Patentanmeldung Z391 (1941)

Konrad Zuse*

1. Rechenvorrichtung

Vorliegende Erfindung bedeutet die Kombination zum größten Teil bekannter Einzelvorrichtungen zu einem Aggregat, das ermöglicht, häufig wiederkehrende Rechnungen beliebiger Länge und beliebigen Aufbaues, die sich aus elementaren Rechenoperationen zusammensetzen, mit Hilfe von Rechenmaschinen selbsttätig durchzuführen.

Bevor auf die konstruktiven Probleme eingegangen wird, soll das Problem mathematisch dargestellt werden. Voraussetzung für jede Art der auszuführenden Rechnung ist die Aufstellung eines Rechenplanes, in dem die aufeinanderfolgenden Rechenoperationen dem Charakter und der Reihe nach aufgezeichnet werden und die im Verlauf der Rechnung auftretenden Zahlen fortlaufend numeriert oder nach einem anderen Schema geordnet werden, ohne sie zunächst der Größe nach zu bestimmen. Man geht von bestimmten „Ausgangswerten“ aus, die den Variablen einer Formel entsprechen, und leitet aus diesen durch bestimmte Operationen über eine Reihe von Zwischenwerten die Resultatwerte ab. Ist für eine bestimmte Aufgabe ein solcher Rechenplan einmal aufgestellt, so gilt er für sämtliche Variationen der Ausgangswerte.

Das Verfahren wird nachstehend an einem Beispiel erörtert. Wir wollen den Rechenplan für eine dreistellige Determinante aufstellen.

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}$$

Wir haben neun Ausgangswerte. Um nicht für die im Lauf der Rechnung auftretenden Zahlen dauernd neue Buchstabenbezeichnungen einführen zu müssen, werden die auftretenden Werte fortlaufend mit V_1, V_2, \dots (Variablen) bezeichnet:

$$\Delta = \begin{vmatrix} V_1 & V_2 & V_3 \\ V_4 & V_5 & V_6 \\ V_7 & V_8 & V_9 \end{vmatrix}$$

* Kommentierter Originaltext der Fassung von 1941. Überschriften, Fußnoten, Bildunterschriften und Anmerkungen stammen vom Herausgeber.

Rechenplan-(Entwurf)

Operation	1.)	V_1	\times	V_5	$= V_{10}$
	2.)	V_{10}	\times	V_9	$= V_{11}$
	3.)	V_2	\times	V_6	$= V_{12}$
	4.)	V_{12}	\times	V_7	$= V_{13}$
	5.)	V_3	\times	V_4	$= V_{14}$
	6.)	V_{14}	\times	V_8	$= V_{15}$
	7.)	V_1	\times	V_6	$= V_{16}$
	8.)	V_{16}	\times	V_8	$= V_{17}$
	9.)	V_2	\times	V_4	$= V_{18}$
	10.)	V_{18}	\times	V_9	$= V_{19}$
	11.)	V_3	\times	V_5	$= V_{20}$
	12.)	V_{20}	\times	V_7	$= V_{21}$
	13.)	V_{11}	$+$	V_{13}	$= V_{22}$
	14.)	V_{22}	$+$	V_{15}	$= V_{23}$
	15.)	V_{23}	$-$	V_{17}	$= V_{24}$
	16.)	V_{24}	$-$	V_{19}	$= V_{25}$
	17.)	V_{25}	$-$	V_{21}	$= V_{26} = \text{Resultat}$

Die Durchführung der zahlenmäßigen Rechnung ist eine rein mechanische Tätigkeit. Sie läßt sich von Rechenmaschinen mit folgender Zusammenstellung von Vorrichtungen durchführen:

Man verbindet die Rechenvorrichtung über ein Wählwerk mit einem Speicherwerk, das je Zelle eine Zahl aufnehmen kann. Das Wählwerk hat den Zweck, die erforderliche Speicherzelle mit der Rechenvorrichtung zu verbinden, sei es auf elektrischem oder mechanischem Wege, um entweder die gespeicherte Zahl zu einer Rechenoperation zu verwenden oder um in der Zelle eine Zahl zu speichern. Das Speicherwerk dient zur Aufnahme der Ausgangswerte und der im Verlauf der Rechnung auftretenden Zwischenwerte.

Man hält den Rechenplan in einer Form fest, die sich zur Steuerung der einzelnen Vorrichtungen eignet, beispielsweise auf einem Lochstreifen. Der Rechenplan wird nun abschnittsweise von der Maschine abgetastet und gibt für jede einzelne Rechenoperation folgende Angaben: die Nummern der die Operanden enthaltenden Speicherzellen; die Grundrechnungsart; die Nummer der das Resultat speichernden Zelle. Die Angaben des Rechenplanes lösen selbsttätig die erforderlichen Operationen aus.

Wir brauchen also folgende Vorrichtungen:

1. Vollautomatisches Rechenwerk, z. B. eine 4-Spezies-Rechenmaschine,
2. Vorrichtungen zum Speichern von Zahlen,
3. Vorrichtungen zum Übertragen von Zahlen vom Rechenwerk auf das Speicherwerk und umgekehrt,

4. Eine Vorrichtung zum Verbinden einer bestimmten Speicherzelle mit dem Rechenwerk (Wählwerk),
5. Vorrichtungen zum Steuern der Anlage durch Lochstreifen (Abtaster).

Im einzelnen sind alle diese Vorrichtungen bekannt; ferner ist die Kombination Rechenwerk-Speicherwerk bekannt, wobei man ein beliebiges Speicherwerk (Zelle) aus den vorhandenen auswählen kann (z. B. auf einer Trommel angebrachte Zählwerke). Bekannt ist ferner, beliebige Organe einer Rechenmaschine durch Lochstreifen oder Lochkarten zu steuern. Es sei auch auf die Anmeldung Z24062 „Mechanisches Speicherwerk“ verwiesen,¹ in der eine Kombination Wählwerk-Speicherwerk beschrieben ist.

Neu ist die Kombination der Elemente derart, daß von einem Abtaster aus Befehle an die Gesamtanlage gegeben werden, indem an das Wählwerk die Nummern der Speicherzellen, an das Speicherwerk die Angaben, ob gespeichert oder abgelesen werden soll, und an das Rechenwerk die Art der Rechenoperation gegeben wird. Mit einer derartigen Kombination ist es im Gegensatz zu bestehenden Vorrichtungen möglich, jede beliebige Formel zu rechnen, die sich aus Elementaroperationen zusammensetzt.² Abb. 1 zeigt eine solche Vorrichtung im Grundprinzip. Das Rechenwerk A ist mit dem Speicherwerk C derart verbunden, daß sowohl die Resultate des Rechenwerks auf jede beliebige Zelle des Speicherwerks als auch die gespeicherten Zahlen auf die Einzelorgane des Rechenwerks übertragen werden können. P ist das Planwerk mit dem Abtaster. Von hier aus werden die Operationstasten des Rechenwerks und das Wählwerk Pb gesteuert, welches die erforderlichen Speicherzellen mit dem Rechenwerk verbindet. < 1

1.1 Beispiel eines Rechenplans

Bei dem Beispiel der dreistelligen Determinante treten im Verlauf der Rechnung 26 Zahlen auf. Hat das Speicherwerk genügend Zellen, so wäre es möglich, die Zahlen, ihrer Nummer entsprechend, auf 26 Zellen zu speichern. Man kommt aber mit weit weniger Zellen aus, da viele Zahlen nicht gespeichert zu werden brauchen, sondern gleich in der Rechenvorrichtung bleiben können, und viele Zellen im Verlauf der Rechnung frei werden, weil ihre Zahlen nicht weiter gebraucht werden. Es ist vorteilhaft, den Rechenplan auf Verwendung möglichst weniger Speicherzellen hin aufzubauen. Um den Rechenplan nach einem Schema hin aufbauen zu können, wird eine Zahl, die zur nächsten Operation gleich in der Rechenvorrichtung bleibt, so betrachtet, als sei sie auf Speicherzelle 0 gespeichert. Der maschinenfertige Rechenplan enthält dann für jede Operation vier Angaben. Dem eigentlichen Rechenplan gehen die Befehle für die Speicherung der Ausgangswerte voraus. Am Schluß

¹ Alle die in diesem Dokument erwähnten Patentanmeldungen sind ab Seite ?? aufgelistet.

² Zuse faßt in diesem Absatz seine Prioritätsansprüche zusammen. Dies wurde später im Laufe des Patentverfahrens ein wichtiger Streitpunkt.

muß der Befehl gegeben werden, das Resultat anzuzeigen. Bleibt eine Zahl zur nächsten Operation gleich in der Rechenvorrichtung, so können die Takte „Speichern des Resultats“ und „Heranbringen des ersten Operanden zur nächsten Rechnung“ ausfallen.

Maschinenfertiger Rechenplan

(Es bedeuten: Sp 1 Speichern auf Zelle 1
 Ab 1 Ablesen von Zelle 1
 $\times + -$ Rechenoperationen
 Res. Anzeigen des Resultats.)

Befehl	Operation	Befehl	Operation
1	Sp 1	30	\times
2	Sp 2	31	Ab 8
3	Sp 3	32	\times
4	Sp 4	33	Sp 13
5	Sp 5	34	Ab 2
6	Sp 6	35	Ab 4
7	Sp 7	36	\times
8	Sp 8	37	Ab 9
9	Sp 9	38	\times
10	Ab 1	39	Sp 14
11	Ab 5	40	Ab 3
12	\times	41	Ab 5
13	Ab 9	42	\times
14	\times	43	Ab 7
15	Sp 10	44	\times
16	Ab 2	45	Sp 15
17	Ab 6	46	Ab 10
18	\times	47	Ab 11
19	Ab 7	48	+
20	\times	49	Ab 12
21	Sp 11	50	+
22	Ab 3	51	Ab 13
23	Ab 4	52	-
24	\times	53	Ab 14
25	Ab 8	54	-
26	\times	55	Ab 15
27	Sp 12	56	-
28	Ab 1	57	Res.
29	Ab 6		

Der Rechenplan wird als Lochstreifen in die Abfühlvorrichtung von P
 1 ▷ (Abb. 1) eingesetzt und bewirkt nach Eintasten der Ausgangswerte im

Rechenwerk den selbsttätigen Ablauf der Gesamtrechnung.³

1.2 Das binäre Zahlensystem

Das bisher Gesagte betrifft im wesentlichen eine Grundform, die sich aus gebräuchlichen Mitteln aufbauen läßt. Die gestellte Aufgabe ist aber durch folgende Neuerungen bzw. neue Kombinationen besonders vorteilhaft zu lösen: Da die Maschine längere Rechnungen selbsttätig ausführt, kann man menschliche Gewohnheit übergehen und das einfachste Zahlensystem wählen. Bereits LEIBNIZ hat als einfachstes System die Dyadik, das System mit der Basis 2, erkannt. Dieses Erkenntnis gilt selbstverständlich auch für Rechenmaschinen. Der Gedanke, Rechenmaschinen im Sekundalsystem zu bauen, ist nicht neu. Jedoch hat es wenig Sinn, Rechenmaschinen, die der dauernden Wartung bedürfen, im Sekundalsystem zu bauen, da die Veranschaulichung der Zahlen ihre dauernde Übersetzung in das Dezimalsystem bedingt, wodurch der Vorteil der einfacheren Operationen des Sekundalsystems wieder aufgehoben wird. Die Kombination des oben beschriebenen Verfahrens mit dem Sekundalsystem bedeutet jedoch einen wesentlichen Fortschritt, eine Arbeitsgemeinschaft, die gegenseitig die praktische Durchführung beider Methoden ermöglicht. Die Zahlen sind „unter sich“; es können Resultate über Tausende von Zwischenwerten abgeleitet werden, ohne daß eine einzige Zahl in das Dezimalsystem übersetzt zu werden braucht.

1.3 Die halblogarithmische Notation

Für die Durchführung des vorliegenden Verfahrens ist ferner die Komma Kennzeichnung grundlegend. Die bekannten Maschinen sind nur in der Lage, Zahlen zu verarbeiten, die in bezug auf das Komma ausgerichtet sind. Bei technischen Rechnungen handelt es sich aber um ständig wechselnde Operationen zwischen Größen verschiedenster Dimension und Größenordnung. So können Größen wie Wärmeausdehnungszahl $\varepsilon = 0,000012$ und Elastizitätsmodul $E = 2100000 \text{ kg/cm}^2$ in derselben Formel vorkommen. Es ist sinnlos, den gesamten Stellenbereich für jede Zahl zu verwenden, wenn die meisten Ziffern gleich Null oder unbekannt sind. Die Speicherwerke wären sehr umfangreich und nur teilweise ausgenutzt. Die Schwierigkeit läßt sich durch die „halblogarithmische Schreibweise“ beheben.

³ Die ersten neun Befehle des Rechenplans setzen voraus, daß die zu speichernden Zahlen vorher von der numerischen Tastatur in das Rechenwerk geladen wurden. Der Befehl Lu (Tastatur lesen) sollte eigentlich dem Befehl „Sp 1“ vorausgehen. Bei der Ausführung des Befehls Lu stoppt die Maschine, der Benutzer gibt eine Zahl ein und drückt auf eine Taste A (für „Automatik“). Der Befehl Lu wird zu Ende ausgeführt und erst dann der Befehl „Sp 1“ abgearbeitet. Dasselbe gilt für die Befehle 2 bis 9 des Rechenplans. Vermutlich hat Zuse simplifiziert, um den Anfang des Dokuments übersichtlich zu halten.

Die Zahl wird in folgender Form geschrieben: $y = B^a \cdot b$, wo B die Basis des benutzten Zahlensystems, a ganzzahlig und b größer als 1 und kleiner als B ist.

Im Sekundalsystem und in halblogarithmischer Schreibweise wird z. B. die Zahl 12,75 wie folgt dargestellt:

$$\begin{aligned}
 12,75 &= 8 + 4 + 0,5 + 0,25 \\
 &= 2^3 + 2^2 + 2^{-1} + 2^{-2} = \text{LL00,LL} \\
 &= \text{L0}^{\text{LL}} \cdot \text{L,L00LL} = 2^a \cdot b \\
 &\quad a = \text{LL} \\
 &\quad b = \text{L,L00LL}
 \end{aligned}$$

(Um Verwechslungen zu vermeiden, wird bei Sekundalzahlen die Ziffer 1 als L geschrieben.)

2. Konstruktiver Aufbau

Nunmehr können die konstruktiven Einzelheiten besprochen werden. Es sind mannigfache Lösungen möglich. So kann man als Rechenwerk bekannte Vollautomaten benutzen, wobei die Einstellung und Übertragung der Zahlen beispielsweise entsprechend der Patentschrift 580675 erfolgen kann. Die im folgenden beschriebene Ausführung arbeitet im Sekundalsystem und in halblogarithmischer Form und baut sich im wesentlichen aus Relaisschaltungen auf. Als Beispiel sind die bekannten elektromagnetischen Relais gewählt. Jedoch sind entsprechende Schaltungen auch in anderer Relais-technik durchführbar (vgl. die Anmeldungen Z23189, Z23967, Z24062).

Es zeigt Abbildung

- | | |
|----|--|
| 1 | das Grundprinzip |
| 2 | eine Übersichtszeichnung |
| 3 | das Stellenschema |
| 4 | das Additionswerk (Teil B) |
| 5 | die Kontakte der E -Relais |
| 6 | die Kontakte der Relais Fp, Fq |
| 7 | die Kontakte der Relais Fh, Fi, Fk, Fl, Fm |
| 8 | die Selbsthaltekreise der Additionswerke |
| 9 | die Steuerung des Relais Bt |
| 10 | die Operationseinstellung (Teilschaltung L) |
| 11 | die Steuerung der Multiplikation (Teilschaltung M) |
| 12 | die Steuerung der Division (Teilschaltung J) |
| 13 | die Steuerung des Quadratwurzelziehens (Teilschaltung W) |
| 14 | die Steuerung des Relais St |
| 15 | die Relaiskette der $Sa-Sb$ -Relais |
| 16 | die durch diese Relaiskette bewirkten Einstellungen |

- 17 die Schaltung der *ae*-Kontakte
- 18 die Schaltung der *be*-Kontakte
- 19 die Zifferneinstellung (Teilschaltung Z)
- 20 die Kommaeinstellung (Teilschaltung K)
- 21 die Steuerung der Multiplikation mit 0,1 (Teilschaltung U)
- 22/23 Einzelheiten der Teilschaltung U
- 24 die Steuerung der Rückübersetzung (Teilschaltung B)
- 25 die Betätigung des Steuerschalters *Dd*
- 26 einen Teil der Schaltung R
- 27 die Schaltung zum Aufrunden des Resultats
- 28 die Resultatsanzeigevorrichtung
- 29 das Kommaanzeigewerk (Teilschaltung Q)
- 30 das Vorzeichenwerk (Teilschaltung V)
- 31 das Speicherwerk (Teilschaltung C)
- 32 das Planwerk (Teilschaltung P)
- 33 die Steuerung der Rechenoperation durch das Planwerk (Pa-Relais)
- 34 das Wählwerk (Pb-Relais)
- 35, 36, 37 Einzelheiten der Teilschaltung P
- 38, 39, 40, 41 die Teilschaltung N

In der Anmeldung Z23624 IX/42m ist eine im Sekundalsystem arbeitende Rechenmaschine beschrieben, mit der es möglich ist, die fünf Operationen Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division und Quadratwurzelziehen, ferner die Übersetzungen vom Dezimal- ins Sekundalsystem und umgekehrt, durchzuführen. Die beschriebene Vorrichtung ist außerdem so aufgebaut, daß sich mit ihr Zahlen, die in halblogarithmischer Form gegeben sind, miteinander verrechnen lassen. Die Anmeldung ist auf die Probleme der eigentlichen Zahlenrechnung beschränkt, wobei offen bleibt, ob die zur Durchführung der Rechnungen erforderlichen Einstellungen an der Maschine von Hand oder ebenfalls durch maschinelle Organe betätigt werden. In dem nachfolgend beschriebenen Rechenwerk sind die Schaltungen dieser Anmeldung so abgeändert und erweitert, daß das Rechenwerk nach Einstellen der Operanden und der Art der Operation alle weiteren Einstellungen selbsttätig durchführt, so daß das Rechenwerk im Rahmen der beschriebenen Gesamtanlage eingesetzt werden kann.

2.1 Relaissteuerung und Takt

Die Rechenoperationen werden in Einzeladditionen aufgelöst. Die Zeit einer Einzeladdition wird als „Spiel“ bezeichnet. Jedes Spiel hat mehrere Schritte. Ein „Schritt“ ist die Ansprech- bzw. Abfallzeit eines Relais (falls nicht abfallverzögert). In den nachfolgenden Schaltungen hat jedes Spiel fünf Schritte. Die verschiedenen nacheinander ansprechenden Relaisgruppen erhalten Spannung über einen Impulsgeber. Die Impulse sind mit römischen

Ziffern I, II, III, usw. bezeichnet und können ein- oder mehrschrittig sein. Trägt ein Pol z. B. die Bezeichnung IV V, so bedeutet das, daß er während der Schritte IV und V an Spannung liegt. G bedeutet den Grundpol, der dauernd an Spannung liegt.

Bei vielen Relais ist der Strom der Ansprechwicklung schon abgeschaltet, während über die Kontakte noch weitere Relais betätigt werden. Bei diesen Relais muß das schnelle Abfallen verhindert werden. Erstreckt sich die erforderliche Haltezeit nur auf einige Schritte, so muß das Relais abfallverzögert sein. Muß sich das Relais länger halten (z. B. über mehrere Spiele bis zum Schluß der Operation), so ist ein Selbsthaltekreis erforderlich. Auch die kurzzeitige Verzögerung kann durch Selbsthaltekreise (möglichst an einer zweiten Wicklung) bewirkt werden. Derartige Konstruktionen haben mit dem Prinzip der Anmeldung nichts zu tun und sind dem Fachmann geläufig; sie sind in den meisten Fällen der besseren Übersicht wegen aus den Schaltungen fortgelassen.

Die Gesamtschaltung ist in Teilschaltungen zerlegt, welche mit großen Buchstaben bezeichnet sind. Die Relais sind mit einem großen und mit einem kleinen Buchstaben bezeichnet (eventuell mit Index), wobei der erste Buchstabe die Teilschaltung angibt (z. B. *Wa*). Die durch die Relais betätigten Kontakte tragen die Bezeichnung des Relais mit kleinen Buchstaben (z. B. *wa*). Abschlüsse tragen die Bezeichnung der Relais, wenn sie direkt an Relaiswicklungen führen. Sie tragen mitunter auch die Bezeichnung von Schließkontakten, wenn sie Spannung erhalten, sobald das zugehörige Relais angesprochen hat (z. B. *be*). Im übrigen sind die Anschlüsse mit einem der Teilschaltung entsprechenden kleinen Buchstaben und einem Index bezeichnet (z. B. *a₇₂*).

2.2 Gesamtübersicht der Rechenmaschine

- 2 ▷ Abb. 2 zeigt die Gesamtübersicht. Wir haben die Teilschaltungen A und B zur Verarbeitung der Werte *a* und *b* mit den Verteilerrelais *Ea – i* und *Fa – q*. Vom Leitwerk L aus werden die Operationen gesteuert. Bei Z werden die Ziffern eingetastet und bei K das Komma eingestellt. R ist die Resultatanzeigevorrichtung und Q die zugehörige Anzeigevorrichtung des Kommas. P ist das Planwerk mit dem Abtaster des Rechenplanes. Pa die Entschlüsselungsrelais für die an das Leitwerk L gehenden Operationsbefehle und Pb das Wählwerk zur Auswahl der Speicherzellen. C ist das Speicherwerk mit den Speicherzellen *Ca* und den Verteilerrelais *Cc*.

2.3 Das Rechenwerk

- 3 ▷ Das Additionswerk A ist achtstellig, das Additionswerk B achtzehnstellig. Abb. 3 zeigt das Schema der Stellenaufteilung mit der Lage des Kommas in Teil B. Der Index der Stellen gibt die Potenz von 2 des zugehörigen

Stellenwertes an. Teil A arbeitet nur mit ganzzahligen Werten. Im Teil B liegt das Komma hinter der zweiten Stelle. Die Speicherstellen umfassen für Teil A nur 7 und für Teil B nur 14 Stellen. Für die Werte b gilt die Bedingung $L \leq b < L0$, so daß die Ziffer der Stelle +1 stets = 0 und die Ziffer der Stelle 0 stets = L ist und nicht gespeichert zu werden braucht. Die beiden letzten Stellen -15 und -16 dienen nur einer zusätzlichen Genauigkeit im Rechenwerk.

Abb. 4 zeigt die Additionsvorrichtung B. Jeder Stelle ist ein Relais Ba , Bb , Bc , Bd , Be zugeordnet. Wir haben ferner ein Relais Bs und ein Relais Bt (in Abb. 4 nur die Kontakte gezeichnet). Durch Bs wird die Additionsschaltung auf Subtraktion umgestellt. An der Relaisreihe Ba wird der erste und an der Relaisreihe Bb der zweite Summand eingestellt. Das Additionswerk arbeitet folgendermaßen: Bei Addition ist Bs nicht eingeschaltet und die Leitung b_1 und b_3 liegen an Spannung. Die Relais Ba , Bb werden auf Schritt V des vorhergehenden Spiels eingeschaltet. Im Schritt I werden die Relais Bc betätigt. Sie sprechen über zwei Umschaltkontakte von Ba und Bb an, wenn die Ziffern der betreffenden Stellen verschieden sind, d. h., wenn entweder Ba an Spannung liegt und Bb nicht, oder umgekehrt. Im Schritt II wird die Stellenübertragung gebildet. Es findet eine Übertragung auf die nächste Stelle statt, entweder wenn beide Ziffern = L oder nur eine Ziffer = L (also Relais Bc angesprochen hat) und von der vorhergehenden Stelle eine Stellenübertragung stattfindet. Dieser Zusammenhang geht aus der Zeichnung ohne weiteres hervor. Bd spricht an, wenn auf die betreffende Stelle eine Stellenübertragung stattfindet. Im Schritt III wird aus der Stellung der Relais Bc und Bd das Resultat gebildet. Die Ziffern des Resultats sind = L, wenn Bc ungleich Bd ist. Die Kontakte bt sind hierbei angesprochen, d. h., sie liegen anders als gezeichnet.

Beispiel:
$$\begin{array}{r} 00LLOLL \quad 27 \\ LOLOLLO \quad + \quad 86 \\ \hline LLL000L \quad 113 \end{array}$$

Ba 00XX0XX
 Bb X0X0XX0
 Bc X00XX0X
 Bd 0XXXX00
 Be XXX000X

„X“ bedeutet, daß das betreffende Relais angesprochen ist.

Bei Subtraktion ist Bs eingeschaltet, und es liegen die Leitungen b_2 und b_4 an Spannung. Die Subtraktion erfolgt durch Addition des Supplements. Das Supplement einer Sekundalzahls wird durch Umkehren der Ziffern gebildet, wobei in der letzten Stelle die flüchtige Eins addiert werden muß. Die Schaltung ist so aufgebaut, daß die Relais Bb bei Betätigung des Relais Bs

umgekehrt wirken wie bei der Addition.⁴ Die Einführung der flüchtigen Eins erfolgt über das Relais *Bd* der untersten Stelle⁵ (−16).

Beispiel:	113	<i>Ba</i>	0XXX000X
	−86	<i>Bb</i>	0X0X0XX0
		<i>Bc</i>	XX0XX000
		<i>Bd</i>	XX0000XX
	27	<i>Be</i>	000XX0XX

Ist *Bt* nicht angesprochen, so ist das Resultat (*Be*-Relais) gleich dem ersten Summanden (*Ba*-Relais). Hierdurch wird der weiter unten besprochene blinde Kreislauf bewirkt. In der Additionsschaltung von A sind die entsprechenden *Ae*-Relais direkt an die Umschaltkontakte *Ad* angeschlossen.⁶

Aus Abb. 2 geht der Verlauf der Zahlenkreisläufe hervor.

2.4 Übertragung von Ergebnissen

Die auf den Relais *Ae*₆–*Ae*₀ und *Be*₀–*Be*_{−16} erscheinenden Resultate der Einzeladditionen können über Schließkontakte *ae*, *be* und diesen zugeordneten Leitungen *ae*₆–*ae*₀ und *be*₀–*be*_{−16} abgelesen werden. Verteilerrelais *Ec*, *Ed*, *Fc*, *Fd* bewirken die Rückübertragung dieser Werte auf die Summandeneinstellrelais *Aa*, *Ab* bzw. *Ba*, *Bb*. *Af* und *Bf* sind Speicherrelais (Selbsthalterelais). Es können Zahlen von *Ae* über *Ef* auf *Af* und von *Be* über *Ff* auf *Bf* übertragen werden. Von *Af* und *Bf* können wiederum über *Ea*, *Eb*, *Ee*, *Fa*, *Fb* die dort gespeicherten Zahlen auf *Aa*, *Ab*, *Ba*, *Bb* übertragen werden. Die Relais *Ea*, *Ef*, *Fa*, *Ff* haben soviel Schließkontakte wie Leitungen über sie geführt werden (Beispiel: *Ea*, Abb. 5). Werden sie betätigt, so ist die betreffende Verbindung hergestellt.

Im Teil B kann der Wert über *Fp*, *Fq* mit Stellenverschiebung von +1, 0, −1, −2 Stellen und über *Fh*, *Fi*, *Fk*, *Fl*, *Fm* mit Stellenverschiebungen von +15 bis −16 Stellen übertragen werden. Die Schaltungen zeigen Abb. 6 und Abb. 7. An den Relais *Fh* bis *Fm* wird die erforderliche Stellenverschiebung als Sekundalzahl eingestellt, wobei *Fm* der untersten Stelle entspricht. Negative Zahlen werden als Supplemente dargestellt (*Fh* = L). Dementsprechend werden sämtliche Leitungen durch *Fm* um eine, durch *Fl* um 2, durch *Fk* um 4, durch *Fi* um 8 Stellen aufwärts und durch *Fh* um 16 Stellen abwärts

⁴ In diesem Rechenbeispiel wird ein Bit mehr als vorher verwendet. Die Einstellung von *Bc* entspricht der Zahl 86, d. h. bevor sie negiert wird.

⁵ Das Rechenwerk arbeitet mit der Zweierkomplementdarstellung für negative Zahlen. Die „flüchtige Eins“ ist die Eins, die zum Komplement einer Zahl addiert werden muß, um das Zweierkomplement zu erhalten. Dafür wird die Leitung *b*₆₀ auf Spannung gelegt (Abb. 4).

⁶ Im Original steht *Bd*, richtig ist *Ad*.

geschaltet. Die Relais Fq schalten um eine Stelle aufwärts und die Relais Fp um 2 Stellen abwärts.

Vor jeder Rechenoperation steht auf Af , Bf der erste und auf Ab , Bb der zweite Operand. Die Af , Bf , Ab , Bb -Relais sind als Selbsthalterelais ausgeführt und haben je eine zweite Wicklung. Abb. 8 zeigt die Wicklung der Af - und Bf -Relais, die Selbsthaltewicklungen der Ab - und Bb -Relais und die zur Schaltung der Selbsthalteteile erforderlichen Relais Ah_1 , Ah_2 und Bh . Die Selbsthalteteile der Af - und Bf -Relais werden über Ah_1 , die der Ab -Relais über Ah_2 und die der Bb -Relais über Bh eingeschaltet. Die Relais Ah_1 und Ah_2 und Bh sind ebenfalls Selbsthalterelais und können durch Betätigen der Relais Ai , Aj und Bj gelöscht werden, womit dann auch die Relais Af , Bf , Ab , Bb abfallen. Ferner können noch die Af -Relais direkt durch die Relais Al und die Bf -Relais direkt durch Bl gelöscht werden, ohne daß Ah_1 abfällt.⁷ < 8

Abb. 9 zeigt die Steuerung des Bt -Relais. Bt ist normalerweise über die Ruhekontakte li , lw und lm eingeschaltet. Die Schaltung wird im einzelnen weiter unten besprochen. < 9

2.5 Ausrichtung des Kommas im Resultat

Während der Rechenoperationen kann das Resultat im Teil B größer als L_0 (2) werden. In diesem Fall muß der Wert b eine Stelle abwärts verschoben werden und zum Ausgleich in Teil A eine Eins addiert werden. Dieser Vorgang wird durch die Relais Br und Be'_1 bewirkt. Die Schaltung ist so aufgebaut, (Abb. 4) daß bei Auftreten eines b -Wertes, größer als 2, noch im gleichen Additionsspiel die Addition von Eins im Teil A stattfindet und im Anschluß an die Addition die be -Leitungen (vgl. Seite 12) sofort umgeschaltet werden. Sind die Ziffern Ba_0 und Bb_0 beide = L, so findet eine Stellenübertragung auf Stelle 1 statt. Die zum Relais Bd_1 führende Leitung hat dann Spannung. Von hier aus führt eine Leitung über einen Umschaltkontakt ba_1 und einen Schließkontakt br nach a_{60} , d. h. zur untersten Übertragungsleitung im Teil A, wodurch dort die Addition von L bewirkt wird. < 4

Bei Multiplikationen kann der Wert a bereits vor dem letzten Spiel größer als 2 sein, d. h. Ba_1 hat angesprochen. In diesem Falle wird über den Umschaltkontakt ba_1 a_{60} eingeschaltet. Wird Br betätigt, so spricht außer Be_1 auch Be'_1 an, falls das Resultat größer oder gleich 2 ist. Be'_1 schaltet über Wechselkontakte sämtliche zu den Verteilerrelais laufenden Leitungen be je eine Stelle tiefer, wodurch die Abwärtsverschiebung des b -Wertes bewirkt wird.

⁷ Abb. 8 und Abb. 23 müssen zusammen betrachtet werden. Wenn das Relais Ah_1 nicht aktiv ist, werden die Relais Ef und Ff aktiviert. Es wird somit eine Gleitkommazahl in das Registerpaar $\langle Af, Bf \rangle$ geladen. Falls Ah_1 aktiv ist, wird über Ed und Fd das Registerpaar $\langle Ab, Bb \rangle$ angesprochen. Der Zustand von Ah_1 legt also fest, in welchem von beiden Registern eine Gleitkommazahl gespeichert wird.

3. Arithmetische Operationen

10 ▷ Jeder Operation ist ein Selbsthalterelais Lm , Li , Lw zugeordnet, welches durch Tastendruck oder durch den Rechenplan über Pa eingeschaltet wird (Abb. 10). Im gleichen Stromkreis mit den Wicklungen der L -Relais liegt Ln . Sobald Ln angesprochen hat, werden die Ansprechwicklungen der Operationsrelais kurzgeschlossen, wodurch verhindert wird, daß durch Drücken weiterer Tasten weitere Relais ansprechen. Durch Lz werden die Relais gelöscht.

Der Ablauf der verschiedenen Operationen wird durch das Leitwerk gesteuert. Dieses besteht im wesentlichen aus Steuerschaltern⁸ und Relaisketten, die spielweise fortgeschaltet werden und für die einzelnen Spiele die nötigen Einstellungen am Rechenwerk bewirken, z. B. die Verteilerrelais Ea usw. steuern.

Die Operationsrelais werden in Schritt I eingeschaltet, die Steuerschalter schalten auf Schritt II. Während der Schritte III, IV, V werden die Einstellungen für das nächste Spiel vorgenommen.⁹

3.1 Multiplikation

Bei Multiplikation muß im Teil A die Summe der a -Werte gebildet werden und im Teil B die eigentliche Multiplikation durchgeführt werden. Zwecks Addition der a -Werte muß der auf Af gespeicherte Wert über Eb auf Ab übertragen werden.¹⁰ Durch den Steuerschalter Md wird daher im Spiel 1 Eb eingeschaltet (Abb. 11). Als dann wird der auf Ab gespeicherte Wert durch Aj gelöscht (Spiel 2). Während der ganzen Multiplikation ist Ec eingeschaltet, so daß in den folgenden Spielen die Summe der a -Werte im Teil A über Aa , Ae , Ec umläuft.

9 ▷ Im Teil B bleibt der zweite Faktor auf den Bb -Relais eingestellt. Das Produkt wird durch Umlaufenlassen des im Laufe der Rechnung aufzubauenden Resultats über Ba , Be , Fc , Fp , Fq gebildet, wobei Fp und Fq eingeschaltet sind, so daß der Wert um eine Stelle abwärts verschoben auf Ba eingestellt wird. Bt wird während der Multiplikation durch Mm gesteuert (s. Abb. 9: Lm hat geschaltet). Ein Arm des Steuerschalters Md

⁸ Ein Steuer- bzw. Schrittschalter ist ein beweglicher Arm, der in jedem Spiel eine Stelle weiter rückt und unterschiedliche Leitungen unter Spannung setzt. Siehe die Beschreibung auf Seite ??.

⁹ Eine Operation, die in Schritt I gestartet wird, ist meistens erst bei Schritt III fertig. In den Schritten IV und V wird das Resultat in einem Register gespeichert. Da die Steuerschalter erst in Schritt II vorrücken, verwendet die in Schritt I gestartete Operation die in den Schritten IV und V des vorherigen Spiels geladenen Argumente. Für die Interpretation der Diagramme der Z3 ist es deswegen günstig, die Schrittfolge IV, V, I, II und III mit einem Spiel (einem Zyklus) zu identifizieren.

¹⁰ Im vorherigen Spiel ist Ab auf Ae und von dort auf Aa übertragen worden. Siehe Abb. 11.

tastet während der einzelnen Spiele die Kontakte der *Bf*-Relais ab, auf denen der Multiplikator gespeichert ist. Ist die betreffende Ziffer = L, so spricht *Mm* und somit *Bt* an. Hierdurch wird bei Ziffer L der Multiplikand zum kreisenden Produkt dazu addiert. Das abwärtskreisende Produkt entspricht den Schlittenverschiebungen bei üblichen Rechenmaschinen, nur mit dem Unterschied, daß hier der Multiplikand stillsteht und das Resultat relativ zu ihm verschoben wird. Im letzten Additionsspiel (15) wird *Br* eingeschaltet und somit das Resultat in bezug auf das Komma ausgerichtet (vgl. Seite 13). Im Spiel 16 wird das Resultat auf die *Af*- und *Bf*-Relais übertragen (*Ef*, *Ff*). Ist das Schlußzeichen *Lz* gegeben, so fällt *Lm* ab, und die Operation ist beendet. Ferner werden noch im Spiel 1 und 2 die Löschbefehle *Aj*, *Al* und im Spiel 16 *Bj* und *Bl* gegeben. *Pu* ist ein Zeichen an das Planwerk P und wird weiter unten besprochen.

3.2 Division

Bei der Division wird im Teil A die Differenz der *a*-Werte gebildet und im Teil B die eigentliche Division durch Subtraktion des Divisors vom Dividenten gebildet. Die Differenz der *a*-Werte wird entsprechend der Multiplikation durchgeführt. Im Teil B bleibt der Divisor auf den *Bb*-Relais eingestellt, und der Rest macht einen Kreislauf über *Ba Be Fc Fp Fq*, wobei nur *Fq* eingeschaltet ist und somit der Rest um eine Stelle aufwärts verschoben auf die *Ba*-Relais eingestellt wird. Er wandert also aufwärts, der Divisor verschiebt sich relativ dazu abwärts. Die *Bt*-Relais werden bei der Division so gesteuert, daß bei positiver Differenz *Bt* eingeschaltet und bei negativer Differenz *Bt* nicht eingeschaltet ist, so daß der Rest einen blinden Kreislauf ohne Subtraktion des Divisors ausführt. Ist die Differenz positiv, so ist die Übertragungsangabe *b₆₁* (s. Abb. 4) ebenfalls positiv; das heißt, sie liegt an Spannung, da die vor der ersten Stelle liegenden Ziffern des Divisorsupplements (*Bs* auf Subtraktion geschaltet) = L sind. Soll das Resultat der Subtraktion positiv werden, so müssen die vor der ersten Stelle liegenden Ziffern 0 sein. Hierzu ist eine über sämtliche Stellen laufende Stellenübertragung nötig. Die Schaltung des *Bt*-Relais zeigt Abb. 9. < 9

Durch den Wechselkontakt *li* wird das normalerweise an den Impuls II, III angeschlossene Relais *Bt* an den Abschluß *b₆₁* umgeschaltet. Das Resultat wird ziffernweise, angefangen von der ersten Ziffer (1. Stelle vor dem Komma), durch die Angabe *b₆₁* gegeben. Bei positivem Rest, d. h. wenn der Divident aufgeht, ist die betreffende Ziffer des Resultats = L.

Durch den Steuerschalter *Id* (Abb. 12) wird die Stellung von *Bt* < 12 nacheinander auf die Ansprechwicklung (1. Wicklung) der *Bf*-Relais übertragen und so das Resultat aufgebaut. Die weitere Steuerung des Rechenwerks bei der Division geht ebenfalls aus Abb. 12 hervor. Im Spiel 1 werden im Teil A *Ea* (Übertragung *Af* auf *Aa*) und *As* (Subtraktion im Teil A) eingeschaltet. Über *Fa* wird der auf *Bf* gespeicherte Divident auf die *Ba*-Relais übertragen.

Das Resultat der Division kann kleiner als 1 sein, muß aber größer als 0,L sein, daß heißt, die erste von 0 verschiedene Ziffer kann entweder auf Bf_0 oder auf Bf_{-1} stehen. Im Spiel 17 wird nun das auf Bf stehende Resultat über Fa auf Ba übertragen. Ist $Bf_0 = 0$, so werden über einen Trennkontakt bf_0, Ab_0, Ab_1, Ei und Fq eingeschaltet. Ei ist die Einstellung von -4 (LLLLL00, Supplement) auf die Ab -Relais, so daß, bei gleichzeitigem Einschalten von Ab_0 und Ab_1 , die im Teil A kreisende Differenz der a -Werte um 1 vermindert wird. Gleichzeitig wird die Einschaltung von Fq durch das Relais Ib von bf_0 abhängig gemacht, wodurch im Teil B der Wert b um eine Stelle aufwärts verschoben auf die Ba -Relais eingestellt wird. Im Spiel 18 wird dann über Ef, Ff das Resultat auf die Relais Af, Bf zurückübertragen. Lz ist das Schlußzeichen, Aj, Bj, Al, Bl sind Löschbefehle. Über das Relais Li ist dauernd im Teil A der Kreislauf über Ec eingeschaltet, ferner der Kreislauf des Restes im Teil B über Fc mit einer Abwärtsverschiebung durch Fq . Teil B ist durch Bs auf Subtraktion gestellt.

3.3 Quadratwurzelziehen

Das Quadratwurzelziehen hat große Ähnlichkeit mit der Division. An Stelle des Divisors wird das im Laufe der Rechnung aufzubauende Resultat vom Radikanden abgezogen (vgl. Anmeldung Z23624, S. 1). Die quadratische Ergänzung besteht durch einfache Addition von 1. Im Teil A muß der auf Af stehende Wert halbiert werden, während im Teil B die eigentliche Wurzel gezogen wird. Ist a ungerade, so muß, damit beim Halbieren wieder eine ganze Zahl entsteht, diese um Eins erniedrigt werden und dafür die Wurzel aus $2b$ gezogen werden. Die Erniedrigung von a um Eins geschieht selbsttätig durch Verlorengehen der letzten Stelle beim Halbieren (Halbieren gleich eine Stelle abwärts verschieben).

- 13 ▷ Abb. 13 zeigt die Schaltung des Steuerschalters Wd . Im Spiel 1 wird der b -Wert des Radikanden über Fa von Bf auf Ba übertragen; ist der a -Wert des Radikanden ungerade, so ist Af_0 gleich L. Es wird dann im Spiel 1 außerdem Fq eingeschaltet und somit der b -Wert, um eine Stelle aufwärts verschoben, auf Ba eingestellt. Ferner ist die erste quadratische Ergänzung auf Bb_0 eingestellt. In dem folgenden Spiel wird die quadratische Ergänzung jeweils eine Stelle tiefer auf die Bb -Relais eingestellt und genau wie beim Dividieren das Resultat auf den Bf -Relais aufgebaut. Hierbei haben wir die Einstellung Fc, Fq (aufwärtslaufender Kreislauf des Restes) und Fb, Fm zur Einstellung des auf Bf stehenden Resultats um eine Stelle aufwärts verschoben (Fm) auf die Bb -Relais. Im Spiel 19 wird der a -Wert über Ee um eine Stelle abwärts verschoben auf Aa übertragen¹¹ und zugleich das Resultat von Bf über Fa auf Ba übertragen. Im Spiel 20 findet die Übertragung des endgültigen Resultats über Ef auf Af und über Ff auf Bf statt. Zugleich wird das Schlußzeichen

¹¹ Ee shiftet Af eine Stelle nach rechts und behält dabei das Vorzeichen. Es handelt sich also um ein *signed shift right*.

Lz gegeben. Bl und Al sind Löschbefehle. Die Einstellungen Fc , Fq , Fb , Fm werden über Lw eingeschaltet, sind aber während der Spiele 1, 18 und 19 durch die Relais Wa , Wb und Wc zum Teil unterbrochen.¹²

3.4 Addition und Subtraktion

Bei Addition und Subtraktion zweier in halblogarithmischer Form gegebener Zahlen muß die Differenz der a -Werte gebildet werden und der dem kleineren a zugeordnete b -Wert um $|a_1 - a_2|$ Stellen abwärts verschoben werden. Aus den Vorzeichen der beiden Werte und der befohlenen Operation ergibt sich die auszuführende Operation. Diese ist gleich der befohlenen Operation (Addition oder Subtraktion), wenn beide Vorzeichen gleich sind, und entgegengesetzt der befohlenen, wenn beide ungleich sind. Vg ist ein Relais des weiter unten besprochenen Vorzeichenwerks und spricht bei gleichen Vorzeichen der gegebenen Operanden an. Ls_1 spricht bei befohlener Addition und Ls_2 bei befohlener Subtraktion an. Abb. 14 zeigt die Schaltung des Relais St . Es spricht an entweder, wenn Ls_1 und Vg angesprochen werden oder wenn Ls_2 , aber nicht Vg angesprochen hat. Liegt St an Spannung, so bewirkt es, daß die ausgeführte Operation eine Addition ist, sonst eine Subtraktion. Der Ablauf der Spiele wird durch eine Relaiskette gesteuert¹³ (Abb. 15). Die Kette läuft von Sa_1 über $Sb_1, Sa_2, Sb_2, Sa_3, Sb_3, Sa_4, Sb_4, Sa_5$, wobei die Sa -Relais die Einstellungen für das jeweilige Spiel bewirken. < 14 < 15

Im Spiel 1 wird die Differenz der a -Werte gebildet. Im Spiel 2 findet die eigentliche Addition bzw. Subtraktion statt, bei Addition wird dann die Relaiskette sofort auf das Schlußspiel 5 geschaltet. Bei Subtraktion kann der b -Wert des Resultats negativ werden, das heißt im Additionswerk b als Supplement erscheinen. Dann muß von ihm wieder das Supplement gebildet werden. Das geschieht im Spiel 3. Ist kein Supplement zu bilden, so wird die Relaiskette gleich von Spiel 2 auf Spiel 4 geschaltet. Bei Subtraktionen kann die erste von Null verschiedene Ziffer des b -Wertes des Resultats an beliebiger Stelle liegen. In diesem Fall muß der b -Wert „ausgerichtet“ werden, d. h., der b -Wert muß um soviel Stellen aufwärts verschoben werden, daß die Bedingung $1 \leq b < 2$ erfüllt ist. Dabei muß der a -Wert um den Betrag der erforderlichen Stellenverschiebungen vermindert werden. Dieses Ausrichten findet im Spiel 5 statt.

Abb. 16 zeigt die durch die Relaiskette in den einzelnen Spielen bewirkten Einstellungen an der Maschine. Die Vorgänge sind im einzelnen folgende: < 16

Wird die Addition oder Subtraktion über Relais Ls_1 oder Ls_2 eingeleitet, so spricht das Relais Sa_1 an. Dadurch wird Su eingeschaltet, und Su schaltet

¹² In Abb. 13 ist das Relais Wc nicht vorhanden.

¹³ Bei der Addition und Subtraktion treten logische Verzweigungen auf, so daß es günstiger ist, eine Relaiskette statt eines Steuerschalters zu verwenden. Die Anzahl der Operationszyklen ist niedriger als bei Multiplikation, Division oder Quadratwurzelziehen. Nur bei vielen Zyklen lohnt es sich, einen Steuerschalter zu verwenden.

das Relais Sa_1 ab, so daß die Relaiskette während ihres Arbeitens nicht neu eingeschaltet werden kann. Im Spiel 1 wird über Ea der auf Af stehende a -Wert auf Aa übertragen und das Werk A auf Subtraktion gestellt (As).

Ist $a_1 > a_2$, so ist die Übertragungsangabe a_{61} positiv (vgl. Seite 15, b_{61}). Diese schaltet ein Relais Av (nur die Kontakte gezeichnet). Av steuert die Einstellungen für das zweite Spiel. Ist Av eingeschaltet, so wird der auf Ab stehende zweite a -Wert des Operanden über Aj gelöscht und über Ea der auf Af stehende erste a -Wert auf Aa übertragen. Ist Av nicht eingeschaltet, so bleibt der zweite a -Wert auf Ab stehen. Während des Additionsspiels wird dann in jedem Fall der größere a -Wert auf die Ae -Relais übertragen. Er kreist während der folgenden Spiele über Ec , Aa , Ae . Entsprechend wird im Teil B, wenn Av eingeschaltet ist, der erste b -Wert von Bf über Fa auf Ba übertragen und der inzwischen von Bb auf Be übertragene zweite b -Wert von Fd auf Bb zurückübertragen. Ist Av nicht eingeschaltet, so wird umgekehrt der erste b -Wert über Fb auf Bb und der zweite b -Wert über Fc auf Ba übertragen. Es steht also in jedem Fall der dem größeren a -Wert zugeordnete b -Wert auf den Ba -Relais.

Der auf Bb einzustellende Wert muß also um die Differenz der a -Werte abwärts verschoben werden. Dies erfolgt über die Relais Fh bis Fm , welche durch die Kontakte ae_3 bis ae_0 entsprechend Abb. 17 gesteuert werden, und zwar nach folgendem Schema:

ae_4	ae_3	ae_2	ae_1	ae_0		Fh	Fi	Fk	Fl	Fm
○	●	●	●	●	15	●	○	○	○	●
○	●	●	●	○	14	●	○	○	●	○
○	●	●	○	●	13	●	○	○	●	●
○	●	●	○	○	12	●	○	●	○	○
○	●	○	●	●	11	●	○	●	○	●
○	●	○	●	○	10	●	○	●	●	○
○	●	○	○	●	9	●	○	●	●	●
○	●	○	○	○	8	●	●	○	○	○
○	○	●	●	●	7	●	●	○	○	●
○	○	●	●	○	6	●	●	○	●	○
○	○	●	○	●	5	●	●	○	●	●
○	○	●	○	○	4	●	●	●	○	○
○	○	○	●	●	3	●	●	●	○	●
○	○	○	○	○	2	●	●	●	●	○
○	○	○	○	●	1	●	○	○	●	●
○	○	○	○	○	0	○	○	○	○	○
●	●	●	●	●	-1	●	●	●	●	●
●	●	●	●	○	-2	●	●	●	●	○
●	●	●	○	●	-3	●	●	●	○	●
●	●	○	○	○	-4	●	●	●	○	○
●	●	○	●	●	-5	●	●	○	●	●
●	●	○	●	○	-6	●	●	○	●	○
●	●	○	○	●	-7	●	●	○	○	●
●	●	○	○	○	-8	●	●	○	○	○
●	○	●	●	●	-9	●	○	●	●	●
●	○	●	○	○	-10	●	○	●	●	○
●	○	●	○	●	-11	●	○	●	○	●
●	○	●	○	○	-12	●	○	●	○	○
●	○	○	●	●	-13	●	○	○	●	●
●	○	○	●	○	-14	●	○	○	●	○
●	○	○	○	●	-15	●	○	○	○	●
●	○	○	○	○	-16	●	○	○	○	○

Links stehen die letzten 4 Ziffern der Differenz der a -Werte als Sekundalzahlen, negative Zahlen sind als Supplemente dargestellt, ae_4 entspricht av ; rechts die erforderlichen Einstellungen an den Fh - bis Fm -Relais. Sie stellen ebenfalls die Stellenverschiebungen als sekundale Supplemente dar. Ist Av negativ, d. h. bei negativer Differenz der a -Werte, so kann der auf den Ae -Relais eingestellte Wert direkt auf die Fh - Fm -Relais übertragen werden. Ist Av positiv, so gilt folgende Regel:

Ein beliebiges F -Relais muß ansprechen, entweder wenn das der gleichen Stelle zugeordnete Ae -Relais angesprochen ist, aber keines der Ae -Relais von niederer Stellenzahl, oder wenn das der gleichen Stelle zugeordnete Ae -Relais nicht angesprochen ist, aber dafür mindestens eines der Ae -Relais von niederer Stellenzahl.

Die Lösung dieser Aufgabe geht ohne weiteres aus Abb. 17 hervor. Diese Schaltung gilt nur für den Bereich, in dem $a_1 - a_2$ kleiner als +15 und größer als -16 ist. Anderenfalls würden sich falsche Einstellungen ergeben. In diesem Fall hat auch die Addition keinen Sinn, da der zweite Wert zu klein ist; seine

◁ 17

- 16 ▷ Einstellung muß verhindert werden. Dies erfolgt durch den Teil der Schaltung von Abb. 16, der über $sa_2, ae_{7,6,5,4}$ die Einstellungen von Fb bzw. Fd bewirkt. Für alle Zahlen des oben genannten Bereiches gilt folgendes: Entweder ist die Zahl größer als +15, dann müssen alle vor Ae_3 liegenden Ziffern gleich Null sein, oder sie ist kleiner als -16, also ein Supplement, dann müssen alle vor Ae_3 liegenden Ziffern gleich L sein.

- Im Spiel 2 erfolgt die eigentliche Addition. Ist St nicht eingeschaltet, so wird Bs eingeschaltet, und es erfolgt eine Subtraktion. Ist St eingeschaltet, so wird die Relaiskette über den Umschaltkontakt st sofort auf Sa_5 umgeschaltet. Bei Subtraktion (St nicht eingeschaltet) wird durch die Angabe b_{61} (Abb. 4) angezeigt, ob die Differenz der b -Werte negativ oder positiv ist. b_{61} steuert ein Relais Bv (entsprechend Av , vgl. Seite 18). Hat Bv angesprochen, so ist die Differenz positiv, und die Relaiskette wird von Sb_2 auf Sa_4 geschaltet; hat Bv nicht angesprochen, so wird Sa_3 eingeschaltet. Im Spiel 3 wird im Teil B das Supplement gebildet. Über Fd wird das Resultat von Be auf Bb übertragen und durch Bs der Teil B auf Subtraktion gestellt. Dadurch werden in den Bb -Relais die Ziffern umgekehrt und durch Addition der flüchtigen 1 das Supplement gebildet. Im Spiel 4 erfolgt die Ausrichtung der b -Werte, denn bei Subtraktionen können die ersten Ziffern Null sein, so daß das Resultat aufwärts verschoben werden muß. Abb. 18 zeigt die Schaltung, durch die, entsprechend der Lage der ersten von Null verschiedenen Ziffern, die Fi - Fm -Relais so geschaltet werden, daß sich die richtige Stellenverschiebung ergibt. Fm muß ansprechen,¹⁴ wenn die Zahl der Stellenverschiebungen ungerade ist, also wenn die erste Ziffer bei der Stelle -1, -3, -5 usw. liegt. Über hintereinander geschaltete Trennkontakte liegen die Leitungen an Spannung, bis sie durch ein Be -Relais abgeschaltet sind. Ist dieses einer ungeraden Stelle zugeordnet, so wird über einen Wechselkontakt Fm eingeschaltet. Entsprechend wird

Fl bei den Stellen -2, -3, -6, -7, -10, -11, -14, -15,

Fk bei den Stellen -4, -5, -6, -7, -12, -13, -14, -15 und

Fi bei den Stellen -8, -9, -10, -11, -12, -13, -14, -15

eingeschaltet.¹⁵ Die so gebildete Kombination stellt die Zahl der Stellenverschiebung als Sekundalzahl dar und wird durch die Kontakte des Bm -Relais auf die Fi - Fm -Relais¹⁶ und durch Bn auf die Ab_0 - Ab_3 -Relais übertragen. Teil A wird über As auf Subtraktion geschaltet und somit der auf Aa stehende a -Wert um die Zahl der Stellenverschiebungen vermindert.

Im Spiel 5 erfolgt die Herausgabe des endgültigen Resultats über die Relais Ef, Ff auf die Relais Af, Bf . Genau wie bei der Multiplikation (vgl. Seite 12) kann das Resultat der Addition größer als zwei sein und muß in bezug auf das Komma ausgerichtet werden. Dies geschieht entsprechend Seite 13 über Br .

¹⁴ Fi im Original. Es soll aber Fm heißen.

¹⁵ Fk, Fl, Fm im Original. Korrekt ist Fl, Fk, Fi .

¹⁶ Fi - Fa im Original, richtig ist Fi - Fm .

3.5 Übersetzung vom Dezimal- ins Sekundalsystem

Beim Übersetzen der auf Z-K (Abb. 2) eingestellten Zahl wird zunächst unabhängig von der Lage des Kommas der auf Z eingestellte vierstellige Dezimalwert als ganze Zahl übersetzt. Dies geschieht im Teil B entsprechend der Anmeldung Z23624, indem die Dezimalziffern für sich ins Sekundalsystem übersetzt werden und als solche, angefangen von der höchsten Stelle, nacheinander auf das Additionswerk übertragen werden und zwischen jeder neueingestellten Ziffer das bisher aufgebaute Resultat mit 10 multipliziert wird.

Die Multiplikation mit 10 geschieht durch Einstellen des doppelten und achtfachen Wertes auf das Additionswerk, also dadurch, daß das Resultat einmal eine Stelle aufwärts und einmal drei Stellen aufwärts verschoben wird.

Beispiel: 835

L000	8
L0000	16
L000000	64
LOL0000	80
LL	3
LOL00LL	83
LOL00LLO	166
LOL00LL000	664
LL00LLLLLO	830
LOL	5
LL0L0000LL	835

Abb. 19 zeigt die Zifferneinstellungsvorrichtung Z für eine Stelle. Sie besteht im wesentlichen aus einer Tastatur mit durch Tasten betätigten Kontakten, durch die die Dezimalziffer ins Sekundalsystem übersetzt wird. Durch die Relais *Za*, *Zb*, *Zc*, *Zd* werden dann diese Kombinationen auf die Relais *Ba*₋₁₀, *Ba*₋₁₁, *Ba*₋₁₂, *Ba*₋₁₃ übertragen. Die durch den Steuerschalter *Ud* (nicht gezeichnet) bewirkten Einstellungen sind für die einzelnen Spiele folgende:

Spiel	1	1. Ziffer	Za, Fd
	2	× L0L0	Fc, Fd, Fq, Fl, Fm
	3	2. Ziffer	Zb, Fd
	4	× L0L0	Fc, Fd, Fq, Fl, Fm
	5	3. Ziffer	Zc, Fd
	6	× L0L0	Fc, Fd, Fq, Fl, Fm
	7	4. Ziffer	Zd, Fd
	8	Ausrichten	Bm, Bn, As
		+ LL0L	Eg, Uc
		(Teil A)	

18 ▷ Im Spiel 8 muß die so übersetzte ganze Zahl auf die Form $y = 2^a \cdot b$ gebracht werden. Da die Einer auf die Stelle -13 eingestellt werden, muß in Teil A zum Ausgleich $+13$ addiert werden¹⁷ (LL0L). Ferner muß die Zahl entsprechend der Lage der ersten von Null verschiedenen Ziffer ausgerichtet werden. Dies geschieht, genau wie bei der Subtraktion, durch die in Abb. 18 dargestellte Teilschaltung über die Relais *Bm*, *Bn* und *As*. *Uc* bewirkt die zur Berücksichtigung des Kommas erforderlichen weiteren Operationen.

20 ▷ Abb. 20 zeigt die Teilschaltung K zur Einstellung des Kommas. Es wird die der Lage des Kommas entsprechende Taste gedrückt. Der den Tasten zugeordnete Index gibt an, mit welcher Potenz von 10 die bei Z eingestellte Zahl zu multiplizieren ist. Ist Tk_0 gedrückt, so ist eine Korrektur der übersetzten Zahl nicht nötig. Liegt das Komma weiter rechts, so muß der übersetzte Wert entsprechend oft mit 10, liegt er weiter links, mit 0,1 multipliziert werden. Die Multiplikation mit 10 bedeutet in halblogarithmischer Form ($10 = L0^{LL} \cdot L, 0L$), die Addition von LL im Teil A und im Teil B die Addition von $b + b/4$; sie läßt sich also in einem Spiel erledigen. Die zugehörigen Einstellungen *Fc*, *Fd*, *Ec*¹⁸, *Ei*, *Ab*₀, *As*, *Fh*, *Fi*, *Fk*, *Fl* bewirkt das Relais *Ug* (nicht gezeichnet). *Ug* schaltet ferner *Br* ein, wodurch der Wert ausgerichtet wird (vgl. Seite 13). Die Addition von 3 wird durch Subtraktion von -3 bewirkt, der Grund wird weiter unten angegeben (Einstellung von LLLLL00 über *Ei* und von *Ab*₀).

Die Multiplikation mit 0,1 ist etwas komplizierter. $1/10$ hat im Sekundalsystem die Periode 0,000LL bzw. in halblogarithmischer Form mit 16 Stellen hinter dem Komma:

$$0,1 = L0^{-L00} \cdot L, L00LL00LL00LL00L$$

Diese Multiplikation läßt sich in 4 Spielen wie folgt durchführen: Ist x_0 der zu multiplizierende Wert, so wird

- im ersten Spiel $x_1 = L, L \cdot x_0$,
- im zweiten Spiel $x_2 = L, 000L \cdot x_1$,

¹⁷ Dies ist die Aufgabe der *Eg*-Relaisgruppe, die die Konstante $+13$ ins Register *Aa* lädt.

¹⁸ *Bc* im Original, richtig ist *Ec*.

- im dritten Spiel $x_3 = L, 0000000L \cdot x_2$ und
- im vierten Spiel $x_4 = L, 000000000000000L \cdot x_3$

gebildet, womit die Multiplikation für den Bereich der vorhandenen Stellen durchgeführt ist.

Beispiel: $100 \times 0,1$, wobei $100 = LL00L00 = L0^{L0} \times L,L00L$:

$$\begin{array}{rcl}
 L,L00L & \times & L, \quad L00L00LL \dots \\
 = & & L, \quad L00L \\
 & & \quad LL00L \qquad \text{erstes Spiel} \\
 \hline
 & & L0, \quad 0L0LL \\
 & & \quad 0, \quad 00L00L0LL \qquad \text{zweites Spiel} \\
 \hline
 & & L0, \quad 0LLLLL0LL \\
 & & \quad 0, \quad 000000L00LLLLL0LL \qquad \text{drittes Spiel} \\
 \hline
 & & L0, \quad 0LLLLLLLLLLLLL0LL \\
 & & \quad 0, \quad 00000000000000L00LLL \qquad \text{viertes Spiel} \\
 \hline
 & & L0, \quad 0LLLLLLLLLLLLLLLLLLL
 \end{array}$$

aufgerundet: $L0,L \times L0^{L0} = L,0L \times L0^{LL} = 10$.

Die Multiplikation mit $0,1$ erfolgt nun so, daß in jedem der 4 Spiele das Resultat, soweit es bereits aufgebaut ist, einmal ohne Stellenverschiebung auf Ba und zum anderen mit den Stellenverschiebungen $-1, -4, -8, -16$ auf Bb eingestellt wird. Die Steuerung der Stellenverschiebungen erfolgt über die $Fh-Fm$ -Relais, an denen die Stellenverschiebungen als Sekundalzahlen eingestellt werden müssen. Es sind also in den einzelnen Spielen folgende Relais zu schalten:

Spiel	Fh	Fi	Fk	Fl	Fm
1	•	•	•	•	•
2	•	•	•	-	-
3	•	•	-	-	-
4	•	-	-	-	-

Es müssen also zunächst alle 5 Relais eingeschaltet sein und dann nach dem ersten Spiel Fl, Fm , nach dem zweiten Spiel Fk und nach dem dritten Spiel Fi abgeschaltet werden. Dieses wird durch die in Abb. 21 dargestellte Schaltung bewirkt. < 21

Durch Einschalten von Uf wird die Multiplikation mit $0,1$ eingeleitet. Uf hält sich über eine Selbsthaltungwicklung Uf^2 während der ganzen Operation. Über die Schließkontakte uf werden zunächst die Relais Fh, Fi, Fk, Fl, Fm eingeschaltet. Uf wird im Schritt III eingeschaltet, $Fh-Fm$ im Schritt IV; im Schritt V erfolgt über die $Fh-Fm$ -Relais die Einstellung der Summanden auf die Bb -Relais; im Schritt II des nächsten Spiels wird Um eingeschaltet (Abb. 21), während Uk und Ui durch die Trennkontakte fm und fk noch abgeschaltet sind. Um schaltet über einen Trennkontakt Fm und Fl ab,

womit die Einstellungen für das zweite Spiel vollzogen sind. Im nächsten Spiel wird das Uk -Relais eingeschaltet, da Fm abgefallen ist. Es bewirkt die Abschaltung von Fk und somit die Einstellung für Spiel 3. Dadurch wird auch Ui freigegeben, so daß im nächsten Spiel auch Fi abgeschaltet wird. Hierdurch wird das Schlußrelais Uh , welches bis dahin über Fi abgeschaltet war, freigegeben. Uh bewirkt die Abschaltung von Uf und Fh . Während der ganzen Zeit sind ferner zur Aufrechterhaltung des Zahlenkreislaufes die Einstellungen Fc , Fd , Ec erforderlich. Ferner muß das Rechenwerk über Br auf Ausrichten geschaltet werden (vgl. Seite 13), da der auftretende b -Wert größer als 2 werden kann. Außerdem muß in Teil A -4 (LLLLL00) addiert werden, was im Spiel 3 über einen Schließkontakt von Uk und einen Trennkontakt ui durch das Relais Ei erfolgt.

- 20 ▷ Ist in der Teilschaltung K (Abb. 20) eine Kommataste mit negativem Index gedrückt, so spricht Ka an, bei einer Taste mit positivem Index Kb . Das durch den Steuerschalter Ud im Spiel 8 eingeschaltete Relais Uc bewirkt
- 22 ▷ (Abb. 22) bei Einschaltung von Ka die Einschaltung von Uf und somit die Multiplikation mit 0,1 und bei Einschaltung von Kb die Einschaltung von Ug und somit die Multiplikation mit 10. Bei jeder Einzelmultiplikation wird entweder über die Kontakte lu , uf , fi oder die Kontakte lu , ug der
- 20 ▷ Schrittschalter Kd betätigt (Abb. 20). Dies erfolgt so oft, bis der Arm des Schrittschalters die gedrückte Kommataste erreicht hat. Dann spricht Kc an und bewirkt die Abschaltung von Uf bzw. Ug und die Einschaltung des Schlußrelais Uz (Abb. 22). Uz bewirkt die Übertragung der übersetzten Zahl entweder über Ef , Ff auf Af , Bf oder über Ed , Fd , auf Ab , Bb
- 23 ▷ (Abb. 23). Zunächst sind weder die Einstellglieder für den ersten (Af , Bf) noch für den zweiten Operanden (Ab , Bb) gesetzt. Ah_1 , Ah_2 und Bh sind
- 8 ▷ also ebenfalls abgefallen (Abb. 8). Durch Uz wird über a_{72} (Abb. 23, Abb. 8) zunächst Ah'_1 eingeschaltet und dadurch etwas verzögert Ah_1 , wodurch die Selbsthalteleitungen der Relais Af , Bf eingeschaltet werden. Ah_1 schaltet den Anschluß a_{72} auf Ah_2 und Bh um (Abb. 8); ferner Ef auf Ed , Ff auf Fd , Vx auf Vy (Vorzeicheneinstellung s. weiter unten), so daß die nächste Zahl auf dem Relais Ab , Bb gespeichert wird. Sollten die Zahlen direkt ins Speicherwerk übertragen werden, so wird dies durch den Rechenplan gesteuert (s. weiter unten). Der Drehwähler Kd muß nach erfolgter Operation auf die Null-Stellung zurückgehen. Die zugehörige Schaltung ist nicht gezeichnet.

3.6 Übersetzung vom Sekundal- ins Dezimalsystem

Die Rückübersetzung vom Sekundalsystem ins Dezimalsystem erfolgt ebenfalls nach dem in der Anmeldung Z23624 angegebenen Prinzip. Durch Multiplikation mit 10 bzw. 0,1 und durch Ausrichten muß die Zahl zunächst auf eine Form gebracht werden, bei der der a -Wert gleich Null und der b -Wert zwischen Null und 15 liegt. Es wird dann der vor dem Komma liegende ganzzahlige Teil der Zahl in die entsprechende Dezimalziffer überführt und der hinter dem Komma liegende Rest mit 10 multipliziert, dann wieder der

vor dem Komma liegende Teil in die zweite Dezimalziffer überführt, der Rest mit 10 multipliziert usw. Für dieses Verfahren werden im Teil B vier Stellen vor dem Komma gebraucht. Da das Additionswerk *B* nur zwei Stellen vor dem Komma hat, wird für das Rückübersetzen das Komma hinter die vierte Stelle von vorn verlegt (s. Abb. 3), der *b*-Wert also um 2 Stellen abwärts verschoben. Dementsprechend muß der zugehörige *a*-Wert um zwei erhöht werden, d. h., bei der fertig umgeformten Zahl muß $a = L0$ sein. < 3

Die Steuerung erfolgt durch die Teilschaltung D über den Steuerschalter *Dd* (Abb. 24), im Spiel 1 wird über *Ea* und *Fa* die auf *Af*, *Bf* eingestellte Zahl auf *Aa* und *Ba* übertragen. Im Spiel 2 wird entweder *Ug*, *Uf* oder *Dn* eingeschaltet, und zwar wie folgt: Ist der *a*-Wert negativ, so ist die Ziffer $af_6 = L$ (Supplement). Über einen Umschaltkontakt af_6 wird *Ug* eingeschaltet und somit die Multiplikation mit 10 eingeleitet. Ist der Wert *a* größer als LL, so muß mindestens eine der Ziffern $af_5, af_4, af_3, af_2 = L$ sein. In diesem Fall spricht *Aq* (Abb. 8) an. Der Steuerschalter *Dd* schaltet über af_6 und a_q Uf_1 ein¹⁹ und löst somit die Multiplikation mit 0,1 aus. < 24 < 8

Während dieser Zeit ist *Ef* eingeschaltet, der reduzierte *a*-Wert wird also nach jeder Einzelmultiplikation auf die *Af*-Relais zurückübertragen. Dies erfolgt so lange, bis der Wert *a* im Bereich 0, +1, +2, +3 liegt.

Liegt der *a*-Wert von vornherein in diesem Bereich, so sind af_0 und a_q abgefallen und *Dn* spricht an. *Dn* bewirkt über *Ec*, *Fc* die Zurückübertragung der eingestellten Zahl.

Der Schrittschalter *Dd* ist so geschaltet, daß die Fortschaltung bei Einschaltung von *uf* oder *ug* unterbrochen ist (Abb. 25). Ist *Uf* eingeschaltet, so erfolgt die Weiterschaltung, sobald a_q abgefallen ist, und ist *Ug* eingeschaltet, so erfolgt die Weiterschaltung, sobald durch a_{61} angezeigt wird, daß im Teil A bei der Multiplikation mit 10 positive Werte erreicht sind. Die Addition von 3 (Multiplikation mit 10) erfolgt durch Subtraktion von -3 (vgl. S. 25), so daß die Stellenübertragungsangabe a_{61} positiv ist, sobald positive Werte erreicht werden. < 25

Im nächsten Spiel muß die Zahl so ausgerichtet werden, daß $a = 2$ ist. *a* kann jetzt nur LL, L0, 0L, 00 sein. Der zugehörige *b*-Wert muß dementsprechend bei

- $a = LL$ um eine Stelle aufwärts
- $a = 0L$ um eine Stelle abwärts und bei
- $a = 00$ um zwei Stellen abwärts verschoben werden.

Dies wird durch die Relais *Fp*, *Fq* bewirkt. Die zugehörigen Stellungen ergeben sich aus folgendem Schema:

¹⁹ Im Original steht a_4 , richtig ist a_q .

a	Af_1	Af_0	Stellenver- schiebung	Fp	Fq
0	-	-	-2	•	-
+1	-	•	-1	•	•
+2	•	-	0	-	-
+3	•	•	+1	-	•

26 ▷ Fp muß ansprechen, wenn Af_1 abgeschaltet ist, und Fq , wenn Af_0 eingeschaltet ist. Dies wird durch den Steuerschalter Dd im Schritt 3 bewirkt. In den nächsten Spielen wird die eigentliche Rückübersetzung durchgeführt. In diesen Spielen wird über Fc , Fd der im Laufe der Rechnung abgebaute Wert auf Ba und Bb zurückübertragen. Fq bewirkt die Stellenverschiebung +1, Fl , Fm die Stellenverschiebung +3, wodurch die Multiplikation mit 10 (L0L0) bewirkt wird. Über die Relais Ra_{1-4} (Abb. 26) (nur Kontakte gezeichnet) werden die vor dem Komma liegenden Stellen auf die Bf -Relais übertragen. Das Relais bewirkt die Unterbrechung der Leitungen, die von den Relais Be_1 , Be_0 , Be_{-1} , Be_{-2} zu den Relais Fc , Fd laufen, wodurch die vor dem Komma liegenden Ziffern gelöscht werden. Nach diesem Prozeß steht die Zahl als Dezimalzahl, deren Ziffern einzeln im Sekundalsystem verschlüsselt sind, auf den Bf -Relais (erste Ziffer $Bf_0 \dots Bf_{-3}$, zweite Ziffer $Bf_{-4} \dots Bf_{-7}$, dritte Ziffer $Bf_{-8} \dots Bf_{-11}$, vierte Ziffer $Bf_{-12} \dots Bf_{-15}$).

Bei der letzten Ziffernbildung wird die erste hinter dem Komma stehende Stelle auf Bf_{-16} übertragen. Ist sie gleich L, so muß das Resultat aufgerundet werden. Dies geschieht im folgenden Spiel (Schritt 8 des Steuerschalters).

Beispiel: 15,28	<u>LLLL</u> ,0L000LLLL0L0LL	15
	0,L000LLLL0L0LL	
	<u>L0</u> ,00LLLL0L0LL	
	<u>L0</u> ,LL00LL00L0LLL	2
	L,L00LL00L0LLL	
	<u>LL0</u> ,0LL00L0LLL	
	<u>LLL</u> ,LLLLLLLL00LL	7
	L,LLLLLLLL00LL	
	<u>LLL</u> ,LLLLL00LL	
	<u>L00L</u> ,LLLL0LLLLLL	9
	<u>LLLL</u> 00L0 0LLL L00L L	
	<u>L</u> <u>L</u>	
	LLLL 00L0 L000 L0L0	
	15 2 8 10	

Im obigen Beispiel sind nacheinander die Ziffern 15, 2, 7, 9 ermittelt worden, ferner $Bf_{-16} = L$ (die erste Ziffer kann zwischen 0 und 15 liegen). Die Zahl muß abgerundet werden. Das bedeutet eine Stellenübertragung auf die letzte

Dezimalstelle. Ist diese gleich 9 (L00L), so muß eine weitere Übertragungs-
 angabe auf die nächste Stelle erfolgen usw. Dies wird durch die in Abb. 27
 dargestellte Schaltung bewirkt. Ist die letzte Dezimalziffer = 9, so müssen die
 Relais Bf_{-12} und Bf_{-15} angesprochen haben. Entsprechendes gilt für Bf_{-8}
 und Bf_{-11} bzw. Bf_{-4} und Bf_{-7} , wenn die weiteren Ziffern = 9 sind. Die
 Schaltung ist so aufgebaut, daß dann die auf Bf_{-16} eingeleitete Stellenüber-
 tragung zu den nächsten Stellen weiterläuft. Durch ein Relais Rr (nur
 Kontakte gezeichnet) werden die so ermittelten Stellenübertragungen auf die
 Relais Ba_{-3} Ba_{-7} Ba_{-11} Ba_{-15} übertragen (Abb. 27) und zugleich die auf
 Bf stehenden Ziffern auf Bb übertragen. Im darauffolgenden Additionsspiel
 werden die Stellenübertragungen zu den Ziffern addiert. Der Steuerschalter
 betätigt also im Spiel 8 Fb und Rr . < 27

Im letzten Spiel erfolgt nun die Entschlüsselung der so ermittelten
 Dezimalziffern. Die erste Ziffer kann die Werte 0–16 annehmen, die weiteren
 0–10. Letztere müssen bei 10 (L0L0) Null anzeigen. Dies erfolgt durch die
 in Abb. 28 gezeigte Schaltung. Sie ist nur für eine Stelle gezeichnet. Durch
 das Rk -Relais werden die Ziffern auf die Relais Rc , Rd , Re , Rf übertragen
 (nicht gezeichnet). Diese übernehmen die Entschlüsselung und betätigen die
 zugehörigen Fallklappen.²⁰ < 28

Die Anzeigevorrichtung des Kommas zeigt Abb. 29. Die Grundstellung
 des Kommas, d.h. die Lage, die das Komma hat, wenn keine
 Korrekturmultiplicationen erforderlich sind, liegt vor der dritten Stelle von
 rechts. Sonst muß das Komma um die Zahl der erfolgten Multiplikationen
 verschoben werden, und zwar bei Multiplikationen mit 10 nach links und mit
 0,1 nach rechts. Dies bewirkt der Drehwähler Qd , der, falls ug (mal 10) oder ui
 (mal 0,1; vgl. Abb. 21) eingeschaltet sind, je Operation einen Schritt vollführt.
 Ug schaltet ferner das Relais Qg ein (Abb. 29), wodurch bewirkt wird, daß
 bei Multiplikation mit 10 der linke Arm des Drehwählers, bei Multiplikation
 mit 0,1 der rechte Arm an Spannung liegt. Im Schritt 9 des Steuerschalters
 Dd werden die Fallklappen der Kommaanzeige betätigt. < 29

3.7 Vorzeichenbehandlung

Abb. 30 zeigt das Vorzeichenwerk. Die Vorzeichen der beiden Operanden
 werden auf den Relais Vx und Vy gespeichert (Selbsthalterelais, bei Plus
 angesprochen). Das Relais Vg spricht bei gleichen Vorzeichen an. Vc und Vd
 bilden eine Relaiskette zur Steuerung der Vorzeichenermittlung. Vc wird bei
 Multiplikation und Division durch die Steuerschalter Md bzw. Id angeregt,²¹
 beim Wurzelziehen über Wd und beim Addieren über Sa_2 . Vc bewirkt die < 30

²⁰ Die Rekonstruktion der Z3 im Deutschen Museum verwendet Lampen für
 die Anzeige der Dezimalziffer. Es scheint, daß die Originalmaschine eine
 mechanische Lösung verwendete, die mit „Fallklappen“ operierte.

²¹ Die Diagramme der Steuerung der Division und des Quadratwurzelalgorithmus
 (Abb. 12 und Abb. 13) zeigen nicht, wann Vc aktiviert wird. Abb. 11 dagegen
 zeigt, daß bei der Multiplikation Vc im Spiel 14 aktiviert wird.

Schaltung des Relais Vr , welches beim positiven Vorzeichen des Resultats positiv ist. Bei Multiplikation und Division entspricht das Vorzeichen der Stellung von Vg . Beim Wurzelziehen wird stets das Vorzeichen auf Plus geschaltet. Beim Addieren und Subtrahieren wird die Schaltung von Vr über Sc , welches durch Sa_2 geschaltet wird, bewirkt.²² Das Vorzeichen ergibt sich hierbei aus den Vorzeichen der beiden Operanden, der befohlenen Operation (Addition oder Subtraktion), dem Vorzeichen der Differenz der a -Werte und den Vorzeichen des b -Wertes des Resultats nach folgender Regel:

Maßgebend ist zunächst, welcher Operand den größeren a -Wert hat, da der dem größeren a -Wert zugehörige b -Wert auf jeden Fall (unabhängig davon, ob tatsächlich Addition oder Subtraktion) positiv auf die Ba-Relais eingestellt wird. Hat der erste Operand den größeren a -Wert (Av positiv) und ist das Resultat im Teil B positiv, so ist das Vorzeichen des Resultats (Vr) gleich dem des ersten Operanden (Vx); ist jedoch das im Teil B errechnete Resultat negativ (was nur bei tatsächlicher Subtraktion eintreten kann), so ist Vr entgegengesetzt Vx . Hat der zweite Operand den größeren a -Wert (Av hat nicht angesprochen), so gilt bei befohlener Addition (LS_1) dasselbe, nur, daß an Stelle von Vx Vy tritt. Ist jedoch Subtraktion befohlen, so ist das gleichbedeutend mit einer Umkehrung des Vorzeichens des zweiten Operanden (Vy).²³ Und es muß auch Vr in jedem Falle die entgegengesetzten Werte annehmen.

- 30 ▷ Diese Bedingungen sind aus der Schaltung von Abb. 30 ohne weiteres ablesbar. Bv spricht an, wenn das Resultat der Addition bzw. Subtraktion im Teil B positiv ist. Von Vr wird das Vorzeichen des Resultats über Vd auf Vx zurückübertragen. Vx und Vy sind vorher durch Vc gelöscht worden.

Hiermit wäre das eigentliche Rechenwerk in den wesentlichen Zügen gekennzeichnet.

4. Speicher- und Planwerk

- 31 ▷ Wir kommen nun zum Speicherwerk. Folgendes Beispiel stellt ein elektromagnetisches Speicherwerk dar, bei dem die Zahlen auf Selbsthalterelais gespeichert werden. Abb. 31 zeigt ein solches für zwei Zellen zu drei Stellen. Die nebeneinanderliegenden Ca -Relais sind einer Zelle zugeordnet. Die übereinanderliegenden gehören der gleichen Stelle an. Den einzelnen Stellen sind die Leiter c_1, c_2, c_3 zugeordnet, welche über die cc -Kontakte mit den Wicklungen der ca -Relais verbunden werden können. Die cc -Kontakte für eine Stelle sprechen zugleich an. Die Wicklungen der ca -Relais sind ferner über Selbsthaltekontakte ca an einen Haltestromkreis gelegt, der über die Folgekontakte cb an eine Spannungsquelle von geringer Voltzahl angeschlossen ist (Beispiel 8 Volt). Soll eine Zahl gespeichert werden, so

²² Sa_2 schaltet Sb_2 und dieses Sc ein (Abb. 30).

²³ Vx im Original, richtig ist Vy .

wird vom Rechenwerk an diejenigen c -Leitungen, deren Ziffern auf Eins lauten, Spannung gelegt und die cc -Kontakte der betreffenden Stelle werden eingeschaltet. Die Ca -Relais, an deren zugehöriger c -Leitung Spannung liegt, sprechen an und halten sich über die Selbsthalteleitungen. Zuvor muß jedoch der Folgekontakt cb der betreffenden Zelle auf die Leitung c_{50} von höherer Voltzahl (Beispiel 24 Volt) umgeschaltet werden, damit es keinen Kurzschluß gibt. Die Leitung c_{50} liegt normalerweise über einen Schutzwiderstand an Pol I, II. Der Schutzwiderstand verhindert einen Kurzschluß zwischen der 8-Volt- und der 24-Volt-Leitung während des Umlegens des Folgekontaktes cb . Der Pol I, II hat zur Folge, daß die vorher auf der Zelle gespeicherte Zahl sich nur bis Schritt II hält und dann gelöscht wird. Die neue Zahl wird im Schritt V aus dem Rechenwerk gegeben, hält sich über c_{50} ²⁴ während des Schrittes I, worauf durch cb die Ca -Relais auf die 8-Volt-Leitung umgelegt werden.

Soll eine Zahl abgelesen werden, so werden ebenfalls das Cb - und das Cc -Relais der betreffenden Stelle eingeschaltet. Außerdem spricht Pr an, wodurch über den Folgekontakt pr die Leitung c_{50} an den Grundpol von 24 Volt gelegt wird. Die Leitungen c_1, c_2, c_3 haben dann Spannung, wenn die der Stelle zugeordneten Ca -Relais eingeschaltet sind. Durch cd wird der Schutzwiderstand kurzgeschlossen, damit an den Leitungen c_1, c_2, c_3 die volle Spannung (24 Volt) liegt. Die gespeicherte Zahl kann nun an diesen Leitungen abgelesen werden.

4.1 Planwerk

Das Planwerk hat die Aufgabe, die Gesamtanlage dem Rechenplan entsprechend zu steuern. Der Rechenplan hat die Form eines Lochstreifens. Zu jedem Befehl (vgl. Seite 6) gehören 8 Felder. p_1 bis p_8 sind die Abfühlkontakte des Lochstreifens. Die Relais Pa_1 bis Pa_7 liegen direkt an den Kontakten p_1 bis p_7 (Abb. 32). Die ersten beiden Felder des Lochstreifens pa_1 und pa_2 geben an, ob der Befehl ein Operationsbefehl an das Rechenwerk oder ein Speicher- bzw. Ablesebefehl an das Speicherwerk bedeutet, und zwar nach folgendem Schema:

pa_1	pa_2	
-	•	Rechenoperation
•	-	Speichern
•	•	Ablesen

Ist pa_1 nicht, jedoch pa_2 eingeschaltet, so wird entsprechend Abb. 33 und entsprechend der Stellung der Relais Pa_3, Pa_4, Pa_5 ein Befehl an das Rechenwerk gegeben.²⁵ Ist pa_1 eingeschaltet, so werden auch die Relais Pb_3 bis Pb_8 eingeschaltet. Diese stellen das eigentliche Wählwerk dar (Abb. 34).

²⁴ a_{50} im Original, richtig ist c_{50} .

²⁵ Siehe Befehlssatz und dessen Codierung auf Seite ??.

Die Nummer des Wählwerks stellt ebenfalls eine Sekundalzahl dar. Jeder Zelle ist eine andere Kombination der Stellungen der Relais Pb_3 bis Pb_8 zugeordnet. Über die Pb -Relais wird das der betreffenden Zelle zugeordnete Cb -Relais eingeschaltet. Ferner wird beim Ablesen das Relais Pr und beim

32 ▷ Speichern das Relais Ps eingeschaltet (Abb. 32).

Da das Speichern stets im Anschluß an eine Rechenoperation erfolgt, werden die zur Speicherung erforderlichen Einstellungen schon während dieser Operation gemacht und das Resultat der Operation direkt von den Relais Ae , Be (Additionswerk, Abb. 4) auf die Ca -Relais (Speicherwerk,

31 ▷ Abb. 31) übertragen. Das Resultat wird also nicht, wie beim Arbeiten ohne Rechenplan, über Ef und Ff auf Af und Bf übertragen (Abb. 2). Die vom

35 ▷ Leitwerk des Rechenwerks gegebenen Befehle Ef und Ff werden entsprechend Abb. 35 abgeschaltet bzw. auf die Cc -Relais (Abb. 31) umgeleitet. $[Ef]$ ist

31 ▷ der vom Leitwerk kommende Anschluß, Ef die Wicklung der Ef -Relais, und entsprechendes gilt für $[Ff]$ und Ff . Ist P_s nicht eingeschaltet, so ist $[Ef]$ direkt mit Ef und $[Ff]$ direkt mit Ff verbunden. Ist P_s eingeschaltet, das Planwerk also auf Speichern gestellt, so ist $[Ff]$ abgeschaltet und $[Ef]$ über die cb -Kontakte mit den Cc -Relais verbunden. Nur wenn cb_0 eingeschaltet ist, ist $[Ff]$ mit Ef und $[Ef]$ mit Ff verbunden, da die Af -, Bf -Relais die Zelle „Null“ darstellen (vgl. Seite 5). Entsprechend müssen die Befehle Al bzw.

8 ▷ Bl auf Ai umgelenkt werden. Beim Arbeiten ohne Rechenplan bleibt Ah_1 eingeschaltet (vgl. Abb. 8) und die Selbsthaltekreise von Af und Bf werden

36 ▷ nur durch Al und Bl kurzzeitig unterbrochen. Wird die Zahl jedoch in das Speicherwerk gegeben, so muß Ah_1 ebenfalls gelöscht werden. Diese Schaltung zeigt Abb. 36. Hat Ps nicht geschaltet, so ist $[Al]$ mit Al und $[Bl]$ mit Bl verbunden. Sobald Ps eingeschaltet ist, ist Al und Bl abgeschaltet und dafür $[Al]$ mit Ai verbunden. Bei Multiplikation (lm) ist $[Bl]$ mit Ai verbunden, da Al im Spiel 2 der Multiplikation geschaltet wird und dann nicht Ai geschaltet

37 ▷ werden darf. Abb. 37 zeigt noch einige weitere Schaltungen des Planwerks, und zwar werden durch Pr , also beim Übertragen vom Speicherwerk auf das Rechenwerk, Uz , be_0 und Cd geschaltet. Uz bewirkt dieselbe Übertragung wie beim letzten Spiel des Übersetzens vom Dezimal- ins Sekundalsystem (vgl.

23 ▷ Seite 24, Abb. 23). Die Einstellung von Be_0 ist erforderlich, da die erste Stelle vor dem Komma des b -Wertes immer gleich Eins ist und nicht gespeichert

31 ▷ wird. Die Wirkung von Cd ist weiter oben besprochen (s. Abb. 31).

4.2 Rechenplan

Die Abfühlvorrichtung für den Rechenplan wird nicht beschrieben, da derartige Konstruktionen zur Genüge bekannt sind. Pf bewirkt den Transport des Lochstreifens, sei es durch direkten Vorschub oder durch Einschalten einer Kuppelung. Normalerweise ist Pf eingeschaltet, d. h., der Lochstreifen rückt mit jedem Spiel einen Schritt vor. Während einer Rechenoperation muß der Lochstreifen stehenbleiben. Es wird daher vom Rechenwerk der Befehl Pu zur Abschaltung von Pf gegeben (vgl. Seite 15), und zwar wird

der Auskoppelungsbefehl Pu immer im zweiten Spiel der Rechenoperation gegeben (Abb. 32). < 32

Es seien jetzt die aufeinanderfolgenden Vorgänge für folgende charakteristische Befehlsfolge beschrieben:

1. Ablesen von Zelle 3 (LL)
2. Wurzelziehen (0XX)
3. Speichern auf Zelle 5 (L0L)
4. Ablesen von Zelle 4 (L00)

Als Lochstreifen sieht der Rechenplan folgendermaßen aus:

P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8
•	•	-	-	-	-	•	•
-	•	-	•	•	-	-	-
•	-	-	-	-	•	-	•
•	•	-	-	-	•	-	-

Der erste Befehl schaltet Pr (Abb. 32) und über das Wählwerk (Abb. 34) Cb_3 < 34
 ein. Pr bewirkt über Cb_3 die Einschaltung von Cc_3 (Abb. 35). Über cb_3 pr und < 35
 cd werden die Selbsthalteleitungen der Ca -Relais der Zelle 3 an die 24-Volt-
 Leitung gelegt und über cc_3 die Ca -Relais der Zelle 3 mit den Leitungen $c_1 \cdot$
 $c_2 \dots$ verbunden. Zugleich ist über pr Uz eingeschaltet (Abb. 37), wodurch die < 37
 Ef - und Ff -Relais geschaltet werden (Abb. 13) und die erste Speicherleitung < 13
 c_1 (Vorzeichen) mit Vx verbunden wird. Die Zahl wird somit auf die Relais
 Vx , Af , Bf übertragen.

Der nächste Befehl ist ein Operationsbefehl und wird über die Kontakte
 der Pa -Relais (Abb. 33) an das Rechenwerk gegeben. Im Beispiel wird Lw < 33
 (Wurzelziehen) eingeschaltet. Der Steuerschalter Wd läuft an und bewirkt
 die auf Seite 16 beschriebenen Einstellungen. Zunächst läuft der Rechenplan
 weiter und bewirkt noch während der Durchführung der Operation die
 Einstellung zum Speichern des Resultats.

Es wird Ps und über das Wählwerk Cb_5 eingeschaltet. Ps ist ein
 Selbsthalterelais und bewirkt ferner die Einschaltung der Selbsthaltekreise
 der Cb -Relais (Abb. 34). Ps und Cb_5 bleiben bis zum Schluß der < 34
 Rechenoperation eingeschaltet.²⁶

Daraufhin rückt der Rechenplan auch noch einen Schritt weiter und wird
 erst jetzt vom Rechenwerk her über Pu abgeschaltet. Im letzten Spiel der
 Rechenoperation wird Ff eingeschaltet. Dieses bewirkt nach Abb. 33 die < 33
 Einstellung von Cc_5 (Ps und Cb_5 sind angesprochen). Schon vorher war
 im Speicherwerk über eb_5 die Selbsthalteleitung der Zelle 5 an die Leitung
 c_{50} gelegt worden und die alte Einstellung der Ca -Relais gelöscht worden.
 Jetzt sind die Ca -Relais der Zelle 5 über die Kontakte Cc_5 direkt mit den
 Kontakten des Rechenwerks verbunden. Die Zahl wird von Ae , Be auf die

²⁶ Pb_5 im Original, richtig ist Cb_5 .

Speicherzelle 5 übertragen. Durch das Schlußzeichen Lz der Rechenoperation wird Ps und somit Cb_5 und Pu abgeschaltet, so daß der Rechenplan weiterläuft. Für das darauffolgende Spiel „Ablesen“ lag der Befehl des Rechenplans schon in Bereitschaft. Er bewirkt die gleichen Einstellungen wie oben beschrieben.

4.3 Numerische Sonderfälle

In der halblogarithmischen Form ist die Darstellung der Zahl 0 nicht exakt durchführbar, da der Wert a gleich Minus Unendlich wäre. Die Maschine läßt sich so bauen, daß die Zahl mit dem kleinsten darstellbaren a -Wert als Null verrechnet wird. Dieser ist L000000 (Minus 64 Supplement). Entsprechend gilt die Zahl mit dem größten a -Wert, nämlich 0LLLLL (Plus 63), als Unendlich. Dies gilt unabhängig von der Größe des b -Wertes. Die Teilschaltung N löst die mit den Werten Null und Unendlich zusammenhängenden Aufgaben. Den Werten Unendlich sind für die beiden Operanden die Relais Ni_1 und Ni_2 , den Werten Null die Relais Nn_1 und Nn_2 zugeordnet (Abb. 38). Sie haben Selbsthaltekreise, die entsprechend Vx und Vy geschaltet sind (Abb. 30). Diese sind nicht gezeichnet. Wird eine Zahl aus dem Speicherwerk in das Rechenwerk gegeben, so muß der a -Wert untersucht werden. Trifft auf ihn eines der Kriterien Null oder Unendlich zu, so muß das betreffende Relais Ni oder Nn ansprechen. Diese Aufgabe lösen die Relais Na_0 bis Na_6 (Abb. 38). An die Leitungen ae_6 bis ae_0 , also die Übertragungsleitungen Speicherwerk-Rechenwerk, sind die Na -Relais angeschlossen. Beim Einstellen eines Operanden spricht Uz an (s. oben). Dieses schaltet Nz ein, wodurch die Erdleitungen der Na -Relais geschlossen werden. Die Na -Relais sprechen an, falls die zugehörigen be -Leitungen an Spannung liegen. Na_6 hat einen Wechselkontakt, an diesen schließt sich einmal eine Schaltung mit sechs hintereinander geschalteten Schließkontakten na_5 bis na_0 und am anderen Pol eine Hintereinanderschaltung von Trennkontakten na_5 bis na_0 an. Auf das Kriterium 0LLLLL (Unendlich) sprechen die Ni -Relais an, auf das Kriterium L000000 (0) die Relais Nn . Ob Ni_1 oder Ni_2 bzw. Nn_1 oder Nn_2 geschaltet werden, wird durch ah_1 gesteuert (vgl. Seite 24).

Zunächst müssen die Fälle gemeldet werden, in denen das Resultat undefinierbar ist. Es ist das:

- Unendlich plus (oder minus) Unendlich,
- Null mal Unendlich,
- Unendlich durch Unendlich und
- Null durch Null.

Ferner wird das Resultat in folgenden Fällen Unendlich:

1. Bei Addition und Multiplikation, wenn einer der beiden Operanden Unendlich ist (Fall „Null mal Unendlich“ wird gesondert gemeldet).

2. Bei Division, wenn der Dividend Unendlich (Ni_1) oder der Divisor gleich Null ist (Nn_2).
3. Beim Quadratwurzelziehen, wenn der Radikand Unendlich ist.

In folgenden Fällen wird das Resultat Null:

1. Bei Addition, wenn beide Summanden gleich Null sind.
2. Bei Multiplikation, wenn einer der beiden Faktoren gleich Null ist (Null mal Unendlich wird gesondert gemeldet).
3. Bei Division, wenn entweder der Dividend gleich Null ist (Nn_1) oder der Divisor Unendlich ist (Ni_2).
4. Beim Wurzelziehen, wenn der Radikand Null ist.

Bei der Addition spricht Sa_3 an, bei Multiplikation Lm und bei Division Li . In folgendem Schema sind die oben angeführten Fälle zusammengestellt. Das Zeichen \bullet heißt: das Relais hat angesprochen. Nebeneinanderliegende Zeichen bedeuten hintereinander zu schaltende Kontakte.

	Ni_1	Ni_2	Nn_1	Nn_2	Sa_3	Lm	Li	Lw	
1	\bullet				\bullet				Ni_3
2		\bullet			\bullet				
1	\bullet					\bullet			
2		\bullet				\bullet			
1	\bullet						\bullet		
4				\bullet			\bullet		
1	\bullet							\bullet	
5			\bullet	\bullet	\bullet				Nn_3
3			\bullet			\bullet			
4				\bullet		\bullet			
2		\bullet					\bullet		
3			\bullet				\bullet		
3			\bullet					\bullet	
6	\bullet	\bullet			\bullet				$\infty \pm \infty$
7	\bullet			\bullet		\bullet			$0 \cdot \infty$
8		\bullet	\bullet			\bullet			$0 \cdot \infty$
6	\bullet	\bullet					\bullet		∞/∞
5			\bullet	\bullet			\bullet		$0/0$

Abb. 39 zeigt die Schaltung, welche diese Aufgabe löst. Die vor den Zeilen stehenden Ziffern 1 bis 8 im obigen Schema entsprechen den Leitungen 1 bis 8 in der Schaltung. Die Bedingungen des obigen Schemas sind ohne weiteres aus der Schaltung abzulesen. Nn_3 kann ferner noch über die Leitung b_{82} (s. Abb. 18) und die Kontakte sa_4 und ud_8 eingeschaltet werden. b_{82} hat Spannung, wenn sämtliche Ziffern des b -Wertes Null sind (Abb. 18). Es kann dies bei Subtraktion (sa_4) und beim Übersetzen eintreten (ud_8).

Die Stellungen von Ni_3 und Nn_3 werden auf Ni_1 und Nn_1 übertragen, die vorher über vc gelöscht werden (vgl. Vorzeichenwerk).

Ist das Resultat einer Rechnung Unendlich oder Null, so muß der a -Wert auf die Form 0LLLLL bzw. L000000 gebracht und sämtliche Ziffern des b -Wertes gelöscht werden. Dies erfolgt durch die Relais Ni_4, Nn_4 und Ng (Abb. 40/41). Diese Schaltung wird im letzten Spiel über Lz betätigt.

▷ Ist Ni_1 angesprochen, so sprechen Ni_4 und Ng an; ist Nn_2 angesprochen, so sprechen Nn_4 und Ng an. Ferner kann es im letzten Spiel eintreten, daß der a -Wert die Stellenkapazität der Maschine überschreitet, z. B. bei der Multiplikation. Der a -Wert hat im allgemeinen 7 Stellen (ae_0 bis ae_6). Die Stelle ae_7 ist normalerweise gleich ae_6 , und zwar bei positiven Zahlen Null und bei negativen Zahlen Eins (Supplement). Wird a eine zu große positive Zahl, so bleibt ae_7 Null, aber ae_6 wird Eins, und umgekehrt: bei negativen Zahlen bleibt ae_7 Eins und ae_6 wird Null. In diesen Fällen sprechen Ni_4 bzw. Nn_4 ebenfalls an (Abb. 40). Ni_4 bewirkt nun einmal die Einstellung $ae_0, ae_1, ae_2, ae_3, ae_4, ae_5$ und die Löschung (Unterbrechung der Leitung) von ae_6 (Abb. 2). Nn_4 bewirkt die Einstellung von ae_6 und die Unterbrechung der restlichen ae -Leitungen. Ferner bewirkt Ng die Unterbrechung sämtlicher be -Leitungen (Abb. 2).

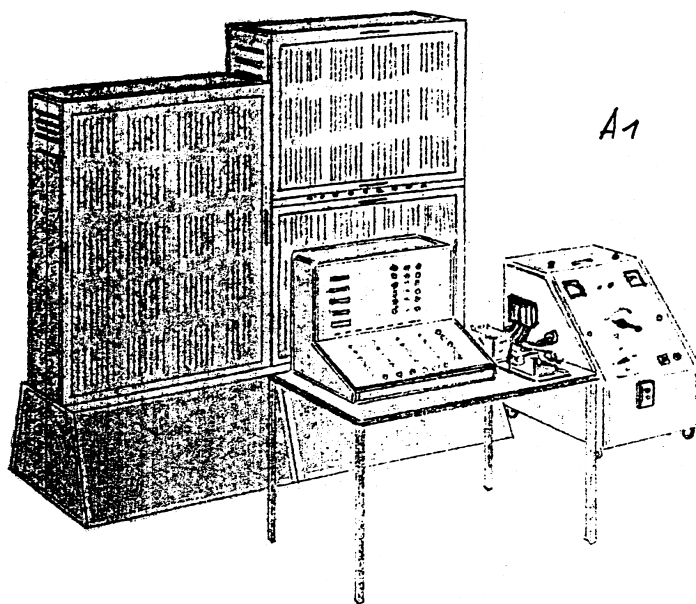


Diagramm der Rekonstruktion der Z3 (Zuse Papers)

5. Abbildungen

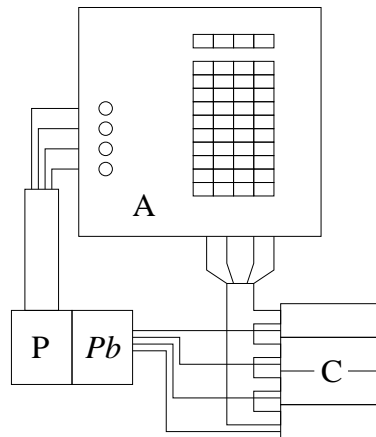


Abbildung 1. Grundprinzip der Rechenmaschine

Anmerkungen.²⁷ Die Abbildung zeigt die drei Hauptkomponenten der Z3: das Planwerk P mit dem Speicherwählwerk Pb, das Speicherwerk C und das Rechenwerk A.

- Ein Adreßbus verbindet Pb und C.
- Ein Datenbus verbindet das Speicherwerk C mit dem Rechenwerk A.
- Ein Kontrollbus verbindet das Planwerk P mit A.

²⁷ Alle Bildunterschriften und Anmerkungen stammen vom Herausgeber.

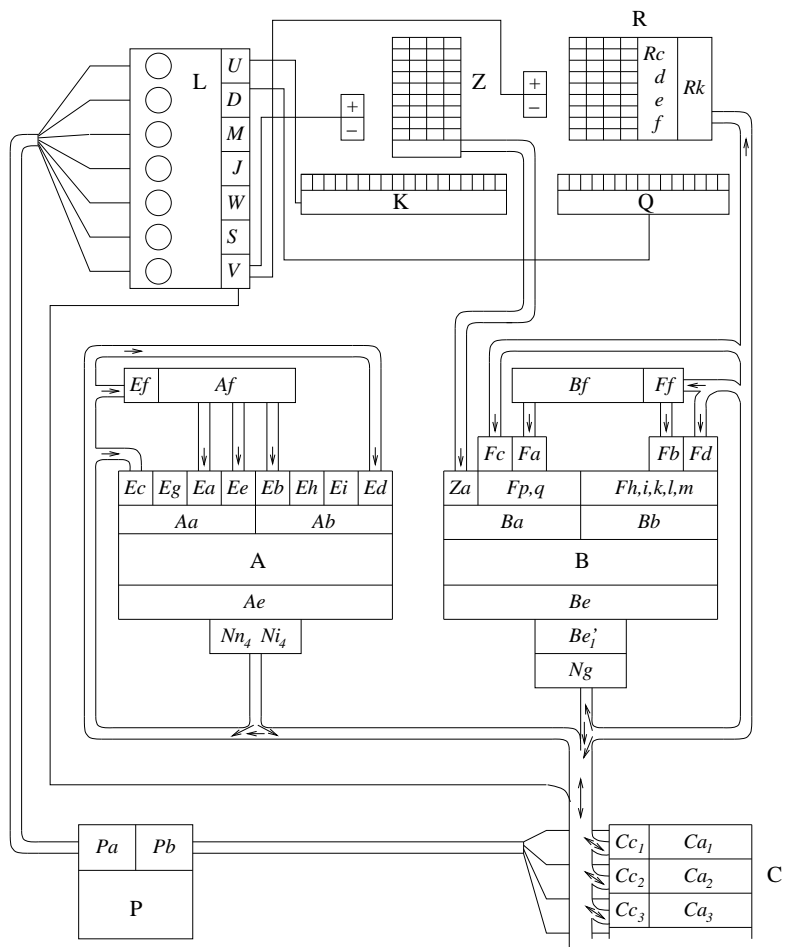


Abbildung 2. Übersichtszeichnung der Rechenmaschine

Anmerkungen. Die Übersichtszeichnung auf der gegenüberliegenden Seite zeigt folgende Schaltungen:

L	Leitwerk (Programmausführung)
U	Einlesen einer Dezimalzahl von der Konsole
D	Ausgabe des Dezimalresultats (Lampendisplay)
M	Steuerung der Multiplikation
J	Steuerung der Division
W	Steuerung des Quadratwurzelziehens
S	Steuerung der Addition und Subtraktion
V	Vorzeichenbehandlung
Z	Eingabetastatur
K	Eingabe des Dezimalexponenten
R	Resultatsanzeigevorrichtung
Q	Anzeige des Kommas
P	Planwerk mit dem Abtaster des Rechenplans
Pa	Befehlsdecodierer
Pb	Adressenwählwerk
C	Speicherwerk
Ca	Speicherzellen
Cc	Verteilerrelais

Der Prozessor besteht aus den Teilen A und B. Teil A behandelt die Exponenten der Argumente, Teil B die Mantissen. Das Additionswerk A ist achtestellig, B achtzehnstellig. Alle Relais und Relaisgruppen werden mit einem großen und einem kleinen Buchstaben bezeichnet. Der erste Buchstabe gibt die Teilschaltung an. Relais Lm gehört z. B. zur Teilschaltung L (Leitwerk) und wird bei der Multiplikation (m) angesprochen.

Die Register haben folgende Bitlängen:

Register	Länge	Bits	Register	Länge	Bits
Af	7	Af_6-Af_0	Bf	17	Bf_0-Bf_{-16}
Aa	8	Aa_7-Aa_0	Ba	19	Ba_2-Ba_{-16}
Ab	8	Ab_7-Ab_0	Bb	18	Bb_1-Bb_{-16}
Ae	8	Ae_7-Ae_0	Be	18	Be_1-Be_{-16}

Register Ba benötigt 19 Stellen für die Ausführung des Quadratwurzelalgorithmus. Die Position Ba_2 wird nur bei diesem Algorithmus gebraucht.

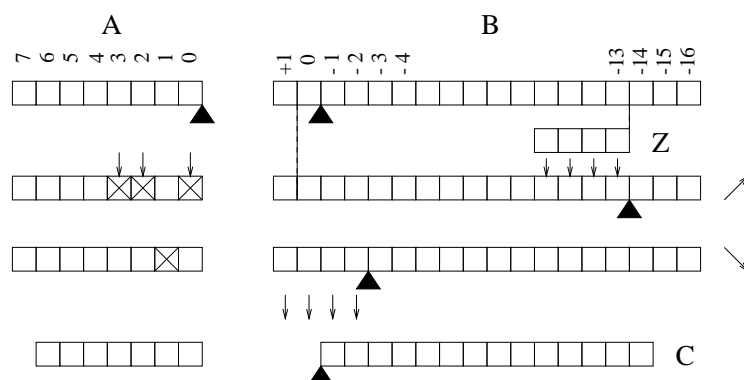


Abbildung 3. Stellenschema (Bitlänge)

Anmerkungen. Die Abbildung zeigt in der untersten Zeile die Anzahl der für Exponent und Mantisse im Speicher C verwendeten Bits, nämlich sieben bzw. vierzehn. In der Exponenten-ALU selbst (Teil A) werden acht Bits verarbeitet und in der Mantissen-ALU (Teil B) achtzehn Bits (vom Bit +1 bis zum Bit -16). Der Index der Stellen gibt die Potenz von 2 des zugehörigen Stellenwertes an.

In der Mantisse (Teil B) liegt das Komma zwischen den Positionen 0 und -1 (in der Abbildung durch ein Dreieck dargestellt). Die Mantisse liegt in normalisierter Form vor, das heißt, das Bit an der Stelle +1 ist 0 und das Bit an der Stelle 0 ist 1. Die Stellen -15 und -16 erhöhen die Genauigkeit des Rechenwerks.

Der Pfeil ↗ (Zeile 2) symbolisiert die Operation „numerische Eingabe lesen“. Die in die Tastatur Z eingegebene Dezimalzahl wird Ziffer für Ziffer in Register Ba geladen. Jede Dezimalziffer wird mit vier Bits codiert, die in den Bits Aa₋₁₀ bis Aa₋₁₃ geladen werden. Um die dreizehnstellige Verschiebung der Ziffern auszugleichen, wird die Zahl 13 (angedeutet durch die Kreuze in Zeile 2) in den Exponententeil geladen (siehe Erläuterung in Abschnitt 3.5).

Der Pfeil ↘ (Zeile 3) symbolisiert die Operation „Dezimalresultat anzeigen“. Die Mantisse wird dafür um zwei Stellen nach links verschoben – dies entspricht einer Verschiebung des Kommas um zwei Stellen nach rechts (siehe Erläuterung in Abschnitt 3.6).

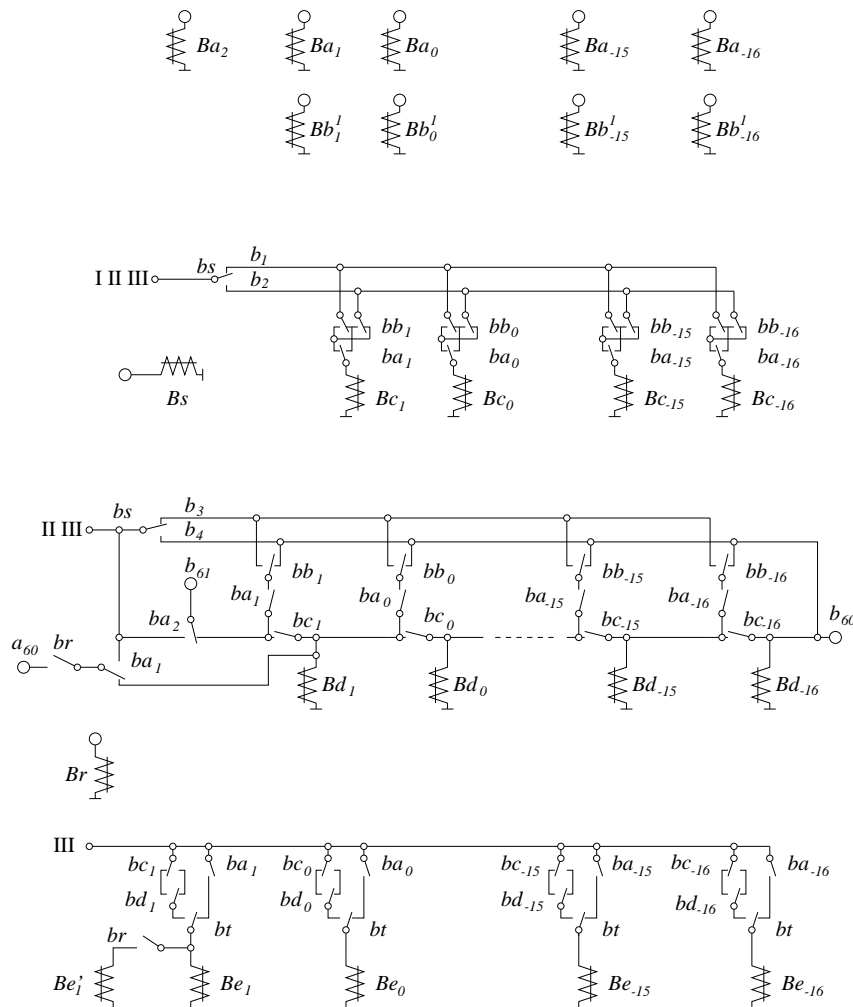


Abbildung 4. Additionswerk (Teil B für Mantisse)

Anmerkungen. Die Schaltung zeigt das Additionswerk für Mantissen. Die Relaisreihe Ba enthält den ersten Summanden, die Relaisreihe Bb den zweiten. Jedem Bit ist ein Relais zugeordnet. Ba_2 bis Ba_{16} bezeichnen die 18 Bits des Registers Ba , die Relais Bb_1 bis Bb_{16} die 17 Bits des Registers Bb . Die Relais Bb sind Selbsthalterelais. Der Superindex 1 (z. B. Bb_0^1) bezeichnet die erste Wicklung des Selbsthalterelais.

Die Kontakte der Relais werden hier und in den anderen Abbildungen immer in ihrer Ruhestellung gezeichnet; das heißt, wenn das entsprechende

Relais aktiviert wird, schalten die Kontakte auf die jeweils andere Stellung um. In der Patentanmeldung nennt Zuse Schaltkontakte jene Kontakte, die eine von zwei möglichen Verbindungen schließen. Schließkontakte dagegen öffnen oder schließen einen einzigen Verbindungsweg.

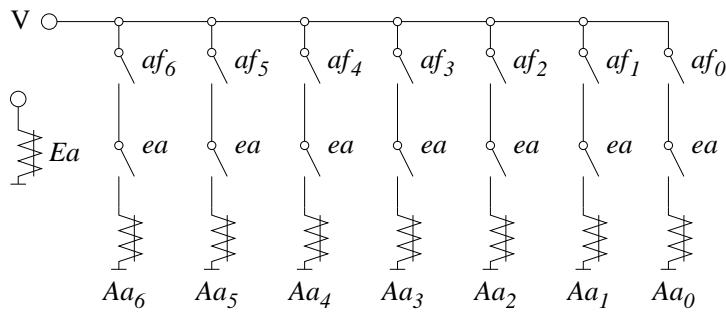
Diese Schaltung berechnet die Summe der Inhalte der Register Ba und Bb . Der Übertrag wird mit der Methode des *carry look-ahead* berechnet. Der Addierer hat drei Stufen: In der ersten wird $Ba \text{ XOR } Bb$ berechnet. In der zweiten werden die Übertragbits ermittelt (Bd_i). In der dritten Stufe wird das endgültige Resultat produziert (eine genauere Darstellung befindet sich auf Seite ??).

Bt ist ein Multiplexer, der es erlaubt, eines der Resultate Be oder Ba auszuwählen. Bt wird z. B. beim Multiplikationsalgorithmus verwendet. Das Relais Br wird eingeschaltet, wenn die Normalisierung des Resultats („Ausrichtung“) ausgelöst wird. Das Relais Be'_1 wird benutzt, falls die berechnete Summe der Mantissen größer als 2 ist ($Be_1 = 1$). Relais Be'_1 schaltet einen Shifter ein, der Be um eine Stelle nach rechts verschiebt und somit normalisiert (hier und in allen weiteren Kommentaren meinen wir, wenn wir von einem Register X reden, dessen Inhalt). Gleichzeitig wird über die Leitung a_{60} eine 1 zum Exponenten addiert.

Bei Subtraktion werden bs und b_{60} gesetzt. Damit wird das Zweierkomplement von Bb zu Ba addiert, d. h., es wird Bb von Ba subtrahiert.

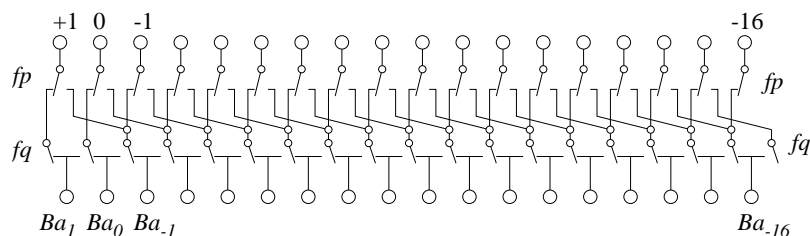
Beim Überlauf in einer Addition ist $b_{61} = 1$. Immer wenn eine Subtraktion ein positives Resultat oder Null liefert, gilt auch $b_{61} = 1$. Es gibt dafür zwei Fälle: a) Wenn das Bit ba_2 gesetzt ist (Quadratwurzelalgorithmus), ist das Resultat der Subtraktion $Ba - Bb$ immer positiv, weil Register Bb kein Bit bb_2 besitzt; b) wenn bei einer Subtraktion $ba_1 = bb_1 = 0$, so gilt $bc_1 = 1$. Nur in dem Fall, daß $bd_1 = 1$, wird das Bit Be_1 des Resultats auf 0 gesetzt, d. h., nur dann ist das Gesamtergebn positiv oder Null. Die Einstellung von bd_1 wird auf die Leitung b_{61} übertragen. Diese aktiviert ein Relais Bv (nicht gezeichnet), das bei anderen Operationen notwendig ist (siehe z. B. Abb. 15). Im Exponentenrechenwerk A wird für den gleichen Zweck das Relais Av verwendet.

Die Additionswerke sind immer aktiv. Deshalb wird in jedem Spiel (Schritte I, II, III) eine Addition in den Rechenwerken A und B berechnet, ganz gleich, ob das Resultat benötigt wird oder nicht.


 Abbildung 5. Kontakte der *E*-Relais

Anmerkungen. Relais *Ea* schaltet eine Busverbindung zum Register *Aa* ein. Die Einschaltung des Relais *Ea* bewirkt die Übertragung des Inhalts des Registers *Af* (Bits *af*₆ bis *af*₀) zum Register *Aa*. *Ea* bezeichnet das Relais als solches und *ea* die beweglichen Kontaktschalter. Diese Konvention wird bei allen Abbildungen verwendet. Andere Busverbindungen in der Maschine sind:

Quelle	Schalter	Ziel	Kommentar
<i>Af</i>	<i>Ea</i>	<i>Aa</i>	
<i>Af</i>	<i>Eb</i>	<i>Ab</i>	
<i>Af</i>	<i>Ee</i>	<i>Aa</i>	<i>signed shift right</i> (Division durch 2)
<i>Ae</i>	<i>Ec</i>	<i>Aa</i>	
<i>Ae</i>	<i>Ed</i>	<i>Ab</i>	
<i>Ae</i>	<i>Ef</i>	<i>Af</i>	
<i>Bf</i>	<i>Fa</i>	<i>Ba</i>	über Shifter <i>Fp, q</i>
<i>Bf</i>	<i>Fb</i>	<i>Bb</i>	über Shifter <i>Fh, ..., m</i>
<i>Be</i>	<i>Fc</i>	<i>Ba</i>	über Shifter <i>Fp, q</i>
<i>Be</i>	<i>Fd</i>	<i>Bb</i>	über Shifter <i>Fh, ..., m</i>
<i>Be</i>	<i>Ff</i>	<i>Bf</i>	
<i>Be</i>	<i>Be'</i> ₁	<i>Be</i>	Shift nach rechts (eine Stelle)
<i>Z</i>	<i>Za, b, c, d</i>	<i>Ba</i>	Dezimalziffer, binär codiert
<i>Fh - m</i>	<i>Bn</i>	<i>Ab</i>	lädt die Bits <i>Fh, Fi, Fk, Fl, Fm</i>
-4	<i>Ei</i>	<i>Ab</i>	lädt die Konstante -4 in <i>Ab</i>
+3	<i>Ek</i>	<i>Ab</i>	lädt die Konstante +3 in <i>Ab</i>
+13	<i>Eg</i>	<i>Aa</i>	lädt die Konstante +13 in <i>Aa</i>

Abbildung 6. Kontakte der Relais Fp , Fq

Anmerkungen. Abbildung 6 stellt einen Shifter dar. Eine Binärzahl kann damit um eine Stelle nach links oder um eine oder zwei Stellen nach rechts verschoben werden. Die Eingabe erfolgt über die oberen achtzehn Leitungen (Bits +1 bis -16), die Ausgabe wird in das Register Ba geladen. Folgende Operationstabelle zeigt, wie die Schaltung arbeitet:

Fp	Fq	
0	0	kein Shift
0	1	Shift links (+1)
1	0	Shift rechts (-2)
1	1	Shift rechts (-1)

Der Shifter wird z.B. bei der Multiplikation, der Division und dem Quadratwurzelziehen benötigt. Bei diesen Operationen zirkuliert das Zwischenresultat im Rechenwerk und wird in jedem Zyklus geshiftet.

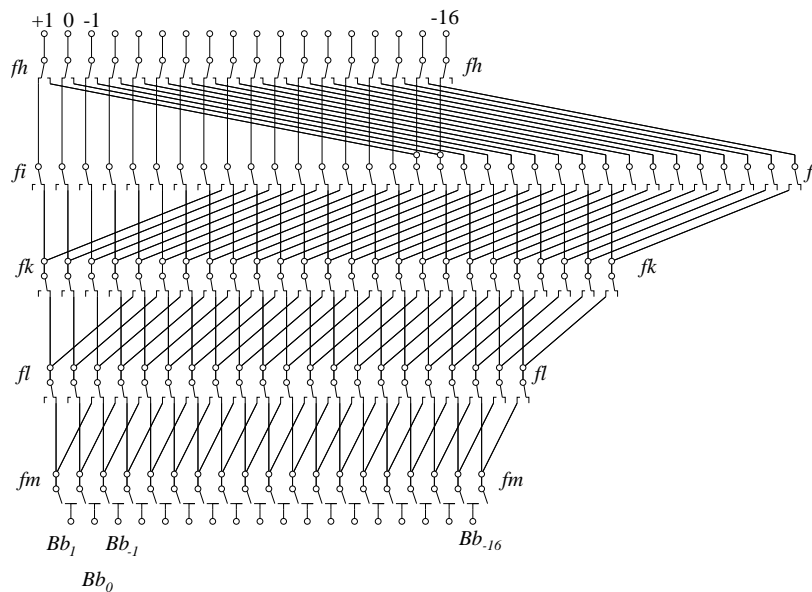


Abbildung 7. Kontakte der Relais Fh , Fi , Fk , Fl , Fm

Anmerkungen. Abbildung 7 stellt einen Shifter dar. Eine Mantisse kann damit maximal sechzehn Stellen nach rechts oder fünfzehn Stellen nach links verschoben werden. Die Eingabe erfolgt über die oberen 18 Leitungen (Bits $+1$ bis -16), das Resultat wird in das Register Bb geleitet.

Der Shifter wird durch die Relais Fh , Fi , Fk , Fl und Fm gesteuert. Das Relais Fh verschiebt die Mantisse um 16 Stellen nach rechts. Die anderen vier Relais bewirken Verschiebungen nach links von jeweils 8, 4 und 2 Stellen bzw. eine Stelle. Die Bitfolge Fh , Fi , Fk , Fl , Fm stellt deswegen die Zweierkomplementdarstellung der gewünschten Verschiebung im Bereich $+15, +14, \dots, -16$ dar.

Bei der Addition und Subtraktion benötigt man den Shifter, falls die Mantisse von einem der Argumente verschoben werden muß, um die Exponenten anzugleichen. Eine Verschiebung ist auch notwendig, wenn die Mantisse nicht normalisiert ist (wie z. B. nach einer Subtraktion).

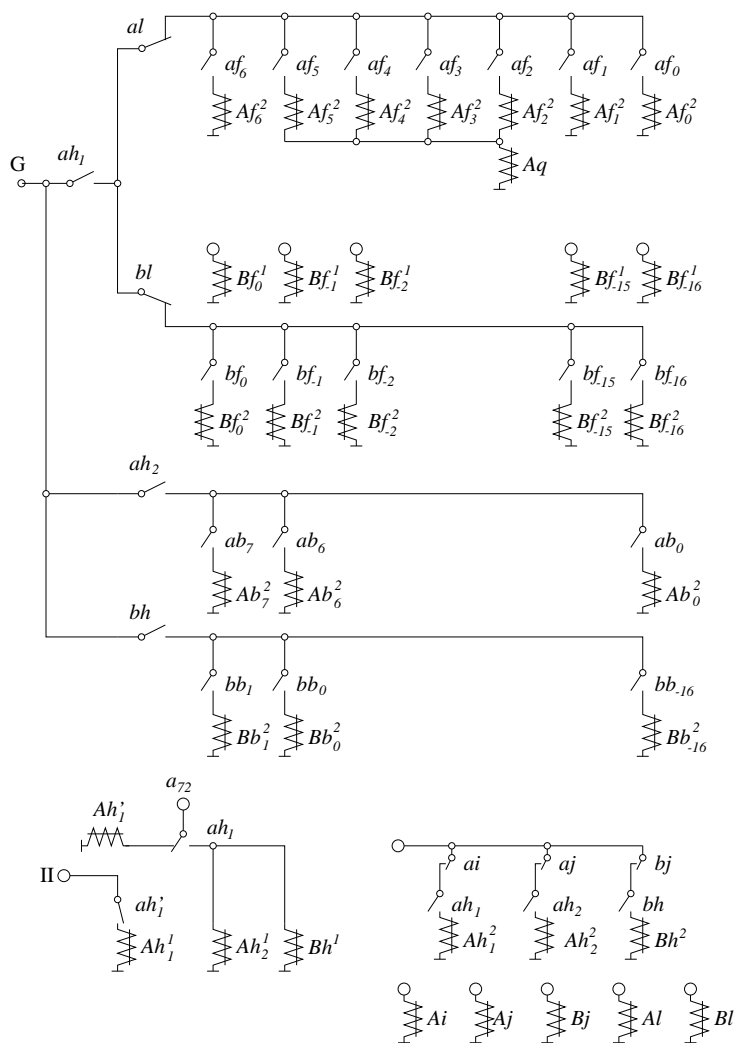


Abbildung 8. Selbsthaltekreise der Additionswerke

Anmerkungen. Diese Abbildung soll aufzeigen, daß die Register Af , Bf , Ab und Bb aus Selbsthalterelais bestehen, d. h., der Inhalt der Register wird dauerhaft gespeichert. Wenn z. B. die Wicklung Af_6^1 auf Spannung gelegt wird, schließt der Kontakt af_6 und dies legt die zweite Wicklung Af_6^2 auf Spannung. Dies verhindert das Öffnen von Kontakt af_6 .

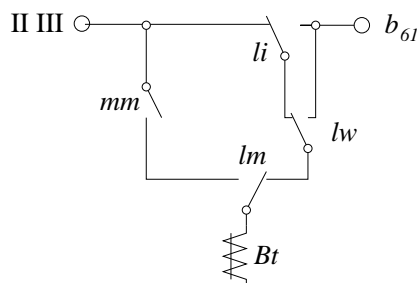
Die Register Aa , Ab , Ba und Bb haben jeweils ein Bit mehr als die Register Af bzw. Bf , denn die Zwischenresultate von Operationen mit Exponenten und Mantissen können ein Extrabit erfordern. Im Registerpaar $\langle Af, Bf \rangle$ werden aber nur solche Resultate gespeichert, die sieben bzw. siebzehn Bits benötigen.

Ein Register aus Selbsthalterelais kann nicht einfach überschrieben werden. Bevor eine neue Zahl gespeichert werden kann, muß der alte Inhalt gelöscht werden. Dies ist die Aufgabe der Relais Al und Bl . Register Af kann mit dem Relais Al und Register Bf mit Bl gelöscht werden.

Das Relais Ah_1 ist am Anfang auf Null gesetzt mit der Wirkung, daß bei einem Lesezugriff auf den Speicher die gelesene Gleitkommazahl in das Registerpaar $\langle Af, Bf \rangle$ geladen wird (Abb. 23). Die Leitung a_{72} wird auf 1 gesetzt, wenn eine Zahl in ein Argumentregister gespeichert werden soll (beim Lesen aus dem Speicher oder nach einer Tastatureingabe, siehe Abb. 22, 23 und 37). Liegt nun a_{72} auf Spannung, werden Ah_1' und damit Ah_1^1 auf 1 gesetzt. Ah_1 wird erst im Schritt II gesetzt, damit im vorherigen Schritt V die Busverbindungen Ef und Ff stabil bleiben (Abb. 23). Nach dem Schritt II werden die sekundären Wicklungen der Af - und Bf -Relais auf Spannung gelegt, und die gespeicherte Zahl bleibt in den nachfolgenden Spielen erhalten.

Nach dem Setzen von Ah_1 auf 1, werden Ah_2 und Bh eingeschaltet. Damit wird der Inhalt des Registerpaares $\langle Ab, Bb \rangle$ gerettet. Das Registerpaar $\langle Aa, Ba \rangle$ besteht aus normalen Relais, d. h., sein Inhalt bleibt nur kurzfristig erhalten. Da dieses Registerpaar für Zwischenresultate verwendet wird, sind keine Selbsthalterelais notwendig.

Das Relais Aq zeigt bei positiven Exponenten an, ob der Inhalt des Registers Af größer als 3 ist. Dieses Signal ist bei der Übersetzung Binär-Dezimal notwendig (Abb. 25). Ai , Aj und Bj löschen die Relais Ah_1 , Ah_2 bzw. Bh . Das Löschen von Ah_1 durch Ai erfolgt z. B. nach einer Resultatsanzeige (vergleiche Abb. 24).

Abbildung 9. Steuerung des Relais Bt

Anmerkungen. Mit dem Relais Bt kann die Mantisse, die vom Addierer im Teil B als Resultat berechnet wurde, oder das erste Argument der Operation (Register Ba) als Resultat Be ausgewählt werden. Bt steuert also einen Multiplexer am Ausgang des Mantissenaddierers (siehe Abb. 4 und Abb. ?? auf Seite ??). Die Schaltung erfüllt folgende Funktionen:

- Bei der Multiplikation ist $lm = 1$ und deswegen $Bt = mm$. Mit mm wird jedes Bit des Multiplikators abgetastet (Abb. 11).
- Die Leitung b_{61} wird auf Spannung gelegt, falls das Resultat einer Subtraktion positiv oder Null ist. Bei Division ist $li = 1$ und $Bt = b_{61}$, d. h., Bt ist gleich dem Vorzeichen des Zwischenresultats (1 bei Plus, 0 bei Minus). Bei der Division wird iterativ subtrahiert und das Vorzeichen des Resultats jedesmal geprüft (Abb. 12).
- Beim Quadratwurzelziehen ist $lw = 1$ und Bt verhält sich wie bei der Division.

Falls weder Multiplikation noch Division oder Quadratwurzelziehen aktiv sind, wird Bt in den Spielen II und III immer auf Spannung gelegt, d. h., das Resultat des Additionswerks B wird auf jeden Fall auf die Relaisgruppe Be übertragen.

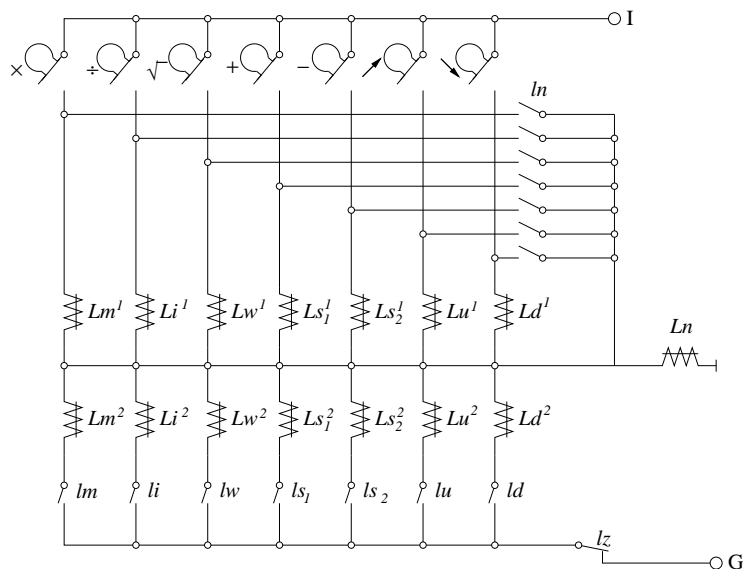


Abbildung 10. Operationseinstellung (Teilschaltung L)

Anmerkungen. Die Abbildung zeigt die Tasten, mit denen eine Operation an der Konsole manuell gestartet werden kann. Jede Taste setzt ein unterschiedliches Selbsthalterelais unter Spannung, d. h.

Lm	Multiplikation
Li	Division
Lw	Quadratwurzelziehen
Ls_1	Addition
Ls_2	Subtraktion
Lu	Dezimaleingabe lesen
Ld	Registerpaar $\langle Af, Bf \rangle$ dezimal anzeigen.

An das Relais Lz wird am Ende der Ausführung eines Befehls eine Spannung angelegt; dies löscht das bis dahin aktive Selbsthalterelais und eine neue Operation kann gestartet werden. In der Rekonstruktion der Z3 löscht Lz außerdem das Registerpaar $\langle Ab, Bb \rangle$, dessen Inhalt nicht mehr gebraucht wird. Das Relais Ln sperrt die Tastatur, nachdem eine Taste gedrückt wurde. So kann kein zweiter Befehl gestartet werden, so lange der erste noch nicht zu Ende ausgeführt ist. Die Befehle „Speicher lesen“ (Pr) und „Speicher schreiben“ (Ps) fehlen in der Konsole, da es keine Möglichkeit gibt, Adressen manuell einzugeben.

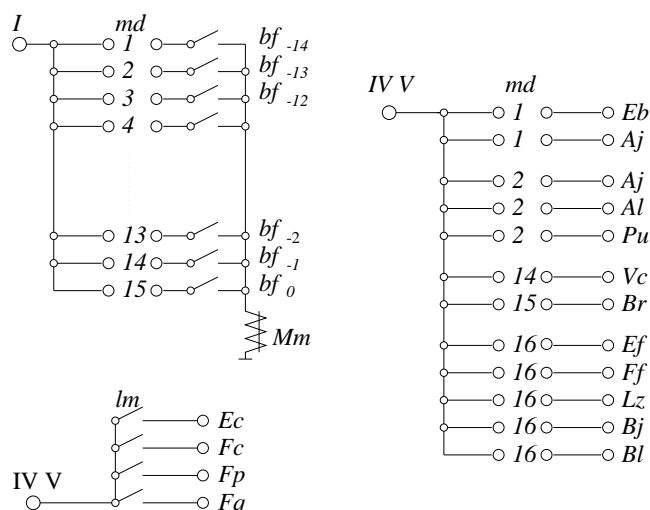


Abbildung 11. Steuerung der Multiplikation (Teilschaltung M)

Anmerkungen. Am Anfang der Multiplikation steht die Mantisse des Multiplikators im Register *Bf* und sein Exponent im Register *Af*, die Mantisse des Multiplikanden im Register *Bb* und sein Exponent im Register *Ab*. *Aa* und *Ba* enthalten beide den Wert Null. Der Schrittschalter *md* bewegt sich von der Position 1 bis 16 in 16 Zyklen. In den Zyklen 1 bis 15 wird jeweils ein Bit des Registers *Bf* abgetastet und dem Relais *Mm* dieser Wert zugewiesen. Jedesmal wenn *Mm* = 1, wird die Mantisse des in *Bb* gespeicherten Multiplikanden zum Zwischenresultat in *Ba* hinzu addiert. Während der ganzen Operation zirkuliert das Ergebnis von Teil A über *Ae* und *Aa* (*Ec* = 1) und das Ergebnis von Teil B über *Be* und *Ba* (*Fc* = 1), wobei *Be* jedesmal eine Stelle nach rechts verschoben wird (*Fp* = *Fq* = 1). Alle Operationen werden im Spiel 0 gestartet (Schritte I, II, III). Der Schrittschalter beginnt in der Stellung „0“ und erreicht die Stellung „1“ in den Schritten IV und V. Diese beiden letzten Schritte betrachten wir also als zugehörig zum nächsten Spiel, d. h. zum Spiel 1.

Im Spiel 0 (d. h., bevor der Schrittschalter auf die Position 1 gekommen ist) wird die Summe von *Aa* = 0 und *Ab* berechnet und in *Aa* gespeichert. Deswegen wird im Spiel 1 *Ab* mit *Af* überschrieben, so daß am Ende dieses Spiels die Summe der Exponenten in *Aa* = *Ae* vorliegt. Im Spiel 2 wird *Ab* gelöscht (*Aj* = 1). Dies ist auch in Spiel 1 notwendig, da Register nur überschrieben werden können, wenn sie vorher auf Null gesetzt (abgeschaltet) werden. Der „Umweg“ für die Berechnung der Addition der Exponenten ist bei der Division, bei der die Differenz der Exponenten berechnet wird,

nicht notwendig (Abb. 12), weil im Spiel 0 der Kreislauf des Ergebnisses im Rechenwerk A durch das Relais *Ia* ausgeschaltet wird. Man muß sich vergegenwärtigen, daß die Additionswerke *immer*, d. h. in jedem Spiel, aktiv sind und Resultate produzieren, die manchmal nicht gebraucht werden. Die Register *Aa* und *Ba* können auch nicht gelöscht werden, sie löschen sich aber automatisch am Ende des Schrittes III (es handelt sich um keine Selbsthalterelais).

Im Teil B des Rechenwerks wird im Spiel 0 die Summe von *Ba* = 0 und *Bb* berechnet. Da aber *Mm* noch nicht gesetzt ist, bleibt das Relais *Bt* inaktiv (Abb. 9) und *Be* wird gleich *Ba*, d. h. Null gesetzt. Am Anfang des Spiels 1 gilt also weiterhin *Ba* = 0.

Im Spiel 2 wird *Pu* gesetzt. Dies ist ein Zeichen für das Leitwerk, den Lochstreifen an der jetzigen Position stehenzulassen (beim nächsten Befehl nach dem Multiplikationsbefehl). Dieses Signal wird immer verwendet, wenn eine Operation mehr als zwei Spiele für die Ausführung benötigt. Im Spiel 14 wird mit *Vc* das Vorzeichen des Ergebnisses gespeichert (vgl. Abb. 30). In Spiel 15 wird die Mantisse normalisiert (*Br* = 1). Am Ende wird das Ergebnis in dem Registerpaar *<Af, bf>* gespeichert (*Ef* = *Ff* = 1). *Lz* ist ein Signal, die Operation zu beenden. Im nächsten Zyklus wird ein neuer Befehl ausgeführt. Mit *Aj*, *Al*, *Bj* und *Bl* werden die Register *Ab*, *Af*, *Bf* bzw. *Bb* gelöscht. Die Details der Synchronisation der Multiplikation sind in der Tabelle ?? auf Seite ?? zu finden (unten reproduziert).

Zyklus	Stufe	Exponent	Mantisse
0	I,II,III	$Ae := Aa + Ab$	
1	IV,V	$Aa := Ae, Ab := Af$	
	I,II,III	$Ae := Aa + Ab$	wenn ($Bf[-14]=1$) dann $Be := Ba + Bb$ sonst $Be := Ba$
2	IV,V	$Aa := Ae, Af := 0, Ab := 0$	$Ba := Be/2$
	I,II,III	$Ae := Aa + Ab$	wenn ($Bf[-13]=1$) dann $Be := Ba + Bb$ sonst $Be := Ba$
3	IV,V	$Aa := Ae$	$Ba := Be/2$
	I,II,III	$Ae := Aa + Ab$	wenn ($Bf[-12]=1$) dann $Be := Ba + Bb$ sonst $Be := Ba$
⋮	⋮	⋮	⋮
<i>i</i>	IV,V	$Aa := Ae$	$Ba := Be/2$
	I,II,III	$Ae := Aa + Ab$	wenn ($Bf[i - 15]=1$) dann $Be := Ba + Bb$ sonst $Be := Ba$
⋮	⋮	⋮	⋮
15	IV,V	$Aa := Ae$	$Ba := Be/2$
	I,II,III	wenn ($Be \geq 2$) dann $Ab := 1$ $Ae := Aa + Ab$	wenn ($Bf[0]=1$) dann $Be := Ba + Bb$ sonst $Be := Ba$
16	IV,V	$Af := Ae$	wenn ($Be \geq 2$) dann $Bf := Be/2$ sonst $Bf := Be$ $Bb := 0$

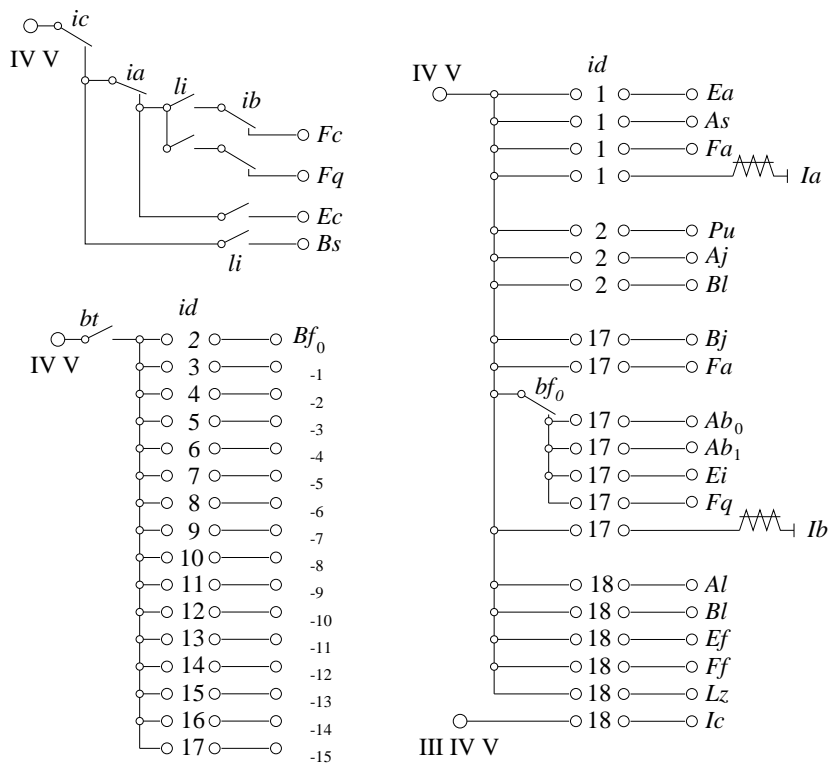


Abbildung 12. Steuerung der Division (Teilschaltung J)

Anmerkungen. Am Anfang des Divisionsalgorithmus ($li = 1$) steht die Mantisse des Zählers in Register Bf und sein Exponent in Af , die Mantisse des Teilers in Bb und sein Exponent in Ab . Aa und Ba sind beide Null. Während der Operation zirkuliert das Resultat vom Teil A über Ae und Aa ($Ec = 1$) und das Resultat vom Teil B über Be und Ba ($Fc = 1$) im Rechenwerk, wobei die Mantisse jedesmal eine Stelle nach links verschoben wird ($Fq = 1$). Teil B ist die ganze Zeit auf Subtraktion der Mantissen gestellt ($Bs = 1$).

Im ersten Zyklus wird Bf auf Ba kopiert ($Fa = 1$), Af auf Aa ($Ea = 1$) und die Exponenten werden subtrahiert ($As = 1$). Im zweiten Zyklus wird der Lochstreifenleser über Pu gestoppt und Ab und Bf gelöscht ($Aj = Bl = 1$). In den Spielen 1, 2, 3, ... wird Ab (der Teiler) von Aa subtrahiert. Ist das Resultat positiv ($bt = 1$), wird im nächsten Spiel das Bit Bf_0, Bf_{-1}, \dots auf 1 gesetzt.

Im Spiel 17 wird getestet, ob das Resultat normalisiert werden soll ($bf_0 = 0$). In diesem Fall wird -1 in das Register Ab geladen und zum Exponenten des Resultats addiert (die Relais Ei laden -4 in Register Ab ; da aber Ab_0 und Ab_1 gesetzt sind, ist $Ab = \text{LLLLLLLL}$). Gleichzeitig wird die Mantisse eine Stelle nach links verschoben ($Fq = 1$). Aufgabe des Relais Ib ist es, im Spiel 17 Fc und Fq auszuschalten, so daß die gewünschte Einstellung sich aus dem Wert von bf_0 ergibt. Im Spiel 18 wird das Resultat gespeichert und das Schlußsignal Lz gesetzt. Das Relais Ic öffnet die Relais Fc und Ec , so daß am Ende der Division die Relais der Register Aa und Ba abfallen können.

In der hier abgebildeten Sequenz fehlt die Anweisung Vc , um das Vorzeichen des Resultats zu berechnen (vgl. Abb 11, Spiel 14). In der Rekonstruktion der Z3 in München wird Vc im letzten Spiel gesetzt.

Nachfolgend drucken wir wieder Tabelle ?? (Seite ??) ab, die eine Schritt-für-Schritt-Darstellung des Divisionsalgorithmus bietet.

Zyklus	Stufe	Exponent	Mantisse
0	I,II,III		
1	IV,V	$Aa:=Af$	$Ba:=Bf$
	I,II,III	$Ae:=Aa-Ab$	wenn $(Ba-Bb \geq 0)$ dann $Be:=Ba-Bb$, $bt:=1$ sonst $Be:=Ba$, $bt:=0$
2	IV,V	$Aa:=Ae$ $Ab:=0$	$Bf:=0$ wenn $(bt=1)$ dann $Bf[0]:=1$ $Ba:=2 \times Be$
	I,II,III	$Ae:=Aa+Ab$	wenn $(Ba-Bb \geq 0)$ dann $Be:=Ba-Bb$, $bt:=1$ sonst $Be:=Ba$, $bt:=0$
3	IV,V	$Aa:=Ae$	wenn $(bt=1)$ dann $Bf[-1]:=1$ $Ba:=2 \times Be$
	I,II,III	$Ae:=Aa+Ab$	wenn $(Ba-Bb \geq 0)$ dann $Be:=Ba-Bb$, $bt:=1$ sonst $Be:=Ba$, $bt:=0$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
i	IV,V	$Aa:=Ae$	wenn $(bt=1)$ dann $Bf[2-i]:=1$ $Ba:=2 \times Be$
	I,II,III	$Ae:=Aa+Ab$	wenn $(Ba-Bb \geq 0)$ dann $Be:=Ba-Bb$, $bt:=1$ sonst $Be:=Ba$, $bt:=0$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
16	IV,V	$Aa:=Ae$	wenn $(bt=1)$ dann $Bf[-14]:=1$ $Ba:=2 \times Be$
	I,II,III	$Ae:=Aa+Ab$	wenn $(Ba-Bb \geq 0)$ dann $Be:=Ba-Bb$, $bt:=1$ sonst $Be:=Ba$, $bt:=0$
17	IV,V	wenn $(Bf[0] = 0)$ dann $Ab:=-1$	wenn $(bt=1)$ dann $Bf[-15]:=1$ $Bb:=0$ wenn $(Bf[0]=0)$ dann $Ba:=2 \times Be$ sonst $Ba:=Be$
	I,II,III	$Ae:=Aa+Ab$	$Be:=Ba-Bb$
18	IV,V	$Af:=Ae$	$Bf=Be$

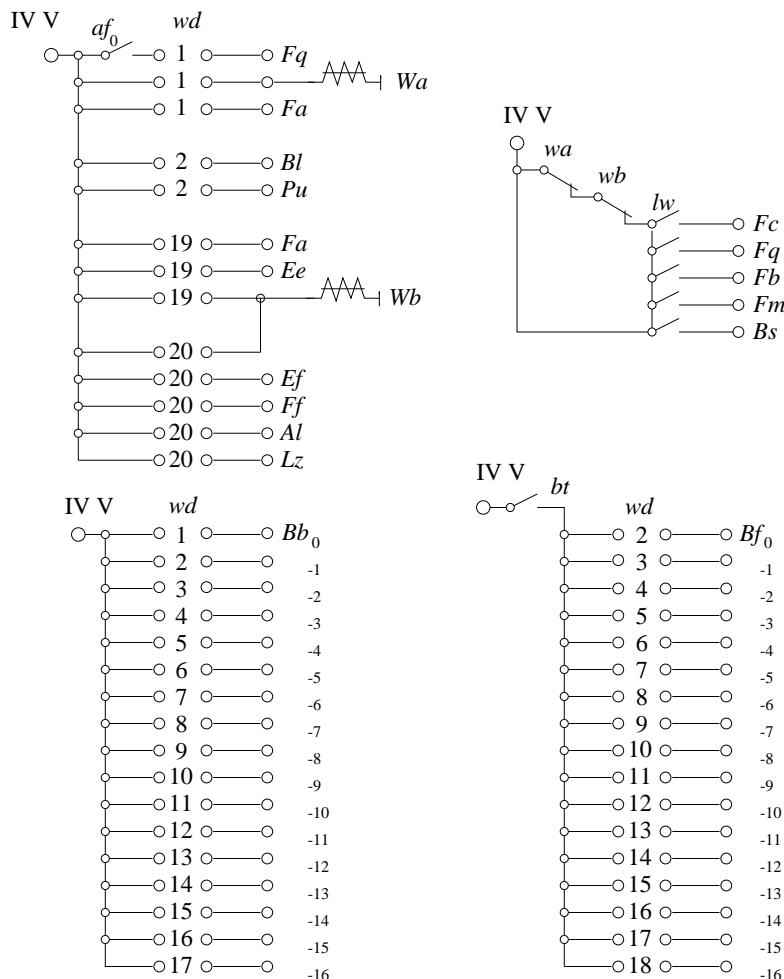


Abbildung 13. Steuerung des Quadratwurzelalgorithmus (Teilschaltung W)

Anmerkungen. Die Steuerung des Quadratwurzelalgorithmus ($lw = 1$) ist relativ komplex (vgl. die Beschreibung von Zuse in der Patentanmeldung und unsere Darstellung ab Seite ??). Die Hauptidee des Verfahrens ist, die Bits im Register Bb sequentiell auf 1 zu setzen (Teilabbildung links unten), um mittels einer Subtraktion zu testen, ob das Quadrat von Bb zu groß geworden ist. Ist das nicht der Fall, wird ein Spiel später das entsprechende Bit des Resultats Bf auf 1 gesetzt (Teilabbildung rechts unten).

Während des Algorithmus sind Fc und Fb eingeschaltet. Damit wird dem Register Ba das Resultat aus Be zugewiesen, ebenso wird der Inhalt vom Bf zum Register Bb befördert. Vor solchen Zuweisungen werden die Resultate jedoch um eine Stelle nach links geschiftet. Dafür sind die geschalteten

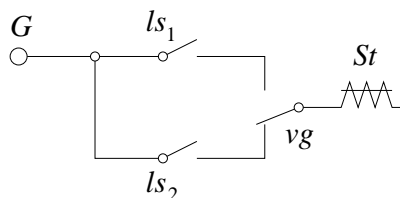
Relais Fq und Fm verantwortlich. Das Rechenwerk B ist die ganze Zeit auf Subtraktion eingestellt ($Bs = 1$).

Die Aufgabe der Relais Wa und Wb besteht darin, in den Spielen 1, 19 und 20 die Speicherung von Be in Ba zu unterbinden. Im Spiel 1 wird Register Bf auf Ba kopiert ($Fa = 1$). Falls der Exponent ungerade ist ($af_0 = 1$), wird Bf bei dieser Operation eine Stelle nach links verschoben ($Fq = 1$). Im Spiel 19 wird der Exponent im Register Af nach Aa kopiert und wird dabei, unter Beibehaltung des Vorzeichens der Zweierkomplementzahl, eine Stelle nach rechts verschoben ($Ee = 1$). Diese Operation teilt den Exponenten durch 2, wie es für Quadratwurzelziehen notwendig ist. Im Spiel 20 wird das Resultat im Registerpaar $\langle Af, Bf \rangle$ gespeichert. Lz ist das Schlußzeichen.

Bei jeder Übertragung des Inhalts von Register Bf in Register Bb (Fb ist fast in jedem Zyklus eingeschaltet) muß Bb vorher gelöscht werden. Dies wird in dem Diagramm nicht explizit gezeigt. Auch am Anfang des Algorithmus muß Bb auf Null gesetzt werden (nicht explizit gezeigt).

Nachfolgend reproduzieren wir die auf Seite ?? bereits besprochene Tabelle für den Quadratwurzelalgorithmus.

Zyklus	Stufe	Exponent	Mantisse
0	I,II,III		
1	IV,V		wenn ($Af[0]=1$) dann $Ba:=2 \times Bf$ sonst $Ba:=Bf$ $Bb[0]:=1$
	I,II,III		wenn ($Ba-Bb \geq 0$) dann $Be:=Ba-Bb$, $bt:=1$ sonst $Be:=Ba$, $bt:=0$
2	IV,V		$Bf:=0$ wenn ($bt=1$) dann $Bf[0]:=1$ $Ba:=2 \times Be$, $Bb:=2 \times Bf$, $Bb[-1]:=1$
	I,II,III		wenn ($Ba-Bb \geq 0$) dann $Be:=Ba-Bb$, $bt:=1$ sonst $Be:=Ba$, $bt:=0$
3	IV,V		wenn ($bt=1$) dann $Bf[-1]:=1$ $Ba:=2 \times Be$, $Bb:=2 \times Bf$, $Bb[-2]:=1$
	I,II,III		wenn ($Ba-Bb \geq 0$) dann $Be:=Ba-Bb$, $bt:=1$ sonst $Be:=Ba$, $bt:=0$
⋮	⋮	⋮	⋮
i	IV,V		wenn ($bt=1$) dann $Bf[2-i]:=1$ $Ba:=2 \times Be$, $Bb:=2 \times Bf$, $Bb[1-i]:=1$
	I,II,III		wenn ($Ba-Bb \geq 0$) dann $Be:=Ba-Bb$, $bt:=1$ sonst $Be:=Ba$, $bt:=0$
⋮	⋮	⋮	⋮
18	IV,V		wenn ($bt=1$) dann $Bf[-16]:=1$ $Ba:=2 \times Be$, $Bb:=2 \times Bf$
	I,II,III		wenn ($Ba-Bb \geq 0$) dann $Be:=Ba-Bb$, $bt:=1$ sonst $Be:=Ba$, $bt:=0$
19	IV,V	$Aa:=Af/2$	$Ba:=Bf$, $Bb:=0$
	I,II,III	$Ae:=Aa+0$	$Be:=Ba+Bb$
20	IV,V	$Af:=Ae$	$Bf:=Be$

Abbildung 14. Steuerung des Relais St

Anmerkungen. Relais St steuert die Operation im Teil B des Rechenwerks. Ist St gesetzt, wird eine Addition, sonst eine Subtraktion ausgeführt. Die in der Zeichnung dargestellten Schalter sind

ls_1 – aktiv bei Additionsbefehl,

ls_2 – aktiv bei Subtraktionsbefehl,

vg – gesetzt, falls die Vorzeichen der Argumente gleich sind (siehe auch Abb. 30).

St wird in zwei Fällen gesetzt: bei der Addition von Mantissen mit gleichem Vorzeichen und bei der Subtraktion von Mantissen ungleichen Vorzeichens. Der Grund dafür ist, daß, falls die Mantissen x und y unterschiedliche Vorzeichen haben, die Subtraktion $x - y$ als die Addition $x + (-y)$ berechnet werden kann, wobei die Mantissen x und $-y$ die gleichen Vorzeichen haben. Das Vorzeichen des Resultats wird durch die Schaltung in Abb. 30 ermittelt.

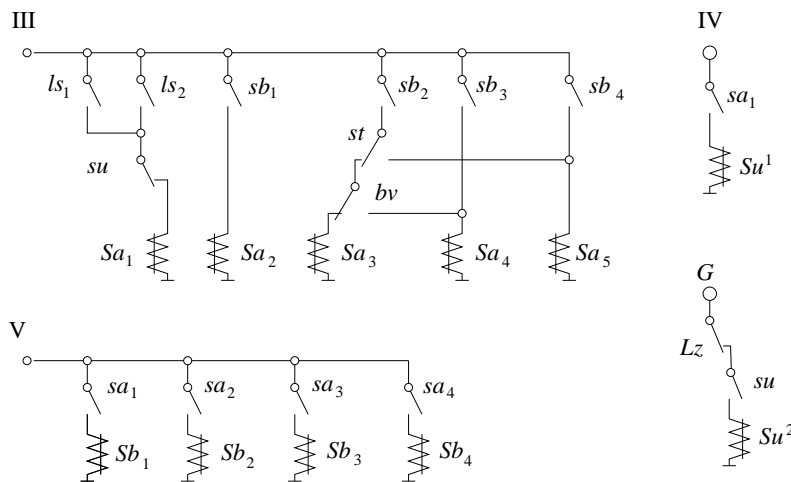


Abbildung 15. Relaiskette der Sa-Sb-Relais

Anmerkungen. Die Schaltung zeigt die Relaiskette für die Steuerung der „befohlenen Addition“ ($ls_1=1$) und „befohlenen Subtraktion“ ($ls_2=1$). Bei tatsächlicher Addition ($st=1$) werden die Kontakte sa_1, sb_1, sa_2, sb_2 und sa_5 nacheinander aktiviert. Bei tatsächlicher Subtraktion ($st=0$) und positiver Mantissendifferenz ($bv=1$) werden die Kontakte $sa_1, sb_1, sa_2, sb_2, sa_3, sb_3, sa_4, sb_4$ und sa_5 nacheinander aktiviert. Bei negativer Mantissendifferenz wird von sb_2 auf sa_4 gesprungen. Das Relais Su sorgt dafür, daß die Relaiskette nur einmal gestartet wird. Su wird am Ende der Operation ($Lz = 1$) ausgeschaltet.

Die Relaiskette synchronisiert fünf mögliche Spiele: im ersten Spiel (sa_1) werden die Argumente nach der Größe ihrer Exponenten sortiert, im zweiten Spiel (sa_2) wird die Addition oder Subtraktion durchgeführt. Das dritte Spiel (sa_3) ist nur bei Subtraktion notwendig, falls die erhaltene Mantisse negativ ist. Im vierten Spiel (sa_4) wird die Mantisse (das Resultat einer Subtraktion) normalisiert. Im fünften Spiel wird das Resultat gespeichert (siehe detaillierte Steuerung in Abb. 16).

An die Relais av und bv wird in Teil A bzw. Teil B des Rechenwerks eine Spannung angelegt, falls das Resultat einer Subtraktion positiv oder Null ist.

Eine Relaiskette ist für die Steuerung der Addition und Subtraktion günstiger als ein Steuerschalter, da nur wenige Spiele benötigt werden und in der Kontrollkette zwei Verzweigungen möglich sind.

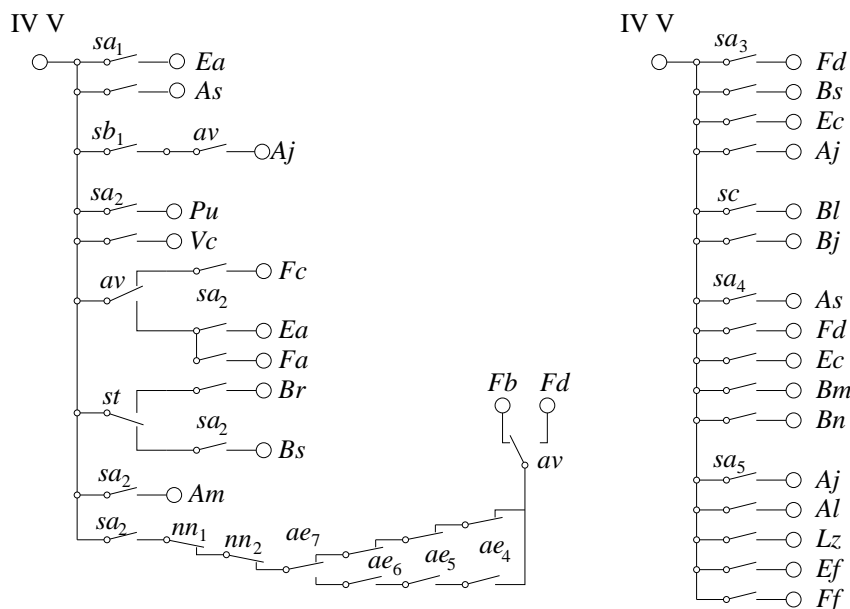


Abbildung 16. Einstellungen für Addition-Subtraktion, bewirkt durch die *Sa-Sb*-Relais

Anmerkungen. Erstes Spiel: Der Exponent des ersten Arguments wird von Af nach Aa übertragen ($Ea = 1$). Die Differenz der Exponenten wird berechnet ($As = 1$). Ist $Af \geq Ab$, dann gilt $av = 1$ und Ab wird gelöscht ($Aj = 1$); Af wird wieder nach Aa übertragen ($Ea = 1$) und die Mantisse Bf nach Ba ($Fa = 1$). Ist Af kleiner als Ab ($av = 0$), dann wird die im Teil B berechnete Summe $0 + Bb$ nach Ba übertragen ($Fc = 1$). In beiden Fällen steht am Ende der Ausführung die Mantisse des Arguments mit dem größten Exponenten im Register Ba .

Zweites Spiel: Falls eine Addition der Mantissen ausgeführt wird ($st = 1$), kann gleich danach das Resultat ausgerichtet werden ($Br = 1$). Falls die Mantissen subtrahiert werden ($st = 0$), wird Teil B über sa_2 auf Subtraktion gestellt ($Bs = 1$). Die Mantisse der Zahl mit dem kleinsten Exponenten muß um soviel Stellen nach rechts verschoben werden wie die absolute Differenz der Exponenten beträgt. Die Einstellung der Relais Fh bis Fm wird mit der Schaltung in Abb. 17 ermittelt. Über das Relais Am wird diese Einstellung weitergeleitet (Abb. 17). Die Mantisse, die in Bb zu laden ist, wird nur dann tatsächlich geladen, wenn keines der Argumente Null ist ($nn_1 = nn_2 = 0$, Abb. 38) und außerdem die Differenz der Exponenten höchstens 15 und mindestens -16 beträgt. Die Mantisse, die zu verschieben ist, wird aus Bf

über Fb geladen, falls die Differenz der Exponenten negativ war ($av = 0$), oder aus Be über Fd , falls sie positiv war (wobei $Be = Bb + 0$).

Drittes Spiel (bei Addition und Subtraktion): Relais Sc wird von sb_2 im zweiten Schritt gesetzt (Abb. 30). Damit werden Bf und Bb gelöscht ($Bl = Bj = 1$).

Drittes Spiel ($sa_3 = 1$, nur bei Subtraktion, negative Mantissee): Die Mantissee wird von 0 subtrahiert (über Fd , wobei $Bs = 1$). Gleichzeitig wird in Aa der größte Exponent geladen ($Ec = 1$) und Ab gelöscht ($Aj = 1$).

Viertes Spiel ($sa_4 = 1$, nur bei Subtraktion): Die Mantissee wird nach links verschoben ($Bm = 1$, Abb. 18), wobei die Anzahl der verwendeten Stellen ins Register Ab geladen wird ($Bn = 1$), um vom Exponenten des Resultats (Aa über Ec) subtrahiert zu werden ($As = 1$). Die Einstellung der Bits Fi bis Fm wird mit der Schaltung in Abb. 18 berechnet. Im letzten Spiel wird das Resultat gespeichert. Unten reproduzieren wir die Steuerungstabellen für die Addition und Subtraktion (Seite ??).

Zyklus	Stufe	Exponent	Mantissee
0	I,II,III		
1	IV,V	$Aa := Af$	
	I,II,III	$Ae := Aa - Ab$	$Be := 0 + Bb$
2	IV,V	wenn $(Ae \geq 0)$ dann $Ab := 0, Aa := Af$ sonst $Aa := 0$	wenn $(Ae \geq 0)$ dann $Ba := Bf, Bb := Be$ (verschoben) sonst $Ba := Be, Bb := Bf$ (verschoben) (Be oder Bf werden $ Ae $ Stellen nach rechts verschoben)
	I,II,III	wenn $(Be \geq 2)$ dann $Ae := Aa + Ab + 1$ sonst $Ae := Aa + Ab$	$Be := Ba + Bb$
3	IV,V	$Af := Ae$	wenn $(Be \geq 2)$ dann $Bf := Be / 2$ sonst $Bf := Be$

Zyklus	Stufe	Exponent	Mantissee
0	I,II,III		
1	IV,V	$Aa := Af$	
	I,II,III	$Ae := Aa - Ab$	$Be := 0 + Bb$
2	IV,V	wenn $(Ae \geq 0)$ dann $Ab := 0, Aa := Af$ sonst $Aa := 0$	wenn $(Ae \geq 0)$ dann $Ba := Af, Bb := Be$ (verschoben) sonst $Ba := Be, Bb := Bf$ (verschoben) (Be oder Bf werden $ Ae $ Stellen nach rechts verschoben)
	I,II,III	$Ae := Aa + Ab$	$Be := Ba - Bb$
3	IV,V	$Aa := Ae, Ab := 0$	$Ba := 0, Bb := Be$
	I,II,III	$Ae := Aa + Ab$	$Be := Ba - Bb$
4	IV,V	$Aa := Ae$ $Ab :=$ Anzahl der Verschiebungen	$Bb := Be$ (verschoben) (Be wird durch Verschiebung nach links normalisiert)
	I,II,III	$Ae := Aa - Ab$	$Be := 0 + Bb$
5	IV,V	$Af := Ae$	$Bf := Be$

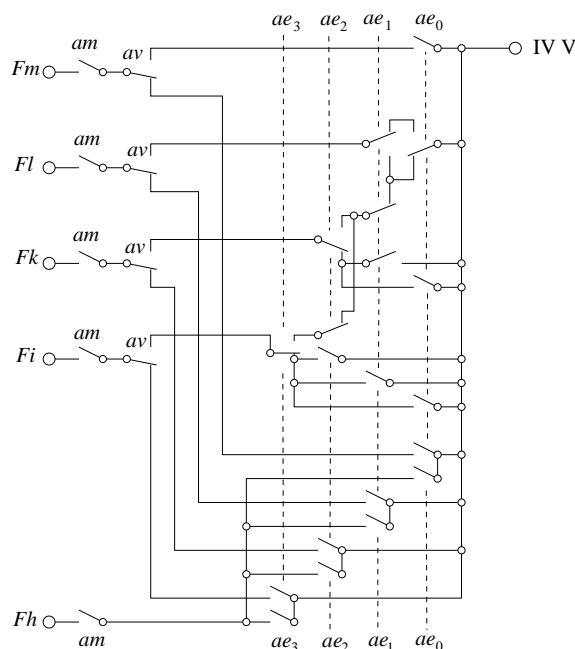


Abbildung 17. Schaltung der ae -Kontakte (Shift für Addition/Subtraktion)

Anmerkungen. Diese Schaltung berechnet die notwendige Verschiebung der

Mantisse des Arguments mit dem niedrigsten Exponenten bei der Ausführung des Additions- oder Subtraktionsbefehls. Die Schaltung wird von der Relaiskette in Abb. 16 gesteuert.

Das Relais av ist 1, falls die im Teil A des Rechenwerks berechnete Differenz der Exponenten positiv oder Null ist, sonst ist av Null. Die fünf Bits \bar{av} , ae_3 , ae_2 , ae_1 , ae_0 , wobei \bar{av} das Komplement von av darstellt, können als eine Zweierkomplementzahl z interpretiert werden. Die Schaltung überträgt auf die Relais Fh, i, k, l, m die Zahl $-|z|$ (der negative absolute Betrag von z). Ist z. B. $z = -1$, so werden alle Relais Fh bis Fm auf Spannung gelegt (LLLLL), entsprechend der Tabelle auf Seite 18. Die Schaltung kann anhand dieser Tabelle überprüft werden. Die Mantisse kann maximal 16 Stellen verschoben werden. Eine größere Verschiebung würde die Mantisse auf Null setzen.

Das Relais Am wird von dem Kontakt sa_2 (Abb. 16) aktiviert, wenn die Verschiebung eines Arguments zu berechnen ist. Dies ist der Fall im Spiel 2 des Additions- und Subtraktionsbefehls.

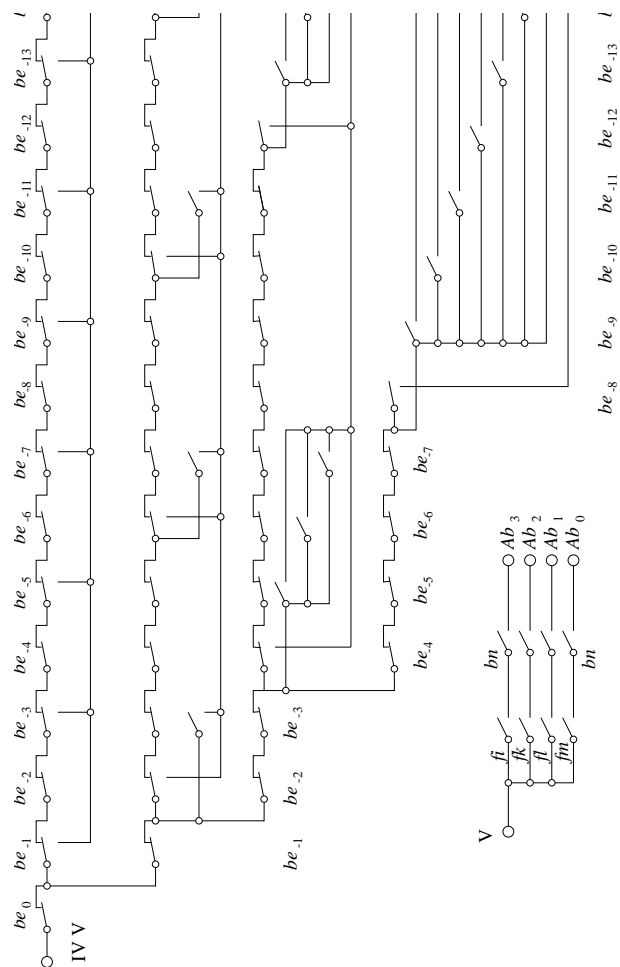


Abbildung 18. Schaltung der *be*-Kontakte

Anmerkungen. Diese Schaltung berechnet die notwendige Verschiebung für die Normalisierung des Endresultats Be einer arithmetischen Operation. Die Multiplikation von normalisierten Zahlen bedarf höchstens einer einstelligen Verschiebung des Resultats nach rechts, das Resultat einer Division muß höchstens eine Stelle nach links verschoben werden, während die Quadratwurzel einer normalisierten Zahl normalisiert bleibt. Deswegen wird diese Schaltung nur bei Addition und Subtraktion verwendet.

Die Anzahl der Stellen der Verschiebung wird in den Relais Fi bis Fm eingestellt. Da es sich um eine Verschiebung nach links handelt, d. h. um eine positive Anzahl von Stellen, ist $Fh = 0$ und braucht nicht berechnet zu werden. Sind alle Bits Be_0 bis Be_{-16} Null, so wird die Leitung b_{82} auf Spannung gelegt. Dies ist ein Signal für die Schaltung, die die numerischen Sonderfälle (Null, Unendlich) bearbeitet (Abb. 39). Über die Kontakte bm wird die Verschiebung in die Relais Fi bis Fm geladen. Das Relais Bm wird vom Kontakt sa_4 aktiviert (Abb. 16).

Nehmen wir an, daß $be_0 = 1$ und $be_{-1} = 1$. Dann werden $Fi = Fk = Fl = 0$ und $Fm = 1$ berechnet. Dies entspricht der Binärzahl 000L, d. h. einer einstelligen Verschiebung nach links. Über die Kontakte bn wird die Anzahl der Stellen der Verschiebung der Mantisse in Register Ab geladen, um vom Exponenten des Resultats abgezogen zu werden.

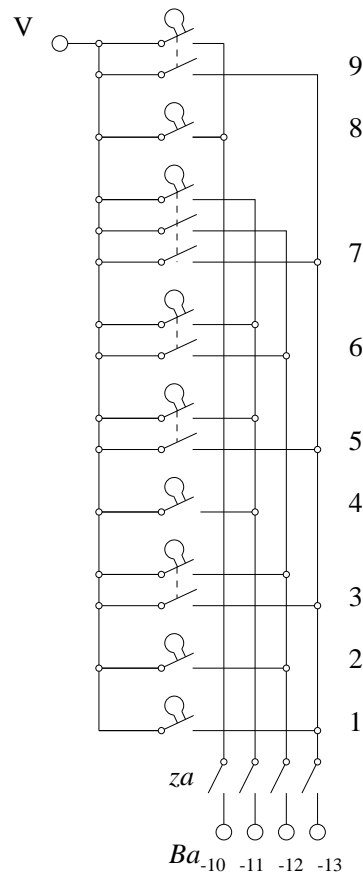


Abbildung 19. Zifferneinstellung (Teilschaltung Z)

Anmerkungen. Die Abbildung zeigt die Schaltung für die Eingabe einer Dezimalziffer. Wird eine Taste gedrückt, so wird die Binärdarstellung der entsprechenden Ziffer auf die Bits *Ba*₋₁₀, *Ba*₋₁₁, *Ba*₋₁₂ und *Ba*₋₁₃ des Registers *Ba* übertragen. Für jede Reihe von Tasten gibt es eine Busverbindung. Dargestellt ist *za*, der Kontaktschalter für die oberste Dezimalziffer. Die drei anderen Tastenreihen werden über die Relais *Zb*, *Zc* und *Zd* übertragen (*Zd* wird für die niedrigste Dezimalziffer verwendet).

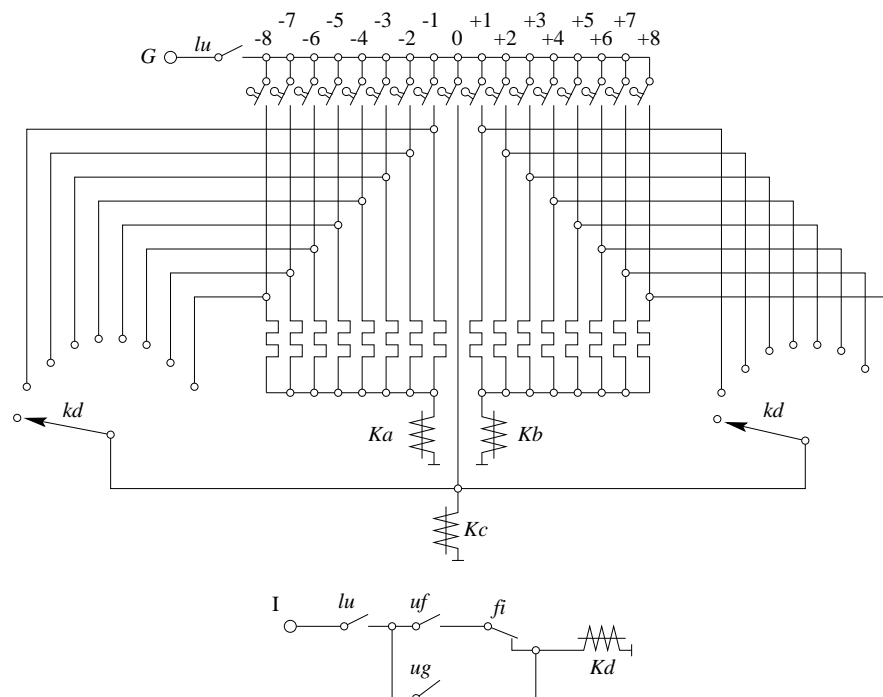


Abbildung 20. Kommaeinstellung (Teilschaltung K)

Anmerkungen. Bei einer Eingabeoperation ($lu = 1$) wird die in der Konsole eingestellte Potenz von 10 in die Maschine gelesen. Ist der Exponent Null, wird das Relais Kc sofort aktiviert. Falls der Exponent negativ ist, wird Ka auf Spannung gelegt, sonst Kb . Kd ist ein Schrittschalter, der in Schritt I angestoßen wird (unteres Bild). Dafür muß Uf oder Ug gesetzt sein (Abb. 22). Uf steuert die Multiplikation mit 0,1 und wird gesetzt, wenn der Exponent negativ ist. Ug steuert die Multiplikation mit 10 und wird gesetzt, wenn der Exponent positiv ist (Abb. 22). Ist der Exponent verschieden von Null, startet der Steuerschalter Kd und läuft von einem Kontakt zum nächsten. Wenn Kd auf die Leitung der gedrückten Taste trifft, wird Kc aktiviert. Kc ist ein Signal an das Leitwerk, keine weiteren Multiplikationen mit 10 bzw. 0,1 auszuführen (siehe Abb. 22). Ist $Kc = 1$, wird das Relais Uz aktiviert und das Ende der Leseoperation eingeleitet.

Die Aufgabe des Schalters fi ist, das Vorrücken des Steuerschalters Kd nur dann zu erlauben, wenn eine Multiplikation mit 0,1 abgeschlossen ist (vgl. Tabelle auf Seite 23). Dies geschieht nach vier Spielen; fi wird von 1 auf 0 zurückgesetzt. Für die Multiplikation mit 10 ($ug = 1$) ist dieser Trick nicht notwendig, Kd rückt in jedem Spiel eine Position weiter.

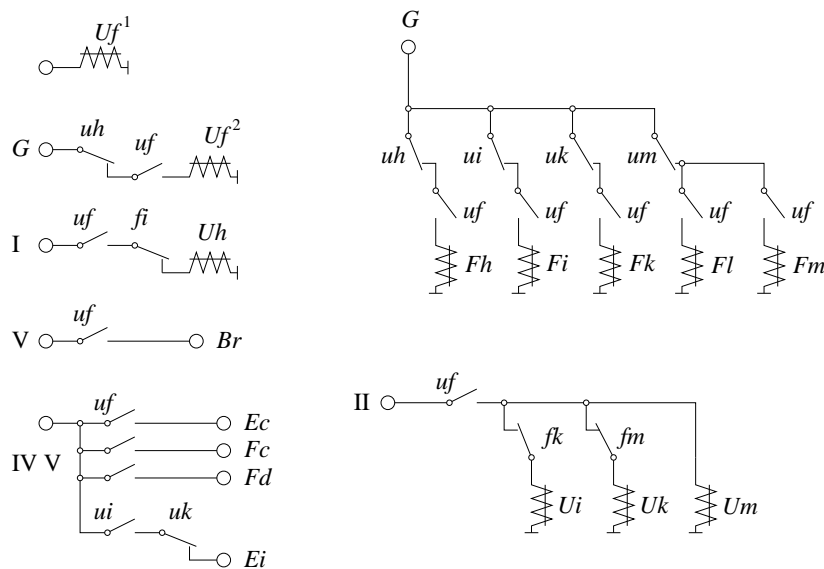


Abbildung 21. Steuerung der Multiplikation mit 0,1 (Teilschaltung U)

Anmerkungen. Beim Einlesen einer Dezimalzahl aus der numerischen Tastatur können Multiplikationen mit 0,1 notwendig werden (d.h. der Dezimalexponent ist negativ). In diesem Fall wird das Selbsthalterelais *Uf* aktiviert (Abb. 22, Abschnitt 3.5). Im ersten Spiel werden die Relais *Fh* bis *Fm* auf 1 geschaltet. Im nächsten Spiel schaltet das Relais *Um* die Relais *Fl* und *Fm* aus. Ein Spiel weiter wird *Uk* ausgeschaltet und somit auch *Fk*. Zuletzt, im vierten Spiel, wird *Ui* ausgeschaltet und damit auch *Fi*. Dies führt zu den in der Tabelle auf Seite 23 gewünschten Einstellungen. Wenn der Kontakt *fi* abfällt, wird das Relais *Uh* auf Spannung gelegt; damit wird das Relais *Fh* ausgeschaltet. Während einer Multiplikation mit dem Faktor 0,1 ist das Relais *Br* in jedem Spiel eingeschaltet, damit die Mantisse jedesmal normalisiert wird. In den Schritten IV und V von jedem Spiel sind *Ec*, *Fc* und *Fd* eingeschaltet. In Teil A des Rechenwerks wird damit die Addition der Exponenten in Register *Aa* geladen und in Teil B wandert das Resultat über *Fc* und *Fd* zurück in die Register *Ba* und *Bb*. Damit wird das vorherige Ergebnis ($Ba = Be$) mit der verschobenen Mantisse ($Bb = Be$ verschoben über die Relais *Fh* bis *Fm*) addiert. Für jede Multiplikation mit 0,1 muß 4 vom Exponenten abgezogen werden (da $0,1 = 2^{-4} \times L, L00\dots$ ist). Dazu wird *Ei* durch das Zusammenwirken der Einstellungen der Kontakte *uk* und *ui* alle vier Zyklen nur einmal eingeschaltet. *Ei* lädt -4 in Register *Ab*, das zum Exponenten *Aa* des partiellen Resultats addiert wird.

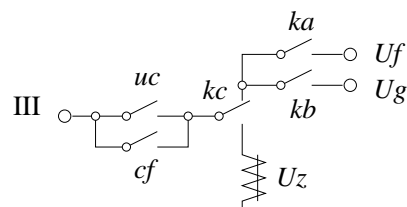


Abbildung 22. Einzelheiten der Teilschaltung U

Anmerkungen. Diese Schaltung wählt eines von drei Relais aus, je nachdem, welche Operation nach dem Einlesen der Dezimalziffer aus der Tastatur notwendig ist, und zwar:

- Relais Uf , falls der Exponent negativ ist und Multiplikationen mit dem Faktor 0,1 notwendig sind.
- Relais Ug , falls der Exponent positiv ist und Multiplikationen mit dem Faktor 10 notwendig sind.
- Relais Uz , falls keine weiteren Multiplikationen notwendig sind.

Der Kontakt Uc wird im Spiel 8 der Eingabeoperation aktiviert (Seite 22). Mit Uc wird signalisiert, daß die Dezimal-Binär-Umwandlung der (Dezimal)-Mantisse abgeschlossen ist und nun die Behandlung des Kommas beginnen soll. Das Relais Kc wird gesetzt, falls der Exponent 0 ist oder die Berechnungen zu Ende sind (Abb. 20). Das Relais Cf ist in keiner anderen Abbildung der Patentanmeldung zu finden und wird auch in dem Text nicht erläutert.

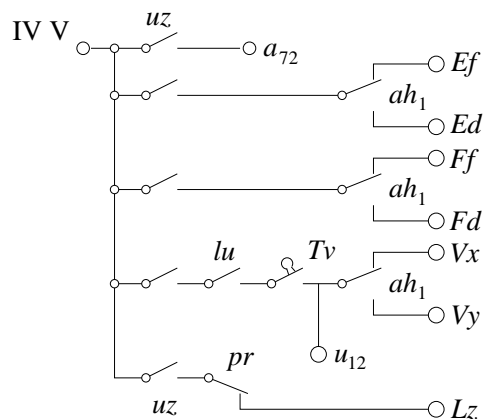


Abbildung 23. Einzelheiten der Teilschaltung U

Anmerkungen. Diese Schaltung leitet das Ende einer Eingabeoperation Lu oder eines Speicherlesezugriffs Pr ein. Das Relais Uz wird am Ende der Bearbeitung des Dezimalexponenten (Abb. 22) oder bei einem Speicherlesezugriff (Abb. 37) gesetzt. Falls $ah_1 = 0$, wird das Resultat in das Registerpaar $\langle Af, Bf \rangle$ gespeichert und das Vorzeichen in Vx . Falls $ah_1 = 1$, werden das Registerpaar $\langle Ab, Bb \rangle$ und das Vorzeichenrelais Vy verwendet. Bei einer Eingabeoperation ($lu = 1$) wird das Vorzeichen aus der Konsole gelesen (Taste Tv). Wird die Zahl aus dem Speicher gelesen, so überträgt die Leitung u_{12} das erste Bit aus dem Speicher (Abb. 31).

Die Leitung a_{72} wird beim Laden der Register auf Spannung gelegt. Dies ist ein Signal für das Rechenwerk, Ah_1 einzuschalten (Abb. 8). Damit wird beim ersten Ladevorgang der Register das Registerpaar $\langle Af, Bf \rangle$ verwendet, beim zweiten das Registerpaar $\langle Ab, Bb \rangle$. Solange Ah_1 nicht gelöscht wird, bezieht sich jeder weitere Ladevorgang auf die Register $\langle Ab, Bb \rangle$.

Bei einem Speicherlesezugriff ($pr = 1$) wird das Signal Lz nicht eingeschaltet.

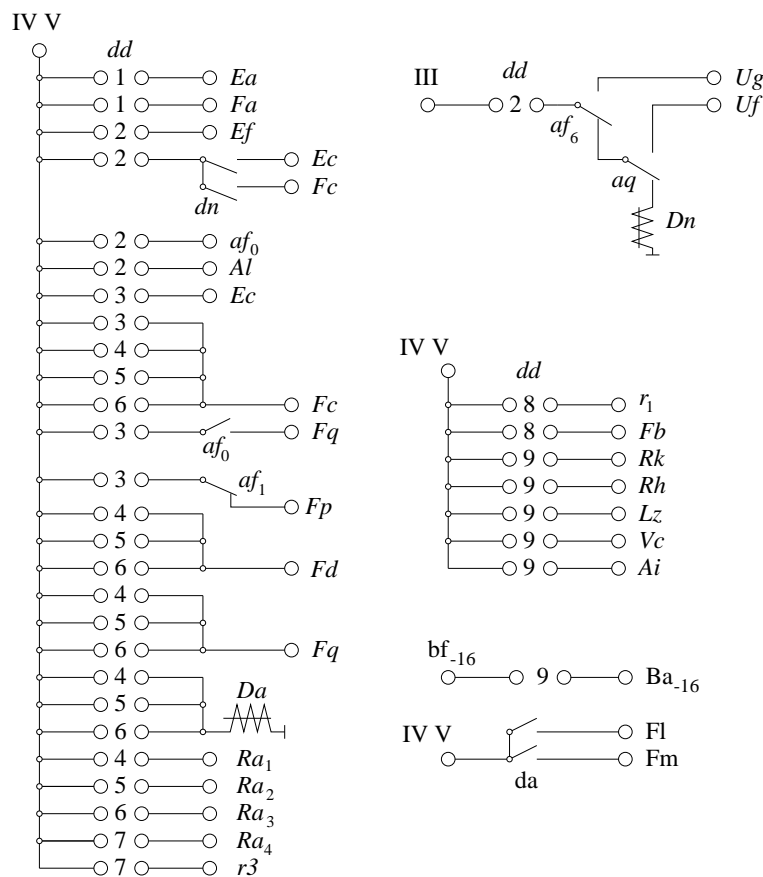


Abbildung 24. Steuerung der Rückübersetzung (Teilschaltung B)

Anmerkungen. Der Schrittschalter Dd wird für die Operation Ld (Rückübertragung Binär-Dezimal) verwendet. Im ersten Spiel wird der Inhalt von Af nach Aa ($Ea = 1$) und Bf nach Ba ($Fa = 1$) übertragen. Im zweiten Spiel wird das Bit af_6 getestet (rechts oben). Ist $af_6 = 1$, so ist der Exponent negativ und Ug eingeschaltet. Ist der Exponent positiv und größer als 3 ($aq = 1$, Abb. 8), wird Uf eingeschaltet. Falls beides nicht zutrifft, wird Dn eingeschaltet. In diesem zweiten Spiel wird der Dezimalexponent der auszugebenden Zahl in dem Kommaanzeiger gesetzt. Die Gleitkommazahl im Registerpaar $\langle Af, Bf \rangle$ wird so lange mit 0,1 oder mit 10 multipliziert, bis der Binärexponent im Intervall $0 \dots 3$ liegt. Uf steuert die Multiplikation mit 0,1 (Abb. 21), Ug mit dem Faktor 10 (Seite 21). Der Schrittschalter Dd bleibt

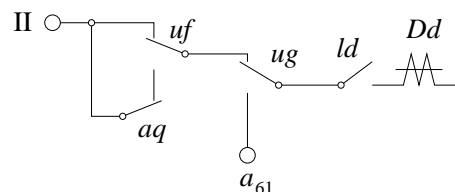
so lange in der Stellung „2“ stehen, bis die Anzeige des Dezimalexponenten erfolgt ist (Abb. 25).

Im dritten Spiel wird der Exponent, der nun im Intervall $0, \dots, 3$ liegt, auf 2 reduziert. Dafür wird eine Verschiebung der Mantisse durchgeführt. Fq wird mit af_0 und Fp mit dem Komplement von af_1 gleichgesetzt. Über Fc wird der Inhalt von Be , der von Fp und Fq geshiftet wird, in Ba geladen. Der Exponent in Teil A muß nicht korrigiert werden, da er nicht mehr gebraucht wird. Am Ende dieser Operation steht die erste Dezimalziffer in den Bits be_1 , be_0 , be_{-1} und be_{-2} . Diese Ziffer wird im Spiel 4 ($Ra_1 = 1$) zum Register Bf übertragen (Abb. 26).

In den Spielen 5, 6 und 7 wird jeweils die nächste Dezimalziffer für die Anzeige berechnet. Fc und Fd sind in den Spielen 4, 5 und 6 eingeschaltet. Die Mantisse Be wandert zurück in die Register Ba und Bb . Sie wird dabei mit Fq einmal nach links geshiftet (d. h. $Ba = 2 \times Be$) und mit Da , das Fl und Fm einschaltet, dreimal nach links geshiftet (d. h. $Bb = 8 \times Be$). Die Summe von Ba und Bb entspricht der Multiplikation des vorherigen Wertes von Be mit dem Faktor 10. Die Ziffern, die über die Relais Ra_1 bis Ra_4 übertragen werden, sind das Resultat einer iterativen Multiplikation mit 10.

Am Ende des siebten Spiels liegt die übersetzte Zahl im Register Bf . Die Vorbereitung der Abrundung des Resultats wird im Spiel 8 ausgelöst ($rr = 1$, Abb. 27) und der Inhalt des Registers Bf wird zum Register Bb übertragen ($Fb = 1$). Die Summe der Register Ba und Bb liefert die gewünschte Abrundung, die im Spiel 9 über das Relais Rk an die Relais Rc , Rd , Re und Rf übertragen wird, um die Lampen der Dezimalanzeige zu steuern (Abb. 28). Relais Ai löscht die Register Af und Bf , schaltet auch Ah_1 aus und sorgt damit dafür, daß der nächste zu ladende Wert wieder nach $\langle Af, Bf \rangle$ geht (Abb. 23). Lz ist das Schlußzeichen. Das Signal Vc schaltet vermutlich die Lampe für das Vorzeichen der ausgegebenen Zahl ein.

Relais Rh wird in der Patentanmeldung nicht erläutert. Vielleicht ist dies das Relais, das die Maschine anhält, so daß der Operator Zeit hat, das Resultat aufzuschreiben. Welche Funktion die Übertragung von bf_{-16} auf Ba_{-16} im Spiel 9 hat, ist unklar.

Abbildung 25. Betätigung des Steuerschalters Dd

Anmerkungen. Diese Schaltung ist eng mit der Schaltung in Abb. 24 gekoppelt. Dd ist der Schrittschalter für die Steuerung der Übersetzung Binär-Dezimal ($ld = 1$). Wenn an Dd Spannung anliegt, rückt der Schalter eine Stelle weiter.

Im Spiel 2 des Befehls Ld wird das Relais Uf , das Relais Ug oder Dn eingeschaltet. Relais Uf wird nur eingeschaltet, wenn eine Multiplikation der Mantisse mit 0,1 gestartet wird. Solange $aq = 1$ (d.h. der Kontakt liegt anders als gezeichnet), wird Dd gestoppt und rückt nicht weiter. Die Multiplikation mit 0,1 wird so lange wiederholt, bis aq abfällt. Dies ist erst der Fall, wenn af_5 , af_4 , af_3 und af_2 Null sind, d.h., bis Af eine Zahl kleiner gleich 00000LL enthält (Abb. 8). Man beachte, daß Uf nur eingeschaltet wird, falls der Exponent Af positiv und größer als 3 ist (Abb. 24, oben rechts). Bei jeder Multiplikation mit 0,1 wird ui einmal eingeschaltet (Abb. 21). Dies bewegt den Schalter qd einen Schritt weiter (Abb. 29). Dieser Schalter zeigt den Dezimalexponenten im positiven Bereich (Abb. 29, rechts).

Relais Ug wird nur eingeschaltet, wenn eine Multiplikation der Mantisse mit 10 gestartet wird. Solange $a_{61} = 0$, bleibt Dd angehalten und rückt nicht weiter. Die Multiplikation mit 10 wird so lange wiederholt, bis a_{61} auf Spannung liegt. Dies ist erst der Fall, wenn Af einen positiven Exponenten oder Null enthält. Man beachte, daß Ug nur eingeschaltet wird, wenn der Exponent Af negativ ist (Abb. 24, oben rechts). Bei jeder Multiplikation mit 10 wird Ug einmal gesetzt. Dies bewegt den Schalter qd einen Schritt weiter (Abb. 29). Er bringt den berechneten Dezimalexponenten im negativen Bereich zum Leuchten (Abb. 29, links). Der negative Exponentenbereich wird vom Relais Qg ausgewählt.

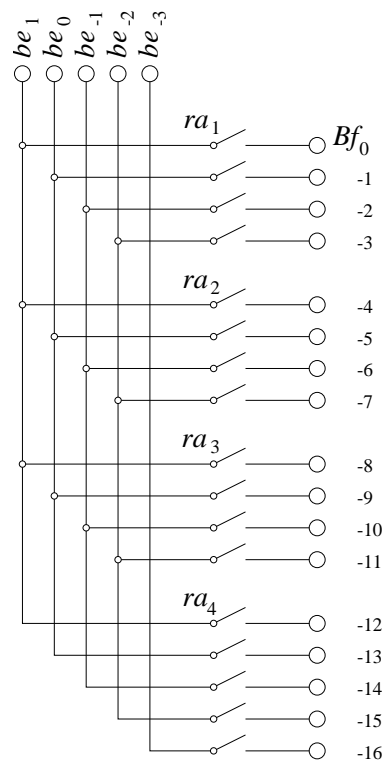


Abbildung 26. Teil der Schaltung R

Anmerkungen. Die Aufgabe dieser Schaltung besteht darin, die für die Ausgabe eines Resultats berechneten Dezimalziffern in vier getrennte Bitbereiche des Registers Bf zu speichern. Bit Bf_{-16} enthält eine 1, falls die Aufrundung des Resultats notwendig ist. Die Dezimalziffern werden iterativ gespeichert (d. h. die Kontakte ra_1 bis ra_4 werden der Reihe nach aktiviert). Die Dezimalzahl 9876 würde z. B. in Bf am Ende der Rückübersetzung als die Binärzahl

$$\underbrace{L00L}_{9} \underbrace{L000}_{8} \underbrace{0LLL}_{7} \underbrace{0LL0}_{6} 0$$

im Register Bf stehen. Die Aufrundung des Resultats wird durch die Schaltung in Abb. 27 bewirkt.

Die erste Ziffer des Resultats kann zwischen 0 und 15 liegen, d. h. diese erste Ziffer wird mit zwei Lampen angezeigt. Deswegen besitzt die numerische Ausgabe fünf Reihen von Lampen, wobei in der ersten Spalte nur die Ziffer „1“ leuchten kann (je nach Ergebnis).

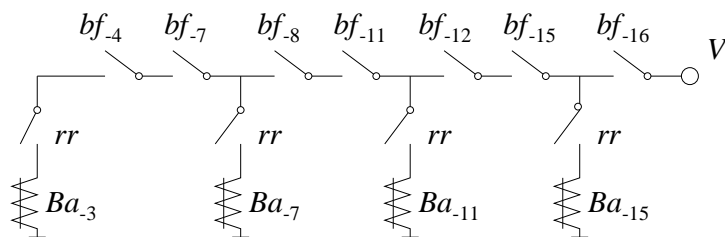


Abbildung 27. Schaltung zum Aufrunden des Resultats

Anmerkungen. Die Schaltung ist bei der Rückübertragung von Binär in Dezimal notwendig (Seite 26). Die Schaltung führt zur Abrundung der Dezimaldarstellung, falls $bf_{-16} = 1$. Eine 9 an der Position bf_{-12} , bf_{-13} , bf_{-14} und bf_{-15} bedeutet, daß $bf_{-15} = bf_{-12} = 1$. In diesem Fall muß für die Abrundung eine 1 addiert werden. Die 1 wird an der richtigen Position in das Register Ba geladen. Dasselbe wird für die anderen drei Ziffern gemacht (bei dieser Berechnung ist das Relais Rr gesetzt, wahrscheinlich über den Kontakt r_1 , Abb. 24). Im selben Spiel, in dem die Übertragbits von dieser Schaltung ermittelt werden, wird Register Bf auf Register Bb übertragen ($Fb = 1$ im Spiel 8, Abb. 24). Damit werden im nächsten Spiel Ba und Bb addiert. Das Resultat ist die abgerundete Dezimalzahl (in der hier verwendeten speziellen Codierung).

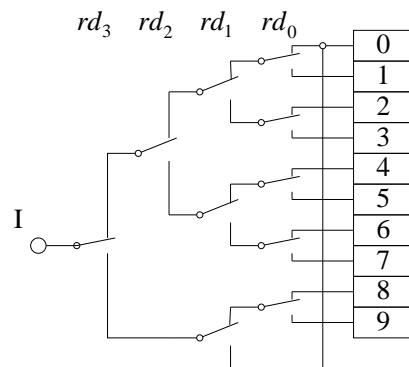


Abbildung 28. Resultatsanzeigevorrichtung

Anmerkungen. Jede Dezimalziffer, die darzustellen ist, wird auf vier Relaisgruppen übertragen (Relaisgruppen *Rc*, *Rd*, *Re* und *Rf*). Das Relais *Rk*, das im Spiel 9 (Abb. 24) eingeschaltet wird, bewirkt diese Übertragung. Hier sind nur die Kontakte der Relais *Rd*₀ bis *Rd*₃ abgebildet (für die dritte Dezimalziffer). Die Schaltung decodiert die Binärzahl und die entsprechende Ziffer leuchtet in der Anzeigetafel. Nach der Aufrundung des Resultats könnte die Ziffer 9 zu 10 umgewandelt worden sein. 10 muß deswegen als Ziffer 0 decodiert werden. Dies wurde in der Schaltung berücksichtigt.

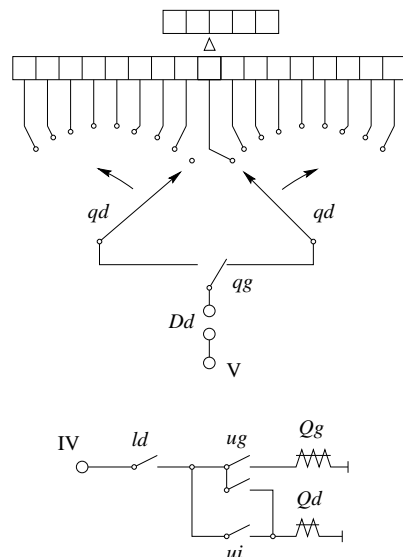


Abbildung 29. Kommaanzeigewerk (Teilschaltung Q)

Anmerkungen. Diese Schaltung steuert die Anzeige des Dezimalexponenten der im Registerpaar $\langle Af, Bf \rangle$ gespeicherten Gleitkommazahl. Links in der Abbildung werden die negativen Exponenten angezeigt (von -8 bis -1) und rechts die positiven (von 0 bis $+8$). Relais Qg bestimmt, ob der positive ($qg = 0$) oder der negative Bereich verwendet wird.

Bei der Rückübertragung Binär-Dezimal ($ld = 1$) wird ug auf 1 gesetzt, wodurch die Multiplikationen der Mantisse mit 10 ausgelöst werden (Abb. 24, rechts oben). Der Exponent der Zahl ist negativ und wird durch eine Multiplikationen mit 10 positiv gemacht. Für jede Multiplikation mit 10 (ein Spiel) rückt qd eine Position im linken Bereich (negative Exponenten) weiter. Das Relais Uf wird auf 1 gesetzt, wenn Multiplikationen mit $0,1$ notwendig sind (Abb. 22), d. h., wenn der Exponent der Zahl positiv und zu groß ist. Er wird daher durch Multiplikationen mit dem Faktor $0,1$ kleiner gemacht. Für jede Multiplikation mit $0,1$ (vier Spiele, bei denen ui nur einmal gesetzt wird, vgl. Abb. 21) rückt qd eine Position weiter im rechten Bereich (positive Exponenten). Die Steuerung der gesamten Ld -Operation ist in Abb. 24 dargestellt.

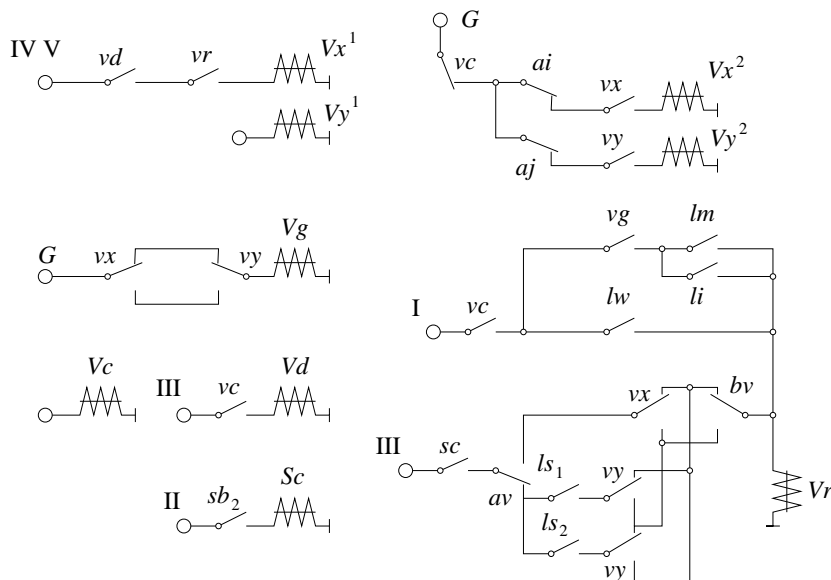


Abbildung 30. Vorzeichenwerk (Teilschaltung V)

Anmerkungen. Mit der Schaltung V wird das Vorzeichen des Resultats ermittelt. Vc und Vd starten die Operation. Vc löscht die Vorzeichen der Argumente, Vd setzt das Vorzeichen des Resultats. Sind die Vorzeichen des ersten (Vx) und zweiten Arguments (Vy) gleich, wird Vg eingeschaltet. Relais Vc löscht die Selbsthalterelais Vx und Vy . Relais Ai , das Af und Bf löscht, schaltet auch Vx aus. Relais Aj , das Ab löscht, löscht ebenfalls das Vorzeichen Vy .

Bei gleichen Vorzeichen der Argumente ($Vg = 1$) wird bei Multiplikation (lm) oder Division (li) das Vorzeichen des Resultats über Vr auf 1 gesetzt (Plus). Bei der Berechnung der Quadratwurzel wird das Vorzeichen immer auf Plus gesetzt.

Die Berechnung des Vorzeichens einer Addition oder Subtraktion wird im Spiel 2 durch sb_2 und sc gestartet. Bei beiden Operationen sind die Relais av und bv maßgebend. Relais av ist gesetzt, falls die Differenz der Exponenten positiv ist, d. h., das erste Argument hat den größeren Exponenten. Das Relais bv ist gesetzt, falls die Differenz der Mantissen positiv ist (siehe Erläuterung im Text, Seite 28).

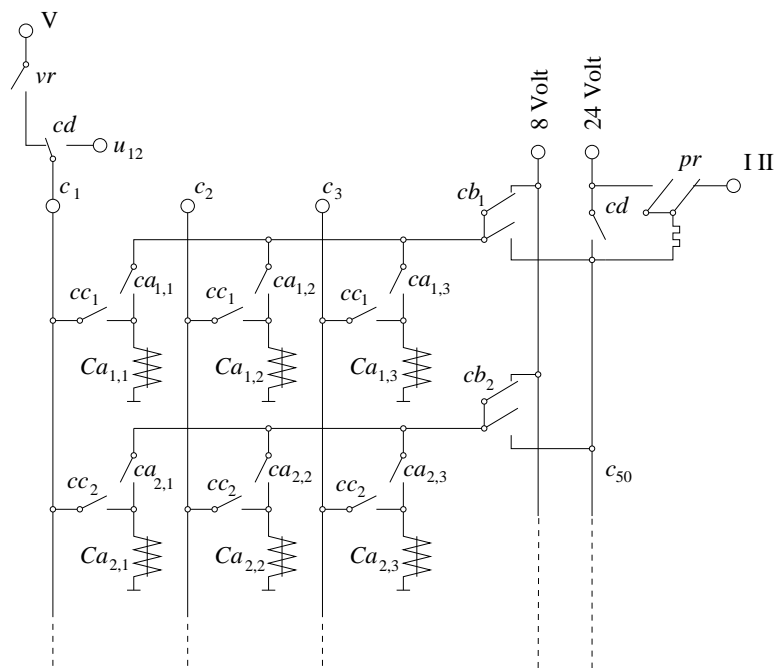


Abbildung 31. Speicherwerk (Teilschaltung C)

Anmerkungen. Jedes Wort i im Speicherwerk wird in einer Gruppe von Selbsthalterelais $Ca_{i,j}$ gespeichert. Die Auswahl der Adresse i erfolgt über die Relais cc_i . Sowohl beim Lesen ($pr = 1$) als auch beim Schreiben ($ps = 1$) wird die Leitung cc_i auf Spannung gelegt (Abb. 35). So wird eine ganze Zeile von Selbsthalterelais ausgewählt. Die Leitungen c_1, c_2 usw. übertragen das Resultat einer Leseoperation oder die zu speichernde Zahl. Ist $ca_{1,1}$ z. B. geschlossen, so wird bei einem Zugriff auf Adresse 1 ($cc_1 = 1$) die Leitung c_1 auf Spannung gelegt.

Links oben ist exemplarisch dargestellt, wie die Datenleitungen mit dem Rechenwerk verschaltet sind. Beim Lesen wird das Relais Cd auf Spannung gelegt (Abb. 37). So wird dann einer von zwei Verbindungswegen selektiert: beim Schreiben die linke Leitung (vr ist hier das „Vorzeichen-Bit“ des Resultats) und beim Lesen die rechte Leitung (u_{12} leitet das gelesene Bit in das Rechenwerk, Abb. 23). Jede Leitung c_i ist an einen solchen Multiplexer angeschlossen. Die elektrische Steuerung des Speicherwerks wird auf Seite 28 erklärt.

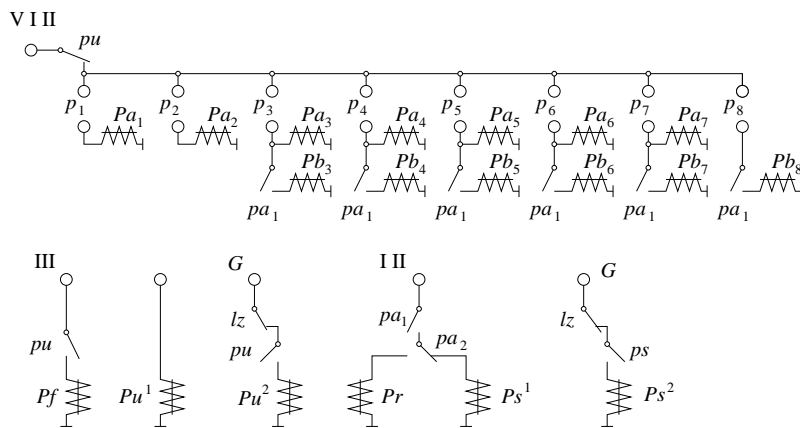


Abbildung 32. Planwerk (Teilschaltung P)

Anmerkungen. Folgende Relais und Kontakte sind hier abgebildet:

- Pa_1 – Pa_7 oberste 7 Bits des Befehls auf dem Lochstreifen
- Pb_3 – Pb_7 6 Adressierungsbits (untere 6 Bits des Befehlscodes)
- Pu Selbsthalterelais; keinen weiteren Befehl decodieren!
- lz Ende des Befehls (Schlußsignal)
- Pr wird aktiviert beim Befehl „Speicher lesen“
- Ps Selbsthalterelais; wird aktiviert beim Befehl „Speichern“
- Pf bewirkt den Transport des Lochstreifens (im nächsten Spiel)

Die 8 Bits des Lochstreifens werden an die Relais Pa_1 – Pa_7 und Pb_3 – Pb_8 (falls $Pa_1 = 1$) übertragen. Die Bits Pa_1 – Pa_5 werden wie in Abb. 33 decodiert. Die Befehlscodes 10 und 11 werden für die Befehle Pr (Laden) und Ps (Speichern) verwendet.

Das Relais Pu wird von Befehlen, die mehrere Zyklen benötigen, eingeschaltet. Wenn Pu gesetzt ist, wird kein weiterer arithmetischer Befehl aus dem Lochstreifen decodiert, bis das Signal Lz (Schlußsignal) auf Spannung liegt. Es ist dennoch zu beachten, daß Speicheroperationen (Pr und Ps) weiterhin decodiert werden können. Damit kann die Ausführung des Befehls „Speichern“ mit der letzten arithmetischen Operation überlappt werden. Die Decodierung findet in den Zyklen V, I, und II statt.

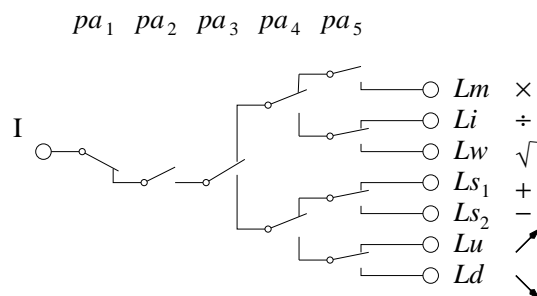


Abbildung 33. Steuerung der Rechenoperation durch das Planwerk (*Pa*-Relais)

Anmerkungen. Die Relais pa_1 bis pa_5 enthalten die obersten 5 Bits des Befehls auf dem Lochstreifen. Die Schaltung decodiert den auszuführenden Befehl nach folgendem Schema:

Befehlscodes	Kürzel	Operation
01 001	Lm	Multiplikation
01 010	Li	Division
01 011	Lw	Quadratwurzel
01 100	Ls_1	Addition
01 101	Ls_2	Subtraktion
01 110	Lu	Ablezen (Eingabe in Register Af)
01 111	Ld	Anzeigen (Inhalt von Register Af)

Es gibt darüber hinaus zwei weitere Befehle (Decodierung in Abb. 32):

Befehlscodes	Kürzel	Operation
10 $abcde$	Ps	Speichern ($\langle Af, Bf \rangle$ in Adresse $abcde$)
11 $abcde$	Pr	Laden (Adresse $abcde$)

Der variable Befehlscode erlaubt, sechs Bits für die Adressierung der 64 Speicherzellen zu verwenden, wobei Speicherzelle 0 das Registerpaar $\langle Af, Bf \rangle$ bezeichnet (Abb. 35).

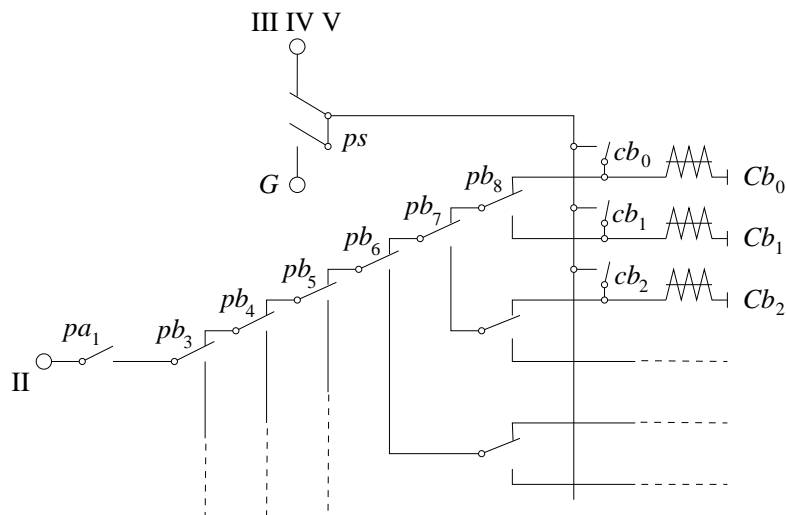


Abbildung 34. Wahlwerk (Pb-Relais)

Anmerkungen. Die Schaltung entspricht einem Decodierbaum für die Auswahl der Adreßleitungen 0 bis 63 (Cb_0 bis Cb_{63}). Ist pa_1 eingeschaltet, so handelt es sich um eine Operation, die den Speicher anspricht. Beim Laden ($ps = 0$) wird das ausgewählte Relais in den Schritten III, IV, V auf Spannung gelegt. Beim Speichern ($ps = 1$) bleibt das Relais eingeschaltet bis zum Ende der Operation. Die Relais pb_3 bis pb_8 enthalten die Adresse der gewünschten Speicherzelle (Abb. 32 zeigt die Decodierung). Abb. 35 zeigt, wie ein Relais Cb_i das Relais Cc_i einschaltet und Abb. 31, wie dann das angesprochene Relais Cc_i Zeile i des Speicherwerks aktiviert.

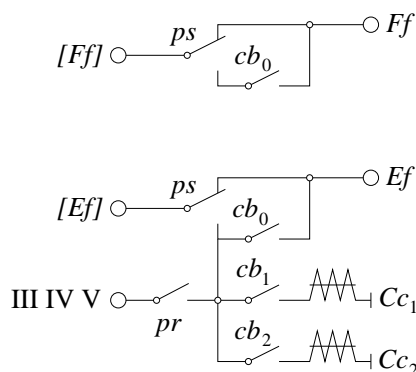


Abbildung 35. Einzelheiten der Teilschaltung P

Anmerkungen. Diese Schaltung ist sehr interessant, da sie zeigt, wie der Befehl „Speichern“ in Null-Zyklen ausgeführt werden kann. Dafür wird die Ausführung des Befehls „Speichern“ mit den Schritten IV und V der letzten arithmetischen Operation überlappt. Dies wird dadurch erreicht, daß die Anweisung an die Register Af und Bf , ein Resultat zu speichern, unterbrochen wird. Beim Schreiben ($ps = 1$) werden die Spannungsleitungen zu den Relais Ff und Ef unterbrochen (außer wenn es sich um Adresse Null, d. h. cb_0 handelt). Da gleichzeitig die Spannung der Relais cb_i (die decodierte Adresse) an die Relais cc_i weitergeleitet wird, ist das Ziel der Übertragung eine Zeile im Speicherwerk statt des Registerpaars $\langle Af, Bf \rangle$. Das Resultat der arithmetischen Operation gelangt deswegen in das Speicherwerk und nicht in dieses Registerpaar. Man beachte, daß sich eine Speicheroperation auf die Resultate der Rechenwerke A und B bezieht, d. h., nur das Resultat von arithmetischen Operationen kann gespeichert werden, und nicht einzelne Register. Ein Speicherbefehl ohne vorherige arithmetische Operation ist unsinnig. Ein interessanter Nebeneffekt dieser Strategie ist, daß nach dem Speicherbefehl der Inhalt des Registerpaars $\langle Af, Bf \rangle$ zerstört ist, besser gesagt, das arithmetische Resultat wurde dort nie gespeichert. Af und Bf werden deswegen gelöscht (Abb. 36).

Beim Lesen ($pr = 1$) wird das interne Zurückschreiben des Resultats im Rechenwerk nicht verhindert. Das vom Speicher gelesene Wort wird in einem der Registerpaare $\langle Af, Bf \rangle$ oder $\langle Ab, Bb \rangle$ gespeichert (je nach Zustand des Relais Ah_1 , Abb. 23). Lesen ($pr = 1$) von Adresse 0 ($cb_0 = 1$) führt zu einem unbekannten Zustand des Registerpaars $\langle Af, Bf \rangle$.

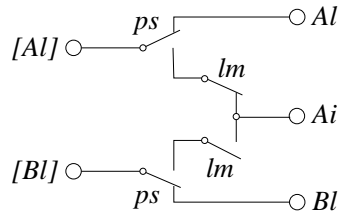


Abbildung 36. Einzelheiten der Teilschaltung P

Anmerkungen. Diese Schaltung kümmert sich darum, nach einer Speicheroperation ($ps = 1$), bei der der Inhalt des Registerpaars $\langle Af, Bf \rangle$ in den Speicher übertragen wird, sowohl Af als auch Bf zu löschen. Das Relais Ah_1 muß auch gelöscht werden, da im Registerpaar $\langle Af, Bf \rangle$ kein Resultat gespeichert bleibt. Dies ist so, weil die Resultate der Rechenwerke zum Speicher umgeleitet werden und das Registerpaar $\langle Af, Bf \rangle$ in einem unbekannten Zustand bleibt (Abb. 35).

Am Ende der Ausführung eines jeden arithmetischen Befehls wird das Relais Al eingeschaltet. Die zu Al führende Leitung wird auf Ai umgeleitet. Relais Ai löscht Af , Bf und Ah_1 . Nur bei der Multiplikation wird Al bereits im Spiel 2 eingeschaltet. Deswegen wird in diesem Fall ($lm = 1$) die zu Bl führende Leitung auf Ai umgeleitet. Bl wird im letzten Spiel der Multiplikation eingeschaltet.

Es ist zu beachten, daß Relais Ps bereits vor dem letzten Spiel der laufenden arithmetischen Operation eingeschaltet wird. Die Steuereinheit erlaubt das gleichzeitige Einschalten eines Relais für eine arithmetische Operation und eines Relais für eine Speicheroperation. Die Speicheroperation (Ps) wartet sozusagen das Ende der laufenden Berechnung ab, um das Resultat sofort in Null-Zyklen in den Speicher zu führen.

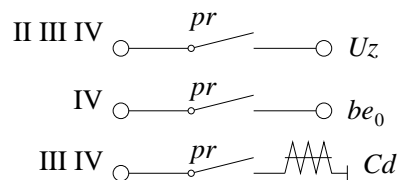


Abbildung 37. Einzelheiten der Teilschaltung P

Anmerkungen. Diese Schaltung gehört zum Planwerk P. Beim Lesen aus dem Speicher ($pr = 1$) wird über das Relais Uz die Speicherung der Relais Ae und Be in das Registerpaar $\langle Af, Bf \rangle$ bzw. $\langle Ab, Bb \rangle$ eingeleitet (Abb. 23). Dabei wird be_0 auf 1 gesetzt, da im Speicher das führende Bit der normalisierten Mantisse nicht gerettet wird, was jedoch für die weiteren Berechnungen notwendig ist. Relais Cd wird auf Spannung gelegt. Dies ist die Steuerung des Multiplexers für die Daten aus dem Speicherwerk (Abb. 31). Die vom Speicher gelesene Zahl wird in die Leitungen Ae und Be eingespeist.

Eine Leseoperation kann in den Schritten I bis V erledigt werden, d. h. in einem Spiel. In den Schritten I und II wird pr gesetzt. Uz setzt die Relais Ef und Ff bzw. Ed und Fd auf Spannung, so daß bis zum Ende des fünften Schrittes die vom Speicher gelesene Zahl in das entsprechende Registerpaar gespeichert worden ist.

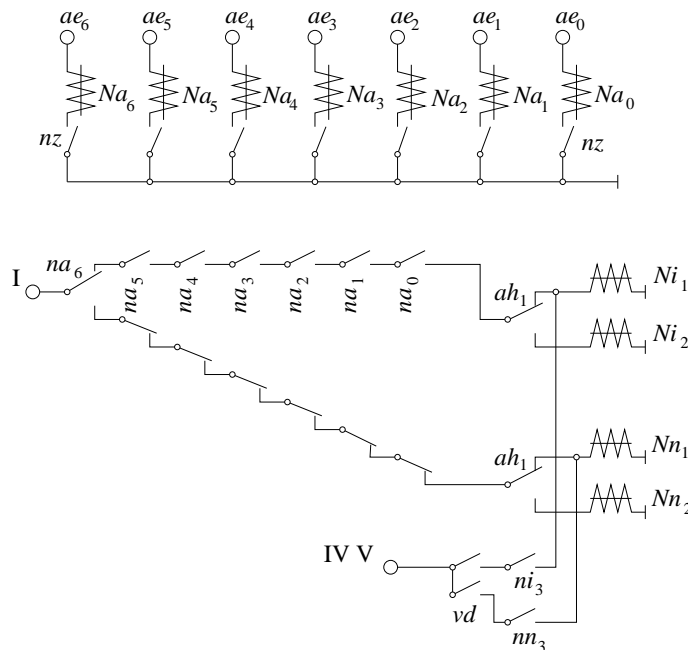


Abbildung 38. Teilschaltung N

Anmerkungen. Diese Schaltung überprüft den Exponenten des ersten bzw. zweiten Arguments einer arithmetischen Operation und setzt die *exception flags*. Zuerst wird über die Kontakte nz der Inhalt von Ae an die Relais Na übertragen. Das Relais Nz wird von Uz eingeschaltet (nicht gezeichnet). Ist $ah_1 = 0$, so werden die Relais Ni_1 bzw. Nn_1 bei einem Sonderfall angesprochen. Ist $ah_1 = 1$, werden die Relais Ni_2 und Nn_2 verwendet.

Das Relais Ni_1 (Ni_2) wird gesetzt, wenn der Exponent des ersten (zweiten) Arguments $+63$ ist (0LLLLLL). Das Relais Nn_1 (Nn_2) wird angesprochen, wenn der Exponent des ersten (zweiten) Arguments -64 ist (L000000). Mit Hilfe der Relais Nn_1, Nn_2, Ni_1 und Ni_2 kann bereits vor der Ausführung der arithmetischen Operation ermittelt werden, ob das Resultat Unendlich oder Null ist (Abb. 39). Diese Relais werden in Schritt I eingeschaltet.

Das Resultat einer Operation wird immer als erstes Argument gespeichert. Die Relais Ni_3 und Nn_3 werden von der Schaltung in Abb. 39 gesetzt, falls das Resultat Unendlich bzw. Null war. Die Einstellung von Ni_3 oder Nn_3 wird deswegen in Schritt V zu den Relais Ni_1 und Nn_1 übertragen. Das Relais vd wird in Abb. 30 gezeigt.

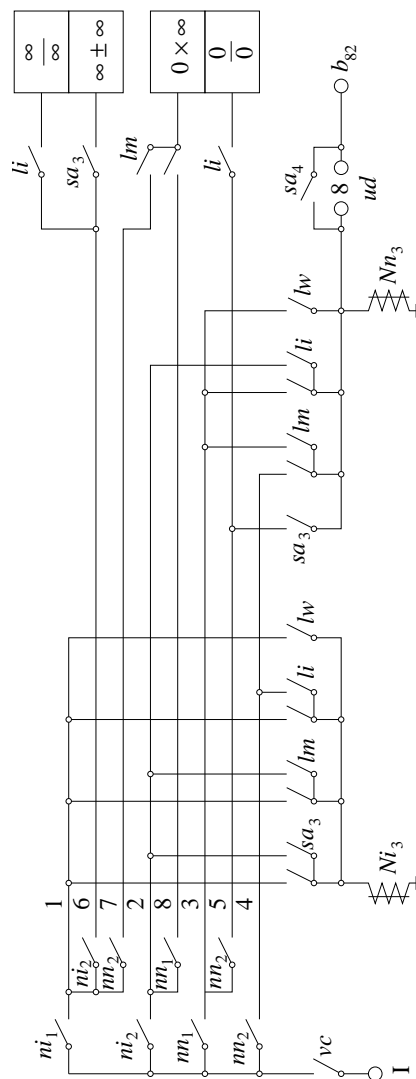


Abbildung 39. Teilschaltung N (Anzeige der Sonderfälle)

Anmerkungen. Diese Schaltung berechnet *a priori*, ob das Resultat einer arithmetischen Operation ein Sonderwert ist. Ist eines der Argumente oder sind beide Argumente einer Addition Unendlich, so wird Ni_3 auf 1 gesetzt. Dasselbe gilt für die Multiplikation. Bei Division wird Ni_3 gesetzt, falls der Zähler Unendlich ist oder der Teiler Null. Beim Quadratwurzelziehen ist $Ni_3 = 1$, falls das Argument Unendlich ist.

Operationen mit Nullen können zum Einschalten von Nn_3 führen. Die Summe von zwei Nullen ist Null. Nn_3 wird gesetzt, falls eines der Argumente einer Multiplikation Null ist. Bei Division setzt der Zähler Null oder der Teiler Unendlich das Relais Nn_3 . Die Quadratwurzel von Null ($Nn_1 = 1$) ist Null (Nn_3 wird gesetzt).

Falls die Mantisse des Resultats einer Subtraktion ($sa_4 = 1$ im Spiel 4, Abb. 15) Null wird, wird b_{82} auf Spannung gelegt (Abb. 18), und in diesem Fall muß auch Nn_3 gesetzt werden. Der Steuerschalter Ud (für die Eingabeoperation Lu) kann auch im Spiel 8 diese Einstellung bewirken, falls die aus der numerischen Tastatur eingelesene Dezimalzahl Null ist. Das Einlesen der vier Dezimalziffern ist im Spiel 8 zu Ende.

Operationen, die zu undefinierten Resultaten führen, werden mit den Lampen angezeigt. Es ist nicht klar, ob die Maschine gestoppt oder weitergearbeitet hat.

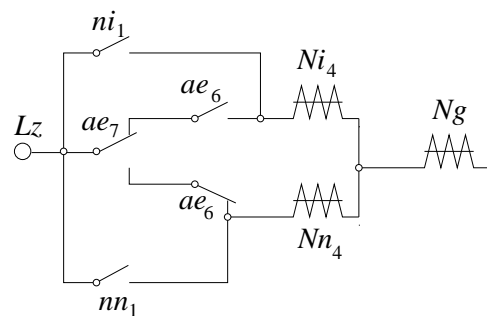


Abbildung 40. Teilschaltung N (Sonderfälle)

Anmerkungen. Beschreibung der Schalter:

ni_1	gesetzt, falls Resultat Unendlich
Ni_4	gesetzt, falls Resultat Unendlich oder Overflow
nn_1	gesetzt, falls Resultat Null
Nn_4	gesetzt, falls Resultat Null oder Underflow
Ng	Durchlaßschalter für Resultat (Teil B)
ae_7, ae_6	oberste zwei Bits des Exponenten

Funktion: Die Schaltung erkennt Overflow- und Underflow-Situationen. Falls das Resultat Unendlich ist (Ni_1 gesetzt) oder $ae_7 = 0$ und $ae_6 = 1$ gilt, wird Ni_4 gesetzt. Ae sollte eigentlich nur aus 7 Bits bestehen (ae_0 bis ae_6), so daß Bit ae_7 der Übertrag der Operationen im Teil A des Rechenwerks ist. Wenn $ae_7 = 0$ und $ae_6 = 1$, ist der Exponent größer als +63, d. h., ein Overflow hat stattgefunden.

Falls das Resultat Null ist (Nn_1 gesetzt) oder $ae_7 = 1$ und $ae_6 = 0$ gilt, wird Nn_4 gesetzt. Bei solchen Werten der beiden Bits ist der Exponent kleiner als -64, d. h., ein Underflow hat stattgefunden.

Danach wird Ng aktiviert und das Resultat der Operation weitergegeben. Ng unterbricht die Be -Leitungen. Spezielle Konstanten werden zu Be übertragen (Abb. 41).

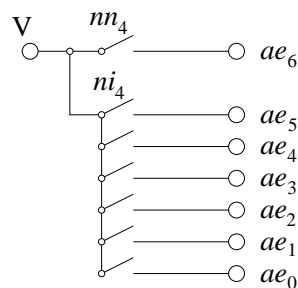


Abbildung 41. Teilschaltung N (Exponenteneinstellung bei Sonderfällen)

Anmerkungen. Beschreibung der Schalter:

nn_4	gesetzt, falls Resultat Null
ni_4	gesetzt, falls Resultat Unendlich
$ae_6 - ae_0$	Exponent des Resultats

Funktion: Falls das Resultat Unendlich ist (der Kontakt nn_4 ist eingeschaltet), wird der Exponent auf +63 gesetzt. Falls das Resultat Null ist (der Kontakt ni_4 ist eingeschaltet), wird der Exponent auf -64 gesetzt.

Die Rechenmaschine kann Null nicht direkt darstellen. Jede Zahl mit dem Exponenten -64 (unabhängig von der Mantisse) wird als Null behandelt (siehe Abb. 38 und Abb. 39). Jede Zahl mit dem Exponenten +63 wird als unendlich groß interpretiert.