



Title: Rechenvorrichtung aus mechanischen Schaltgliedern
Author(s): Konrad Zuse
Date: 1952
Published by: Konrad Zuse Internet Archive
Source: Document - ZIA ID: 0169

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.

„Rechenvorrichtungen aus mechanischen Schaltgliedern“

In den deutschen Patentanmeldungen

„Mechanisches Schaltglied“,

„Mechanisches Verteil-Schaltglied“,

„Aus mechanischen Schaltgliedern aufgebautes Speicherwerk“ sind Bauelemente beschrieben, welche als Bestandteile für Rechengерäte dienen können. In der vorliegenden Anmeldung wird einmal eine Vervollkommnung dieser Elemente gezeigt, zum anderen werden diese Elemente zu einzelnen Aggregaten zusammengesetzt, welche als Bestandteile für Rechengерäte geeignet sind. Um der geschlossenen Darstellung willen wird in der Beschreibung auf die bisherigen Anmeldungen kein Bezug genommen.

Während die bisherige Rechenmaschinenteknik sich im wesentlichen mit numerischem Rechnen im Dezimalsystem befasste, wird hier eine Technik beschrieben, deren Anwendung nicht auf Rechenmaschinen zur Durchführung von numerischen Rechnungen beschränkt ist, sondern die überdies zum Bau von Rechenmaschinen verwendet werden kann, welche nicht-numerische Rechnungen (z.B. schematisch-kombinative Rechnungen mit Aussagen, Bedingungen, Umständen usw.) durchführen können. Die Begriffe „Rechnen“ und insbesondere „Maschinelles Rechnen“ sind in diesem Zusammenhang wesentlich über den im gewöhnlichen Sprach-

gebrauch üblichen Rahmen der Zahlenrechnung hinaus erweitert.

Der Grund für die weite Anwendungsmöglichkeit der hier behandelten mechanischen Schaltgliedtechnik liegt darin, dass diese Technik mit Ja-Nein-Werten arbeitet auf deren Bedeutung hier nur kurz eingegangen werden kann. Ja-Nein-Werte sind zweifach variable Angaben, aus denen sich die Zahlen des Dual-Zahlensystems sowie anderer Zahlensysteme, z.B. des Dezimal-Zahlensystems, ebenso aufbauen lassen, wie beliebige komplizierte Angaben beliebiger Struktur der nicht-numerischen Rechnung (z.B. Aussagen, Umstände, Bedingungen).

Die Hilfsmittel zur formalen Behandlung derartiger Angaben liefert die Logistik oder symbolische Logik. Danach können Angaben nach bestimmten Regeln miteinander verknüpft und umgeformt werden, wodurch neue Angaben entstehen.

Weil sämtliche Angaben in Ja-Nein-Werte auflösbar sind, die nach bestimmten Gesetzen miteinander verknüpft werden können, sind auch sämtliche Rechenverfahren mit Ja-Nein-Werten durchführbar. Es ergibt sich daraus, dass die nach der hier beschriebenen Technik arbeitenden Schaltglieder für die Lösung aller denkbaren, -das heisst nicht nur der numerischen- Rechnungen geeignet sind.

Die technische Darstellung von Ja-Nein-Werten geschieht mittels einfacher Schaltglieder, die sich jeweils in einem von zwei möglichen Zuständen befinden können. (z.B. + oder -; "ein" oder "aus"). Ein solches "Ja-Nein-Schaltglied" ist z.B. das bekannte elektromagnetische Relais, dessen Kontakte entsprechend der Stellung des Ankers entweder "offen" oder

"geschlossen" sein können. Es ist bekannt, dass sämtliche denkbaren Rechenaufgaben mittels Schaltanordnungen derartiger Relais gelöst werden können. Bekanntlich können die 3 Grundoperationen des Aussagenkalküls der Logistik: Konjunktion, Disjunktion und Negation, durch Hintereinanderschalten von Kontakten, Parallelschalten von Kontakten und Ruhekontakt konstruktiv dargestellt werden. Damit gewinnt die Relais-technik entscheidende Bedeutung für das gesamte maschinelle Rechnenwesen. Die Konstruktion der Relais ist dabei nicht an die elektromagnetische Ausführung gebunden, deren Funktion auch in anderer Weise, z.B. durch nicht-elektrisch, sondern rein mechanisch arbeitende Schaltelemente dargestellt werden kann.

Die vorliegende Anmeldung behandelt ein rein mechanisch arbeitendes Schaltglied, welches im Rechenmaschinenbau als mechanisches Analogon zum elektromagnetischen Relais anzusehen ist und mittels dessen grundsätzlich die gleichen Aufgaben gelöst werden können wie mit elektromagnetischen Relais.

Es werden zunächst die einzelnen Bauelemente beschrieben und dann ihre Zusammensetzung zu einzelnen Aggregaten entwickelt.

Verszeichnis der Abbildungen.

1. Einfaches, positiv arbeitendes Schaltglied
2. Schema eines zu Fig. 1 analogen elektromagnetischen Relais
3. Symbolische Darstellung des Schaltgliedes von Fig. 1
4. Elementarschaltung zweier Schaltglieder
5. Schaltung von Fig. 4 in gezogener Stellung
6. Symbolische Darstellung einer zweischrittigen Schaltung

7. Elementarform des Kreislaufs
8. Allgemeinform eines Kreislaufs
9. Zeit-Weg-Diagramm zu Fig. 8
10. Schaltgliedanordnung entsprechend Fig. 7
11. Zeit-Weg-Diagramm der Impulse des Einheitskreislaufs
12. Elementarform des Einheitskreislaufs ohne Sperrung
13. Schaltung entsprechend Fig. 12 mit Sperrung
14. Schaltung entsprechend Fig. 4 nach dem Einheitskreislauf-
prinzip ohne Sperrung
15. Bewegungsphasen zu Fig. 14
16. Schaltung entsprechend Fig. 14 mit Sperrung
17. Schnitt durch einen Schaltgliedrahmen mit senkrechter Achse
18. Bügel zur Verbindung der Schichten untereinander
19. Formstück zur Verbindung der Schichten untereinander
20. Getriebeschnecke der Impulse entsprechend Fig. 17
21. Schaltgliedrahmen mit waagerechter Achse
22. Prinzipschaltung zur Lösung der Aufgabe

a & b & c

23. Prinzipschaltung zur Lösung der Aufgabe entsprechend Fig. 22
mit Sperrung
24. Variation der Schaltung entsprechend Fig. 23
25. Schaltgliedanordnung entsprechend Fig. 24
26. Schaltung für eine dreigliedrige Disjunktion ohne Sperrung
27. Schaltung entsprechend Fig. 26 mit Sperrung
28. Schaltung zur Lösung der Aufgabe der Äquivalenz
29. Schaltung zur Lösung der Aufgabe der Disvalenz

30...35. Wählwerk

30. Prinzipschaltung

31. Gesamtansicht

32...35 Einzelteile

36. Prinzipschaltung des Kettenschaltgliedes

37. Symbolische Darstellung des Kettenschaltgliedes

38. Bewegungsphasen des Kettenschaltgliedes ohne Sperrung

39. Bewegungsphasen des Kettenschaltgliedes mit Sperrung

40. Schaltung einer Verzögerungskette

43...46. Zählwerk

43. Prinzipschaltung

44. Gesamtansicht

45. Einzelteile

46. Einzelteile

47...61. Additionswerk im Dualsystem, Beispiel 1

47. Prinzipschaltung

48. Schema der Wirkungspfeile

49. Schichtaufteilung

50. Gesamtansicht

51. Schaltung der Schicht A

52. Schaltung der Schicht B

53. Schaltung der Schicht C, D

54. Schnittschaltung

55. Einzelteile der Schicht A

57...59. Einzelteile der Schicht B

60. Einzelteile der Schichten C, D

61. Einzelteile der Schichten C, D

- 62...66. Additionswerk im Dualsystem, Beispiel 2
- 62. Prinzipschaltung
 - 63. Schaltung der ersten Schicht
 - 64...66. Einzelteile der ersten Schicht
 - 67. Schaltung der zweiten Schicht
 - 68. Einzelteile der zweiten Schicht
- 69...79. Additionswerk im Denialsystem
- 69. Stellenübertragungsschema
 - 70. Prinzipschaltung
 - 71. Gesamtansicht
 - 72...75. Schaltungen der einzelnen Schichten
 - 76...79. Einzelteile
- 80...83. Speicherwerk
- 80. Prinzipschaltung
 - 81. Gesamtansicht
 - 82. Einzelteile
 - 83. Bewegungsphasen
84. Schaltglied mit quaderförmigen Stift
85. Einzelheiten zu Fig. 84

Entsprechend den auf Seite 2 und 3 erwähnten Analogien zwischen "mechanischen Schaltgliedern" und elektromagnetischen Relais unterscheidet man:

"Positiv arbeitende Schaltglieder", die den "Arbeitskontakten" der elektromagnetischen Relais entsprechen,

"Negativ arbeitende Schaltglieder", die den "Ruhekontakten" der elektromagnetischen Relais entsprechen,

"Umschaltglieder", die den "Umschaltkontakten" der elektromagnetischen Relais entsprechen.

Die Grundaussführung eines "Mechanischen Schaltgliedes" zeigt Fig. 1. Es besteht aus folgenden Gliedern:

- a) den vorteilhaft als Platten, insbesondere Glasplatten, ausgeführten Begrenzungssteilen P,
- b) den zwei Arten von Stiften, nämlich
 1. den festen Stiften P, welche der Führung der Glieder dienen,
 2. den beweglichen Stiften S, welche der Verbindung der Glieder untereinander dienen,
- c) den als Angabeträger dienenden, schichtweise übereinander gelagerten flachen Gliedern, vorzugsweise Blechen, welche in ihrer Ebene verschiebbar und mit verschiedenen Aussparungen und Ausschnitten versehen sind; hierbei sind funktionsmäßig grundsätzlich 4 Typen zu unterscheiden:
 1. "Fest-Glieder" (d in Fig. 1), welche nicht verschiebbar sind,
 2. "Bewegende Glieder" (a in Fig. 1), welche von aussen her bewegt werden,
 3. "bewegte Glieder" (b in Fig. 1), welche durch die "bewegenden" unter bestimmten Bedingungen bewegt werden,
 4. "Steuerglieder" (c in Fig. 1), welche die Verbindung zwischen "bewegenden" und "bewegten" Gliedern steuern.

Die Ausschnitte für die beweglichen Stifte in den "Fest-Gliedern" enthalten "Sperrnasen", die der Verhinderung von nicht-gesteuerten Bewegungen der "bewegten Glieder" dienen wenn die "Steuerglieder" sich in der "Minusstellung" (Grundstellung) befinden. Es sind zu unterscheiden:

- "Positiv wirkende Sperrnasen", die in der "Plusstellung" (Arbeitsstellung) der "Steuerglieder" wirken und
- "Negativ wirkende Sperrnasen", die in der "Minusstellung" (Grundstellung) der "Steuerglieder" wirken.

In Fig. 1 besitzt das "Fest-Glied" a eine negativ wirkende Sperrnase n_1 , welche in der Minusstellung des "Steuergliedes" c - hier die untere Stellung - sperrend wirkt.

Die Ausschnitte für die beweglichen Stirte in den "bewegenden Gliedern", "bewegten Gliedern" und "Zwischen-Gliedern" enthalten "positiv arbeitende Schaltnasen" bzw. "negativ arbeitende Schaltnasen". In Fig. 1 besitzt das "bewegende Glied" a eine "positiv arbeitende Schaltnase" n_2 , demnach findet die Schaltung (= Mitnahme des "bewegten Gliedes" b) in der Plusstellung des "Steuergliedes" c statt, (im Beispiel der Fig. 1 in der oberen Stellung). In Fig. 4 besitzt z.B. das "Zwischenglied" e eine "negativ arbeitende Schaltnase" n_3 , demnach findet die Schaltung (= Mitnahme des bewegten, in diesem Beispiel auslaufenden Gliedes f) in der Minusstellung des "Steuergliedes" c statt, d.h. im Beispiel der Fig. 4 in der unteren Stellung.

In Fig. 1 kann das bewegende Glied a mit dem bewegten Gliede b verbunden (gekuppelt) oder nicht verbunden (nicht gekuppelt) sein, je nachdem, ob das steuernde Glied c sich in der oberen oder in der unteren (gezeichneten) Stellung befindet.

Fig. 2 stellt Fig. 1 durch eine analoge Schaltung elektromagnetischer Relais dar. Die Glieder a und b entsprechen den Polen a und b , welche durch den Kontakt c miteinander verbunden werden.

Solche mechanischen Schaltglieder der Fig. 1 lassen sich ebenso wie elektromagnetische Relais zu Schaltgliedanordnungen verknüpfen. Zur symbolischen Darstellung solcher "mechanischer Schaltungen" empfiehlt sich die Benutzung einer besonderen Form.

Entsprechend den Schaltplänen für Schaltungen mit elektromagnetischen Relais werden die Angabeträger, d.h. die einzelnen beweglichen Glieder, durch Linien dargestellt. Die Schaltglieder werden in der Art elektrischer Relais-Kontakte dargestellt, wobei der die Kuppelung bewirkende Stift dem Relais-Kontakthebel entspricht. Das Steuerglied, welches diesen Kuppelungsstift in die verknüpfte Steuerstellung bringt, wird durch eine, durch diesen Kontakt hindurchgeführte Linie symbolisiert. Fig. 3 zeigt das Schaltglied von Fig. 1 in dieser symbolischen Darstellungweise.

Fig. 4 zeigt eine einfache Hintereinanderschaltung zweier solcher Schaltglieder, rechts oben in der symbolischen Darstellungswiese. Das bewegendes Glied d ist über das Zwischenglied e mit dem bewegten Glied f unter der Bedingung verbunden, dass sich das Steuerglied b in der Arbeitsstellung (+) und das Steuerglied c in der Grundstellung (-) befindet. Es ist dabei zu beachten, dass die den Kontakten analogen Kuppelungsglieder in Prinzipschaltplänen in der Grundstellung (=Ausstellung des zugeordneten steuernden Gliedes) bezeichnet werden entsprechend den Normen der Elektrotechnik, deren zufolge Kontakte stets in der Grundstellung (= Stromlosigkeit des zugeordneten steuernden Relais) bezeichnet werden. b und c als steuernde Glieder können als magnetische, elektrische oder mechanische angesehen werden. Wir haben dann die Bedingung:

$b \& \bar{c}$ (in Worten: b und Negation von c) $\rightarrow x$
dabei, daß c mit f verbunden ist. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so ist das Glied f entweder direkt oder indirekt über x) Hier und im folgenden wird die Hilbert'sche Symbolik des Aussagenkalküls verwendet. (Siehe Hilbert-Ackermann: Grundlagen der theoretischen Logik).

e an das Festglied a angeschlossen, also gesperrt. Dieses ist in der symbolischen Schaltung ebenfalls zum Ausdruck gebracht. Die Steuerglieder b und c sind in der Stellung gezeichnet, welche die Verbindung bewirkt. Die einzelnen Glieder sind für sich herausgezeichnet. Die bewegten und bewegten Glieder sind in der Grundstellung gezeichnet, also bevor ihre Arbeitsbewegung beginnt, welche durch einen Impuls von aussen bewirkt wird.

Wir haben folgende Bewegungsphasen: 4 "Schritte"

1. Einstellung der Steuerglieder
2. Arbeitsbewegung: Ziehen des bewegenden Gliedes.
3. Nachbewegung des bewegenden Gliedes.
4. Nachstellung der Steuerglieder.

Fig. 5 zeigt die Schaltung nach Ausführung der Arbeitsbewegung.

Eine solche Schaltung ist also an sich aus mehreren Schritten aufgebaut. Da jedoch nur eine Arbeitsbewegung stattfindet, während die anderen Bewegungen nur Hilfsbewegungen sind, wird sie als "einschrittige Schaltung" bezeichnet. Demgegenüber zeigt Fig. 6 das Beispiel einer "zweischrittigen Schaltung" in symbolischer Darstellungsweise. Die Schaltung zerfällt in zwei einschrittige Teilschaltungen 1 und 2 mit den Impulsanschlüssen I und II. Die Impulse sind konstruktiv gesehen periodisch bewegte Glieder. In der Teilschaltung 1 haben wir die Steuerglieder a und b, die Zwischenglieder c und d, während e in Bezug auf Teilschaltung 1 ein bewegtes (auslaufendes) und in Bezug auf Teilschaltung 2 ein steuerndes Glied ist. e ist eine Funktion von a und b entsprechend dem Aussagenlogischen Ausdruck

$$e \text{ äq } (\bar{a} \& \bar{b}) \vee (a \& b).$$

Nach den Umformungsregeln des Aussagenkalküls läßt sich für die rechte Seite dieser "Gleichung" bekanntlich auch der Ausdruck

$$a \sim b$$

setzen. In der Teilschaltung 2 wirkt e steuernd und die Glieder f und g sind bewegte bzw. anlaufende Glieder. Es gilt dabei:

$$\begin{aligned} f & \sim g & \overline{a} \sim b \\ E & \sim g & a \sim b \end{aligned}$$

Bei dieser Schaltung haben wir zwei Arbeitsbewegungen, weshalb die Schaltung als "zweischrittig" bezeichnet wird.

Werden mehrere einschrittige Schaltungen hintereinander geschaltet, so kann die letzte Schaltung wieder auf die erste zurückwirken. Wir haben es dann mit in Kreislauf geschalteten Teilschaltungen zu tun.

Da bei solchen Schaltungen alle sämtliche Bewegungen parallel zu einer Ebene stattfinden und in der Ebene zwei zueinander senkrechte Achsen (x, y) möglich sind, denen je zwei Richtungen ($+$, $-$) zugeordnet werden können, ist die vierschrittige Ausbildung solcher Kreisläufe besonders vorteilhaft. Fig. 7 zeigt die Elementarform eines solchen Kreislaufs, bei dem jede Teilschaltung lediglich ein einzelnes Schaltglied enthält. Zu den vier Teilschaltungen gehören die Impulse I, II, III, IV. Die Zwischenglieder b, c, d und e sind in der einen Teilschaltung jeweils bewegte Glieder und in der nächsten Teilschaltung Steuerglieder. Die Schaltung ist so aufgebaut, daß, falls das Glied e einmal über a eingeschaltet wird, dieser Impuls daraufhin in Kreise weitergeschaltet wird.

Eine einzelne einschrittige Schaltung enthält folgende

Anschlüsse nach aussen:

1. ein von aussen periodisch bewegtes Impulsglied,
2. Steuerglieder, welche den Variablen einer aussagenlogischen Formel entsprechen,
3. bewegte Glieder, welche den Resultatwerten einer aussagenlogischen Formel entsprechen.

Die Zahl der Steuer- und der bewegten Glieder kann dabei beliebig sein.

Fig. 8 zeigt symbolisch eine Anordnung von 4 solchen Teilschaltungen zu einem Kreislauf. Die Glieder a kommen von aussen. Die Glieder b, c, d, e stellen lediglich Verbindungen zwischen den einzelnen Teilschaltungen dar.

Eine solche Kreislaufschaltung erfordert also zunächst 4 Arbeitsimpulse. Fig. 9 zeigt das entsprechende Zeit-Weg-Diagramm. Jeder Impuls bewirkt eine einmalige Arbeitsbewegung mit sofortiger Rückbewegung. Innerhalb einer einschrittigen Teilschaltung müssen die bewegten Glieder mit den bewegend Gliedern sofort zurückgehen, damit die Steuerglieder neu geschaltet werden können. Die Steuerglieder der nächsten Teilschaltung, welche durch die bewegten Glieder der vorhergehenden Teilschaltung eingestellt werden, dürfen jedoch nicht sofort zurückgehen, da sie während der nächsten beiden Schritte ihre Stellung behalten müssen, damit die Arbeitsbewegung der nächsten Teilschaltung durchgeführt werden kann. Es ist somit eine getrennte Nachbewegung für die Steuerglieder nötig (siehe Zeit-Weg-Diagramm Fig. 9).

Fig. 10 zeigt die Anordnung der Impulsglieder für den einfachen Kreislauf der Fig. 7. Es zeigt sich, daß im ganzen

8 Impulse bzw. Impulsglieder nötig sind. Da diese Impulsglieder von Hocherschleibern oder dergleichen angetrieben werden müssen, gestaltet sich die getriebetechnische Lösung verhältnismäßig kompliziert.

Ein wesentlicher Punkt der vorliegenden Anmeldung ist die Einführung des "Einheits-Freislaufprinzips" durch welches diese getriebetechnische Aufgabe sehr vereinfacht wird. Es wird mit nur zwei Impulsgliedern gearbeitet, einem Impulsglied in der x-Achse und einem Impulsglied in der y-Achse, denn wie das Zeit-Weg-Diagramm der Fig. 11 zeigt, haben von der zur Übertragung der vier Impulse eigentlich notwendigen vier Impulsgliedern je zwei, nämlich I und III bzw. II und IV das gleiche Bewegungsdiagramm, da z.B. die Rückbewegung von I mit der Arbeitsbewegung III zusammenfällt. Ein einmaliger Umlauf I - II - III - IV wird in folgenden als "Maschinenspiel" bezeichnet.

Fig. 12 zeigt die Schaltgliedanordnung der Schaltung von Fig. 7 und 10 nach diesem Prinzip. Wir haben nur zwei Impulsglieder J_x und J_y , von denen J_x die Impulse I und III und J_y die Impulse II und IV überträgt.

Dieses Prinzip bedingt nun verschiedene konstruktive Massnahmen, die auf den Bewegungsablauf zurückzuführen sind, der gegenüber der auf Seite 10 gegebenen Reihenfolge lautet:

1. Einstellung der Steuerglieder
2. Arbeitsbewegung des bewegendes Gliedes
3. Rückstellung der Steuerglieder
4. Rückbewegung des bewegendes Gliedes.

Die bei der Anordnung gemäß Fig. 10 vorgesehene Sperrnase s

Im Festglied g kann bei der Anordnung gemäß Fig. 12 nicht beibehalten werden, da sie die auf Schritt 3 (gemäß der Reihenfolge von Seite 10) notwendige Rückbewegung des Steuergliedes verhindern würde. Man muß daher mit "abweichenden Sperrnasen" arbeiten. Fig. 13 zeigt, wie dieses bei der Anordnung von Fig. 12 durchzuführen ist. Die Impulslieder J_x und J_y erhalten Sperrnasen $s_1 \dots s_4$, welche während der Arbeitsbewegung des Schaltgliedes einwirkend bleiben und bei der Rückbewegung des Steuergliedes abweichen. Auf das Problem der Verriegelung wird weiter unten eingegangen.

Auch bei den negativ arbeitenden Schaltgliedern ergibt sich infolge des oben angegebenen Bewegungsablaufs die Notwendigkeit, Vorrichtungen dafür zu treffen, daß die Schattnase des "bewegenden" bzw. des "bewegten" Gliedes bei der Rückbewegung des Steuergliedes abweichen kann.

Fig. 14 zeigt die Schaltung, entsprechend Fig. 4 nach dem Einheitskreislaufprinzip. Das Zwischenglied e ist in der x- und y-Achse beweglich gestaltet. Es macht einmal die Arbeitsbewegung in der x-Achse, falls das Steuerglied b geschaltet ist, zum anderen macht es eine dauernde, rhythmische Bewegung, senkrecht dazu (in der y-Achse), damit die Schattnase des Ausschnittes e' ausreicht. Diese Bewegung in der y-Achse wird durch ein Glied g bewirkt, welches an ein in der y-Achse wirkendes Impulsglied angeschlossen ist und durch Stufe 1 (in der länglichen Ausschnitten 2 des Zwischengliedes e) eingreift.

Fig. 15 zeigt die einzelnen Bewegungsphasen der Schaltung entsprechend Figur 14 für die verschiedenen möglichen Einstell-

Kombinationen der Steuerglieder b und c und zwar in Einzelnen:

Figur	Steuerglied	
	b	c
15 a	-	-
15 b	+	-
15 c	-	+
15 d	+	+

Es sind nur die mit den Stiften in Eingriff stehenden Ausschnitte der Glieder gezeichnet. Die Impulse sind durch Kreise angedeutet, wobei ihre jeweilige Stellung zur Mittellage durch angesetzte Striche gekennzeichnet ist.

Fig. 15 zeigt die Schaltung entsprechend Fig. 14 jedoch mit Sperrung. Beim rechten Schaltglied kann der Ausschnitt des Festgliedes a ohne weiteres mit einer Sperrnase a' versehen werden. Beim linken Schaltglied muß eine ausweichende Sperrnase g' vorgesehen werden, welche an dem Impulsglied g angebracht ist.

Bevor weitere Kombinationen solcher Schaltglieder zu Schaltungen behandelt werden, soll zunächst der konstruktive Aufbau solcher Schaltgliedsätze besprochen werden.

Der Aufbau zusammengesetzter Sätze von mechanischen Schaltgliedern erfolgt schichtweise. Die zu einer Schaltgliederschicht gehörenden Glieder liegen schichtweise übereinander, gelagert zwischen zwei Platten, welche vorteilhaft aus Glas gefertigt werden. Die Platten werden durch äußeren Druck beiderseits gegen die der Distanzhaltung dienenden Feststifte F gepresst. Dementsprechend müssen die festen Stifte etwas länger sein als die beweglichen Stifte. Zwischen den äußeren Begrenzungsplatten werden die Glieder einfach übereinandergelagt.

wobei zur Anordnung absteigender Glieder, z. B. Pleche, eingefügt werden können. Die einzelnen Bauelemente sind im allgemeinen doppelt ausgeführt und symmetrisch zur Mittelebene angeordnet, damit die Stifte stets symmetrisch beansprucht werden, wodurch ein Kippen vermieden wird. Fig. 1 zeigt einen Schritt in überhöhter Darstellung. Die Glieder a, c und d sind doppelt ausgeführt. Das Glied b braucht nur einfach ausgeführt zu werden, da es von den Gliedern a abgestützt ist, wodurch eine symmetrische Belastung des Stiftes bereits zur Genüge gewährleistet ist.

Schaltgliedschichten können beliebig neben- und übereinander angeordnet werden. Fig. 17 zeigt einen Rahmen mit mehreren Schaltgliedschichten. Die Verbindung der Schichten untereinander kann entsprechend Fig. 18 bzw. 19 erfolgen. In Fig. 18 dient ein einfacher Kegel der Verbindung der Schichten untereinander. In Fig. 19 ist ein Formstück verwandt, welches winkelförmig gebaut ist und zwischen zwei Schichten geführt ist. Die Form von Fig. 19 hat den Vorteil geringeren Raumbedarfs. Die Festglieder der einzelnen Schaltgliedschichten werden durch Bolzen b in ihrer Lage gegenüber dem Gesamtrahmen festgelegt.

Der Hauptrahmen R dient als Skelett für den gesamten statischen Aufbau und der Aufnahme der Getriebeteile, welche die Impulsglieder bewegen. In der Ausführung von Fig. 17 haben wir zwei Grundplatten G, welche auf Stützen st zur Auflage der Bolzen vorgesehen sind. Wir haben ferner Impulsglieder J_x , J_y je in doppelter Ausführung. Diese Impulsglieder werden über Hebel H und eine Nockenwelle ω dauernd in erforderlichen

Arbeitsbewegung, jedoch möglich ist.

Für diese Lösung sind weiter unten Beispiele gegeben. Die Lösung ist verhältnismäßig einfach, erfordert aber Konstruktionselemente, die in vielen Fällen nicht ohne weiteres in Rahmen der Konstruktion untergebracht werden können. Außerdem ist zusätzliche Kraft zur Überwindung der Sperrfedern erforderlich.

2. Man sorgt durch Schaltglieder für eine Sperrung in allen Fällen, in denen das Glied nicht bewegt werden soll.

Diese Methode, die als "Vollsperrsystem" bezeichnet werden soll, erfordert zwar zusätzliche Schaltelemente, ist dafür jedoch beschleunigungsunempfindlich. Es soll in folgenden schaltungstechnisch das Kriterium dafür gebildet werden, einerseits, das das betreffende Glied zu bewegen ist (Bewegungskriterium), andererseits, das es nicht zu bewegen ist (Sperrkriterium). Mathematisch gesehen stellt das Sperrkriterium das aussagenlogische Gegenteil des Bewegungskriteriums dar. Im Beispiel von Fig. 22 lautet das Sperrkriterium dementsprechend:

$$\bar{a} \& b \& c \& q \bar{h}$$

Da die Gesamtregulation schaltungsanalog nur zweischrittig durch Zwischenschaltglieder gelöst werden kann, wird der Ausdruck nach dem Dualitätsprinzip wie folgt umgeformt:

$$a \vee \bar{b} \vee \bar{c} \& q \bar{h}$$

In diesem Falle ist das Endglied zu sperren. Die Schaltung von Fig. 23 entspricht dieser Form. h ist in einem Fall an das Impulsmitglied a , in anderen Fall an das Festglied g angeschlossen.

Es läßt sich nun eine konstruktiv analoge Form mit fünf

Schaltgliedern aufbauen, jedoch können die Funktionen der beiden durch a bzw. durch b gesteuerten Schaltglieder durch je ein Schaltglied ausgeübt werden. Dies ist symbolisch in Fig. 24 und konstruktiv in Fig. 25 gezeigt. Für die beiden Ansätze

$$1. \bar{a} \& b \& c \text{ äq } h$$

$$2. a \vee \bar{b} \vee \bar{c} \text{ äq } \bar{h}$$

gilt, daß jede Variable in einen Ansatz positiv und im anderen negativ auftritt. Dementsprechend kann jedes Schaltglied in Bezug auf das die Variable symbolisierende Steuerglied in eine positive und eine negative Seite geteilt werden, wobei die eine Seite der Bewegungsschaltung, die andere der Sperrschaltung angehört.

Die Schaltung von Fig. 24, 25 bewirkt, daß nur bei Einstellung der Kombination $\bar{a} \& b \& c$ das Endglied h mit dem Impulsglied d über zwei Glieder e, f verbunden ist. In jedem anderen Falle ist das Glied h an das Festglied g bzw. an das Sperrglied i angeschlossen, welches ausweichende Sperrnasen i' hat (siehe oben).

Die Fig. 26 zeigt die Schaltung für eine dreigliedrige Disjunktion

$$a \vee \bar{b} \vee \bar{c}$$

ohne Sperrung. Bemerkenswert ist das in x- und y-Richtung bewegliche Impulsglied a. Es führt in x-Richtung die Arbeitsbewegung und in y-Richtung die Ausweichbewegung durch.

Fig. 27 zeigt dieselbe Schaltung im Vollsperrsystem. Wir haben jetzt das Sperrkriterium

$$\bar{b} \& b \& c$$

Der Aufbau ist analog der Schaltung von Fig. 25, mit dem

Unterschied, daß jetzt die Sperrung über eine Kette von Gliedern e, f, h, i erfolgt.

Fig. 28 zeigt die Lösung der Aufgabe

$$a \sim b \text{ (Äquivalenz).}$$

Sie erfolgt entsprechend der Formel

$$(\bar{a} \& \bar{b}) \vee (a \& b) \quad \text{Äq.} \quad a \sim b$$

Bei dieser Form ist als einziges das Glied f zweidimensional beweglich auszuführen. Die Abwärtsbewegung dieses Gliedes in y-Richtung erfolgt durch ein Hilfsglied h. Zu beachten ist, daß die zwei Glieder e und f mit Hasen n versehen sind, um die Rückbewegung zu bewirken.

Fig. 29 zeigt die Lösung der Aufgabe der Disjunkt

$$\overline{a \sim b}$$

Sie erfolgt nach der Formel

$$(a \vee b) \& (\bar{a} \vee \bar{b}) \quad \text{Äq.} \quad \overline{a \sim b}$$

Durch diese Gestaltung wird erreicht, daß nur ein Glied, nämlich das Impulsglied c zweidimensional beweglich ausgeführt zu werden braucht. Das Glied e hat eine Hasse n, um die Rückbewegung zu bewirken. Die in Fig. 28, 29 verwendeten Schaltglieder werden als Umschaltglieder bezeichnet.

Fig. 30...35 zeigen ein Wahlwerk. Wir haben drei Steuerglieder a, b, c, durch welche eine dreistellige Dualzahl dargestellt wird. Es können dann durch die Glieder a, b, c die Zahlen 0 ... 7 dargestellt werden. Diesen 8 Zahlen entsprechen 8 nach außen gehende Glieder $h_0 \dots h_7$. Die Aufgabe der Schaltung besteht darin, dasjenige der Glieder $h_0 \dots h_7$ zu ziehen, welches der an den Gliedern a, b, c eingestellten Dualzahl entspricht. Alle anderen Glieder sollen gesperrt sein.

Fig. 30 zeigt die Schaltung im Prinzip. Von einem Impulsmitglied J_x gehen Verbindungen über die Glieder $d_{0,1}, e_0 \dots e_3$ und $f_0 \dots f_7$. Es ist jeweils nur eine Verbindung $J_x \dots h$ durchgeschaltet. Es sind den einzelnen Gliedern $h_0 \dots h_7$ folgende Bewegungs- und Sperrkriterien zugeordnet:

	Bewegungs- kriterium	Sperr- kriterium	umgeformtes Sperrkriterium
h_0	$\bar{a} \& \bar{b} \& \bar{c}$	$a \vee b \vee c$	$c \vee [\bar{c} \& b \vee (\bar{b} \& a)]$
h_1	$\bar{a} \& \bar{b} \& c$	$a \vee b \vee \bar{c}$	$\bar{c} \vee [c \& b \vee (\bar{b} \& a)]$
h_2	$\bar{a} \& b \& \bar{c}$	$a \vee \bar{b} \vee c$	$c \vee [\bar{c} \& \bar{b} \vee (b \& a)]$
h_3	$\bar{a} \& b \& c$	$a \vee \bar{b} \vee \bar{c}$	$\bar{c} \vee [c \& \bar{b} \vee (b \& a)]$
h_4	$a \& \bar{b} \& \bar{c}$	$\bar{a} \vee b \vee c$	$c \vee [\bar{c} \& b \vee (\bar{b} \& \bar{a})]$
h_5	$a \& \bar{b} \& c$	$\bar{a} \vee b \vee \bar{c}$	$\bar{c} \vee [c \& b \vee (\bar{b} \& \bar{a})]$
h_6	$a \& b \& \bar{c}$	$\bar{a} \vee \bar{b} \vee c$	$c \vee [\bar{c} \& \bar{b} \vee (b \& \bar{a})]$
h_7	$a \& b \& c$	$\bar{a} \vee \bar{b} \vee \bar{c}$	$\bar{c} \vee [c \& \bar{b} \vee (b \& \bar{a})]$

Die Bewegungskriterien bestehen in einfachen dreigliedrigen Konjunktionen. Das Sperrkriterium ergibt sich durch Inversion (Verneinung) des Bewegungskriteriums nach dem aussagenlogischen Dualitätsprinzip zunächst als dreigliedrige Disjunktion. Schaltungsmäßig ist es jedoch günstiger, diesen Ausdruck umzuformen. Die in der rechten Spalte angegebenen umgeformten Sperrkriterien sind aussagenlogisch den in der mittleren Spalte angegebenen äquivalent. Durch diese Umformung wird erreicht, daß nicht entsprechend Fig. 29 für jedes Glied h drei doppelt wirkende Schaltglieder erforderlich sind, sondern die Schaltungen funktionsbzw. aufbaut werden können. Zwecks Ausweitung der relativ arbeitenden Schaltkreise müssen die Glieder $d_0, e_0, e_2, f_0, f_2, f_4, f_6$ in der x- und y-Achse beweglich ausgeführt werden.

Fig. 31 zeigt einen Überblick über den gesamten Schalt-

gliedsatz. Die Fig. 33...35 zeigen die einzelnen Glieder. Fig. 32 zeigt das feste Glied g_1 . Die Ausschnitte 1 bis 14 dienen dem eigentlichen Schaltvorgang. Die Ausschnitte 15 bis 26 geben lediglich Raum für bewegliche Führungstifte 28, 29, welche die Ausweichbewegung der Zwischenglieder $e_{0,2}, f_{0,2,4,6}$ bewirken. Die Ausschnitte 27 dienen der Führung der Glieder $h_0...h_7$. Nur die negativ arbeitenden Schaltglieder, welche also bei positiver Stellung des Steuergrundgliedes (a, b, c) sperren, haben feste Sperrnasen im Gliede g_1 , die anderen brauchen ausweichende Sperrnasen, welche in dem Gliede g_2 angebracht sind (siehe Fig. 34).

Fig. 33 zeigt das Glied d_0 , welches als doppeltes, d.h. in der x- und y-Achse bewegliches Doppelglied ausgeführt ist. Der Ausschnitt 30 gehört dem oberen, durch a gesteuerten Schaltglied an (siehe Figur 30) und dient der Verbindung von d_0 mit e_1 . Das Glied d_0 bewirkt ferner die Verschiebung der beweglichen Stifte 28, 29 (Führung der Ausweichbewegung der Zwischenglieder). Die Ausschnitte 31, 32 geben lediglich den Raum für die Schaltglieder frei. Die Kerbe 33 ist erforderlich um über die Stifte 34 die Glieder $h_0...h_7$ nach dem Schalten in die Grundstellung zurückzubringen. Fig. 35 zeigt die einzelnen Zwischenglieder. Die Verbindung zwischen den Gliedern e_1 und e_0 bzw. e_3 und e_2 erfolgt über längliche Ausschnitte 35 und Stifte 36, entsprechend die Verbindung zwischen den Gliedern f_1 u. f_0 bzw. f_3 u. f_2 usw. über längliche Ausschnitte 37 und Stifte 38.

Die Figuren 30 ... 42 dienen der Darstellung einer „Verzögerungskette“. Eine solche Vorrichtung dient dazu, eine Impulsfolge, welche an einem Ende eingeleitet wird, innerhalb der

Vorrichtung fortzuschalten und mit einer Verzögerung an anderen Ende der Vorrichtung wieder hinauszugehen. Grundelement einer solchen Vorrichtung ist das einzelne Rastenschaltglied. Fig. 35 zeigt das Prinzip. Es besteht aus einer Vereinigung zweier zu einer zweischrittigen Schaltung (siehe Fig. 6) hintereinandergeschalteter Schaltglieder zu einem einzigen Schaltglied. Das Schalten von d ist an die Bedingung geknüpft, dass sowohl a als auch b als auch c geschaltet werden. Auf diese Weise könnte das Schaltglied auch zur Lösung einer mehrgliedrigen Konjunktion benutzt werden. Normalerweise werden jedoch die Glieder a und c an Impulse angeschlossen, sodass die Schaltung von b mit 2 Schritten Verzögerung auf das auslaufende Glied d einwirkt. Zur symbolischen Darstellung dieses Schaltgliedes wird die in Figur 37 gezeigte Form gewählt. Fig. 38 zeigt die einzelnen Gliedformen und deren Bewegungsphasen im Verlauf einer Schaltung. Es sind nur die Ausschnitte der Glieder gezeigt, welche mit dem Schaltgliedstift in Eingriff stehen. Der Ablauf ist so, daß zunächst das die Bewegung einleitende Glied b in Richtung +y gezogen wird, darauf durch a der Stift nach -x bewegt wird. Jetzt wird c in Richtung -y bewegt und nimmt dabei das auslaufende Glied d mit.

Die Fig. 39 und 40 zeigen eine Abwandlung dieses Schaltgliedtyps, bei welcher eine Sperrung des Gliedes d erfolgt, falls das einleitende Glied b nicht geschaltet wurde.

Fig. 39 zeigt die Bewegungsphasen für den Fall, daß b und d geschaltet werden, Fig. 40 für den Fall, daß keine Schaltung stattfindet und d gesperrt wird. Das Glied a ist jetzt mit einem länglichen Ausschnitt a' quer zu seiner Bewegungsachse versehen, sodaß der Stift jedesmal, gleichgültig, ob b geschalte

ist oder nicht, nach links bewegt wird. Dafür ist das Glied d mit einer einspringenden Lase d' versehen, durch welche es gesperrt wird, falls b nicht gezogen wurde.

Fig. 41 zeigt die Aneinanderreihung solcher Ketterschaltglieder zu einer "Verzögerungskette". Ein durch Schalten von a_1 einleiteter Impuls wird über die Glieder $b_1, a_2, b_2, a_3, b_3, a_4, b_4$ nach c geleitet, wobei er mit 4 Maschinenspielen Verzögerung wieder herausgegeben wird. Derartige Ketten lassen sich beliebig lang gestalten und stellen ein wichtiges Bauelement für Rechenwerke dar.

Fig. 42 zeigt die konstruktive Lösung dieser Schaltung. Den Impulsen I und III kann ein gemeinsames Glied d und den Impulsen II und IV ein gemeinsames Glied e zugeordnet werden. Im übrigen ist die Gestaltung der Auschritte analog der Fig. 36. Selbstverständlich kann die Schaltgliedkette auch analog Fig. 39, 40 mit sperrenden Schaltgliedern ausgeführt werden.

Die Figuren 43...46 zeigen ein vierstelliges Zählwerk im Dualsystem. Das Zählwerk ist kein vollständiges Additionswerk, sondern gestattet nur die Addition des Wertes Eins zu einer vorher eingestellten Dualzahl. Die Glieder $a_0...a_3$ sind die Träger der jeweils eingestellten Dualzahl. Dabei gilt: "nicht-geschaltet" entspricht der Dualziffer 0, "geschaltet" entspricht der Dualziffer 1 (-1). b ist ein Steuerglied, durch welches die Addition des Wertes Eins zu der auf den Gliedern $a_0...a_3$ stehenden Dualzahl bewirkt werden kann. Mit Hilfe der Glieder d und $c_0...c_4$ wird zunächst die Stellenübertragung gebildet. d ist fest an den Impuls II angeschlossen. Die Schaltung von c_1

bedeutet, daß eine Stellenübertragung auf die Stelle i ($i=0\dots$) stattfindet. c_0 wird geschaltet, falls e geschaltet wird, d.h. falls überhaupt weiter gezählt werden soll. Die Schaltung von c_1 ist an die Bedingung $b \& a_0$ geknüpft, entsprechend die von c_2 an die Bedingung $b \& a_0 \& a_1$ usw. Eine Stellenübertragung wird so lange auf die nächsthöhere Stelle weitergeleitet, wie die eingestellte Dualzahl Ziffern L besitzt.

Beispiel:

$$\begin{array}{r} \text{LOLL} \\ + \quad \text{L} \\ \hline \text{stellenübertragung} \quad \text{LL} \\ \hline \text{LLCO} \end{array}$$

Die Glieder $h_0\dots h_3$ dienen lediglich der Übertragung der auf den Gliedern $a_0\dots a_3$ eingestellten Dualzahl. Nachdem die Stellenübertragung erfolgt ist, und die Zahl von den Gliedern a auf die Glieder h übertragen ist, erfolgt die Bildung der um L erhöhten Zahl mit Hilfe der Glieder $e, f_0\dots f_3$ und $j_0\dots j_3$. Für den Fall, daß die alte Ziffer und die Stellenübertragung gleichwertig sind, ist die neue Ziffer 0 , sonst L . Es ergibt sich also j_1 aus c_1 und h_1 nach folgendem Ansatz:

$$\overline{c_1 \sim h_1} \quad \text{bzgl. } j_1$$

Dies ist jedoch die aussagenlogische Disvalenz, deren Schaltung bereits in Fig. 29 im einzelnen gezeigt wurde. Von den Gliedern j wird über Kettenschaltglieder p der Wert verzögert auf die Glieder a zurückübertragen.

Fig. 44 zeigt einen Gesamtüberblick über das Zählwerk, Fig. 45 und 46 die einzelnen Glieder. Bemerkenswert ist dabei folgendes: Die Übertragungskette der c -Glieder arbeitet mit Sperrung. Die Sperrnasen g' müssen zwecks Ausweichens an einem Glied g (Fig. 46) angebracht werden. Die Bewegung der Glieder

j ist durch Federn q erschwert. Dies ist nötig, da die Lösung der Aufgabe der Disjunkt nicht ohne weiteres durch Vollsperrung (Vollsperrsystem) durchführbar ist (siehe oben). Die Kettenschaltglieder sind wie die Glieder d in Fig. 39, 40 gestaltet (siehe Base a' an Glied a Fig. 45) zwecks Vollsperrung.

Eine Weiterentwicklung des Zählwerks stellt das Additionswerk im Dualsystem dar. Fig. 47 zeigt die Prinzipschaltung. Die Aufgabe besteht darin, zwei vierstellige Dualzahlen, deren eine durch die Glieder $a_0 \dots a_3$ und deren andere durch die Glieder $b_0 \dots b_3$ dargestellt wird, zu addieren. Das Resultat erscheint zunächst auf den Gliedern $k_0 \dots k_3$ und kann von dort auf die Glieder $b_0 \dots b_3$ zurückübertragen werden. Die Glieder $a_0 \dots a_3$ müssen einen Schritt vor den Gliedern $b_0 \dots b_3$ eingestellt werden. Es werden zunächst Zwischenwerte $c_0 \dots c_3$ und $d_0 \dots d_3$ gebildet. Es gilt dabei:

$$a_i \vee b_i \quad \text{äq} \quad c_i$$

$$a_i \& b_i \quad \text{äq} \quad d_i$$

Die Bildung dieser Zwischenwerte, welche durch entsprechende bezeichnete Glieder dargestellt werden, erfolgt über die Schaltglieder 1 und 3, und zwar gleichzeitig mit der Einstellung der Glieder b_i auf Schritt 1. Schritt i ist derjenige Schritt, in welchem der Jupuls I seine Arbeitsbewegung ausführt. Im nächsten Schritt werden die Stellendübertragungen f_i gebildet. Hierbei gilt folgendes: Eine Stellendübertragung von der Stelle i auf die Stelle i+1 findet statt

1. wenn in der Stelle i beide Ziffern gleich 1 sind ($a_i \& b_i$) oder
2. wenn in der Stelle i mindestens eine Ziffer gleich 1 ist

$(a_i \vee b_i)$ und eine Stellenübertragung auf die Stelle i von der Stelle $i-1$ erfolgt.

Die erste Bedingung wird durch das Glied d_i angezeigt, die zweite durch das Glied c_i . Dementsprechend haben wir eine Übertragungskette, welche über die jeder Stelle zugeordneten Schaltglieder 4, gesteuert durch die Glieder c_i , führt, und in welche bei jeder Stelle über die Schaltglieder 2, gesteuert durch die Glieder d_i , Übertragungen auf die nächstfolgende Stelle eingelegt werden können. Auf diese Weise ist die Stellenübertragung in einem einzigen Schritt über sämtliche Stellen möglich.

Zu beachten ist die Darstellung durch Wirkungspfeile. Fig. 48 zeigt das Schema dieser Pfeile. Die Wirkungspfeile entsprechen den Gleichrichtern bei elektrischen Schaltungen. In Fig. 48 wird durch die Pfeile angedeutet, daß bei Schaltung von a auch b geschaltet wird, aber nicht umgekehrt; ferner daß bei Schalten von c oder d auch e geschaltet wird, und schließlich, daß bei Schalten von g auch f geschaltet wird, aber nicht umgekehrt. Konstruktiv werden diese Bauelemente durch einfache einseitige Anschlüsse eines Gliedes an das andere ausgeführt. Die eingezeichnete Pfeilrichtung hat nichts mit der Bewegungsrichtung der zugeordneten mechanischen Glieder zu tun, sondern gibt lediglich die Wirkungsrichtung an.

Für die Bildung der Ziffern der Resultate gilt folgendes: Zunächst wird der Zwischenwert j_i berechnet, welcher der Aussage entspricht: „Die Summe der Ziffern a_i und b_i ist eine gerade Zahl“. Das aussagenlogische Kriterium für j_i ist

$$a_i \sim b_i$$

Dieses ist äquivalent dem Ausdruck

$$\overline{a_i} \vee \overline{b_i} \vee (a_i \& b_i)$$

und dieser ist wiederum entsprechend obiger Definition von c_i und d_i äquivalent dem Ausdruck

$$\overline{c_i} \vee d_i.$$

$\overline{c_i}$ wird durch die Schaltglieder 5 gebildet (h_i), und die Disjunktion $\overline{h_i} \vee d_i$ wird durch parallele Wirkung beider Glieder auf das Glied j_i gebildet.

Nunmehr muß aus j_i und der Übertragungsangabe f_i die Ziffer der Summe k_i gebildet werden. Diese ergibt sich, wie leicht einzusehen ist, aus der aussagenlogischen Äquivalenz der Aussagen j_i (Differenzsumme der Zahl ist gerade) und f_i (es findet eine Übertragung auf die Stelle 1 statt):

$$j_i \sim f_i \text{ bzgl. } k_i.$$

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch die Schaltglieder 6 und 7 bzw. 6' und 7'.

k_i wird nun wieder über die Idempotenzschaltglieder 8 bzw. 8' auf die Glieder b_i zurückübertragen. Diese Übertragung wird durch ein Glied v (Schaltglied 9) gesteuert.

An Stelle der Rückübertragung kann auch ein zweites Additionswerk treten, welches seinen Endwert dann wiederum auf das erste überträgt. Da die eigentliche Addition nur zwei Schritte erfordert, sind auf diese Weise mit zwei im Gegenteil arbeitender Additionswerten zwei Additionen pro Maschinenspiel durchführbar.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch Schaltgliedsätze, welche auf mehrere Schichten verteilt sind. Fig. 49 zeigt die Verteilung der einzelnen Schaltglieder auf vier Schichten

A, B, C, D. Die Verbindungen der Schichten untereinander können durch Bügel bewirkt werden. Fig. 50 zeigt eine Übersicht über das ganze Additionswerk von oben. Fig. 51 zeigt die Schaltung der Schicht A mit den Schaltgliedern 1 und 2. Durch a_i und b_i werden die Glieder d_i geschaltet (a_i & b_i). Über die Zwischenglieder e_i findet dann die Einleitung der Stellenübertragung auf die Bügel f_{i+1} statt. Ferner werden durch e_i die Bügel j_i geschaltet. Fig. 52 zeigt die Schaltglieder der Schicht B. Durch die Schaltglieder 3 werden die Glieder c_i geschaltet. Der Ausdruck für c_i ist nach obiger Definition

$$a_i \vee b_i .$$

Er wird jedoch in folgenden, aussagenlogisch äquivalenten Ausdruck umgeformt:

$$a_i \vee (\overline{a_i} \& b_i) .$$

Dies ist nötig, um die Glieder c_i im Falle $\overline{a_i}$ & $\overline{b_i}$ zu sperren. Die Schaltglieder 4 stellen die eigentliche Übertragungskette dar. Die Glieder f_i sind mit den Bügeln f_i fest verbunden. In den Schaltgliedern 5 werden die Glieder j_i äq $\overline{c_i}$ geschaltet.

Fig. 53 zeigt die Schichten C und D, und zwar müssen die Schaltglieder 6 und 7 bzw. 6' und 7' und somit auch b bzw. b' auf zwei Schichten verteilt werden, da es konstruktiv Schwierigkeiten macht, sie in einer Schicht unterzubringen. Durch die Glieder j_i und f_i werden die Schaltglieder k_i geschaltet, und deren Stellung über die Kettenglieder 8, 8' auf die Summandenglieder b_i zurückübertragen (mittels m_i).

Fig. 54 zeigt den Schnitt durch das Additionswerk in schaltungsmäßiger Darstellung. Es sind insbesondere die Verbindungen zwischen den Übertragungsbügeln und den Gliedern der

einzelnen Schichten zu erkennen.

Fig. 55 und 56 zeigen die Glieder der Schicht A. Die Schaltglieder 1 brauchen ausweichende Sperrnasen p' , welche am Impulsglied p angebracht sind.

Fig. 57 ... 59 zeigen die Glieder der Schicht B. Besondere Schwierigkeiten bereitet zunächst die Ausweichbewegung der Glieder b'_1 (Fig. 57). Diese werden durch Stifte 1 und durch Bügel 7 seitlich geführt. Die Stifte 1 und Bügel 7 wiederum werden durch das Impulsglied q' bewegt. In seiner Arbeitsrichtung (\rightarrow) wird das Glied b' in seinem länglichen Ausschnitt 4 durch dem Bügel b geführt. Das Impulsglied q ist als Doppelimpulsglied ausgeführt, um die negativ arbeitenden Schalttaschen q'' bei der Rückbewegung der Glieder j_1 freizugeben.

Fig. 60, 61 zeigt die Glieder der Schicht C. Die Schaltglieder 6, 7 sind entsprechend dem Gesetz der Äquivalenz geschaltet. Der Unterschied zur Schaltung entsprechend Fig. 28 besteht hauptsächlich darin, daß die Glieder w_1 und w'_1 von 6 nach 7 nicht gezogen, sondern gedrückt werden. Dementsprechend sind die Zugschonglieder w und w' etwas anders gestaltet als die entsprechenden Glieder e und f der Fig. 28. Das Glied w' muss seitlich ausweichen, was durch w'' und Stifte s' , die durch das Impulsglied s bewegt werden, bewirkt wird. Die Schaltglieder 8 (Fig. 47, 59) sind normale Ketten-Schaltglieder mit Sperre entsprechend Fig. 39, 40.

Die Figuren 62 ... 66 zeigen eine abgewandelte Form des Additionswerkes in Dualsystem, welches erheblich kleineren Raumbedarf hat. Figur 62 zeigt die Prinzipschaltung. Sie unterscheidet sich von der Schaltung entsprechend Figur 47 dadurch, daß die Glieder a_1 und b_1 die Schaltung auf Schritt 1, also

einen Schritt vor der Stellenübertragung, eingestellt werden. Die Glieder c_1 ($\text{Bq } a_1 \vee b_1$) werden gleichzeitig mit den Gliedern a_1 und b_1 geschaltet. d_1 ($\text{Bq } a_1 \& b_1$) wird erst während der Stellenübertragung über zwei hintereinander geschaltete Schaltglieder, welche durch a_1 und b_1 gesteuert werden, geschaltet. Im übrigen wird die Schaltung entsprechend der Figur 47 aufgebaut. Die zur Rückübertragung nötigen Schaltglieder 8 sind nicht vorgesehen.

In der oberen Schicht (Fig. 63...66) liegen die Schaltglieder zur Bildung der Zwischenwerte c_1 , d_1 und der Stellenübertragung.

Die Summanden a , b werden durch Glieder $a_0...a_3$, $b_0...b_3$, z.B. Bügel dargestellt. Diese wirken direkt parallel auf das Glied c_1 (Fig. 65a) durch Stoss an die Kante c' . Somit ist das Kriterium $a_1 \vee b_1$ einfach gebildet.

Die Bildung des Kriteriums $a_1 \& b_1$ zur Einleitung der Stellenübertragung zeigt Fig. 64. Die Glieder d_1 , welche dem Kriterium $a_1 \& b_1$ entsprechen, bestehen aus einfachen Stiften, die in der Grundstellung links und in der Arbeitsstellung rechts liegen und in Ausschnitten d' des Festgliedes g_1 geführt sind. Das Glied b_1' hat eine doppelte Funktion: einmal dient es als Träger des Wertes b_1 , zum anderen als Hebel, der zwischen den Feststiften 1 um den Punkt 2 (Fig. 65) drehbar ist. Das Glied b_1' hat ferner noch einen Längsausschnitt 5. Der Stift 3 wird durch das Glied a_1 (Träger des anderen Summanden) gesteuert. Befindet sich a_1 in der Arbeitsstellung ($-y$, unten), so wird der Stift 3 durch die Schalthasen des Impulsgliedes p nach rechts verschoben und bewegt hierbei durch den Ausschnitt 5 den Hebel b_1 ebenfalls

nach rechts. Befindet sich b_1 ebenfalls in der Arbeitsstellung (-y, unten), so wird der Stift d_1 ebenfalls nach rechts verschoben. Dies ist also nur der Fall, wenn sowohl a_1 als auch b_1 geschaltet sind.

Die Bewegung des Stiftes d_1 wird einmal auf die Stellentrtragungsglieder f_1' und zum anderen auf die Glieder j_1' übertragen. Die Nasen 7 und 8 wirken über die Bügel j_1 auf die Nasen 9 und 10 der Glieder f_1'' und j_1'' der unteren Schicht. (Fig. 68). Die Nasen 9 und 10 stehen ferner im Eingriff mit Federn 11 und 12, welche die Bewegung dieser Glieder erschweren.

Die untere Schicht (Fig. 67, 68) hat die einfache Lösung der Äquivalenz in jeder Dualstelle zur Aufgabe. Die Zwischenglieder w' machen wieder eine Ausweichbewegung, welche durch das Doppelimpulsmitglied 1 bewirkt wird.

Nunmehr soll die Addition im Dezimalsystem behandelt werden. Die Darstellung einzelner Dezimalziffern erfolgt dabei am vorteilhaftesten durch vierstellige Dualzahlen. Die Zahl 72091 sieht dann z.B. wie folgt aus:

7	2	0	9	1
0111	0010	0000	1001	0001

Will man in dieser Form gegebene Zahlen addieren, so kann man zunächst die Dezimalziffern der einzelnen Stellen als Dualzahlen addieren. Man erhält dann fünfstellige Dualzahlen. Ist die Zahl gleich oder größer als 10 (Dual 1010), so muß ein Übertrag auf die nächste Dezimalstelle stattfinden und zur Zahl der Wert 0110 addiert werden. Die letzten vier Stellen dieser Dualzahl stellen dann die Dezimalziffer der betreffenden Stelle der Summe dar.

2.34.1.

Additionsbeispiel:

Schreibweise	Dezimal					Dezimalziffern als Dualzahlen						
Summand a		7	2	0	9	1		0111	0010	0000	1001	0001
Summand b		8	7	7	2	3		1000	0111	0111	0010	0011
Ziffern- summe		15	9	7	11	4		1111	1001	0111	1011	0100
≥ 10		+	-	-	+	-		+	-	-	+	-
Korrektur +		0			0			0110			0110	
Stellen- übertrag	<u>1</u>	-	-	<u>1</u>	-	-	<u>0001</u>			<u>0001</u>		
a + b	1	5	9	8	1	4	0001	0101	1001	0001	0001	0100

Auf die Weise wäre die Addition im Dezimalsystem mit Hilfe einer im Dualsystem arbeitenden Additionsvorrichtung durchführbar. Das Verfahren hat jedoch in dieser einfachen Form den Nachteil erheblichen Zeitverlustes. Der gesamte Prozess erfolgt in 4 Phasen.

1. Ziffernaddition im Dualsystem,
2. Prüfung, ob die Summe kleiner als 1001 oder gleich 1001 oder größer als 1001 und
3. entsprechende Stellenübertragung mit Einstellung der Korrekturwerte,
4. Addition der Korrekturwerte.

Es soll nun gezeigt werden, wie diese 4 Phasen in einem einzigen Arbeitsgang, der nicht länger dauert als die Addition im Dualsystem, erledigt werden können, also in zwei Bewegungsschritten der mechanischen Schaltglieder.

Zunächst können wir gleichzeitig in jeder Dezimalstelle die einfache Addition der Dualzahlen (Dezimalziffern) und deren Addition in einem Additionswerk, welches einen um 110 erhöhten Wert herausgibt, durchführen. . Hierzu muß zunächst ein Additionswerk im Dualsystem entwickelt werden, welches einen um 110 erhöhten Wert liefert. Geben wir den einzelnen Stellen der vierstelligen Dualzahl die Nummern 0, 1, 2, 3

(die Stelle 0 liegt dabei am weitesten rechts), so ist in den Dualstellen 1 und 2 ausser der Addition der beiden Summanden die Addition von L durchzuführen. Auf die Dualstelle 1 kann dabei nur die Stellenübertragung im Wert L stattfinden, denn in der Dualstelle 0 kann sich höchstens die Ziffernsumme LO ergeben. Für die Dualstelle 1 haben wir nun folgende Fälle:

u_1 = Stellenübertragung auf Stelle 1

a_1 = Ziffer des ersten Summanden der Stelle 1

b_1 = Ziffer des zweiten Summanden der Stelle 1

a_1	b_1	u_1	Σ	$\Sigma + 1$	Übertrag	v_1	v_2
0	0	0	0	L	0	-	-
0	L	0	L	LO	L	+	-
L	0	0	L	LO	L	+	-
L	L	0	LO	LL	L	+	-
0	0	L	L	LO	L	+	-
0	L	L	LO	LL	L	+	-
L	0	L	LO	LL	L	+	-
L	L	L	LL	LO	LO	+	+

bezeichnen wir mit v_2 das Kriterium dafür, daß der Stellenübertrag auf die Stelle 2 mindestens gleich 1 ist, so gilt:

$$a_1 \vee b_1 \vee u_1 = 1 \Leftrightarrow v_2$$

bezeichnen wir ferner mit v_2 das Kriterium dafür, daß der Stellenübertrag auf die Stelle 2 gleich LO ist, so gilt:

$$a_1 \& b_1 \& u_1 = 1 \Leftrightarrow v_2$$

In der Dualstelle 2 haben wir nun folgendes Schema:

a_2	b_2	v_2	w_2	Σ	$\Sigma+1$	Übertrag	v_3	w_3
0	0	-	-	0	L	0	-	-
0	L	-	-	L	LO	L	+	-
L	0	-	-	L	LO	L	+	-
L	L	-	-	LO	LL	L	+	-
0	0	+	-	L	LO	L	+	-
0	L	+	-	LO	LL	L	+	-
L	0	+	-	LO	LL	L	+	-
L	L	+	-	LL	LOO	LO	+	+
0	0	+	+	LO	LL	L	+	-
0	L	+	+	LL	LOO	LO	+	+
L	0	+	+	LL	LOO	LO	+	+
L	L	+	+	LOO	LOL	LO	+	+

Gibt man den Werten v_3 und w_3 in Bezug auf die Dualstelle 3 dieselbe Bedeutung wie den Werten v_2 und w_2 in Bezug auf die Dualstelle 2, so gelten folgende Kriterien:

$$a_2 \vee b_2 \vee v_2 \text{ äq } v_3$$

$$(a_2 \& b_2 \& v_2) \vee (a_2 \vee b_2 \& w_2) \text{ äq } w_3.$$

Für die Dualstelle 3 gilt schließlich folgendes: Da in der Dualstelle 3 die Differenzsumme LO sein kann und der Stellen-Übertrag aus der Dualstelle 3 ebenfalls den Wert LO erreichen kann, so erscheint ein Stellen-Übertrag von LO auf die Dualstelle 4 zunächst denkbar. Da jedoch die Werte a und b in ihrer Größe beschränkt sind ($\leq LOOL$), so ist dieser Fall ausgeschlossen, denn als Resultat können wir höchstens den Wert

$$\begin{array}{r} LOOL \\ + LOOL \\ + LOO \\ \hline LOOO \end{array} \quad \begin{array}{l} (9) \\ (9) \\ (6) \\ (24) \end{array}$$

erreichen, d.h. der Stellenübertrag auf die Dualstelle 4 (u_4) kann höchstens den Wert 1 erreichen. Es gilt für u_4 der Ansatz

$$(a_3 \& b_3) \vee (a_3 \vee b_3 \& v_3) \vee w_3 \quad \text{äq} \quad u_4$$

Fig. 69 zeigt das Übertragungsschema entsprechend den oben entwickelten Ansätzen. u_0 (rechts) und u_4 (links) sind die Stellenübertragungsanschlüsse zur nächstniederen und nächsthöheren Dezimalstelle. J bedeutet den Impuls, über welchen die Stellenübertragungen in die Übertragungsenergie eingeleitet werden. Fig. 69 enthält in ihrem oberen Teil (Korrektur von LLO) das Stellenübertragungsschema für das Sonder-Additionswerk mit den Übertragungswerten u_1, v_2, v_3, u_4 und w_2, w_3 und unten das Übertragungsschema für das einfache Additionswerk. Bei diesem interessieren in diesem Falle nur die Werte u_1, u_2, u_3 . Das Bildungsgesetz für u_1 ist dabei dasselbe wie bei dem oberen Schema.

Bei diesem Übertragungsschema wird durch u_4 folgende Aussage dargestellt: „Die Summe der Dezimalziffern der betreffenden Dezimalstelle ist gleich oder größer als L0L0 (10), oder sie ist gleich L00L (9) und es findet ein Übertrag von der nächstniederen Dezimalstelle auf die betrachtete Dezimalstelle statt.“ u_4 wird nämlich geschaltet, wenn die Gesamtsumme gleich oder größer als L0000 (16) ist, da aber dann stets LLO (6) addiert wird, muß die Ziffernsumme + Stellenübertragung u_0 von der nächstniederen Dezimalstelle gleich oder größer als L0L0 sein. Dementsprechend kann durch einfaches Anordnensetzen der Übertragungsschaltungen der einzelnen Dezimalstellen die Gesamtübertragungsschaltung der Additionsvorrichtung im Dezimalsystem gebildet werden.

Für die Bildung der Dezimalziffern des Resultats gilt nun folgendes: Ist die Summe der Dezimalziffern einschließlich der Stellenübertragung auf die betrachtete Dezimalstelle gleich oder kleiner als 1001, so ergibt die normale duale Addition der Dezimalziffern die Dezimalziffer des Resultats. Ist dieser Wert gleich oder größer als 1010, so ergibt die um 110 erhöhte Summe der Dezimalziffern ausschließlich der höchsten Dualstelle, welche der 4. Potenz von 2 entspricht, die Dezimalziffer des Resultats.

Da dieses Kriterium durch u_4 gegeben wird, ist u_4 gleichzeitig das Kriterium dafür, welches angibt, ob die einfache oder die um 110 erhöhte Summe genommen werden soll. Betrachten wir diese beiden möglichen Werte, so zeigt sich zunächst, daß in der Dualstelle 0 kein Unterschied zwischen beiden besteht. Für die Dualstellen 1, 2 und 3 ist das Bildungsgesetz jedoch verschieden. Für die einfache Addition gilt, wie bereits weiter oben gezeigt:

$$(a_1 \sim b_1) \sim u_1 \quad \text{äq} \quad z_1$$

Für die um 110 erhöhte Summe gilt folgendes:

In der Dualstelle 1 muß der normale Ansatz negiert werden, da durch die zusätzliche Addition von Eins die Ziffer des Resultats umgekehrt wird.

$$(a_1 \sim b_1) \sim v_1 \quad \text{äq} \quad z_1$$

In der Dualstelle 2 gilt im Falle, daß w_2 negativ ist, der entsprechende Ansatz; im Falle, daß w_2 positiv ist, gilt jedoch folgender Ansatz:

$$a_2 \sim b_2 \quad \text{äq} \quad z_2$$

Im ganzen gilt für die Dualstelle 2 also der Ansatz:

$$\left[\overline{w_2} \& \overline{(a_2 \sim b_2)} \sim v_2 \right] \vee \left[w_2 \& (a_2 \sim b_2) \right] \quad \text{äq} \quad z_2$$

In der Dualstelle 3 gilt im Falle, daß w_3 negativ ist, der normale Ansatz:

$$(a_3 \sim b_3) \sim v_3$$

Im Falle, daß w_3 positiv ist, jedoch der Ansatz

$$\overline{a_3 \sim b_3}$$

Im ganzen gilt also der Ansatz:

$$\left[\overline{w_3} \& \overline{(a_3 \sim b_3) \sim v_3} \right] \vee \left[w_3 \& \overline{a_3 \sim b_3} \right] \quad \text{äq} \quad z_3$$

Figur 70 zeigt die Prinzipschaltung der Addition im Dezimalsystem für eine Dezimalstelle. Wir haben zunächst entsprechend Fig. 47 die Bildung der Werte

$$a_1 \vee b_1 \quad \text{äq} \quad c_1 \quad \text{und} \quad a_1 \& b_1 \quad \text{äq} \quad d_1$$

Die Stellenübertragungsschaltung wird dann durch die Glieder c_1 und d_1 gesteuert; ihr Aufbau ist analog dem Schema von Fig. 69. Die Bildung des Wertes $k_1 \quad \text{äq} \quad a_1 \sim b_1$ erfolgt wiederum analog zu Fig. 47. Die Schaltung für das Resultatglied z_0 erfolgt entsprechend der Fig. 47. Bei den Resultatgliedern $z_{1,2,3}$ ist maßgebend, ob u_4 geschaltet ist oder nicht. (Stellenübertrag auf die nächste Dezimalstelle). Durch ein Impulsglied C_1 werden im Falle u_4 das Glied n_1 und im Falle $\overline{u_4}$ die Glieder n_2, n_3 geschaltet. Über n_2, n_3 erfolgt die Schaltung von Gliedern $r_1 \dots r_3$ entsprechend der Fig. 47. (Einfache Addition im Dualsystem). Über n_1 (Addition zuzüglich 11_2) erfolgt die Schaltung von Gliedern $s_1 \dots s_3$ entsprechend den oben gegebenen Ansätzen. $r_1 \dots r_3$ und $s_1 \dots s_3$ wirken parallel auf die Resultatglieder $z_1 \dots z_3$ ein. Fig. 71

zeigt ein Ausführungsbeispiel im Gesamtüberblick. Die Schaltglieder werden auf vier Schichten verteilt. In der Zeichnung oben werden die beiden Summanden a und b zugeführt. In der Mitte liegen die Übertragungsglieder u , v , w . Unten haben wir die Zwischenglieder k und die Resultatglieder z .

Die Figuren 72 ...75 zeigen die Schaltungen für die einzelnen Schichten. In der obersten Schicht A liegen die Schaltglieder zur Schaltung der Zwischenglieder c und diejenigen, welche durch diese Zwischenglieder gesteuert werden. In der zweiten Schicht B liegen entsprechend die zu den Zwischengliedern d gehörenden Schaltglieder. In der dritten Schicht C liegen die Schaltglieder zur Schaltung der Resultatglieder z_0 , sowie der Glieder z_1 , z_2 und z_3 im Falle, daß u_4 nicht geschaltet wird, und in der vierten Schicht D liegen die Schaltglieder zur Schaltung von z_1 , z_2 und z_3 im Falle, daß u_4 geschaltet ist.

Die Figuren 76 ...79 zeigen die Glieder für die einzelnen Schichten. Ihr Aufbau ist im wesentlichen analog den bereits besprochenen Lösungen. Eine Besonderheit weist die Schicht C auf: (Fig. 78b,c) Sie enthält zwei durch u_4 gesteuerte, parallel arbeitende Schaltglieder, durch welche entweder das Glied n_1 oder das Glied n_2 geschaltet wird. Das Glied n_1 überträgt seine Bewegung über Bügel n_4 auf die Schicht D. Das Glied n_2 hat negativ arbeitende Schaltnasen und muß somit seitlich ausweichen. Es ist in Arbeitsrichtung fest mit dem Zwischenglied n_3 verbunden, welches jedoch an der Ausweichbewegung nicht teilnimmt. Das Glied n_3 steht wieder mit den Gliedern $p_1 \dots p_3$ und $q_1 \dots q_3$ in Eingriff, während die Glieder p_0 und q_0 durch das Glied n_0 bewegt werden, welches direkt an den Impuls angeschlossen ist.

Die Glieder $q_0 \dots q_3$ haben negative Schaltnasen und müssen ausweichbewegungen machen. Diese werden bewirkt durch das Glied C_2 und die Bügel $q'_0 \dots q'_4$, welche außerhalb der Schicht liegen und durch das Glied C_3 mit C_2 verbunden sind.

In der Schicht D (Fig. 79b) haben wir zunächst das Glied n_1' , welches von der Schicht C her über die Bügel n_4 bewegt wird. Da der Aufbau der Schaltung für jede einzelne der 3 Stellen 1, 2, 3 verschieden ist, so ist auch die Gestaltung der einzelnen Glieder entsprechend mannigfaltig. Die Formen halten sich jedoch an bereits besprochene Lösungen. Zu beachten ist, daß die Glieder t_2, t_5, t_6, t_7 außer der Arbeitsbewegung noch ausweichbewegungen machen müssen, welche durch die Glieder D_1, D_2 bewirkt werden.

Die Figuren 80...85 zeigen ein Speicherwerk. Dieses ist schichtweise aufgebaut, wobei jede Schicht der Speicherung einer Zahl dient (= einer Speicherzelle). Im geeigneten Beispiel ist die Kapazität einer Zelle auf 4 Ja-Nein-Werte begrenzt, d.h. man könnte eine vierstellige Dualzahl speichern. Diese Begrenzung ist jedoch nicht prinzipiell. Neben den eigentlichen Speichergliedern liegen die Schaltglieder zum Auswählen der Zellen (Schicht) und zum Steuern des Speicher- und Ableseprozesses.

Die eigentlichen Träger der Speicherung sind die Glieder a_i, b_i . Die Glieder c_i gehen über sämtliche Schichten und dienen der Übertragung der Speicherkombinationen (der zu speichernden Werte) von außen auf die Speicherzellen. Durch ein Steuerglied r werden sie mit den Gliedern a_i der betreffenden Schicht verbunden. Die Glieder dienen der Übertragung der auf den Speicherzellen stehenden Speicherkombinationen nach außen. Sie können durch ein Glied j geschaltet werden.

In jeder Schicht befindet sich eine Schaltgliedkette, gesteuert durch die Glieder e_1, f_1, f_0 . e_1 stellt das Sign. 1 dar, das angelesen werden soll, d.h. das ein Wert aus den Speicherwerk auf die Glieder d übertragen werden soll. f_1, f_0 stellen die Nummer der Zellen dar. In diesem Beispiel ist diese Nummer nur als zweistellige Dualzahl ausgebildet. Jedoch kann die Zellenanzahl und somit die Stellenanzahl beliebig erhöht werden. Mit einer zweistelligen Dualzahl als Zellennummer können 4 Zellen gesteuert werden.

Im Falle, daß e_1 geschaltet ist, und an den Gliedern i die Nummer der betreffenden Schicht eingestellt ist, wird über die Schaltgliedkette 1, 2, 3 mit den Gliedern i, j_1, j_2 das Glied j_2 der betreffenden Zelle gezogen und somit die auf den Gliedern b stehende Speicherangabe auf die Glieder d übertragen (Ablesevorgang).

Der Speichervorgang ist etwas komplizierter. e_2 ist das Signal dafür, das gespeichert werden soll. Auf die Glieder h_0, h_1 muß wieder die Nummer der Zelle eingestellt werden. Die Speicherglieder a, b sind durch eine Schiene l verriegelt. Der Speichervorgang zerfällt nun in fünf Einzelvorgänge:

- | | |
|---|----------------------------|
| | ausgelöst
durch Impuls: |
| 1. Antriegeln der Speicherglieder, | IV |
| 2. Löschen der bisher gespeicherten Angabe, | I |
| 3. Hinschwenken der Hebel a_1 , | II |
| 4. Einstellen der neuen Angabe, | III |
| 5. Verriegeln der Speicherglieder, | IV |

Die Schaltung arbeitet so, daß auf Schritt IV stets entriegelt bzw. verriegelt wird, je nachdem ob ein Speicherkommando gegeben wird oder nicht. Wir haben daher eine Schaltgliedkette 4,5,6, welche dem Speicherkriterium entspricht, und eine

Schaltgliedkette 7,8,9, welche den logischen Gehalt dieses Kriteriums enthält. Wie die erste Schaltgliedkette wird die Schiene 1 nach links (entriegeln), durch die zweite nach rechts (verriegeln) bewegt. Die Schiene 1 ist beidseitig frei beweglich, weswegen schaltungsmäßig die Glieder 1_x (x -Bewegung der Schiene 1) und 1_y (y -Bewegung der Schiene 1) unterschieden werden können. Wird die Schiene 1 nach links gezogen, so wird beim nächsten Impuls über die Schaltglieder 10,11 die y -Bewegung der Schiene 1 ausgelöst. Hierdurch werden die Speicherglieder a, b gelöst (siehe unten). Gleichzeitig wird durch die y -Bewegung der Schiene 1 unter ein Zwischenglied p und das Schaltglied 12 das Glied r geschaltet, wodurch die Übertragung von den Gliedern c auf die Speicherlieder a, b stattfindet. Schließlich wird die Schiene 1 wieder in Riegelstellung gebracht.

Fig. 81 zeigt eine Gesamtansicht des Speicherwerkes.

Fig. 82 zeigt die einzelnen Glieder. Die Speicherglieder a, b sind als einfache Hebel ausgebildet. Die Elemente der Schaltglieder 1...9 sind in einzelnen nicht gezeichnet, da es sich um bereits weiter oben beschriebene Elementarschaltungen handelt. Die Hebel a, b drehen um Stifte 15, welche in Längsausschnitten 14 des Festliedes g geführt sind. Die Schiene 1 hat Ausschnitte 15 mit Lasen 16, welche die Stifte 15 und somit die Hebel a, b verriegeln. Die ($-x$)-Bewegung der Schiene 1 wird durch den Ausschnitt 17, der mit dem Schaltglied 6 (Fig. 80) in Eingriff steht, bewirkt. Die ($+x$)-Bewegung wird durch den mittleren Hebel n_3 mit dem Stift 18 bewirkt. Die Ausschnitte 10, 11 der Schiene 1 stehen in Eingriff mit den Impulsboizen 19, 20, welche durch sämtliche Schichten hindurch-

reichen, wodurch die y -Bewegung der Schiene bewirkt wird.

Fig. 83 zeigt die Bewegungsphasen beim Speichern und Ablesen. Es wird angenommen, daß in der betrachteten Zelle vorher die Angabe $++$ gespeichert war, daraufhin die neue Angabe $+-$ gespeichert werden soll, und diese unmittelbar darauf abgelesen werden soll. Es sind nur die für die Funktion nötigen Ausschnitte der Glieder gezeichnet.

Ein besonderes Merkmal des Speicherwerkes ist es, daß Speicher- und Ableseprozesse zugleich kommandiert werden können, und zwar sowohl in der gleichen als auch in verschiedenen Zellen.

Zum Schluß sei noch einiges über die konstruktive Ausgestaltung der Schaltglieder im einzelnen gesagt. Bei den oben gezeigten Schaltgliedern wurden Stifte von zylindrischer Form verwendet, deren Achse senkrecht zur Gliedebeine steht. Es ist unter Umständen vorteilhaft, an Stelle dieser Rundstifte Vierkantstifte zu verwenden. Zunächst hat ein Vierkantstift den Vorteil der Flächen- anstelle der Linienberührung. Darüber hinaus besteht jedoch die Möglichkeit, dem Stift verschiedene Breiten in Steuer- und Arbeitsrichtung des Schaltgliedes zu geben. Macht man die Länge des Stiftes in Arbeitsrichtung (x -Richtung Figur 84) größer als die Höhe des Stiftes, so hat dies den Vorteil, daß die symmetrische Anordnung der Glieder zu Paaren entsprechend Fig. 1 nicht erforderlich ist. Fig. 85 zeigt, wie bei beiden verschiedenen Konstruktionsmöglichkeiten die Kupplung zwischen den Gliedern sich auswirkt.

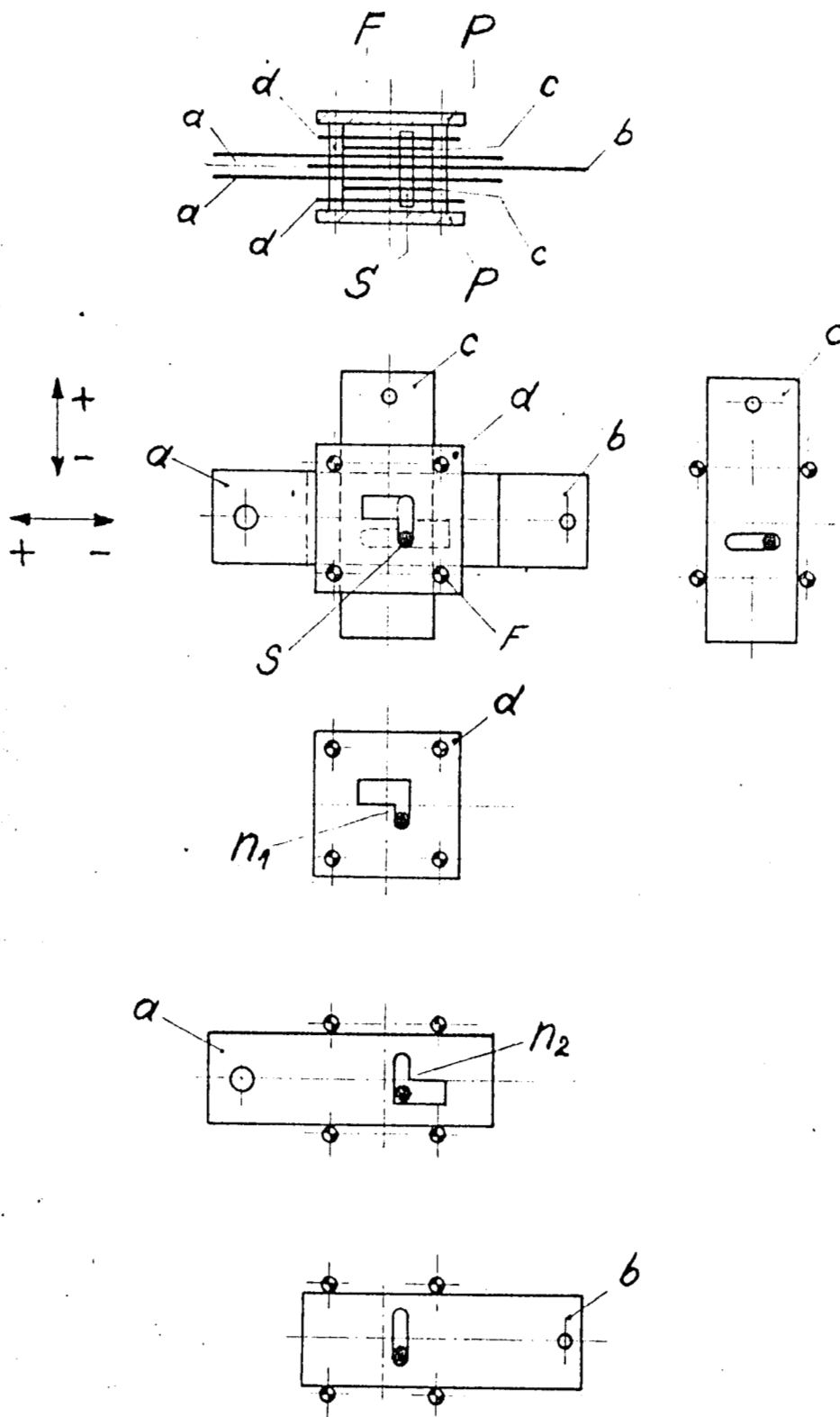
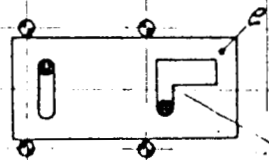
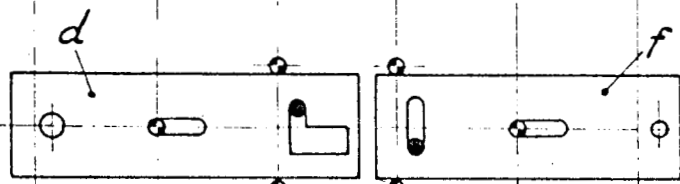
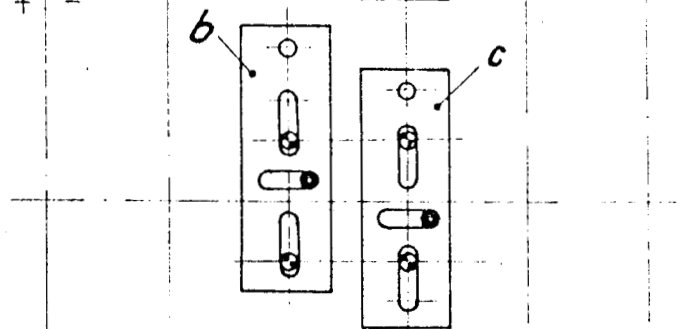
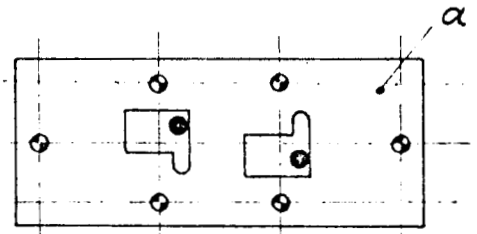
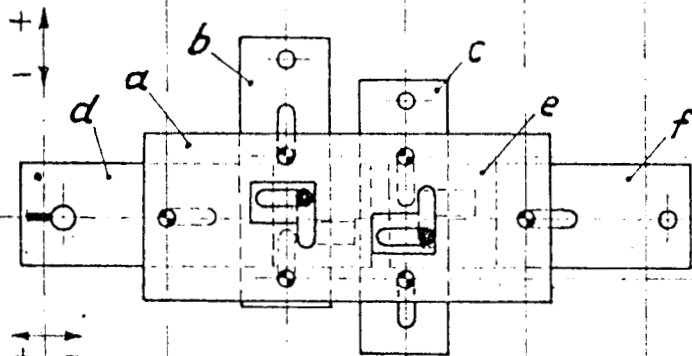
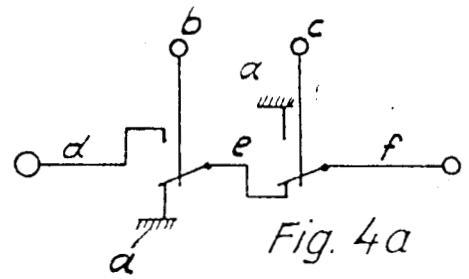
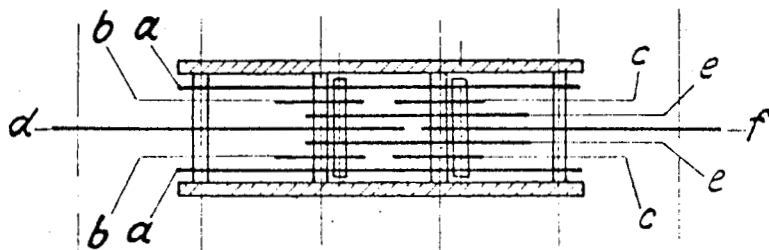


Fig. 1



n_3 Fig. 4

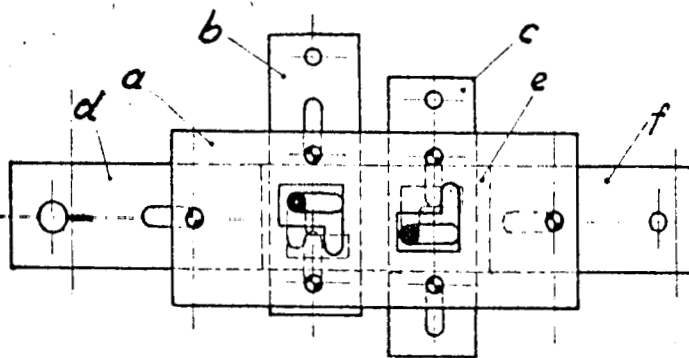


Fig. 5

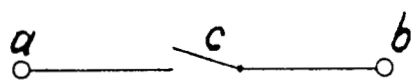
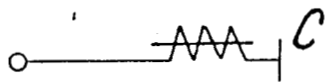


Fig. 2

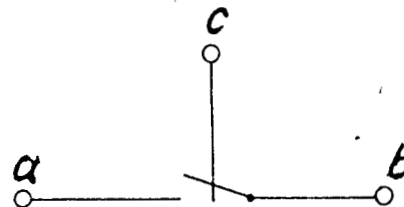


Fig. 3

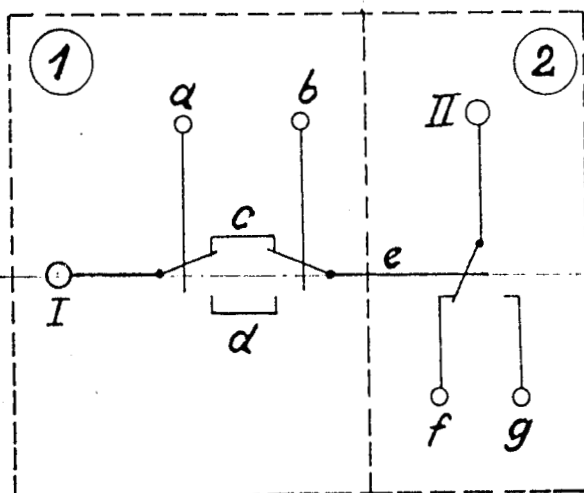


Fig. 6

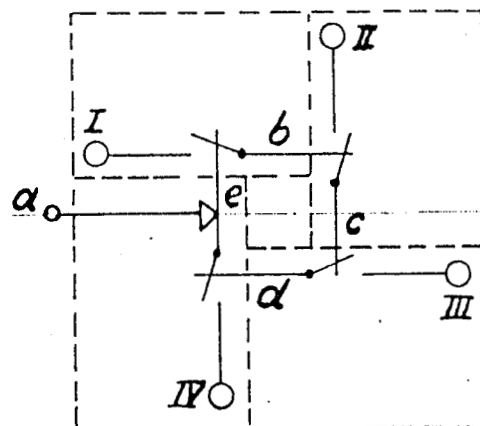


Fig. 7

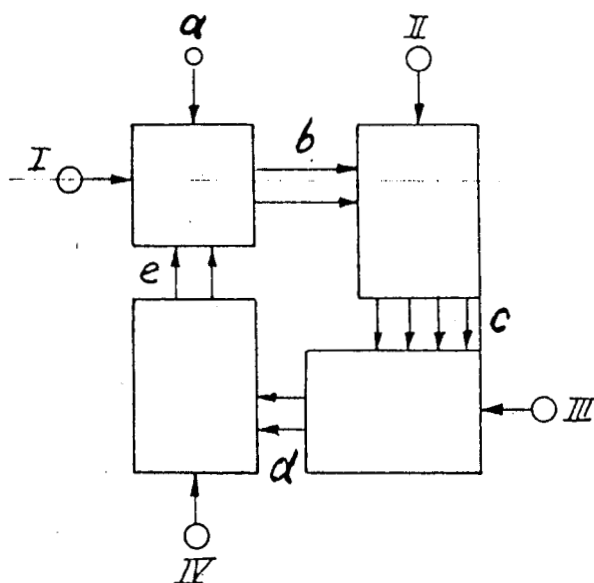


Fig. 8

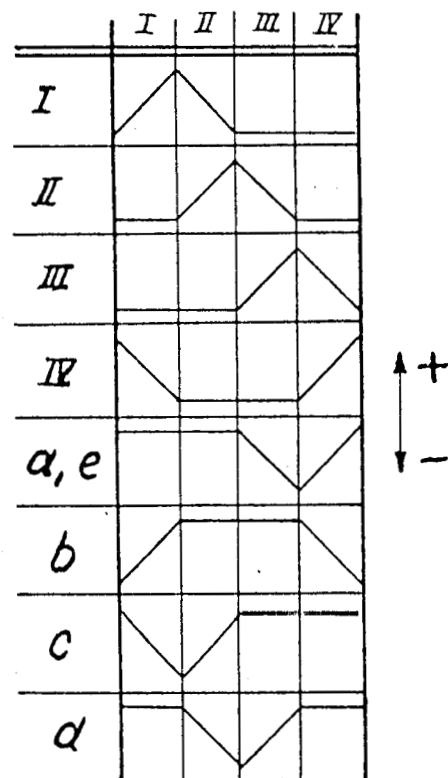


Fig. 9

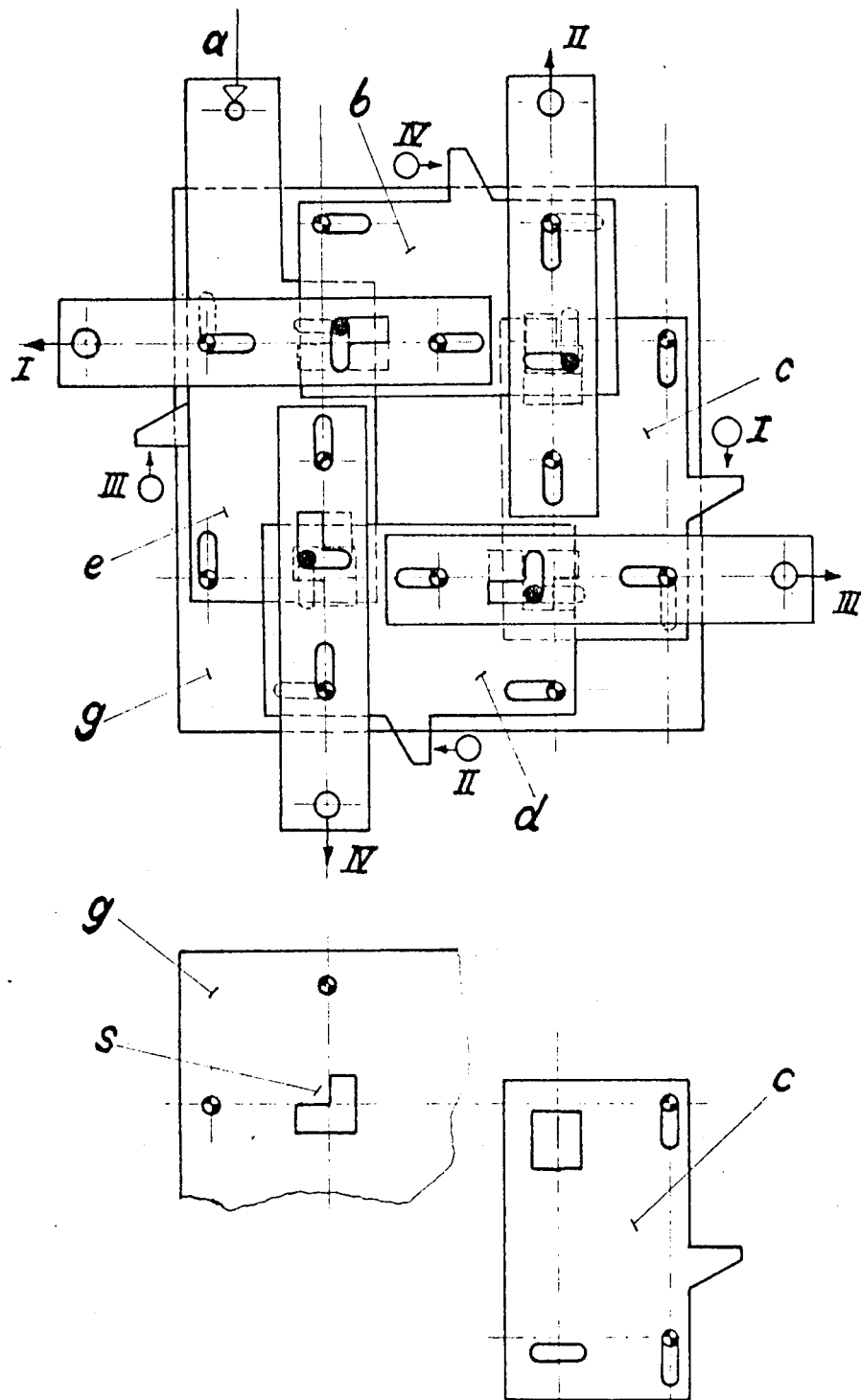


Fig. 10

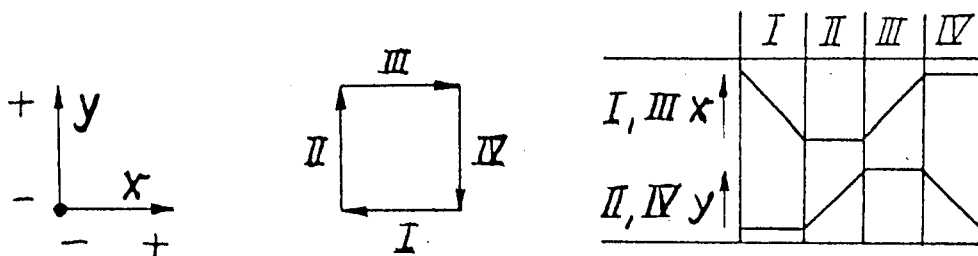


Fig. 11

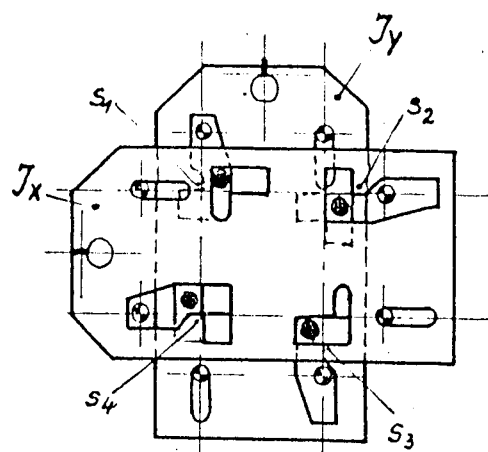
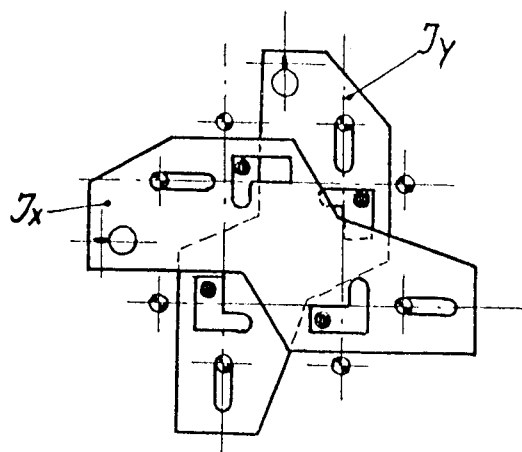
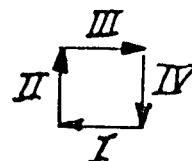
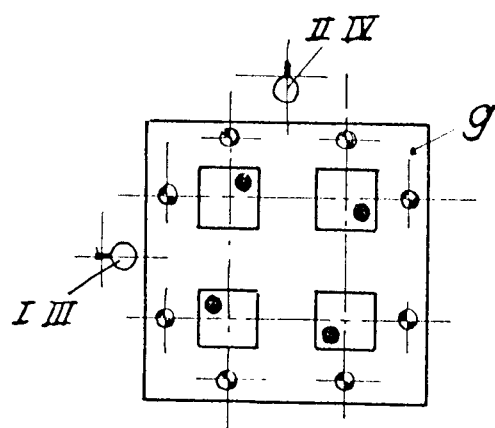


Fig. 13

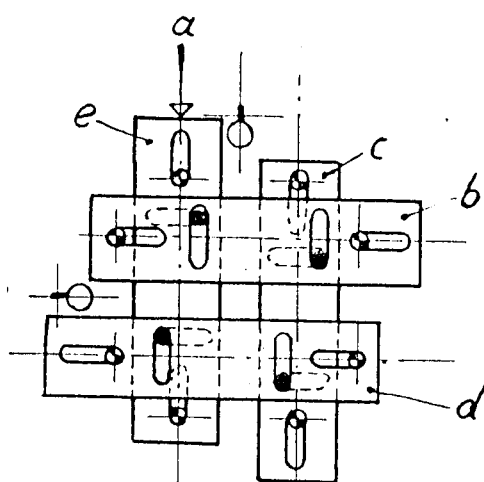


Fig. 12

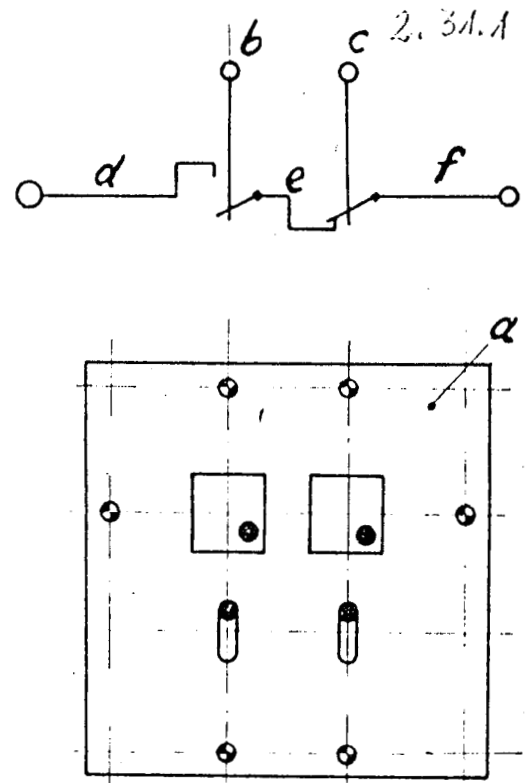
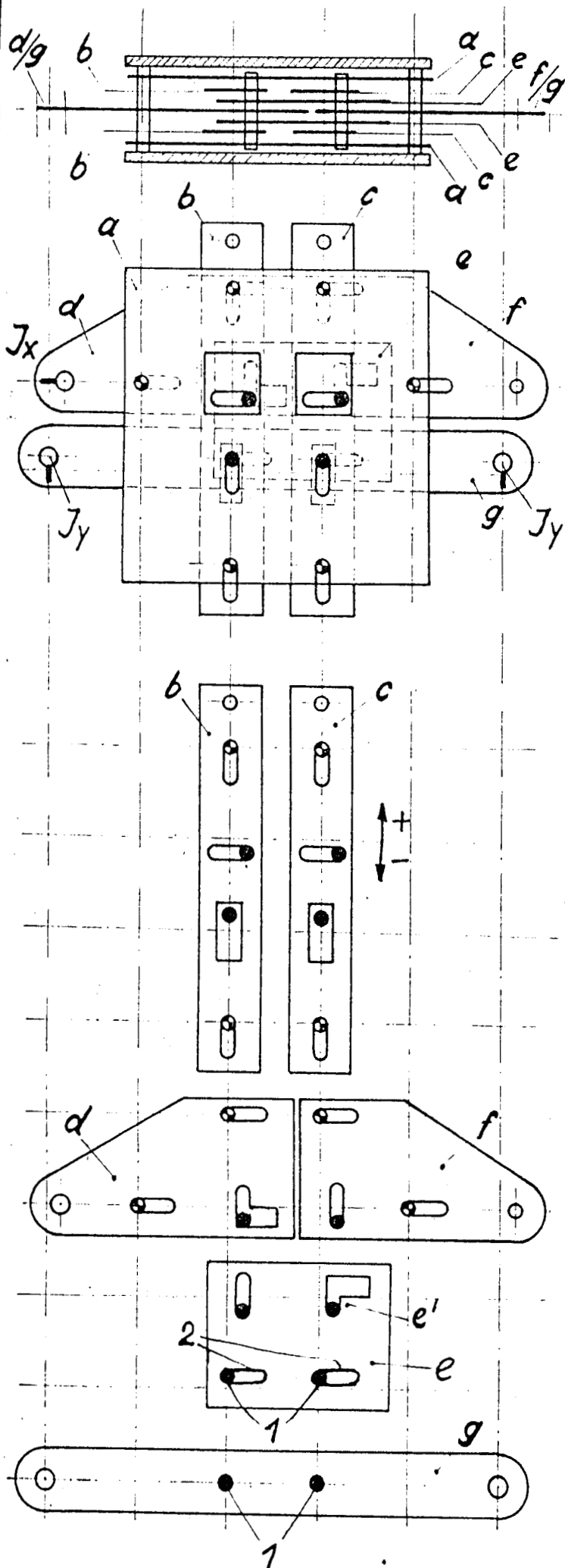
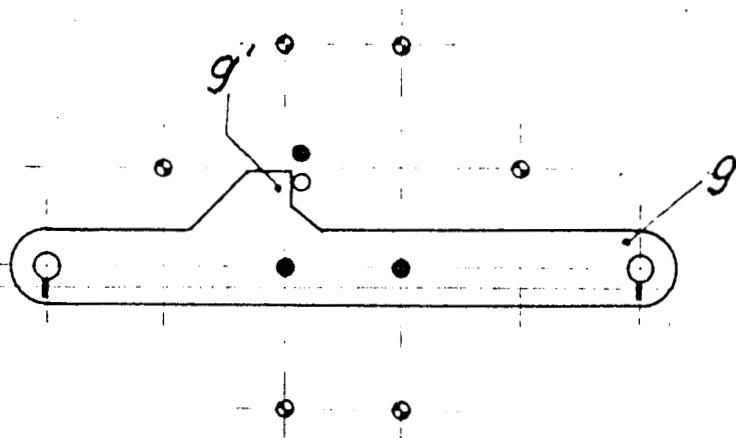
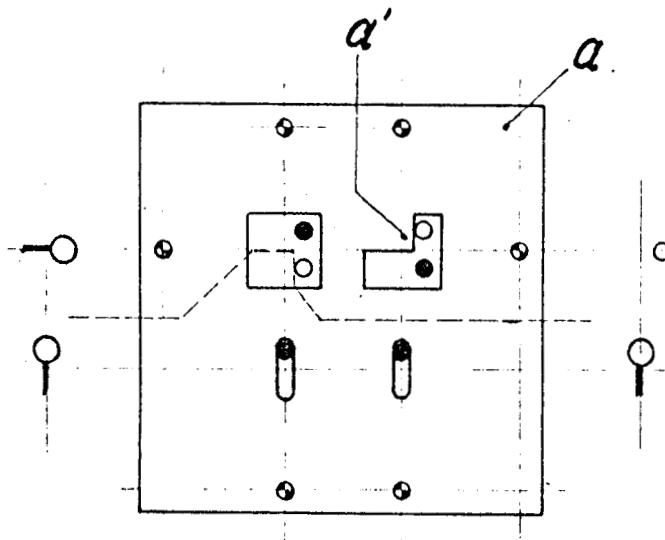
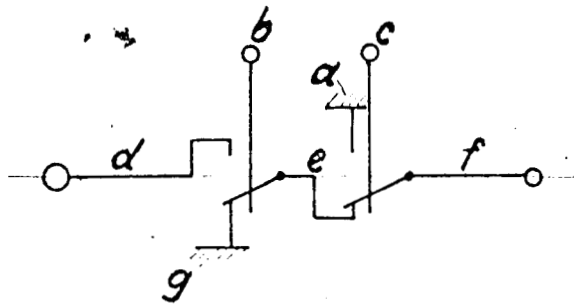


Fig. 14

Fig. 16.

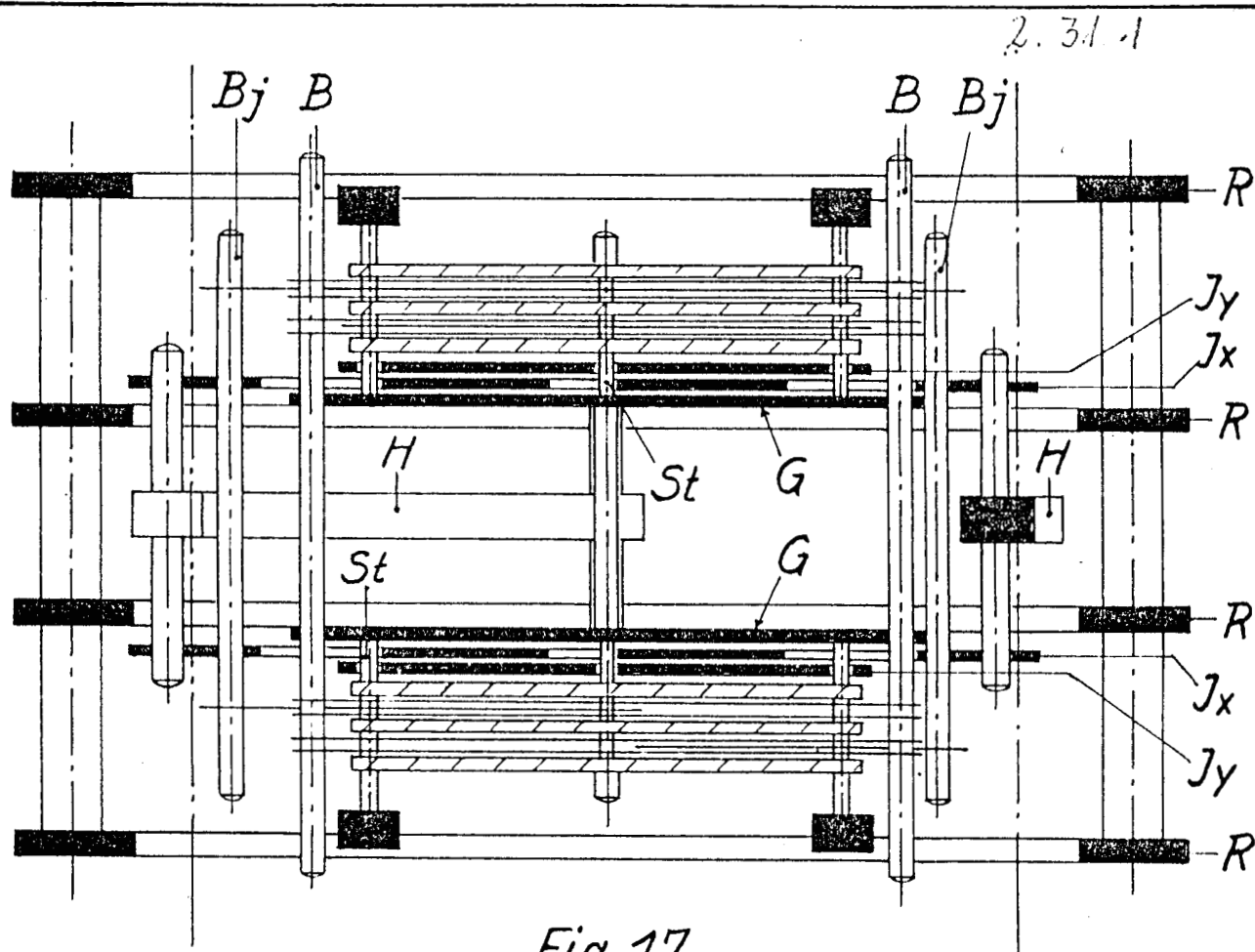


Fig. 17

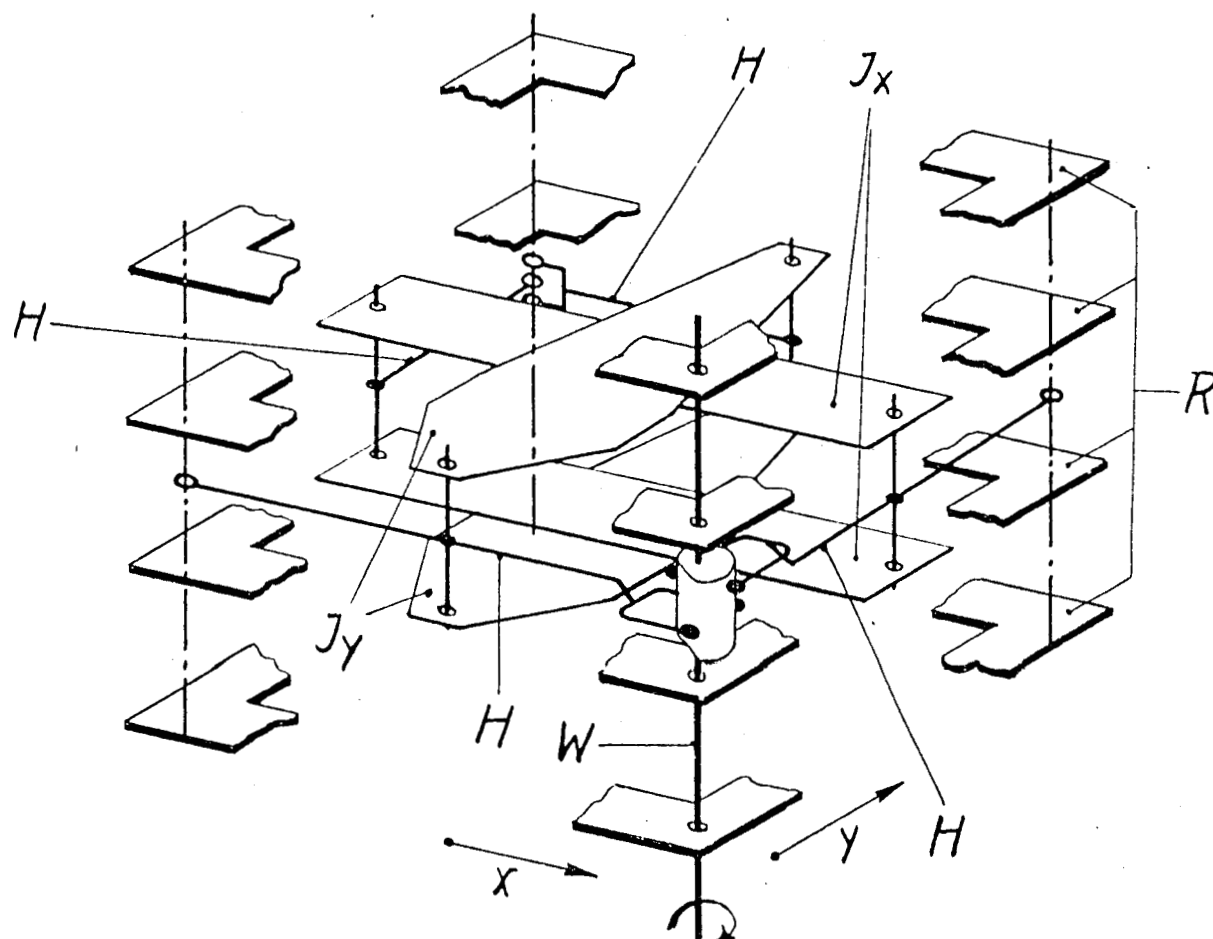


Fig. 20

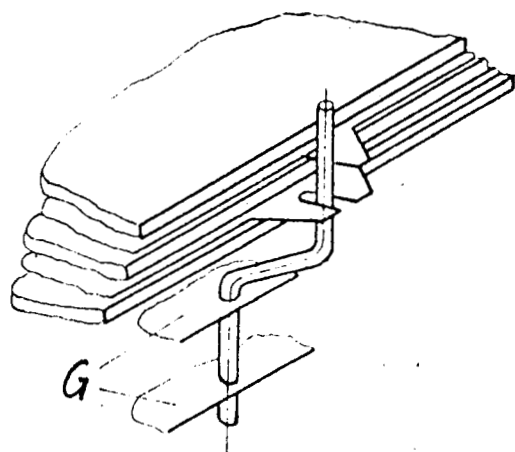


Fig. 18

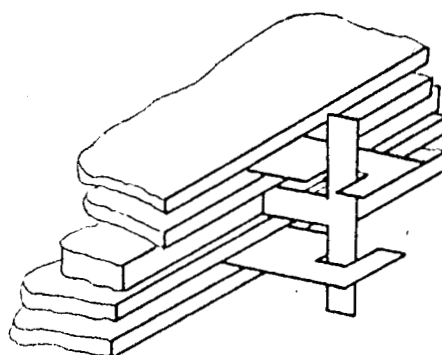


Fig. 19

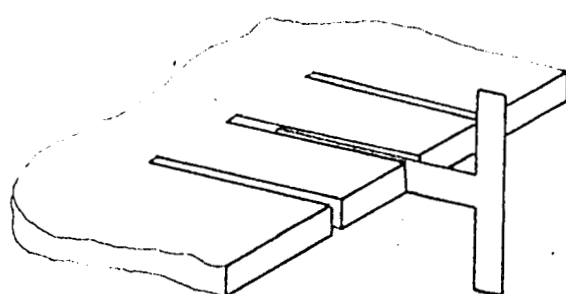


Fig. 19a

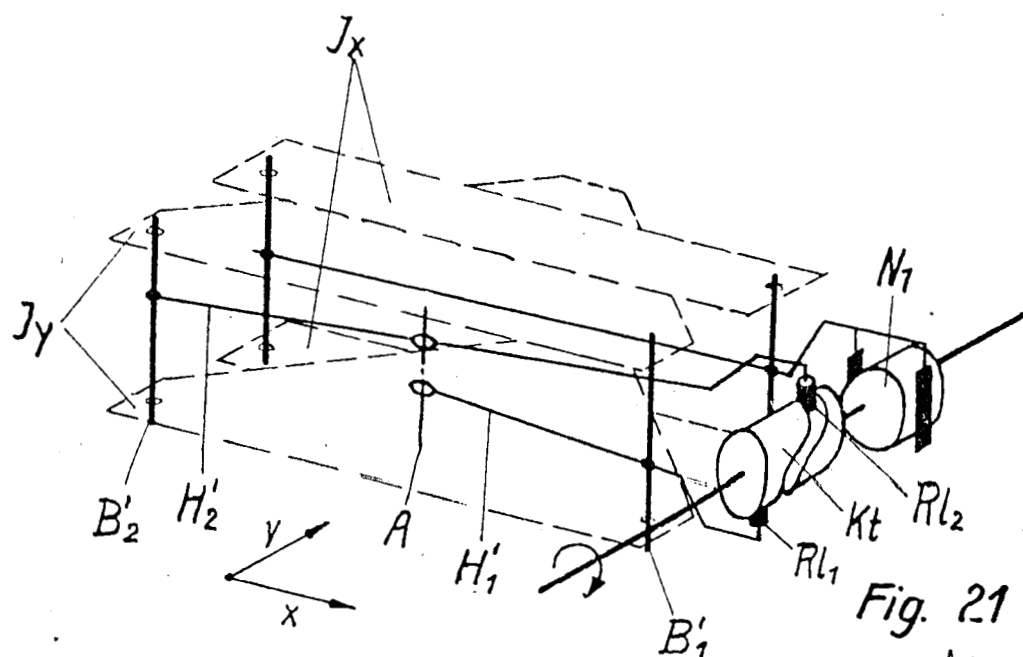


Fig. 21

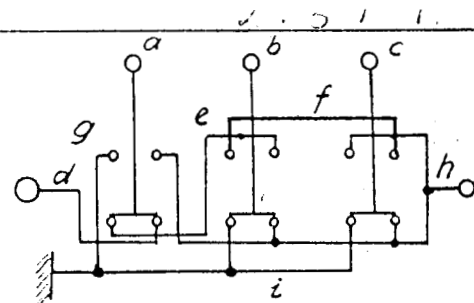
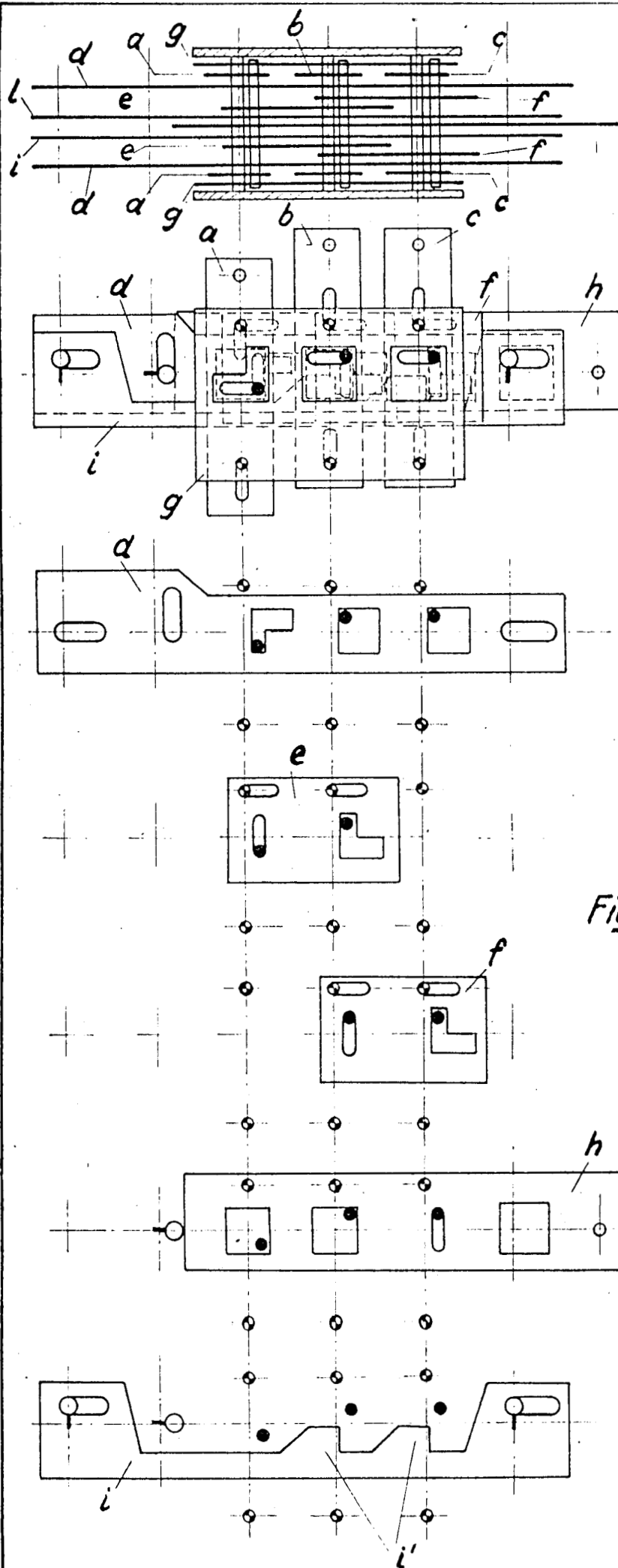


Fig. 24

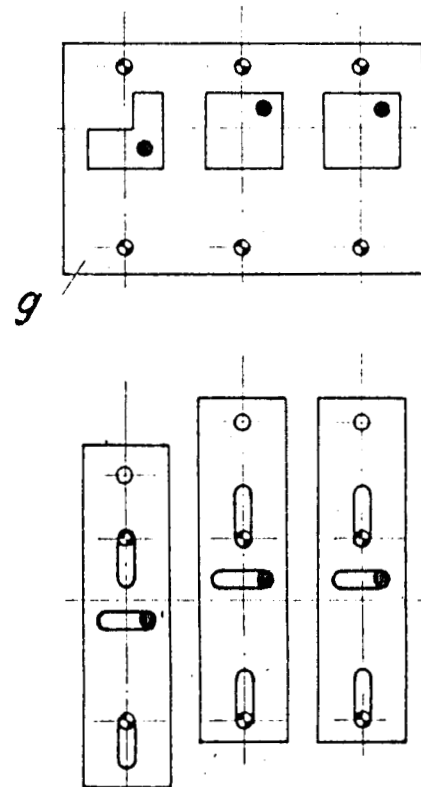


Fig. 25

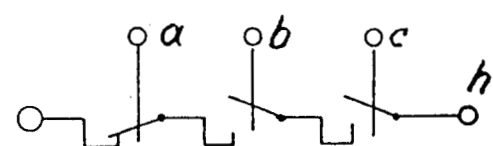


Fig. 22

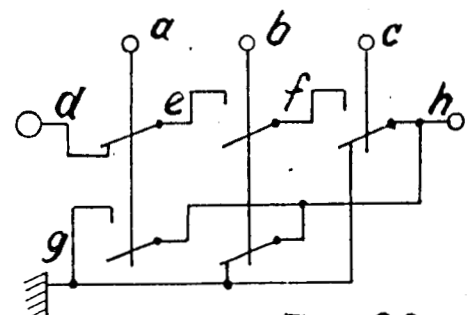


Fig. 23

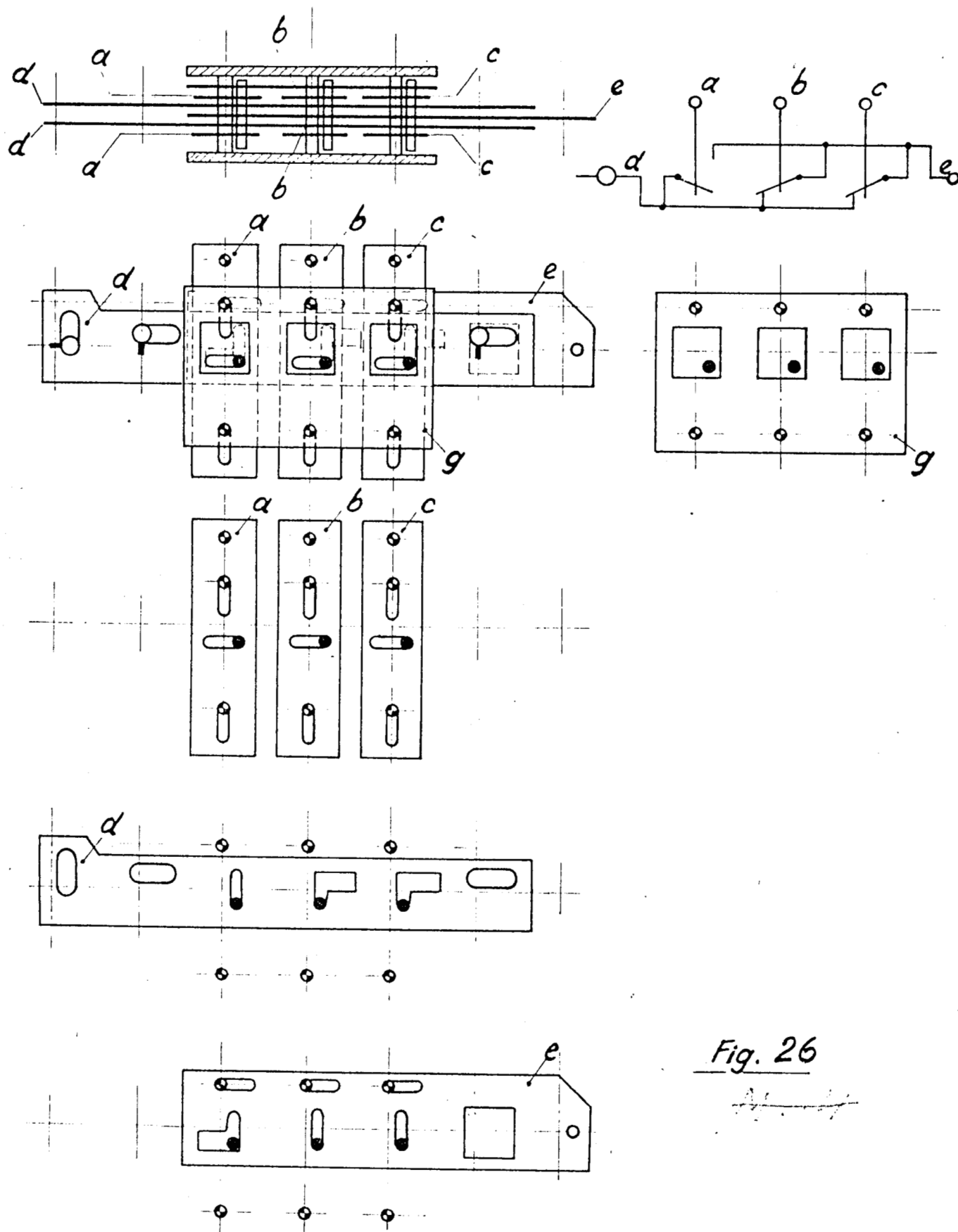
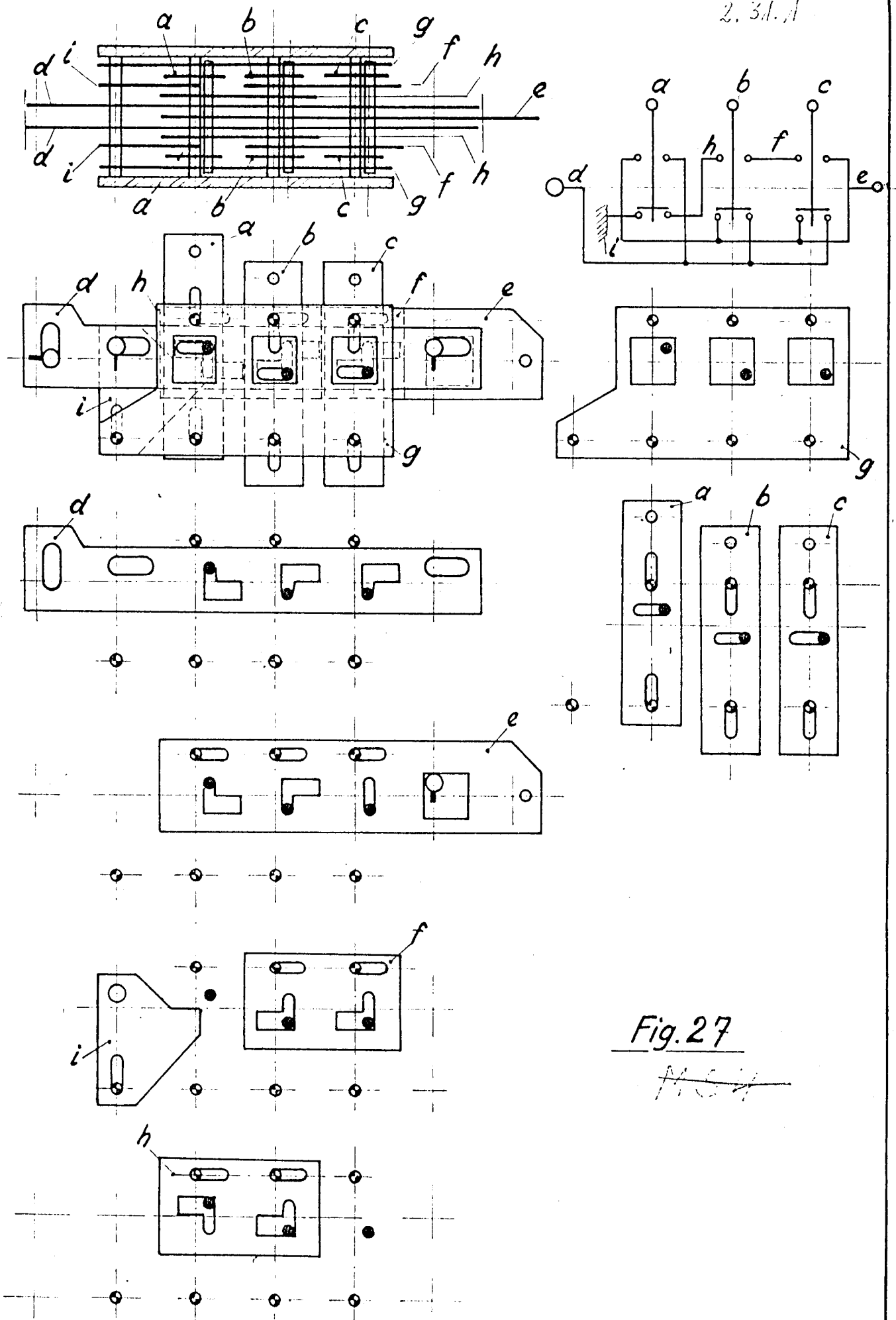


Fig. 26



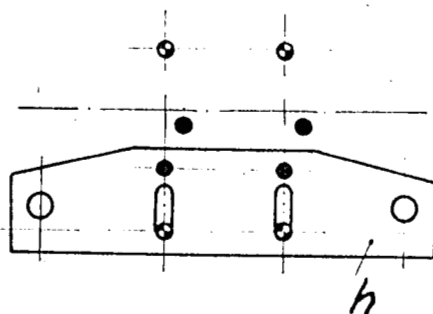
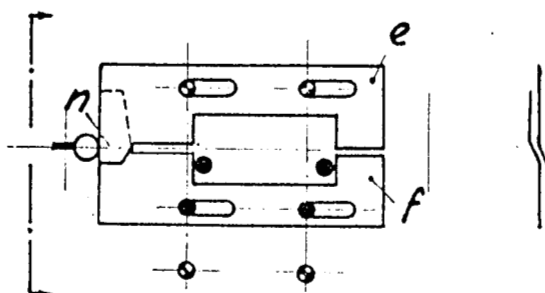
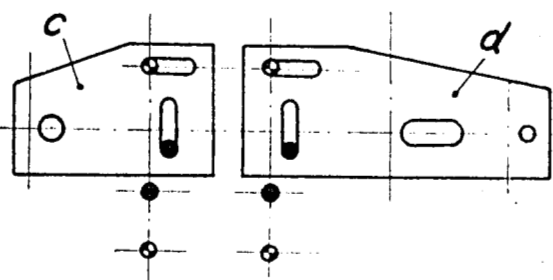
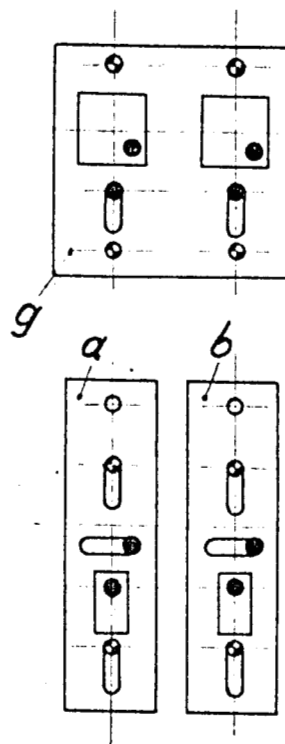
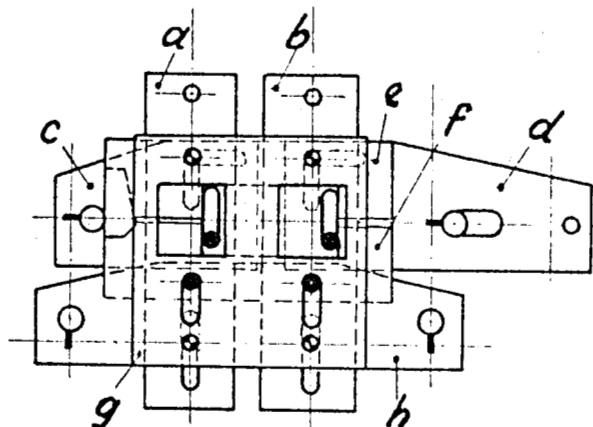
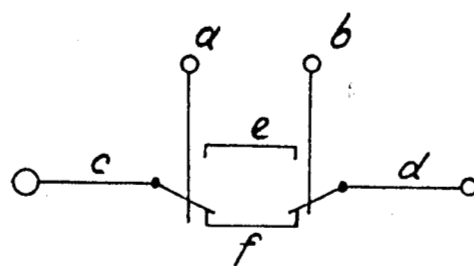
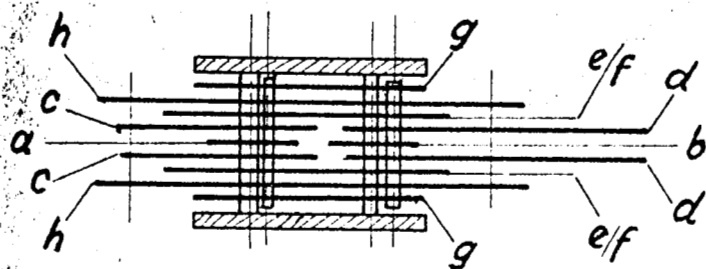


Fig. 28

Handwritten signature

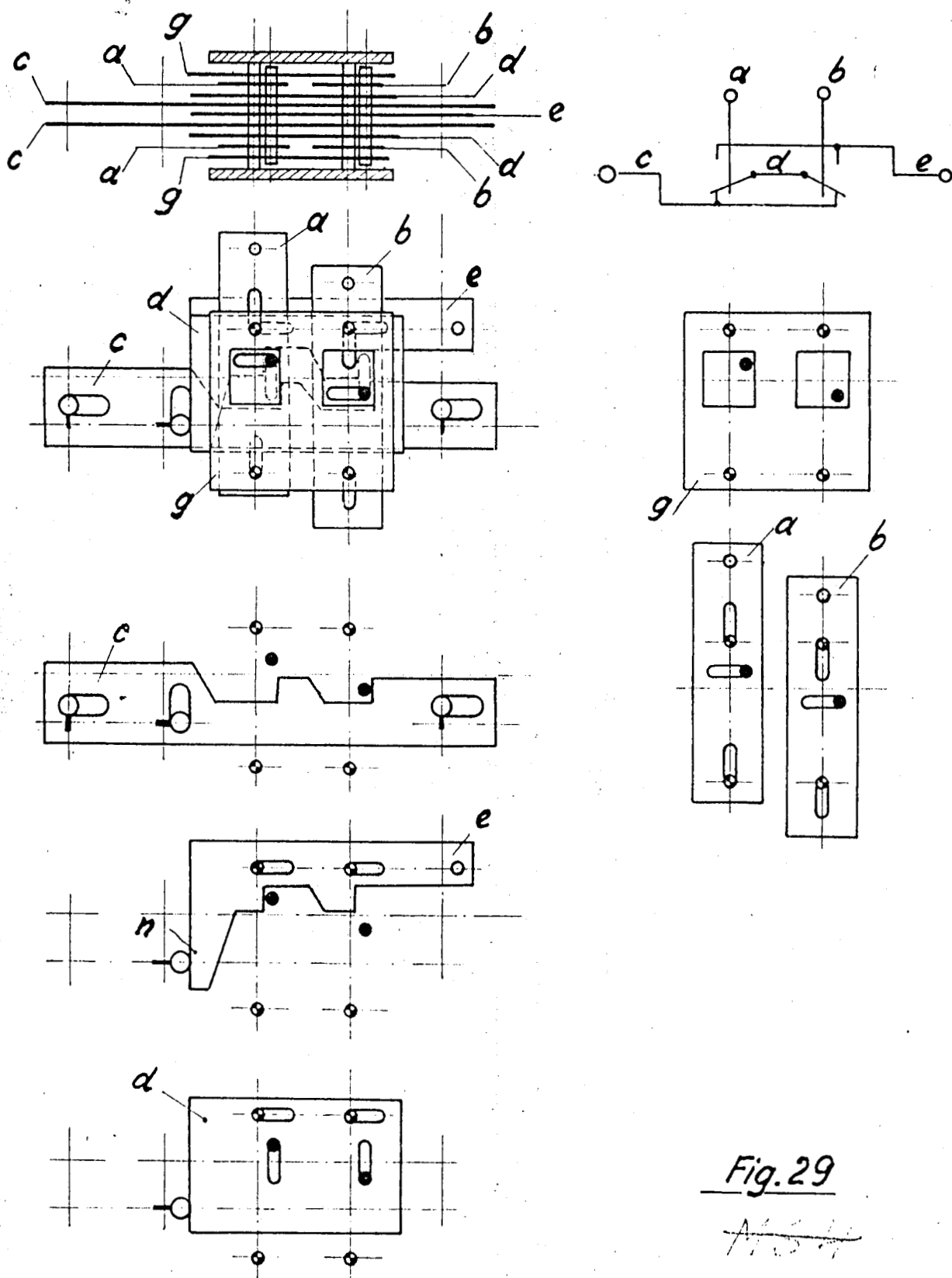


Fig. 29

1/34

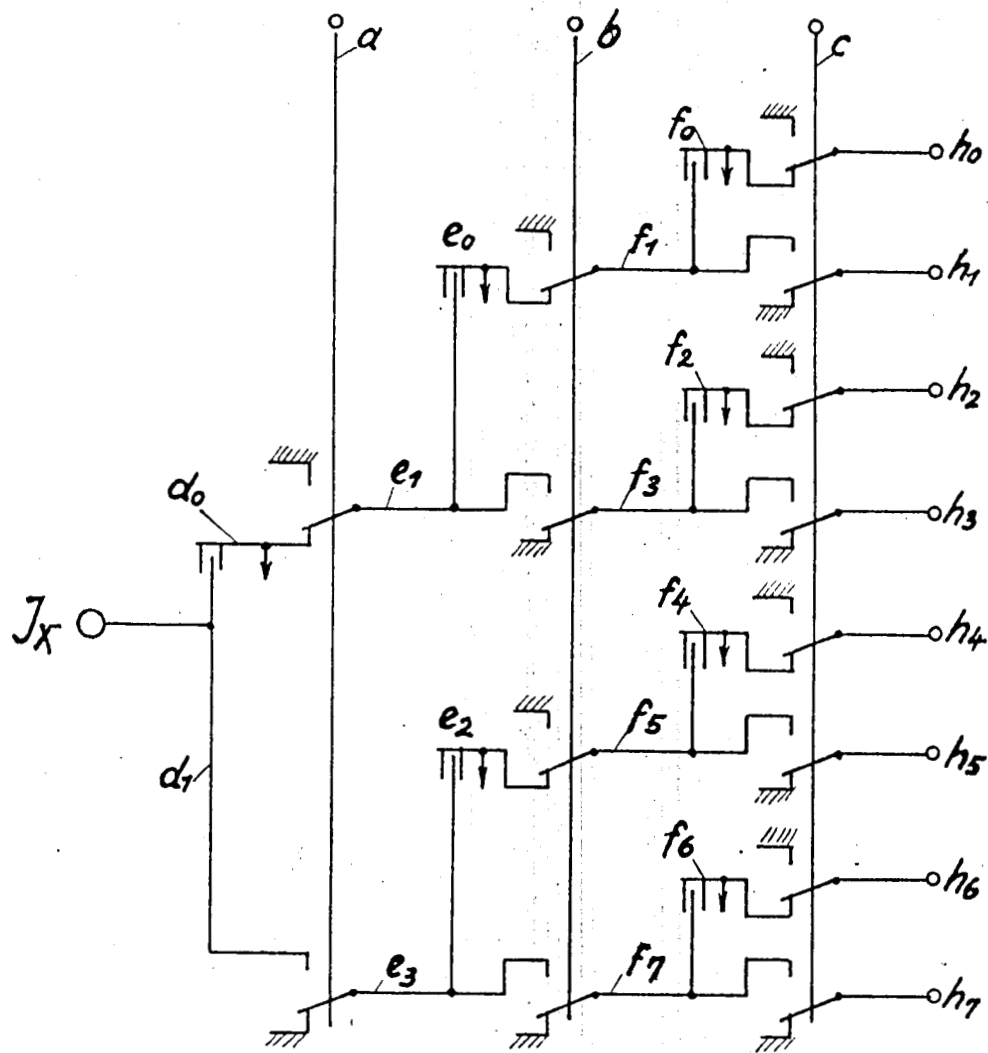


Fig. 30

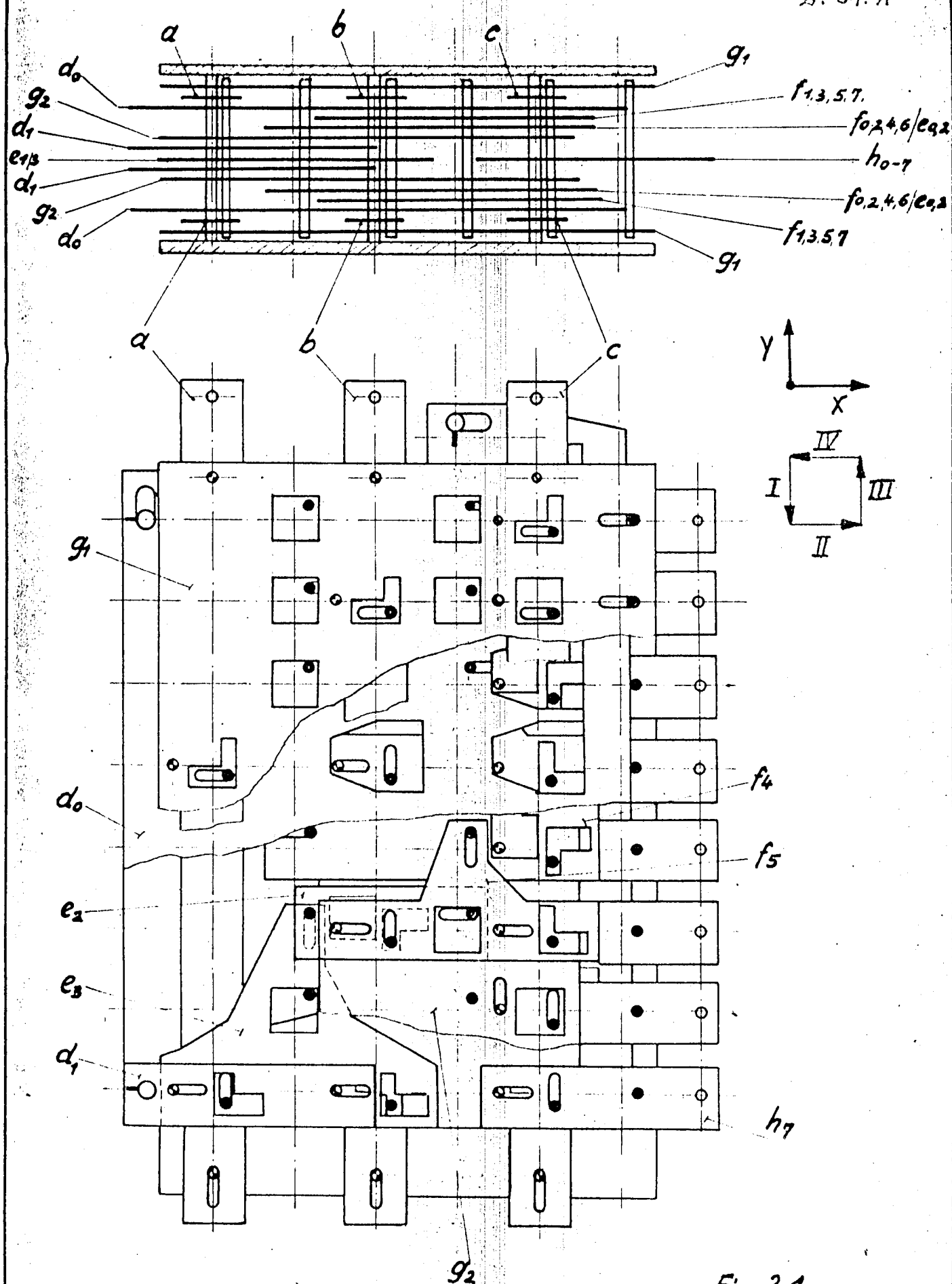
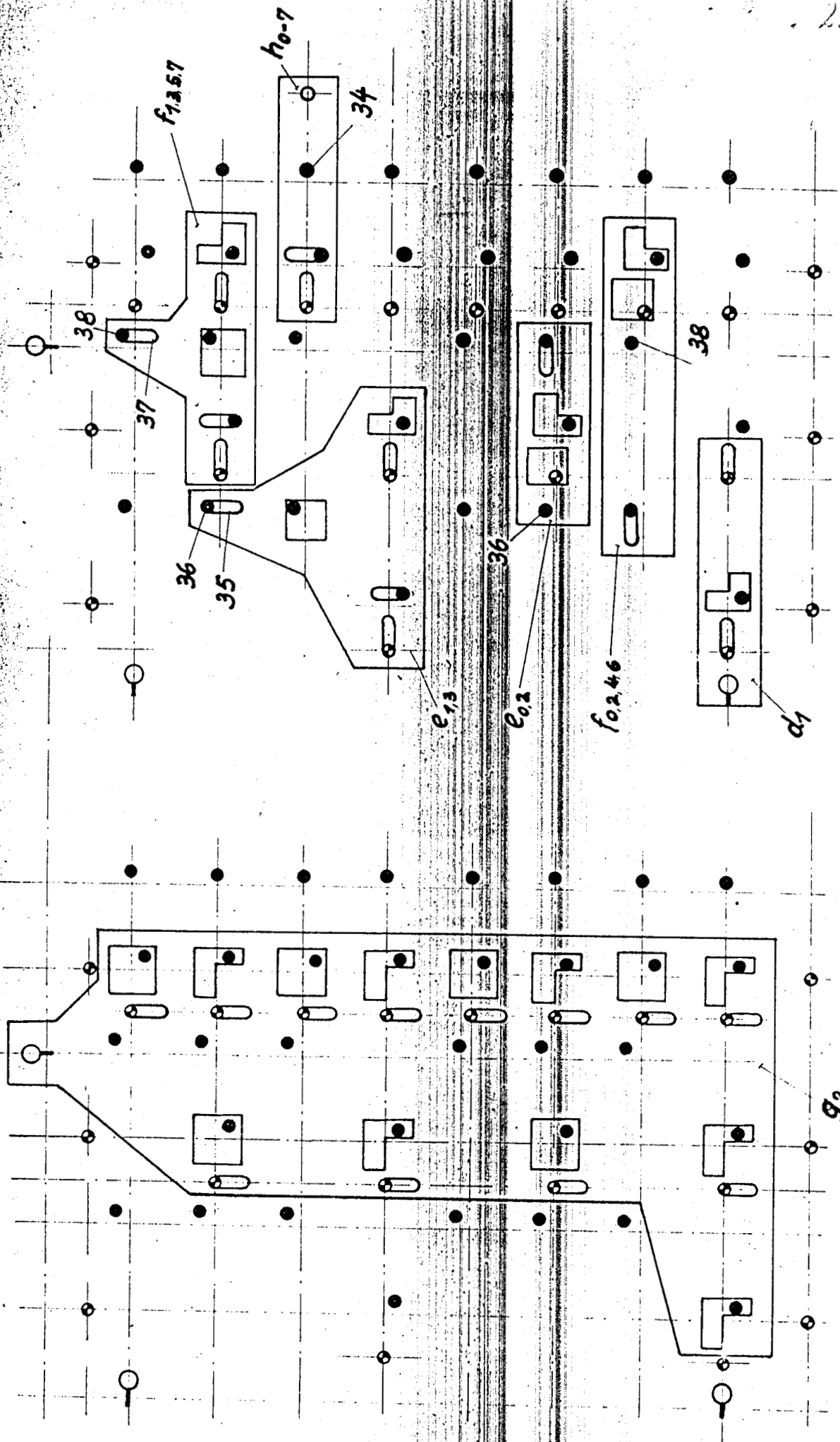


Fig. 31

Fig. 35

Fig. 34



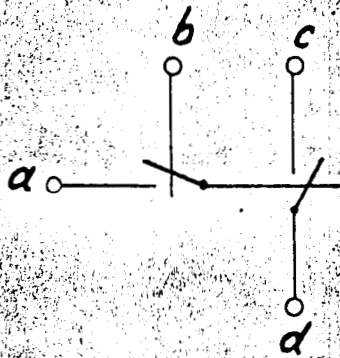


Fig. 36

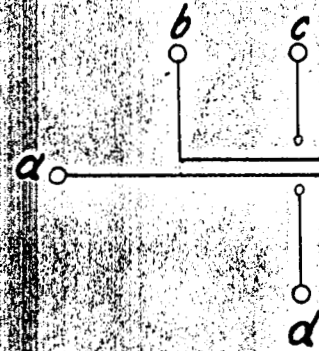


Fig. 37

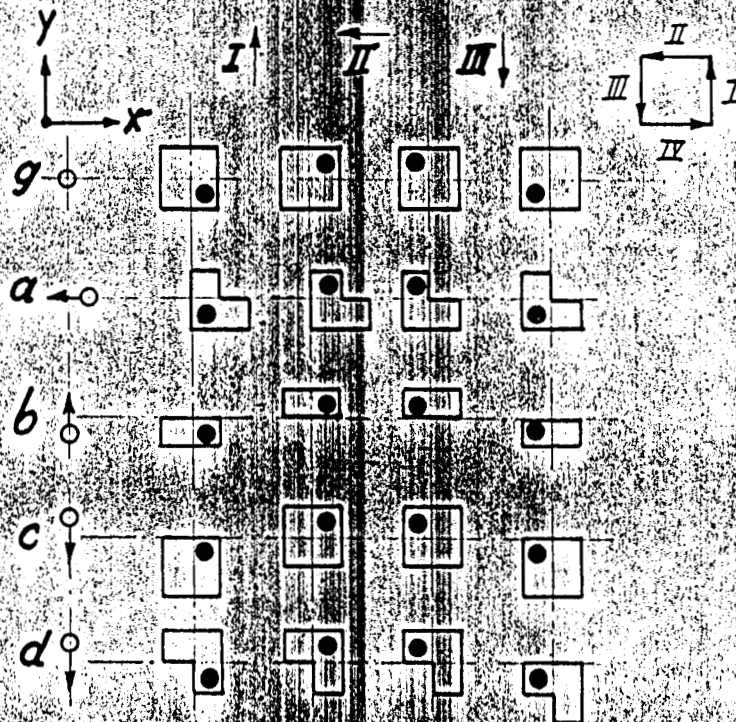


Fig. 38

MS 4

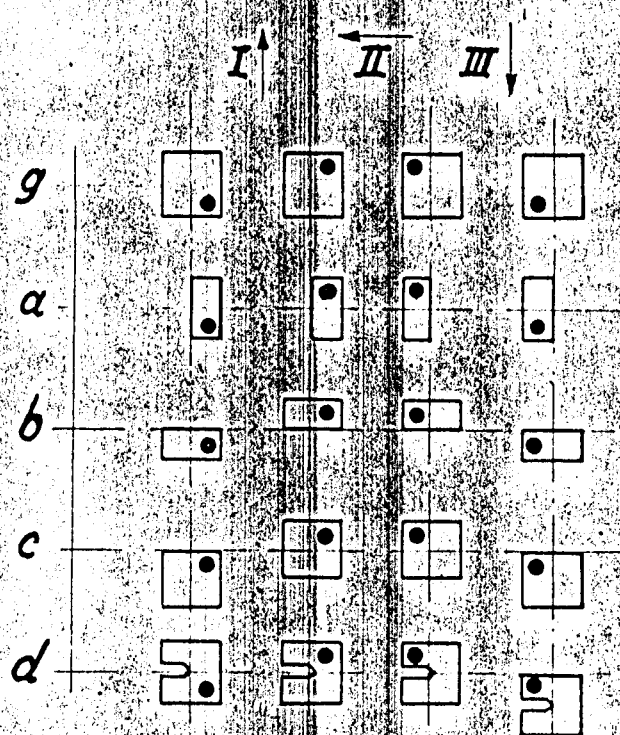


Fig. 39

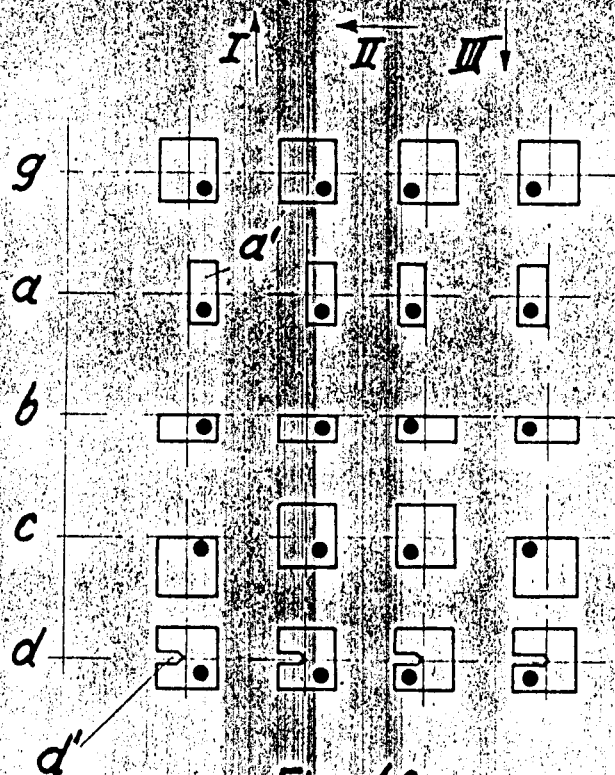


Fig. 40

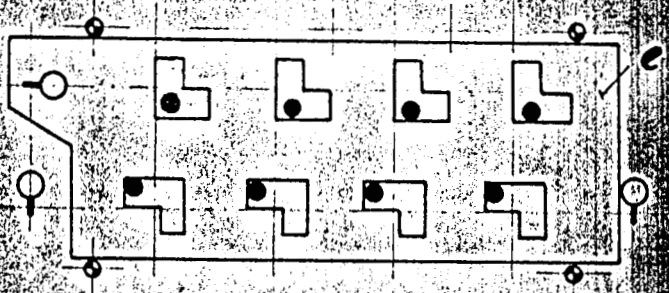
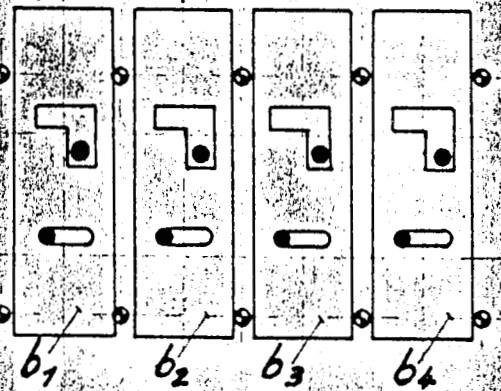
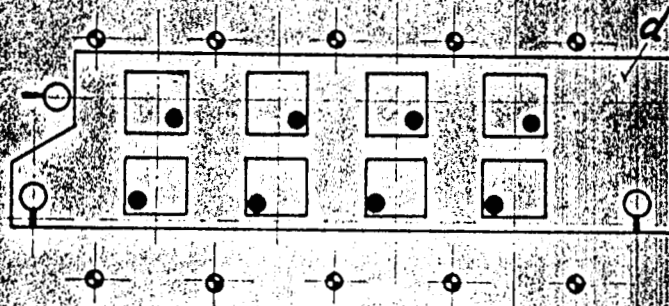
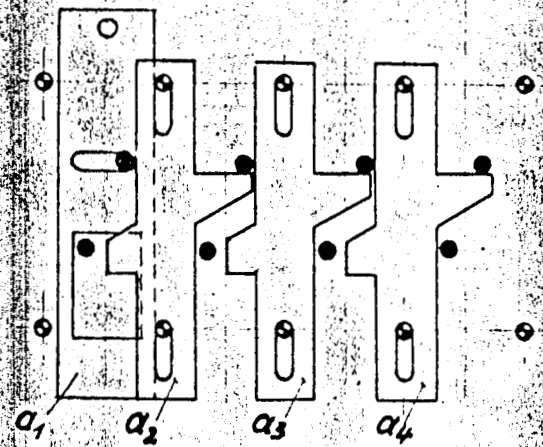
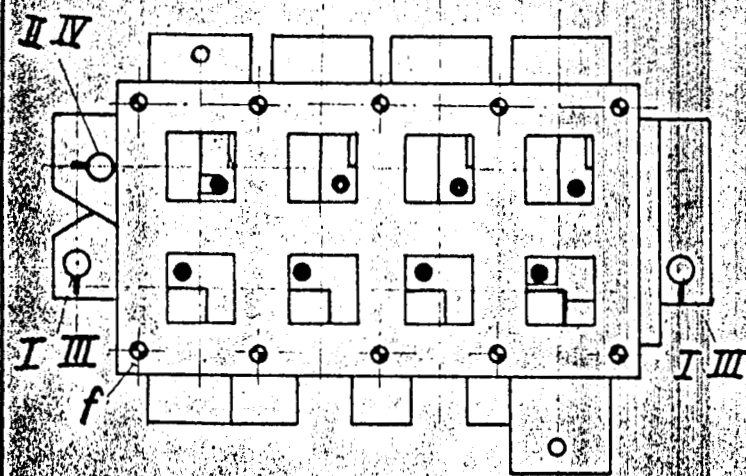
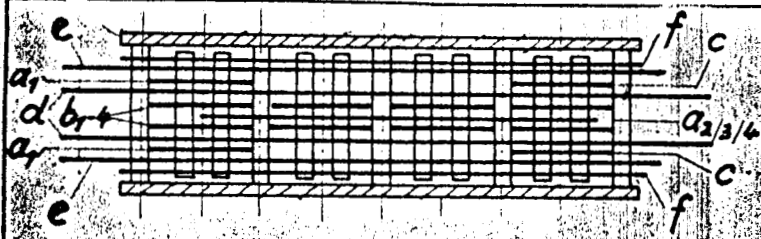
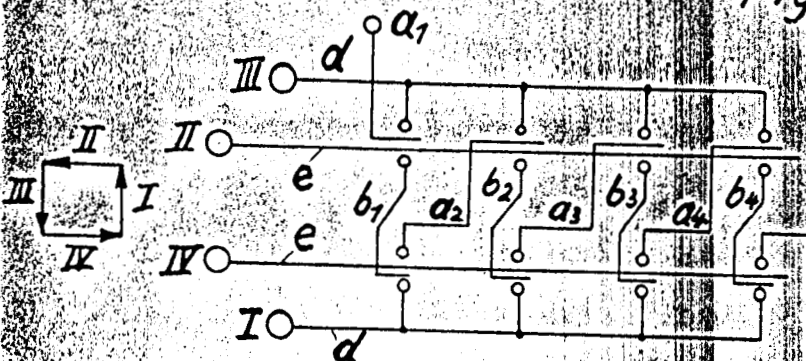
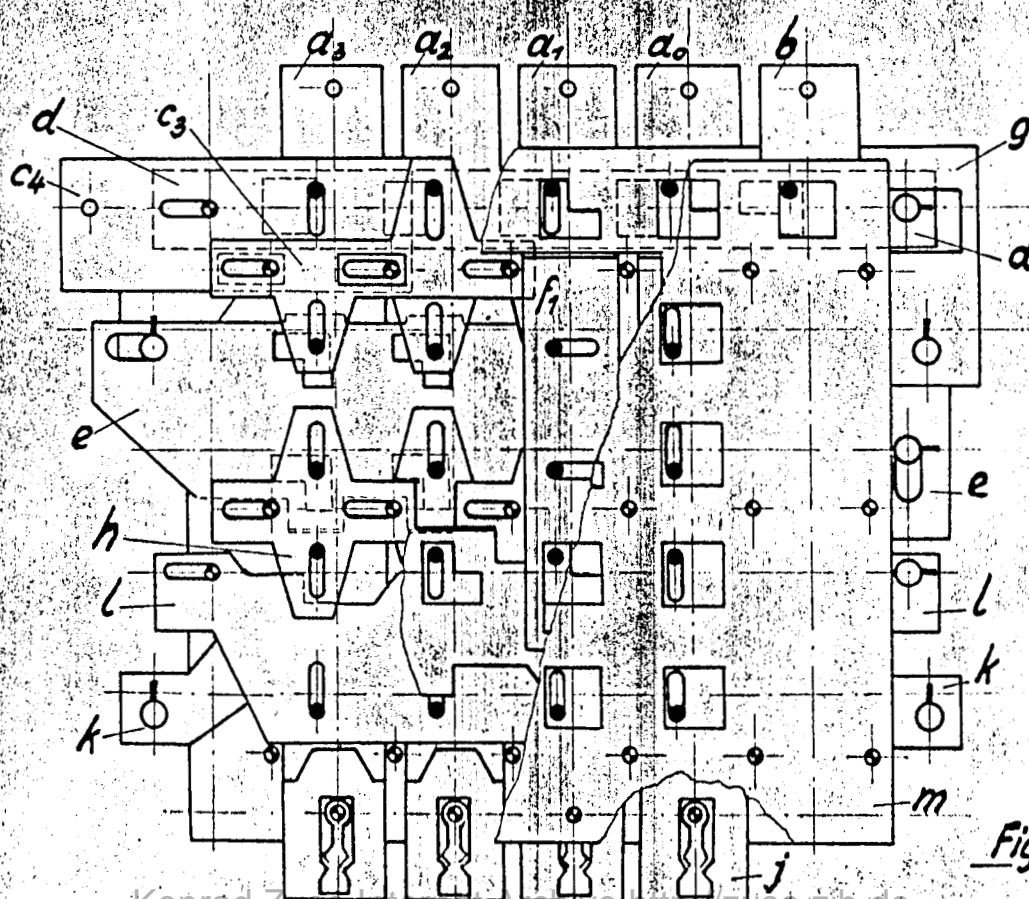
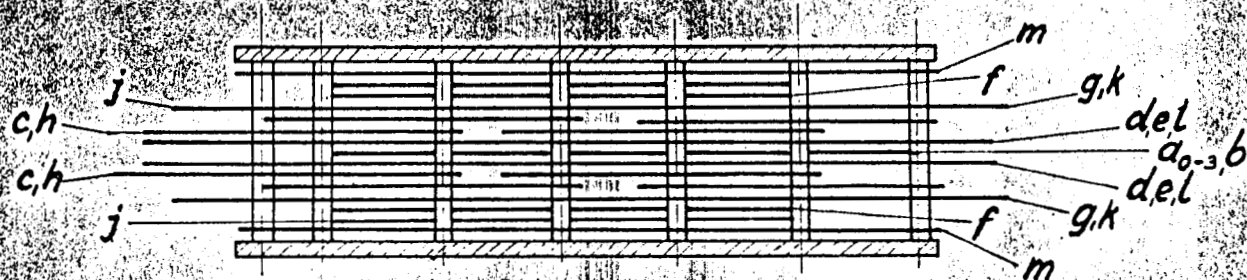
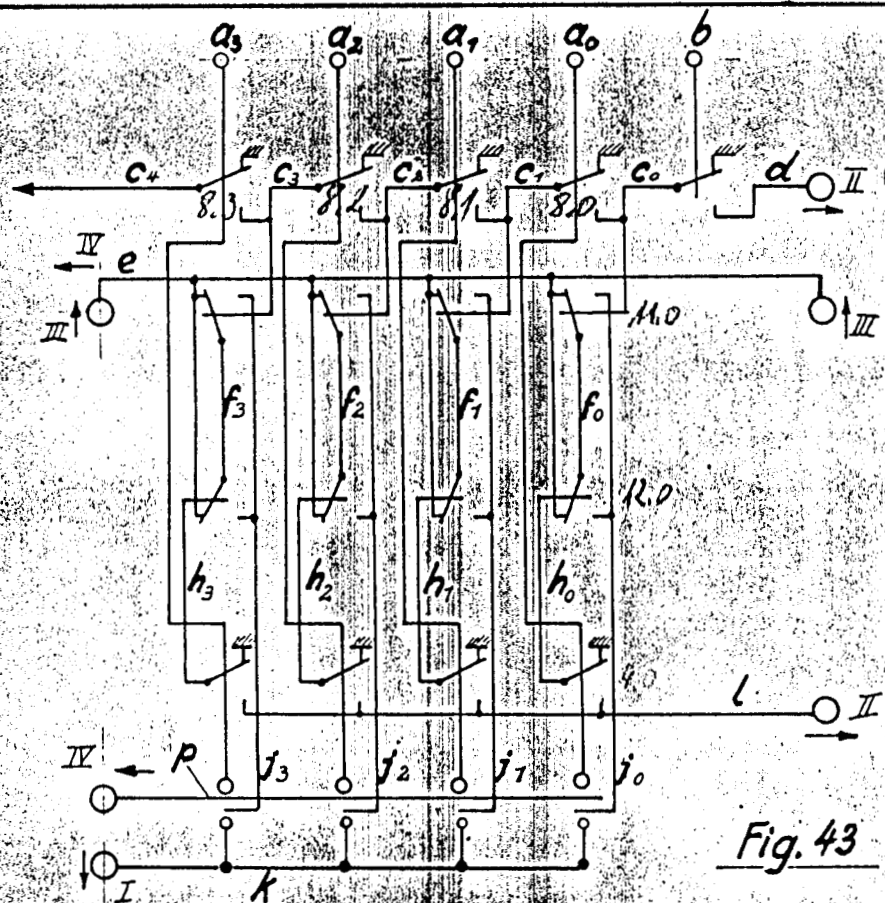


Fig. 42



c Fig. 41

MS 4



2.31.1

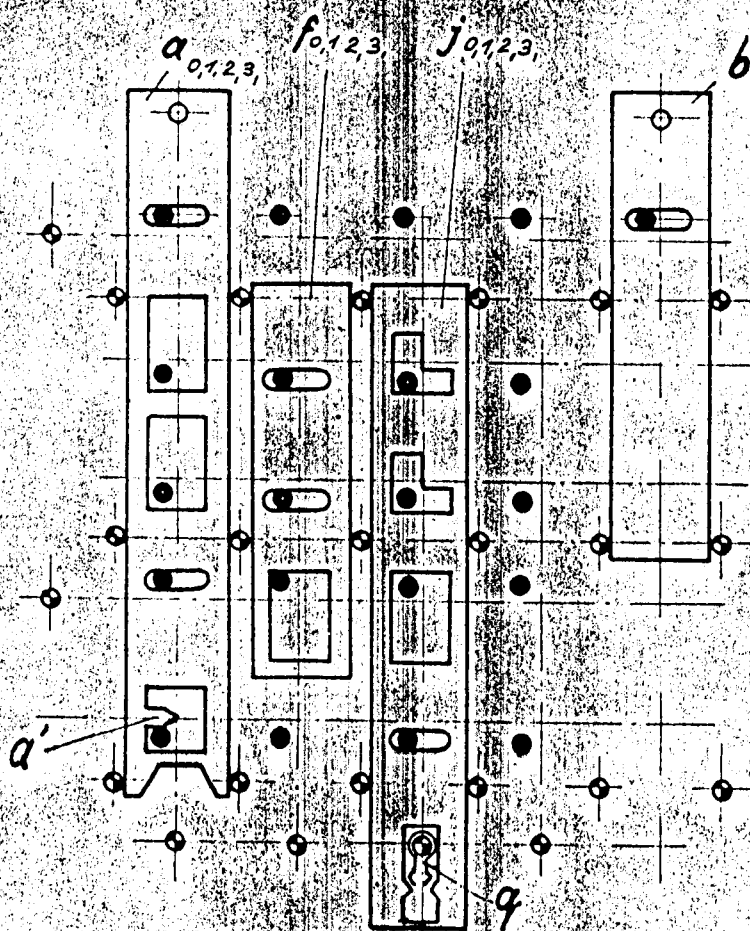
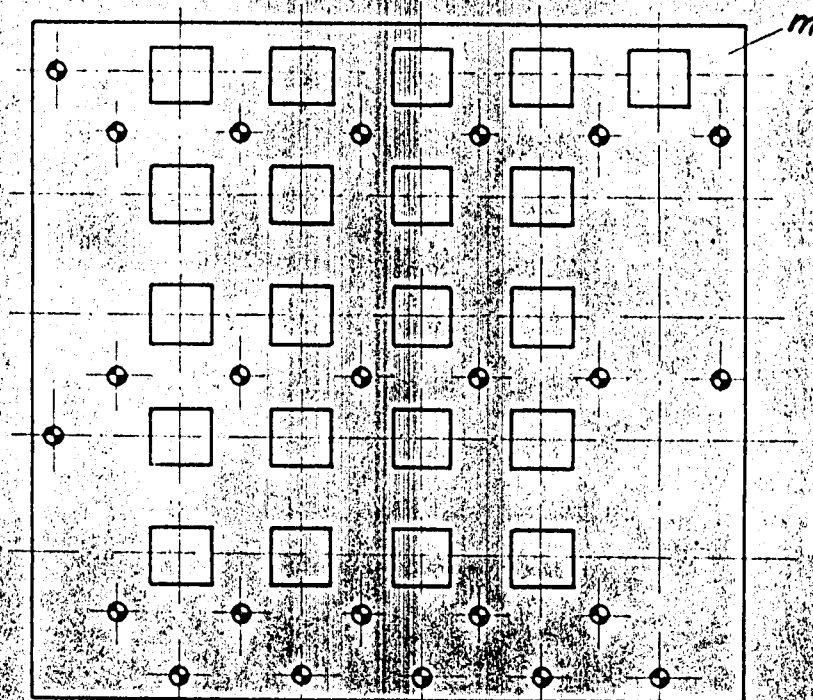


Fig. 45

MSH

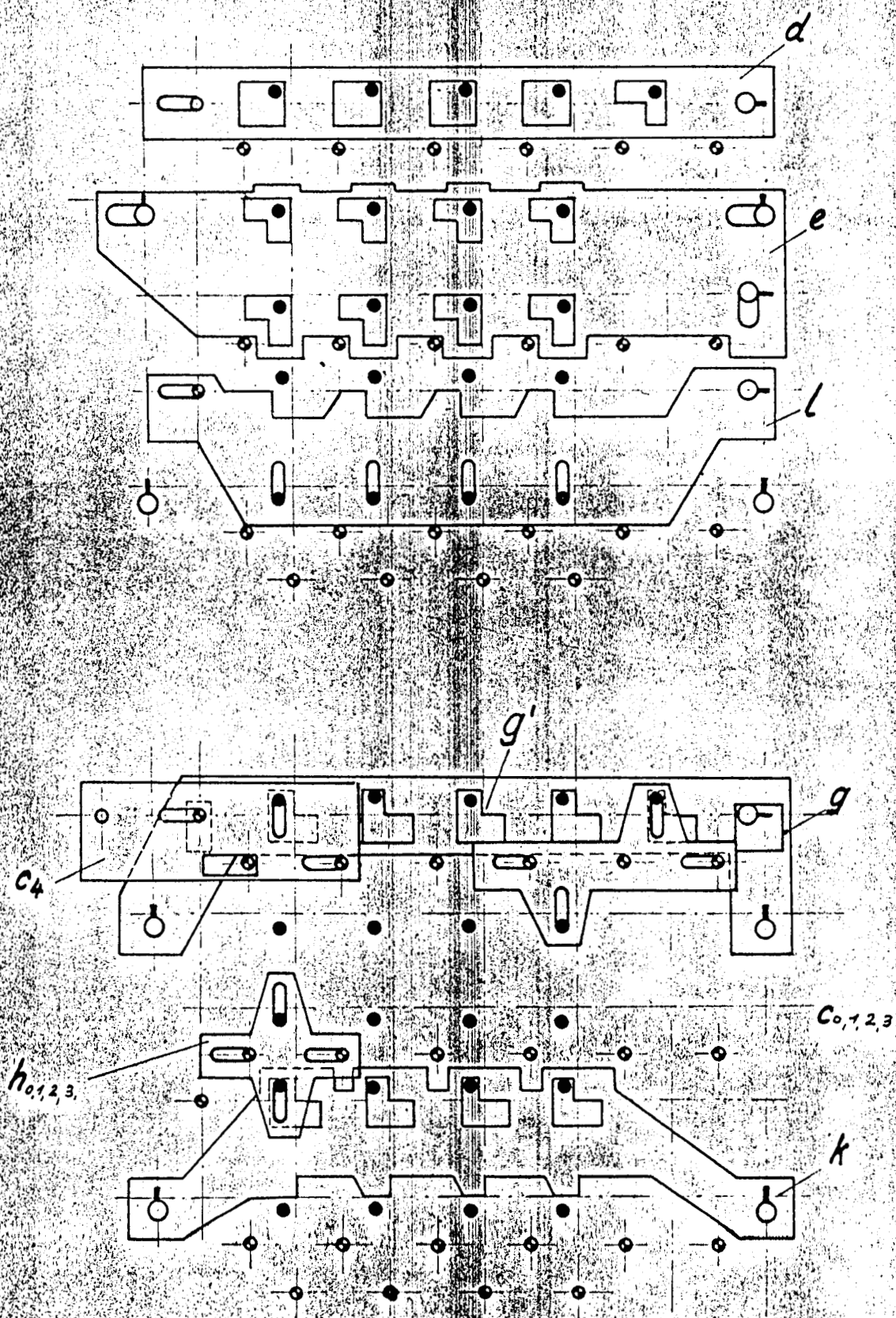


Fig. 46

MS4

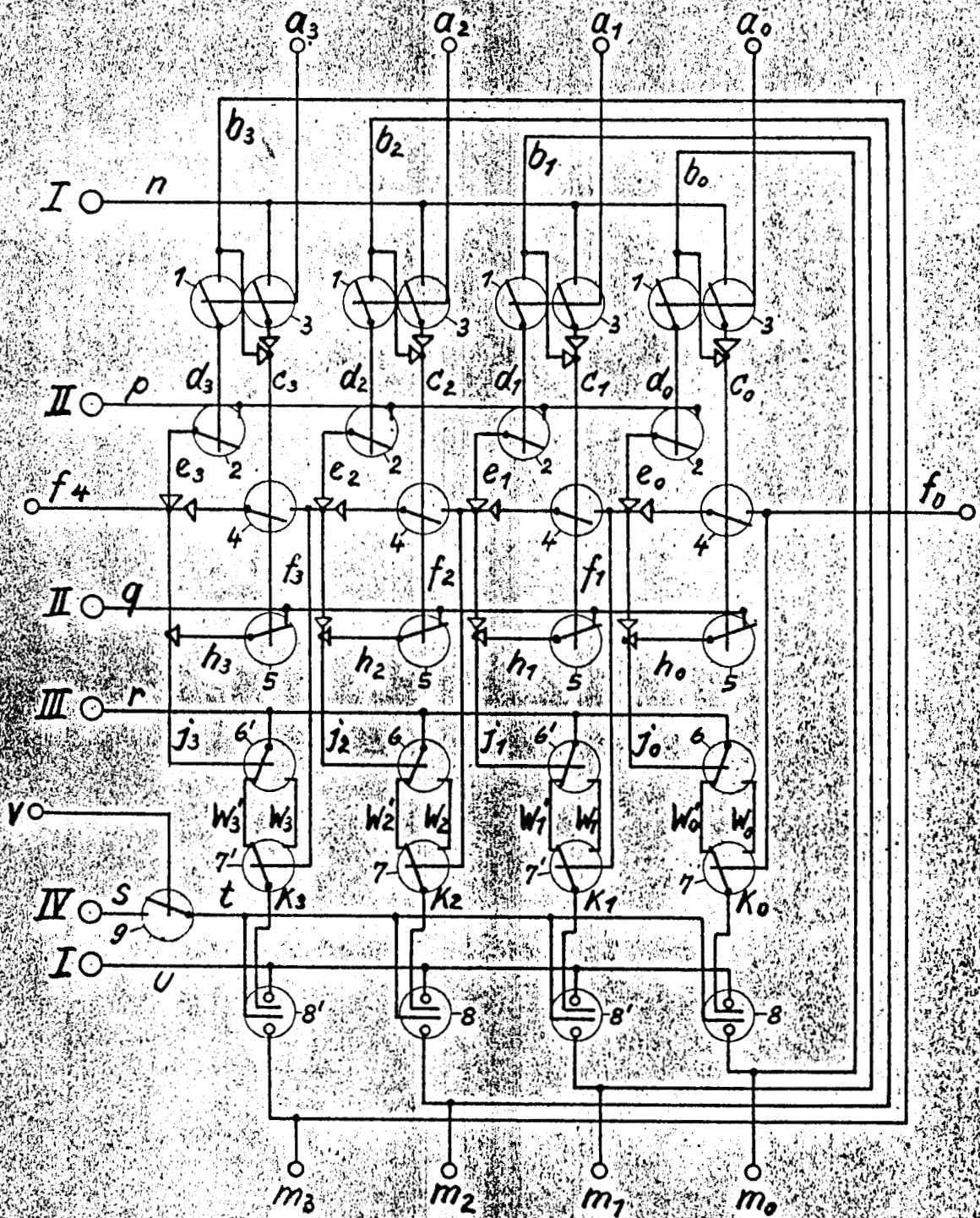


Fig. 47

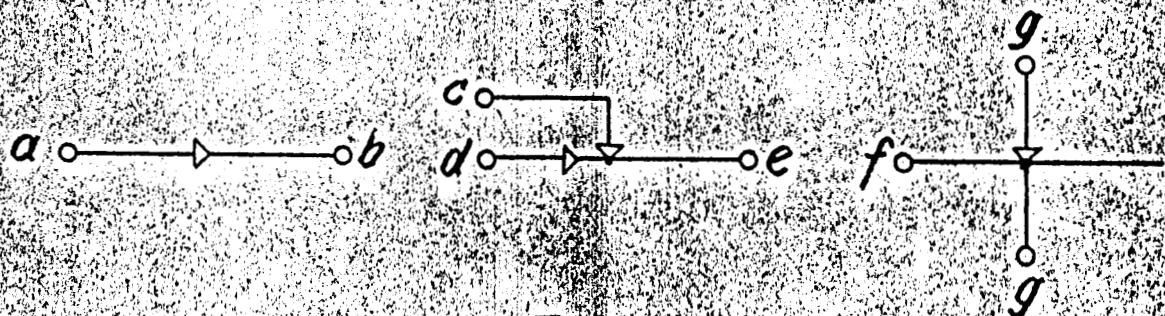


Fig. 48

MSH

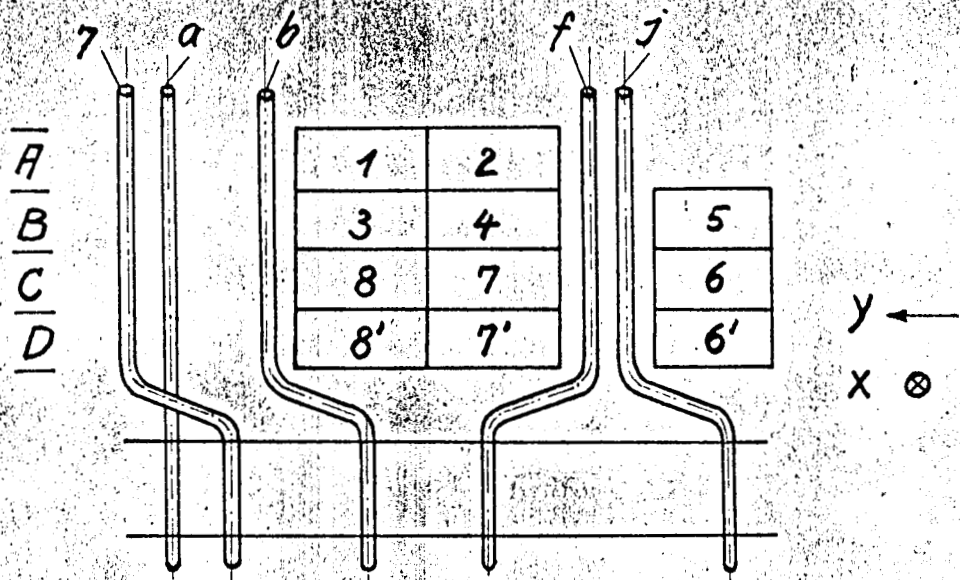


Fig. 49

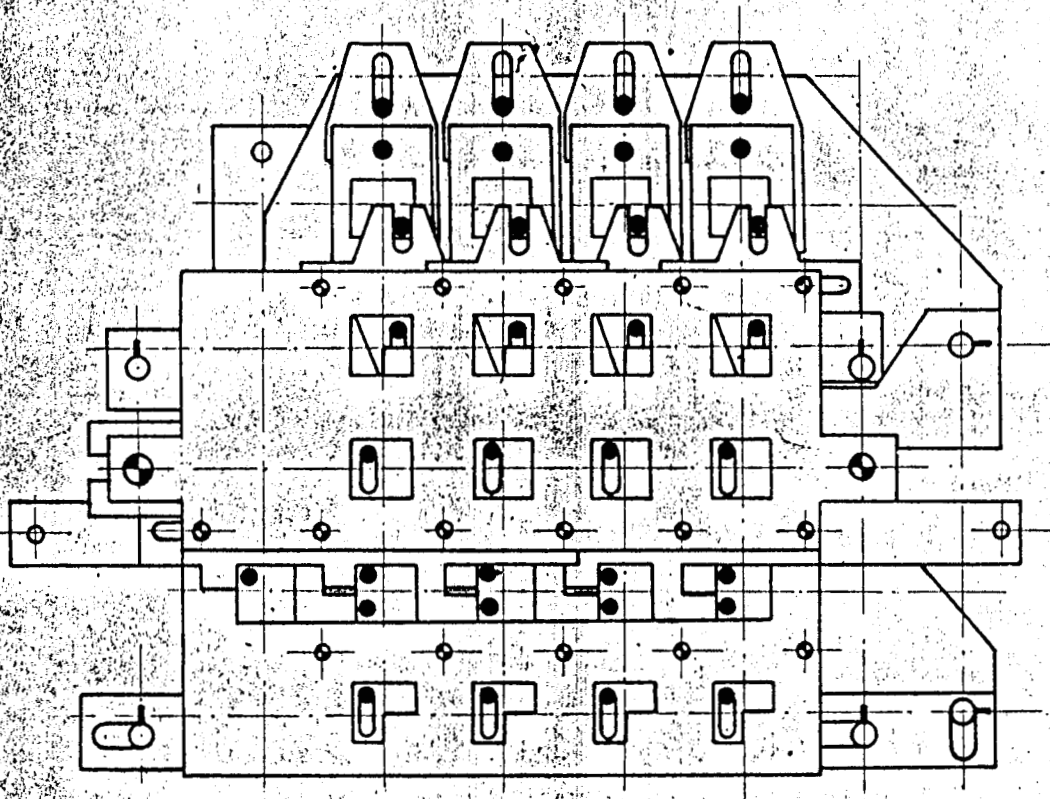


Fig. 50

MSH

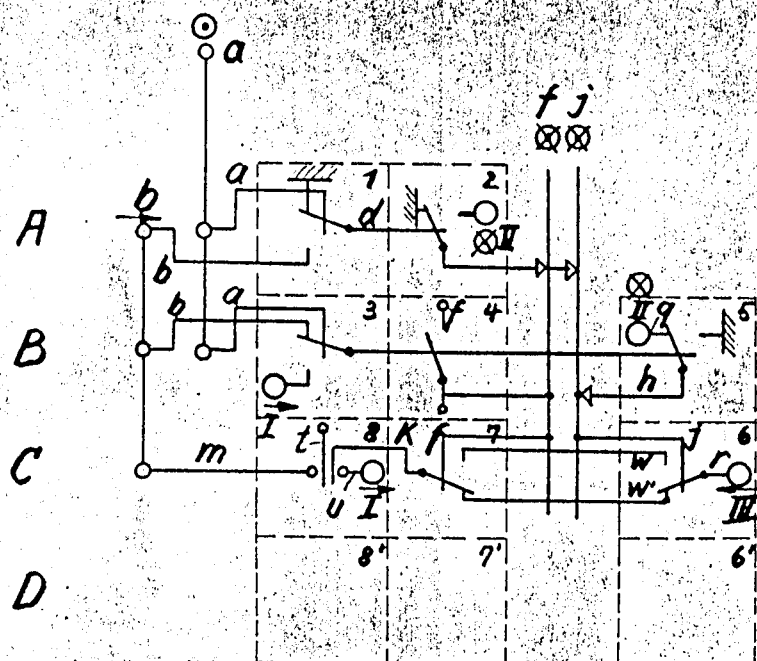


Fig. 54

MS 4

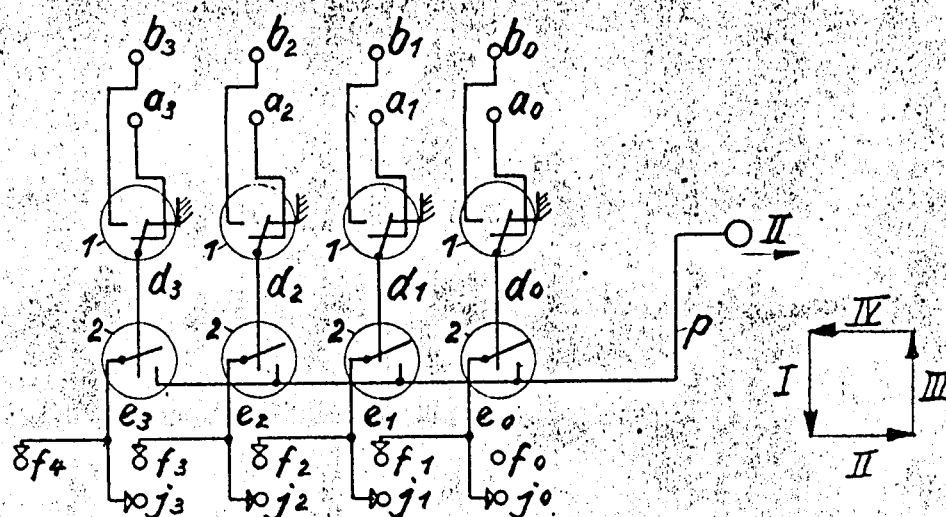


Fig. 51

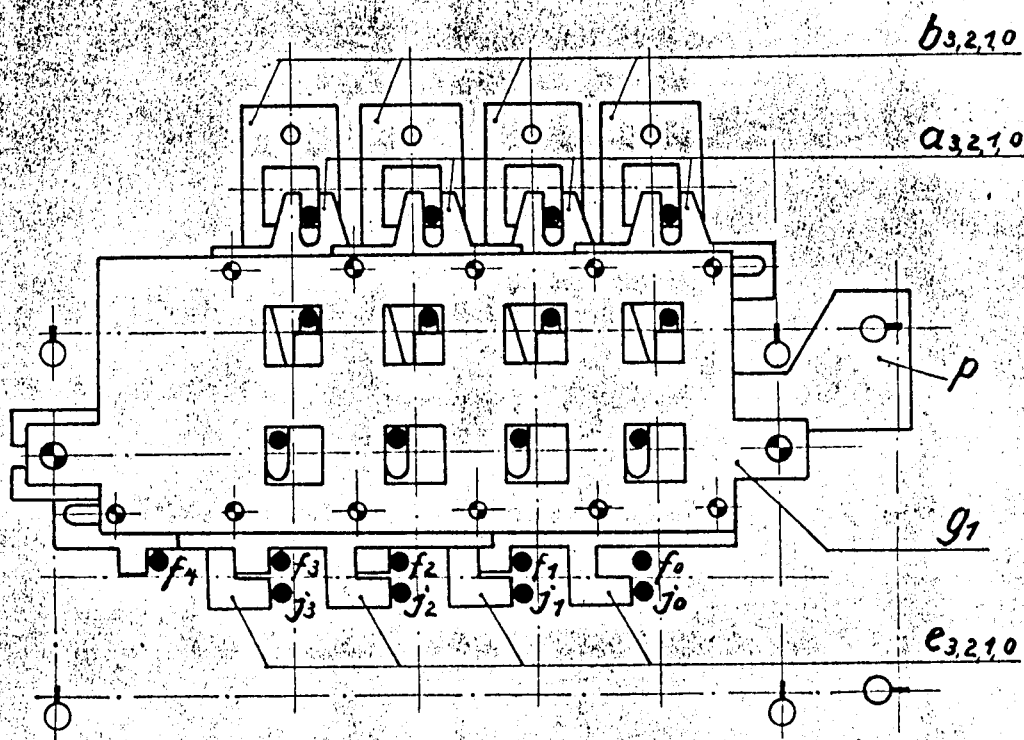
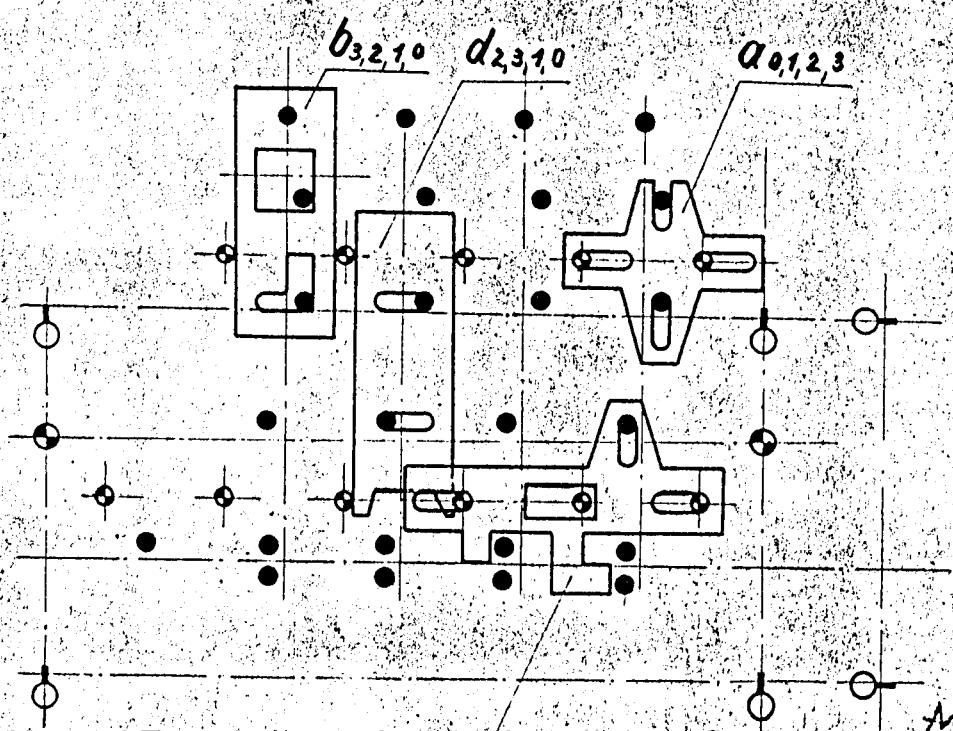
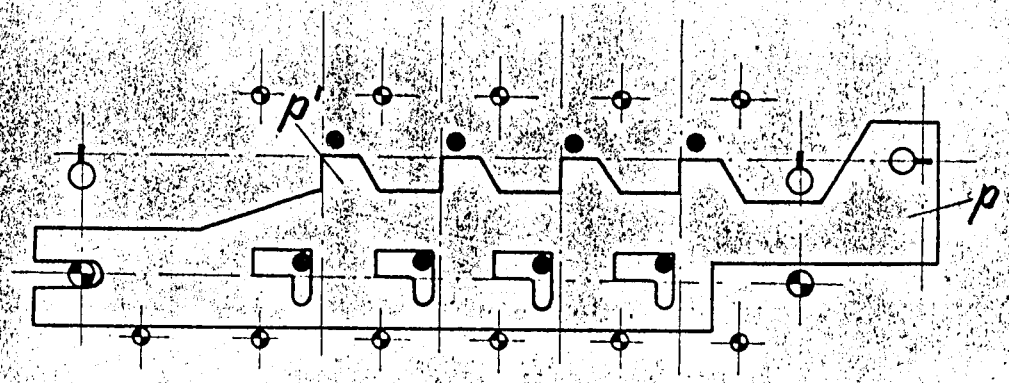
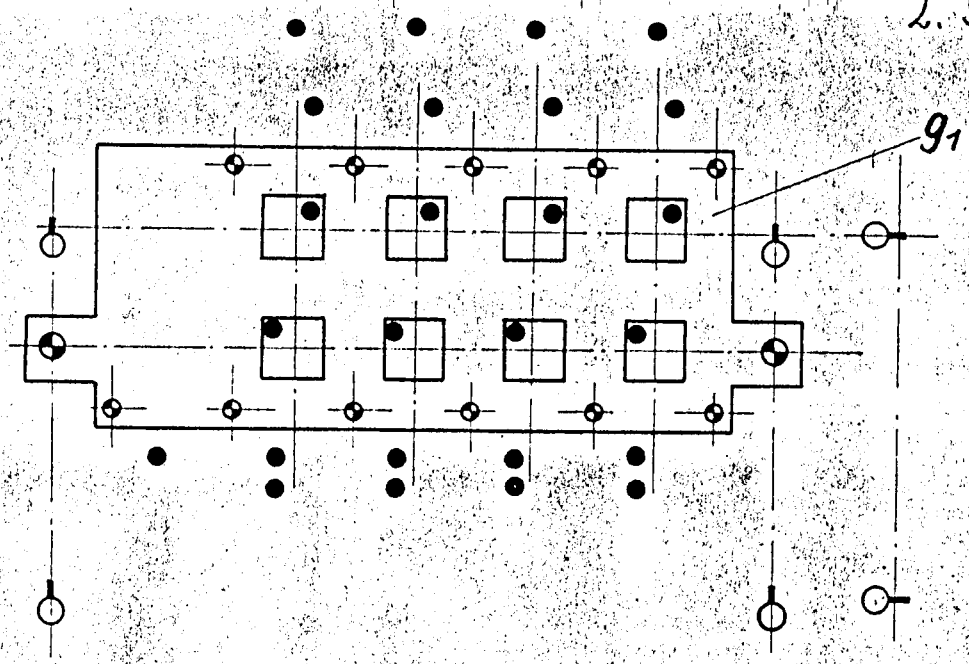


Fig. 55

MSH

2.31.1



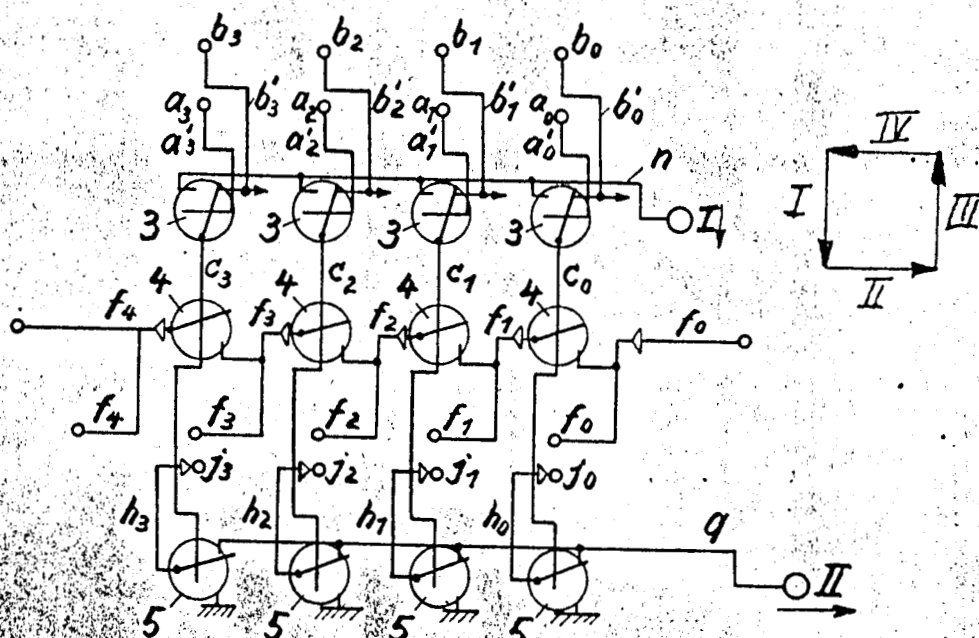


Fig. 52

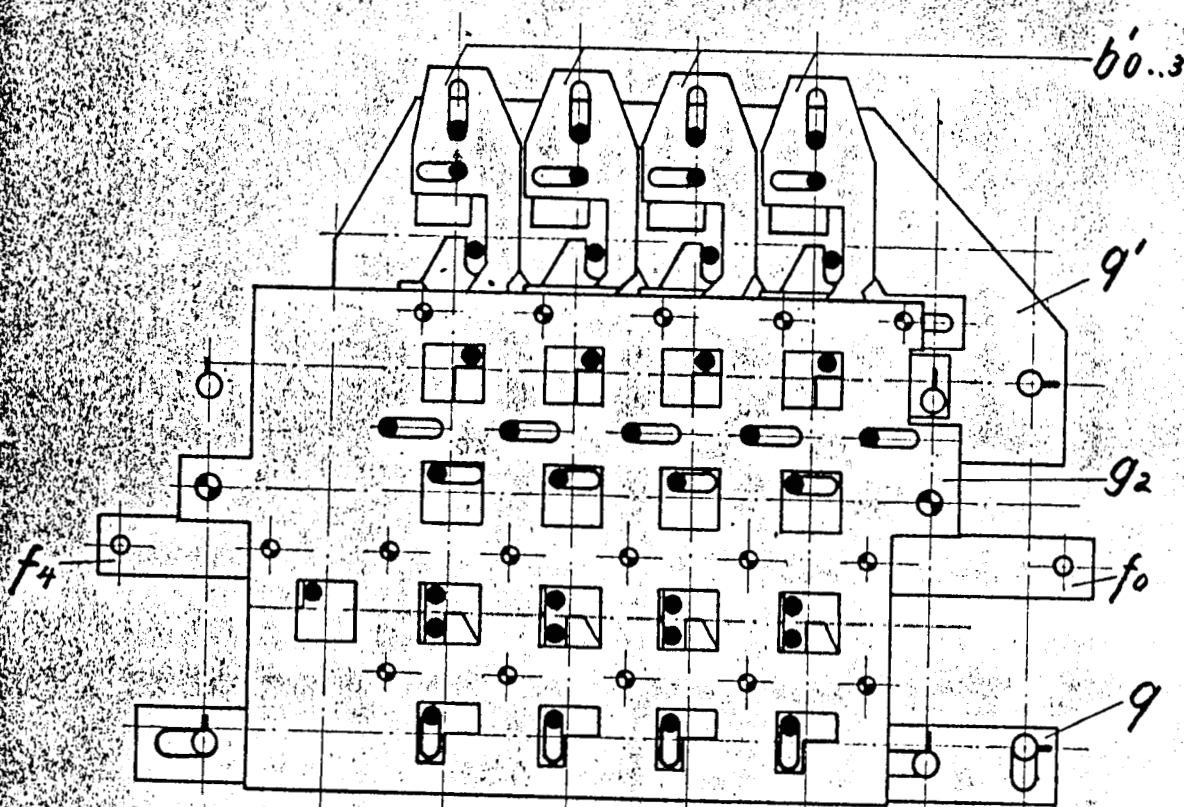
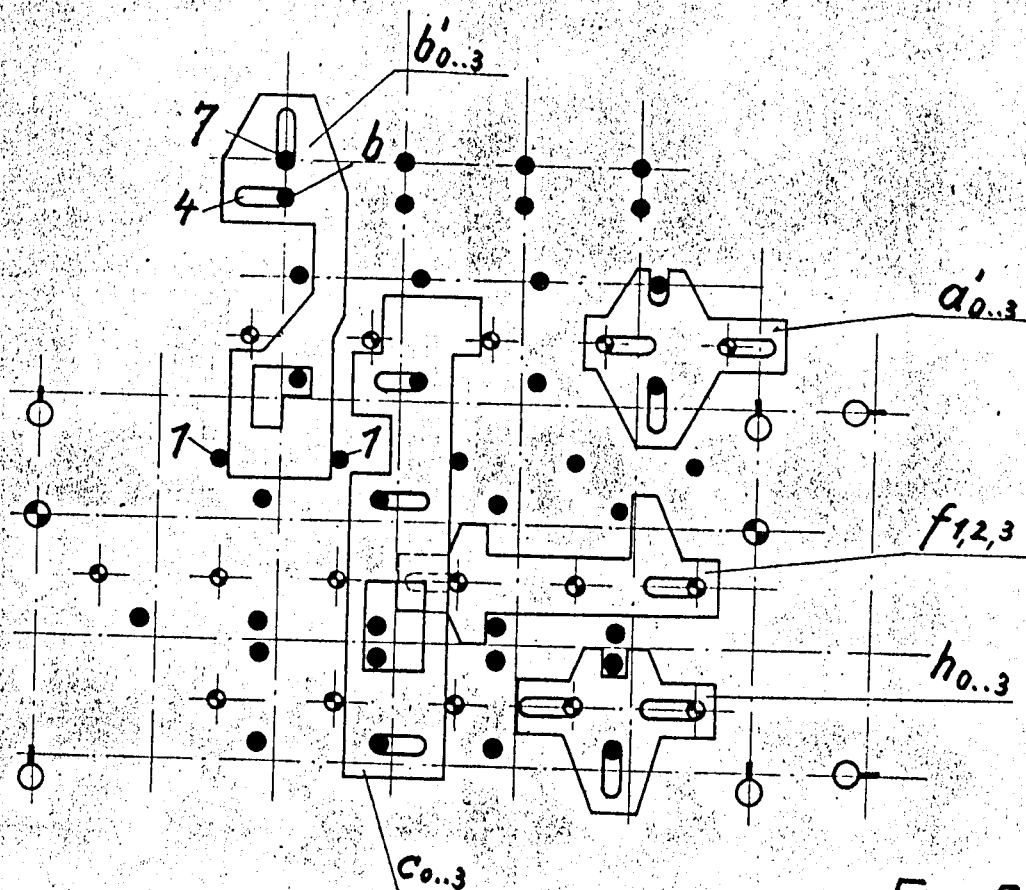
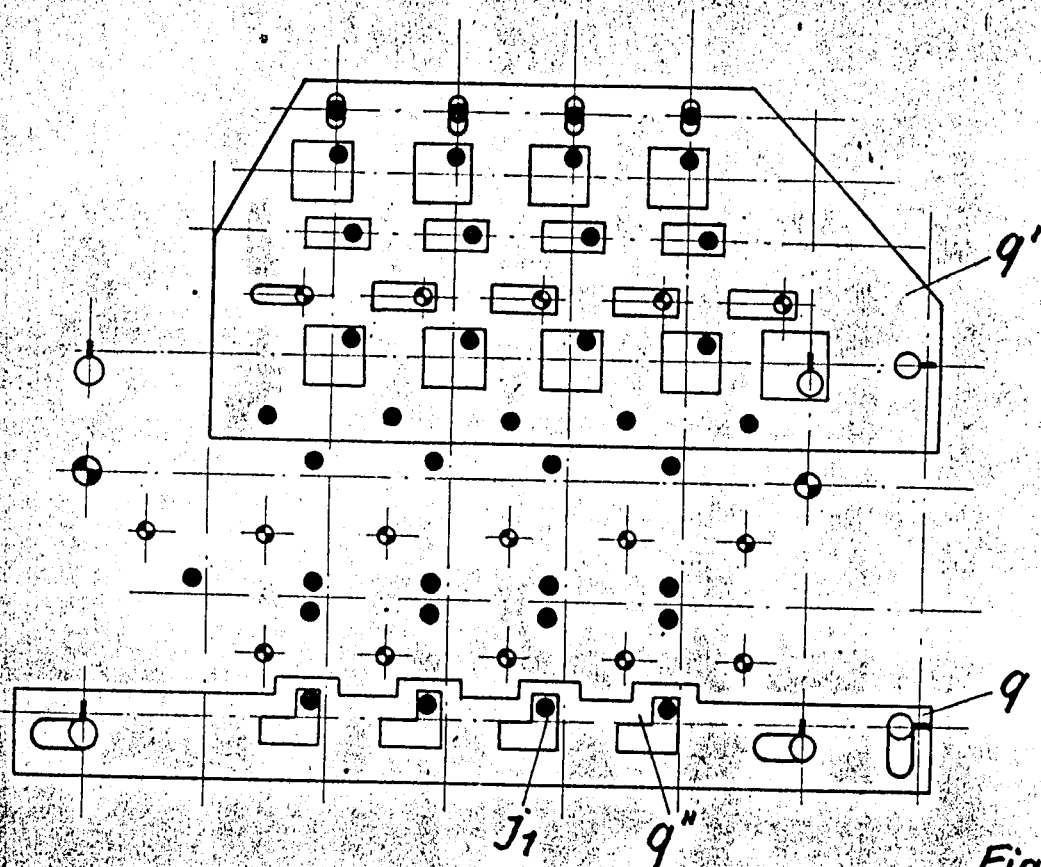


Fig. 57



MSH

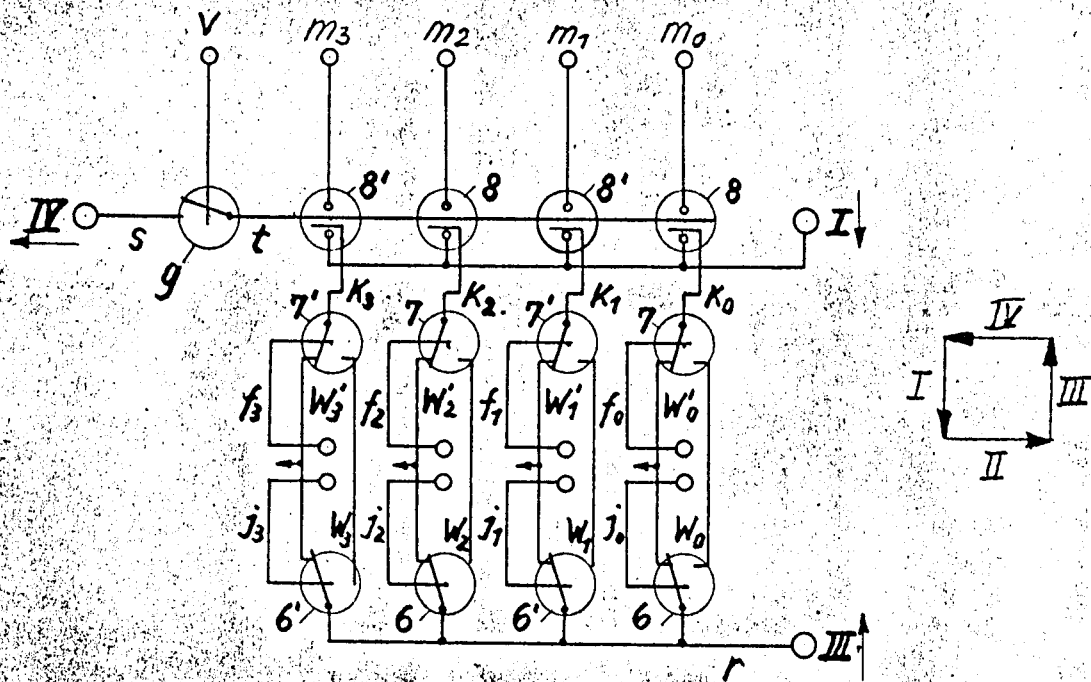


Fig. 53

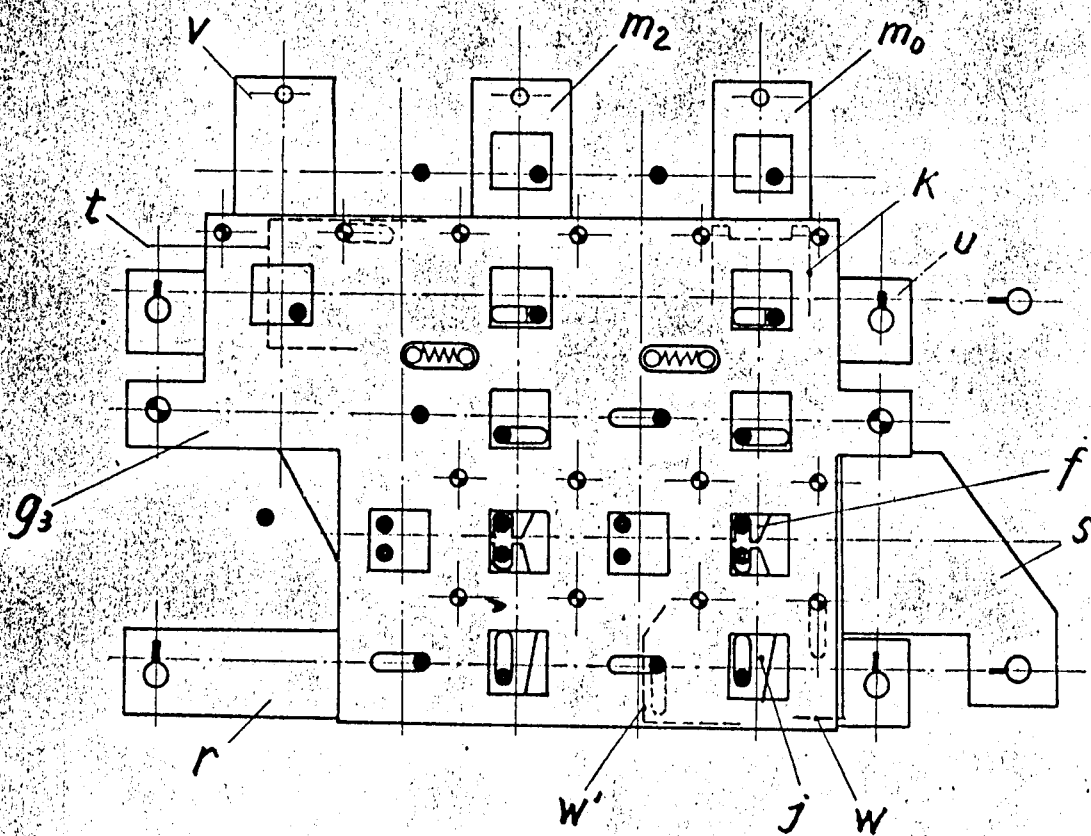
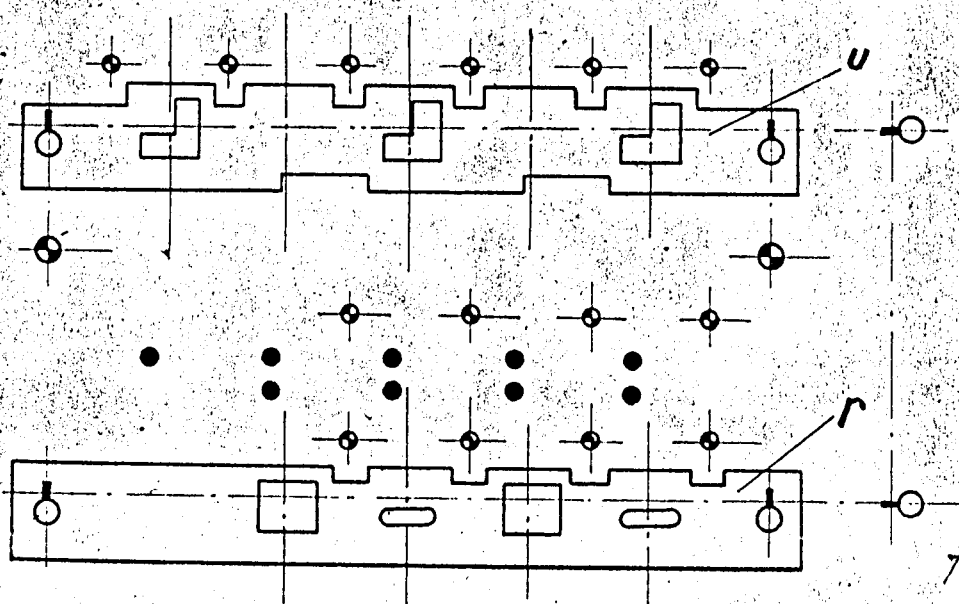
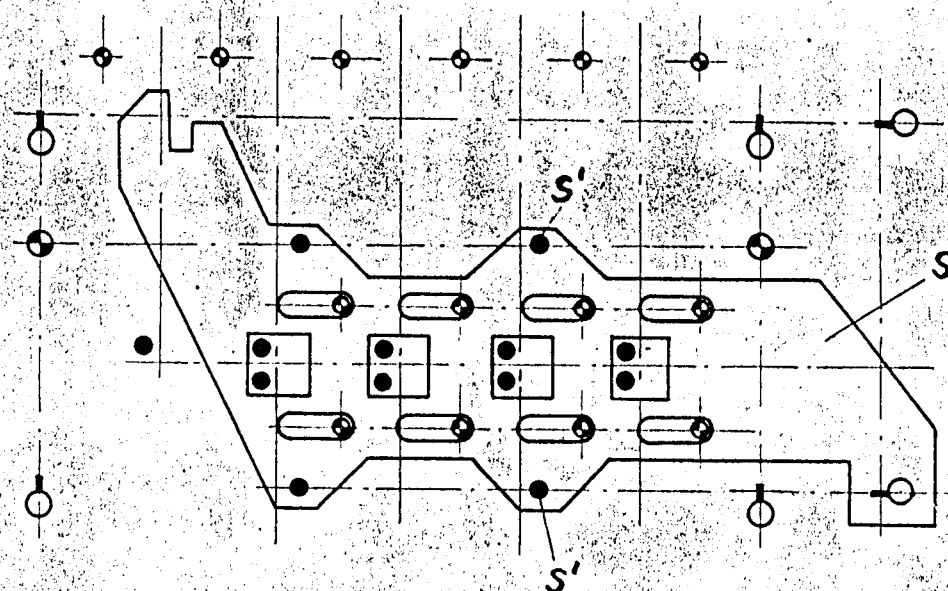
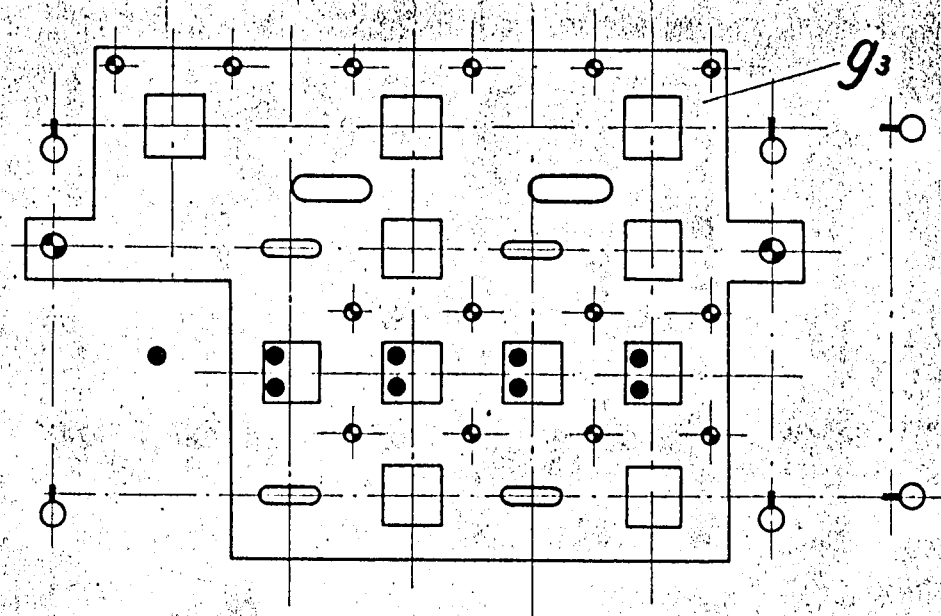


Fig. 60



MS4

Fig. 61a

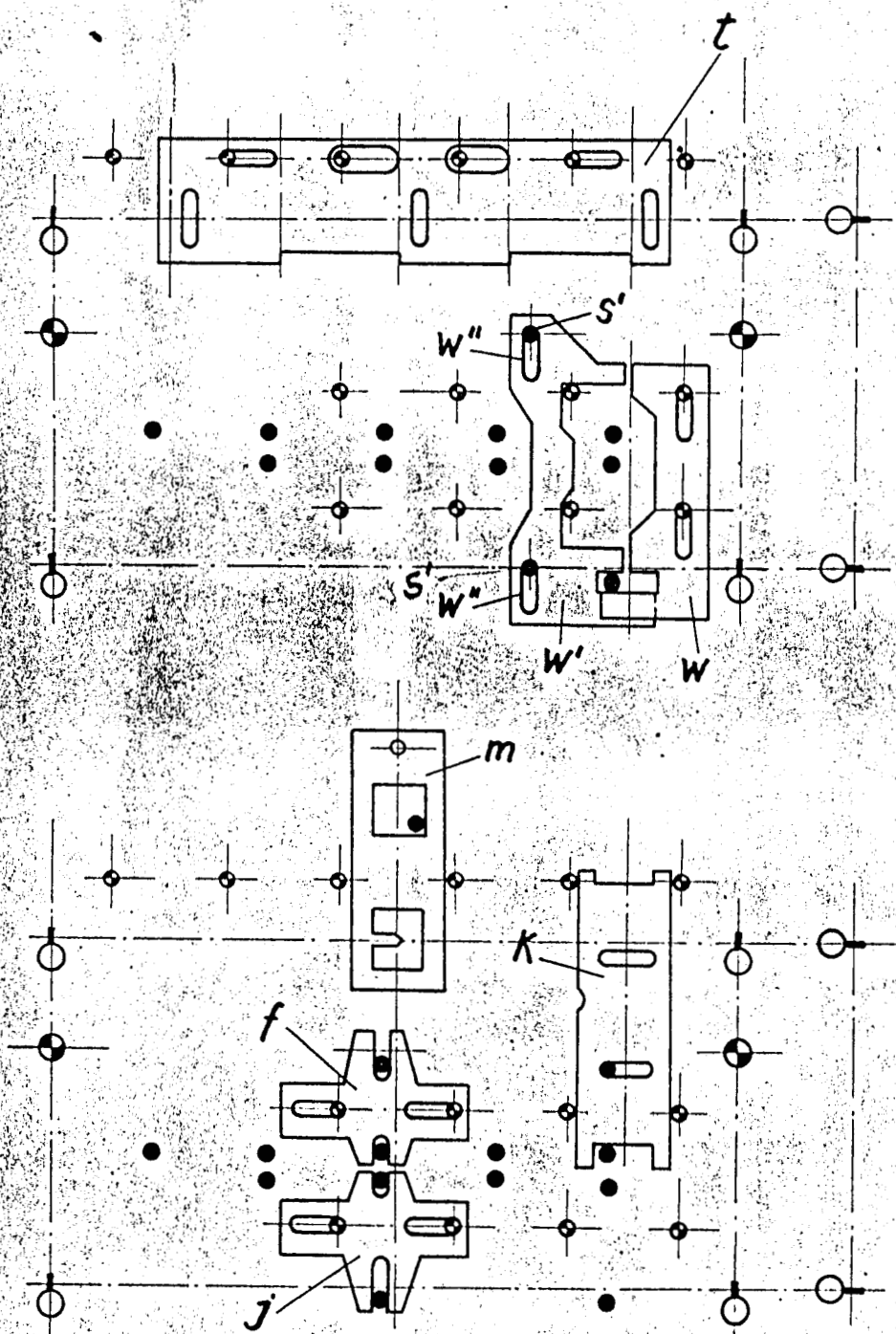


Fig. 61b

MSH

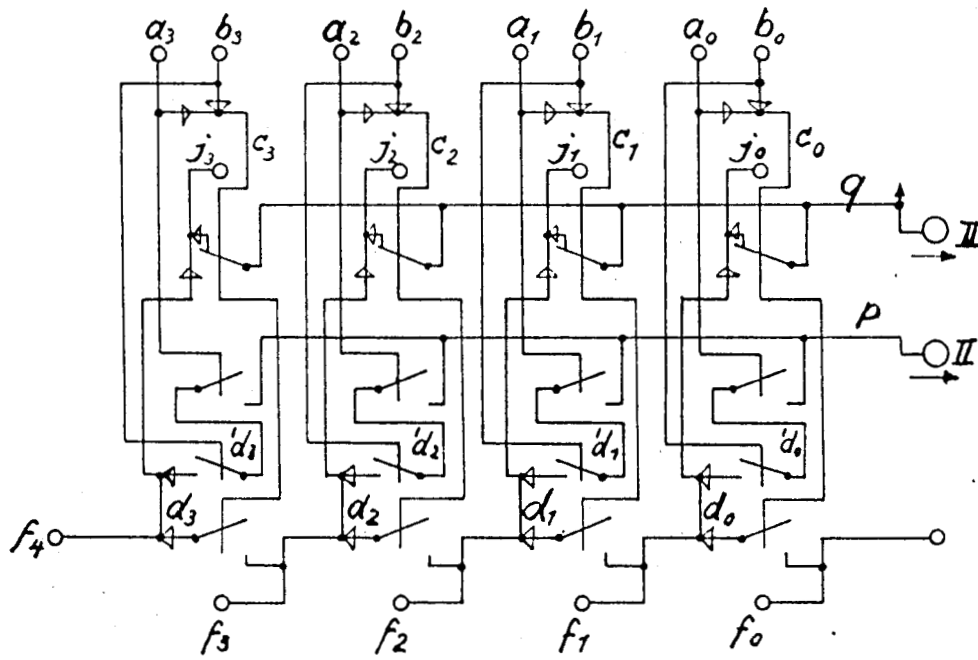


Fig. 63

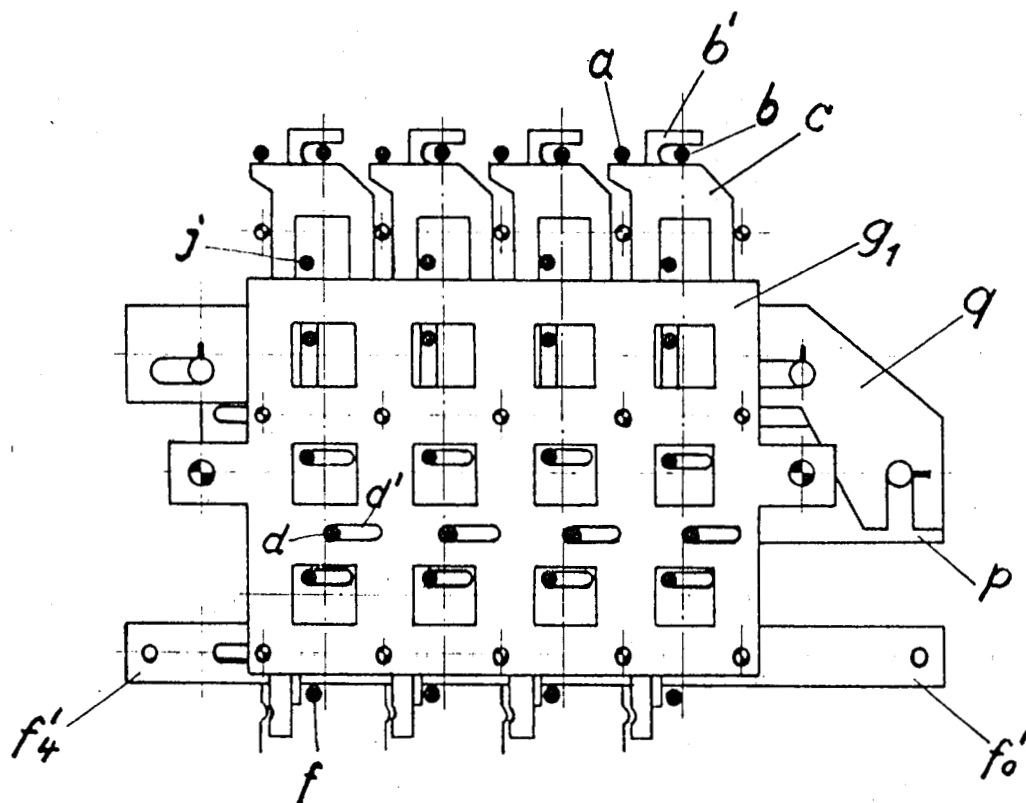


Fig. 64

MS 14

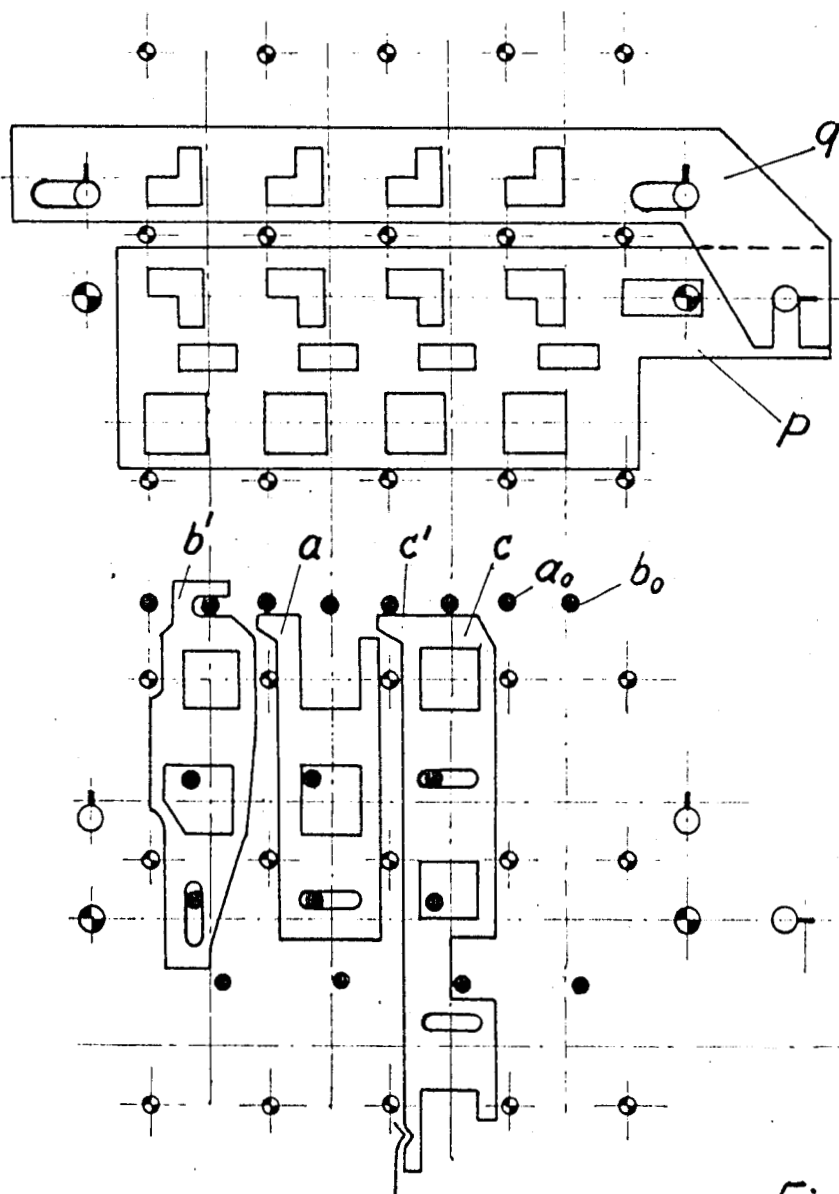
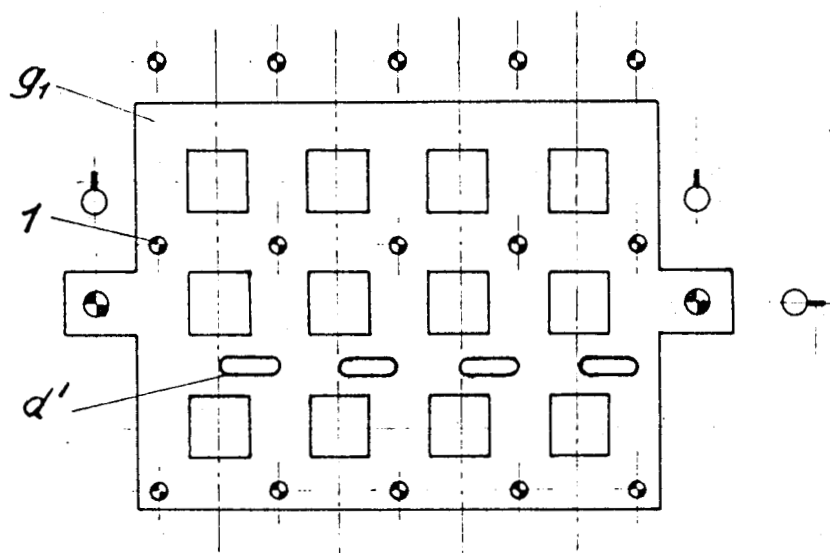


Fig. 65 a

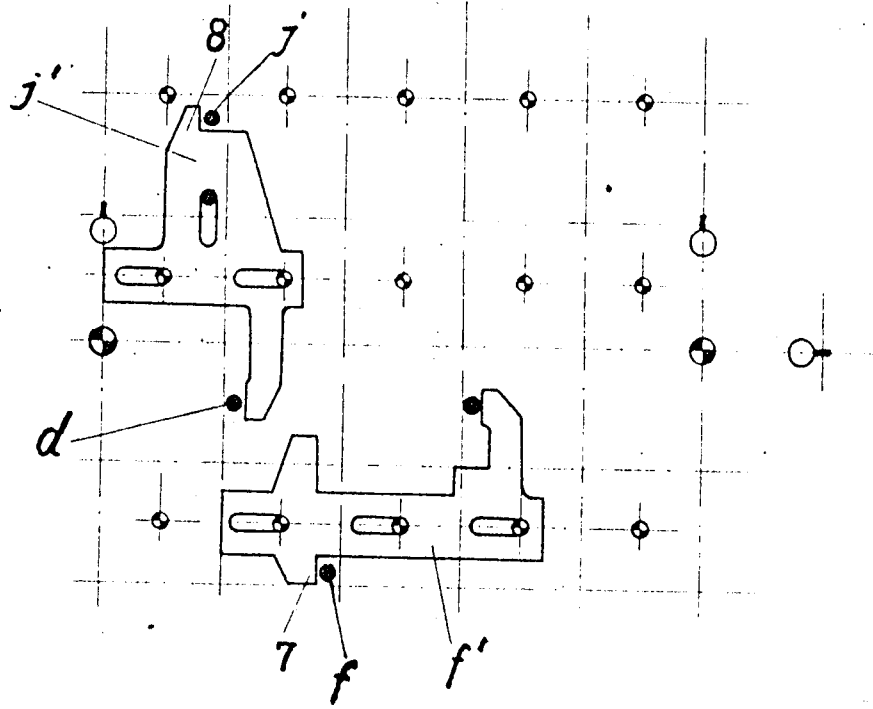


Fig. 65b

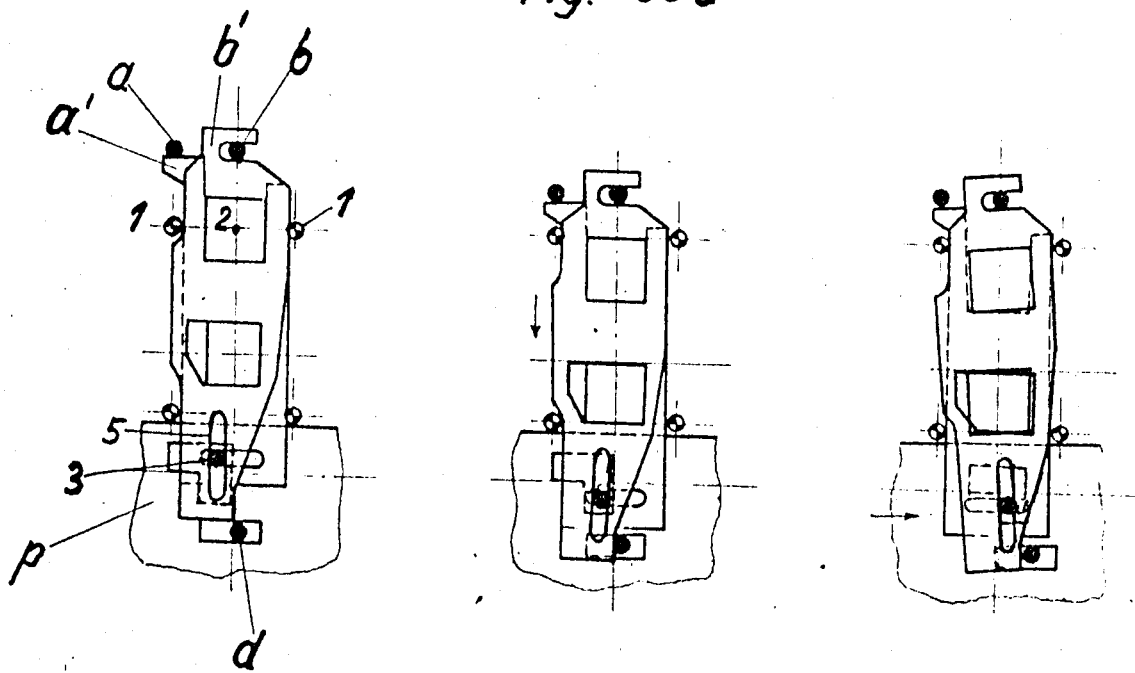


Fig. 66

1154

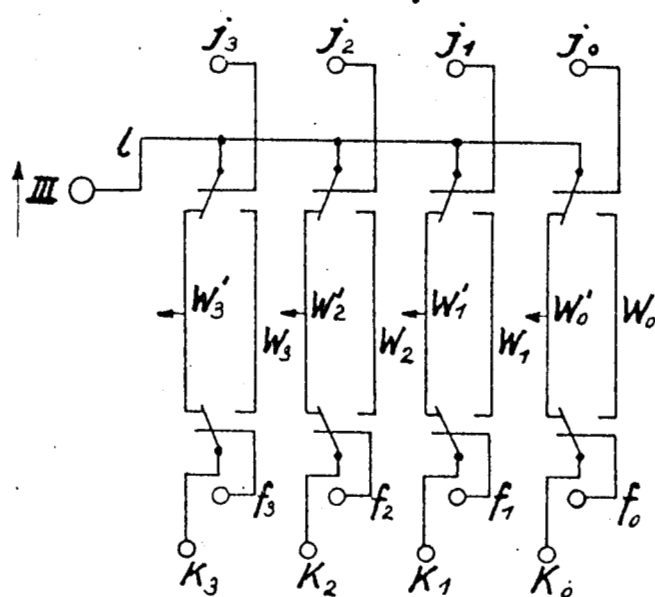


Fig. 67

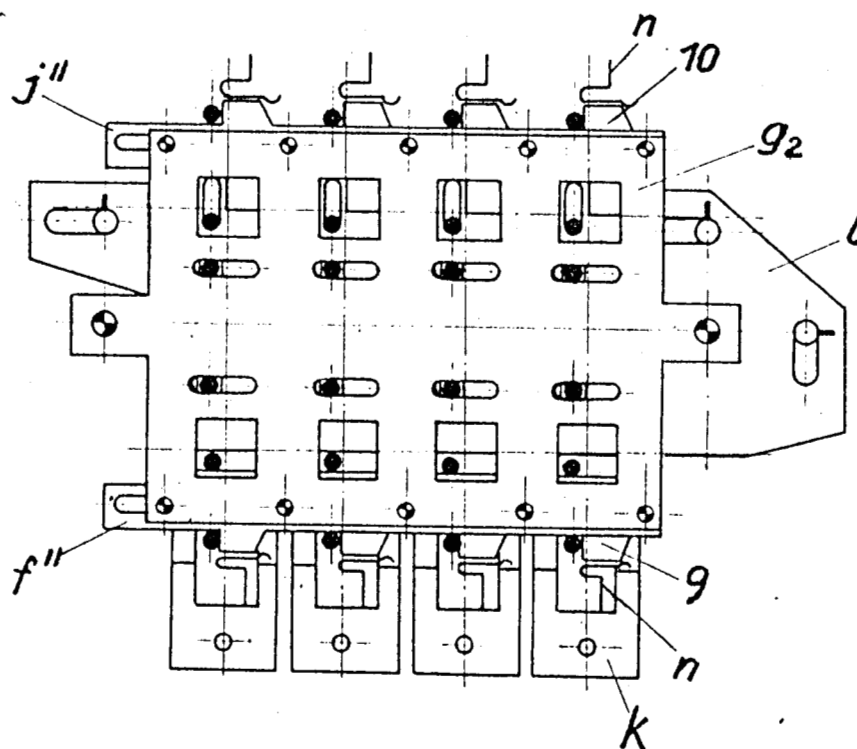


Fig. 68 a

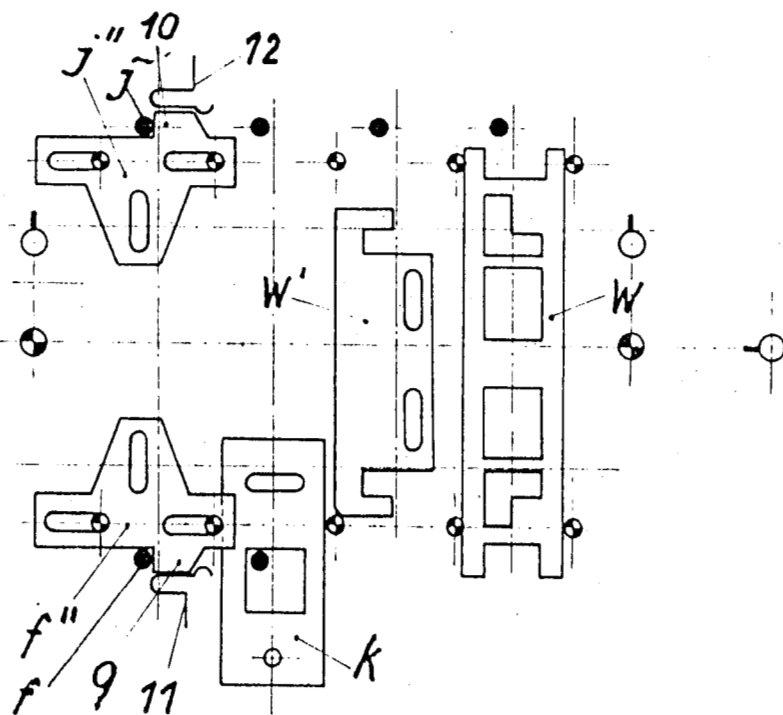
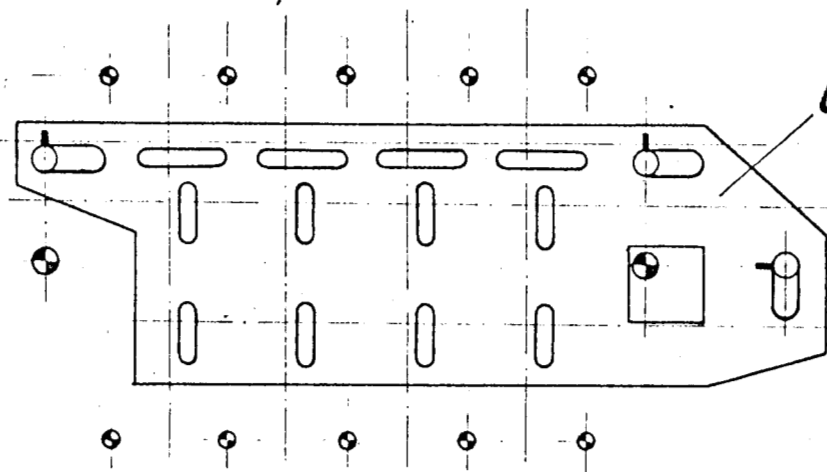
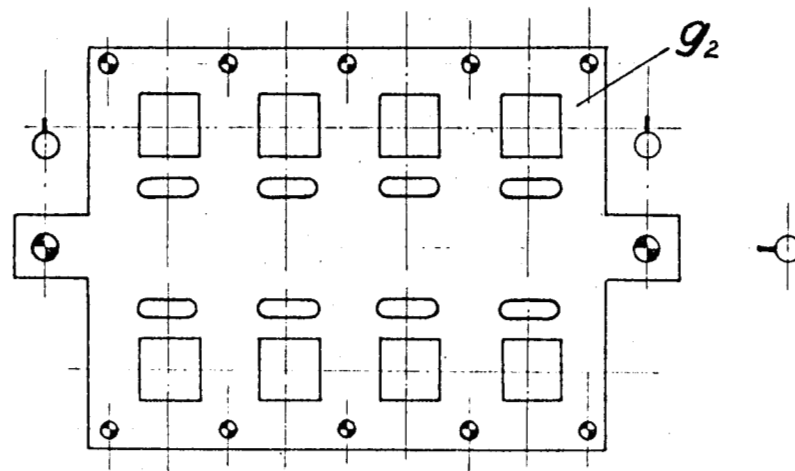


Fig. 68 b

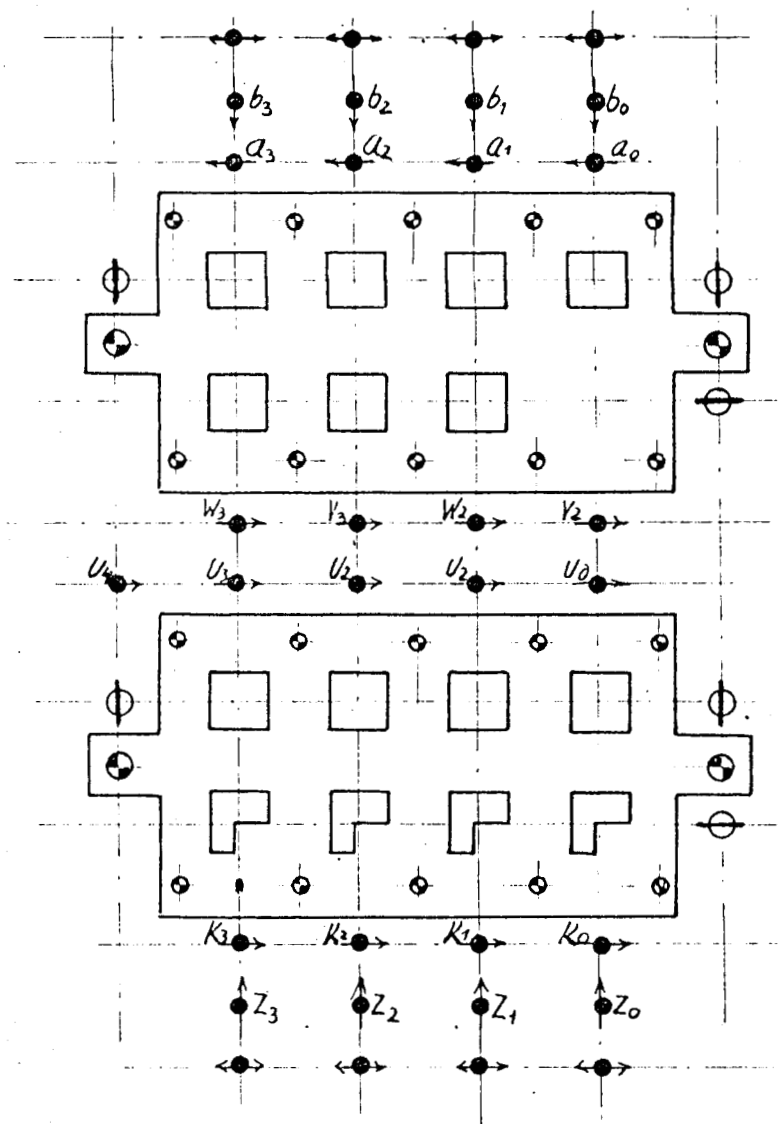


Fig. 71

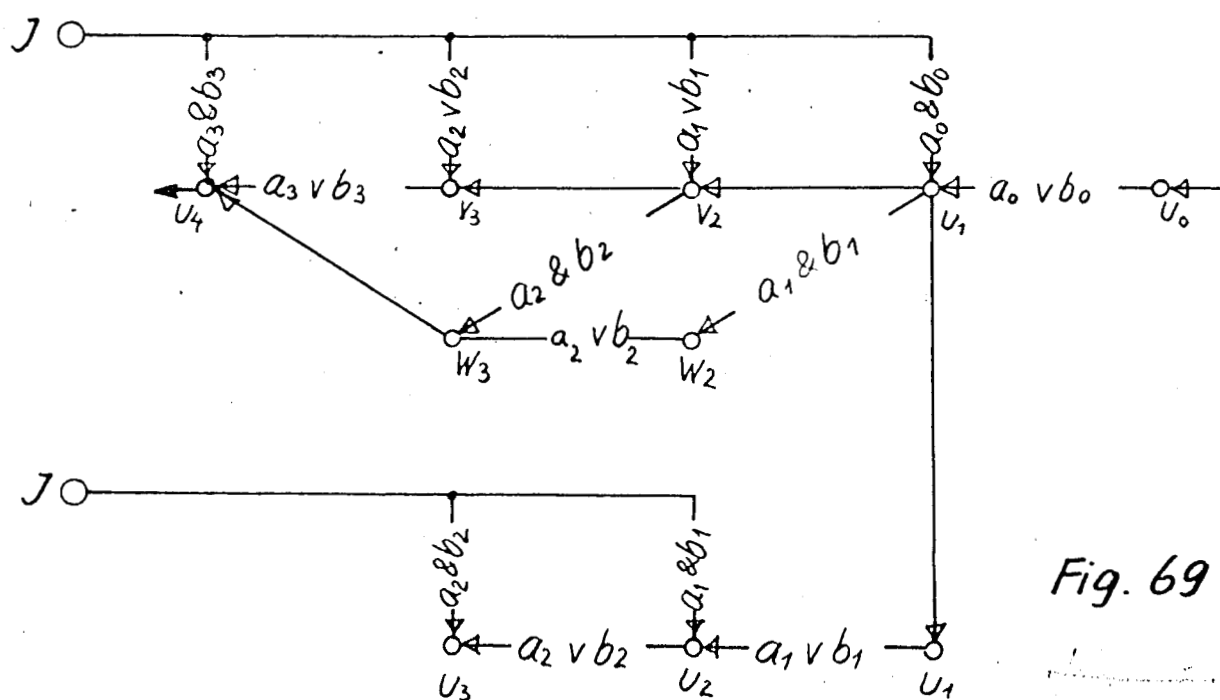


Fig. 69

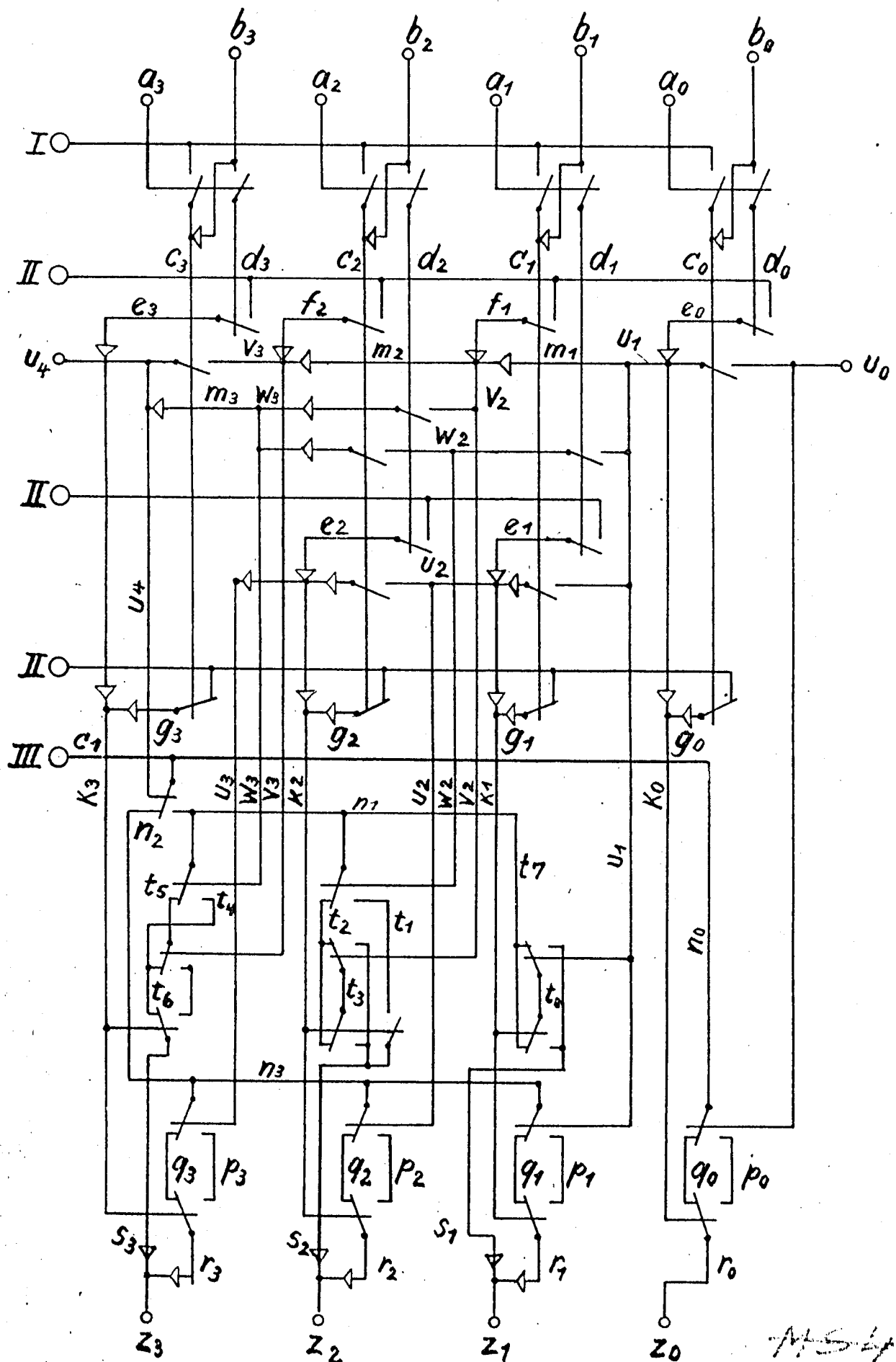


Fig. 70

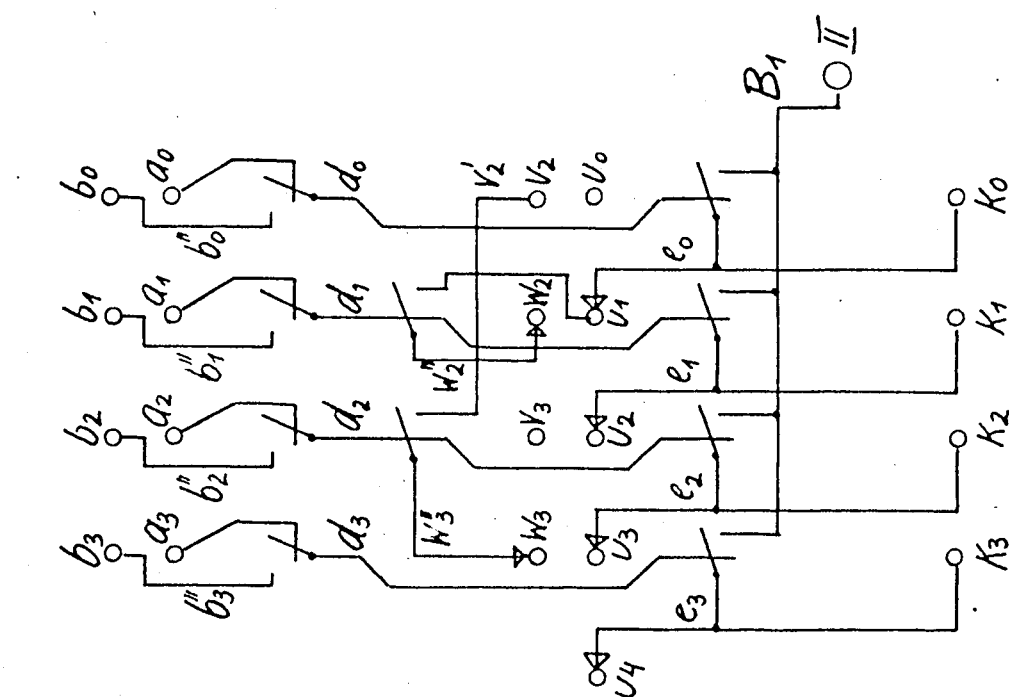


Fig. 73

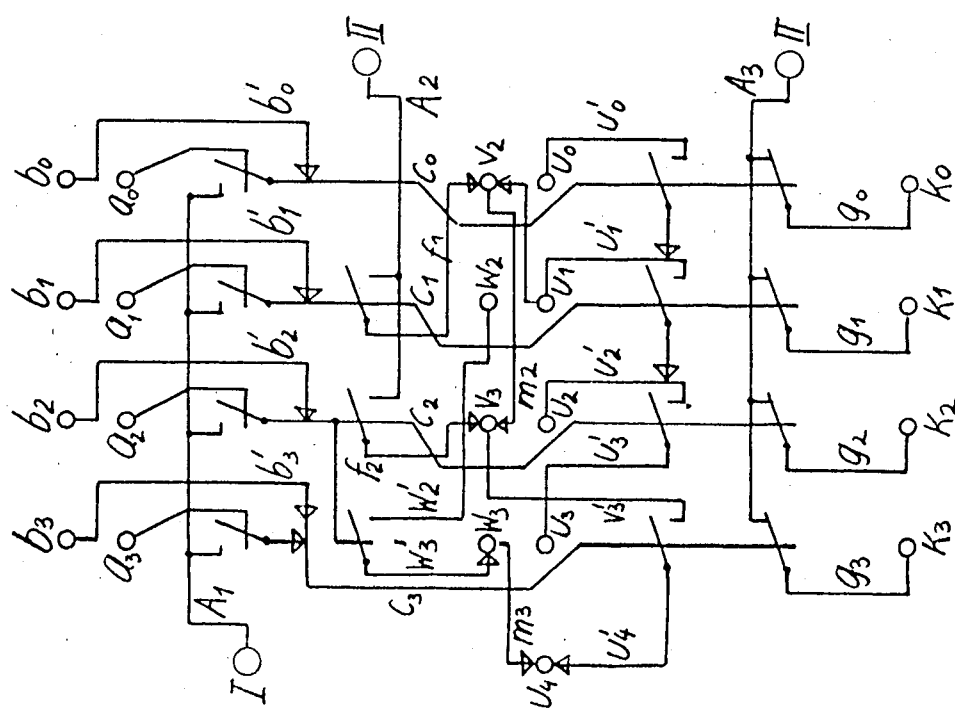
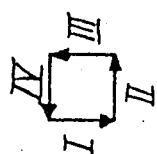


Fig. 72

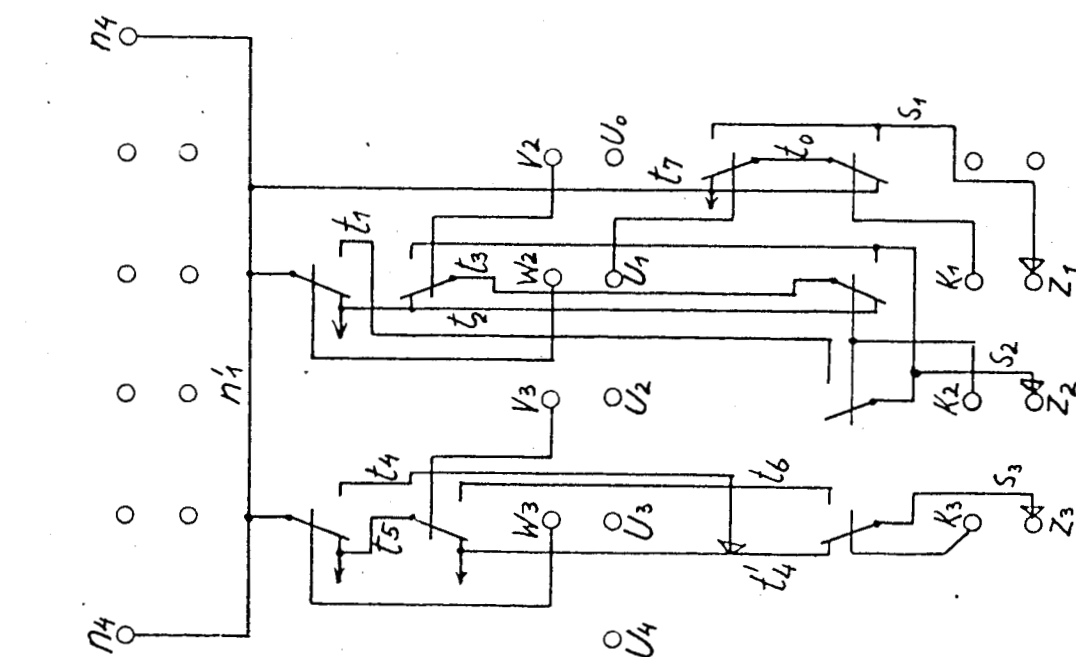


Fig. 75

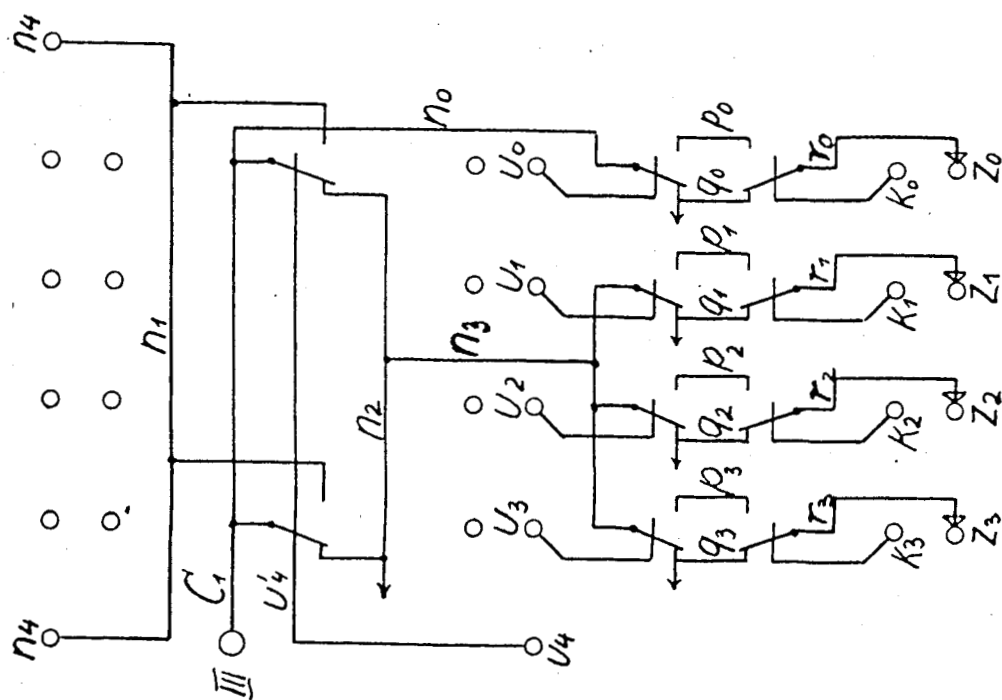
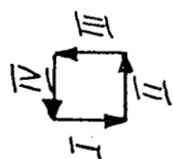


Fig. 74

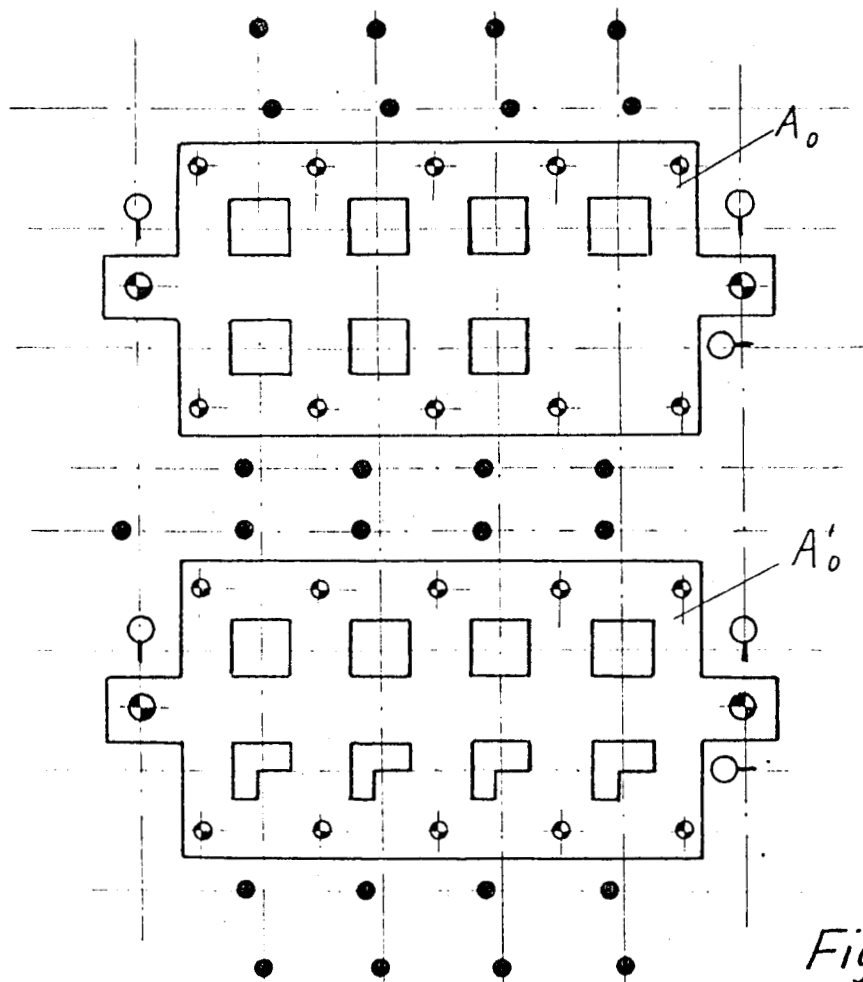


Fig. 76 a

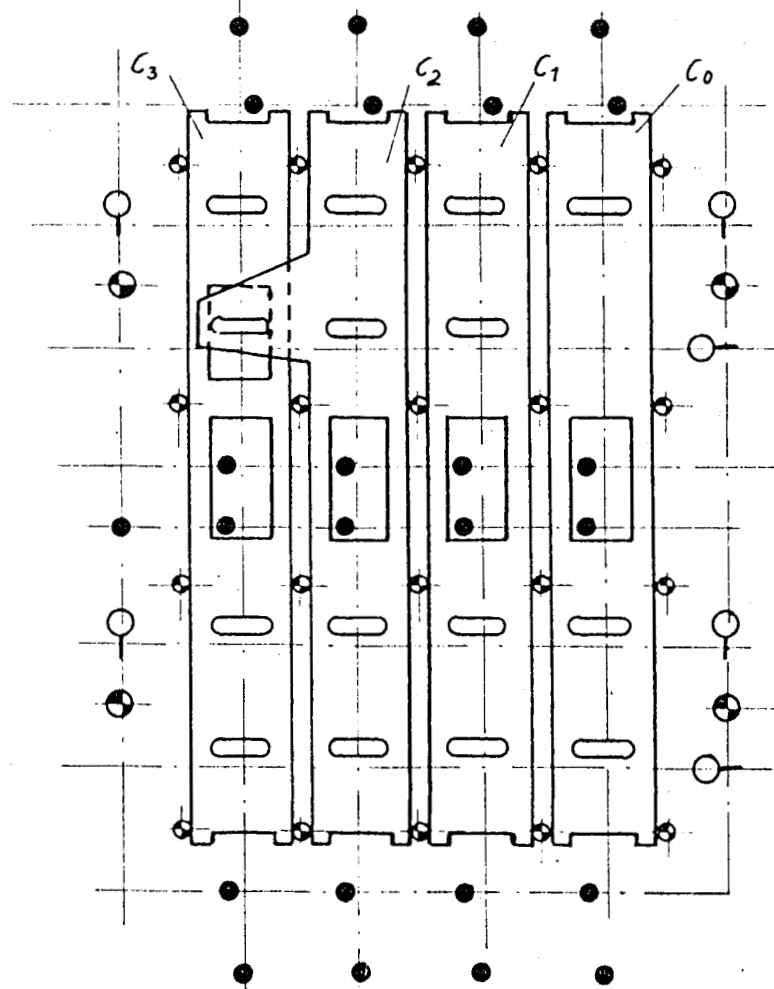
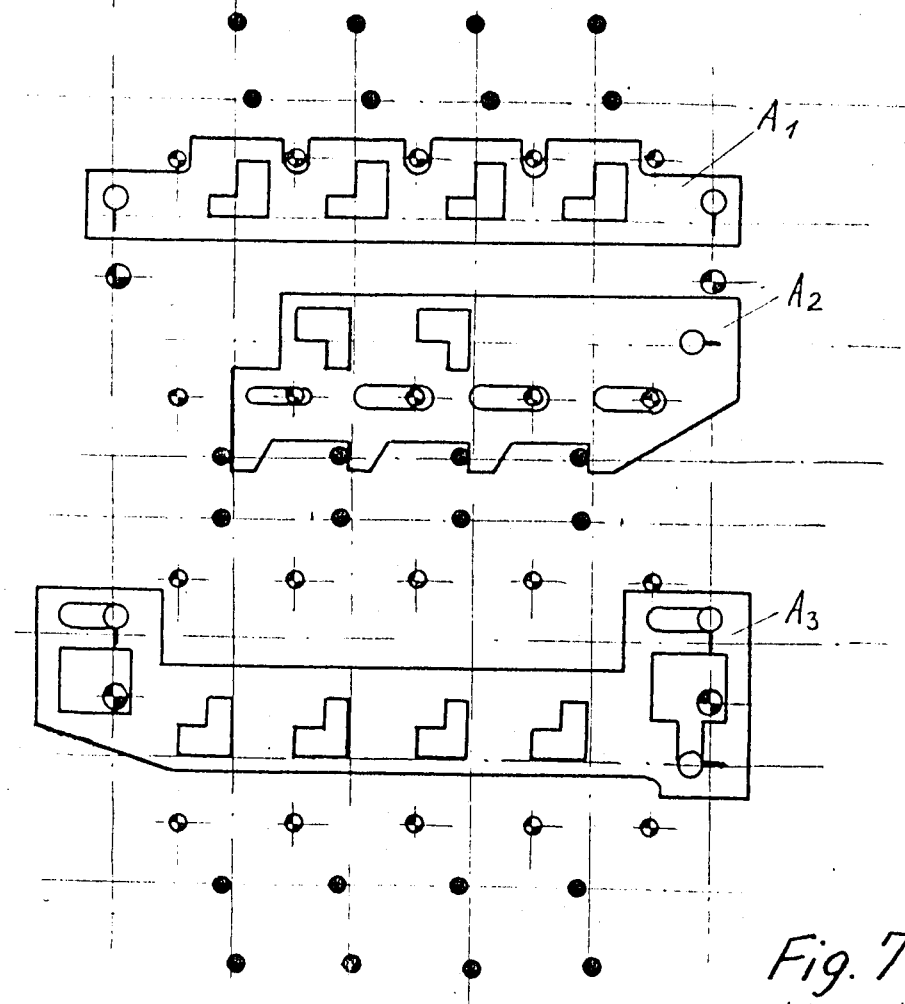
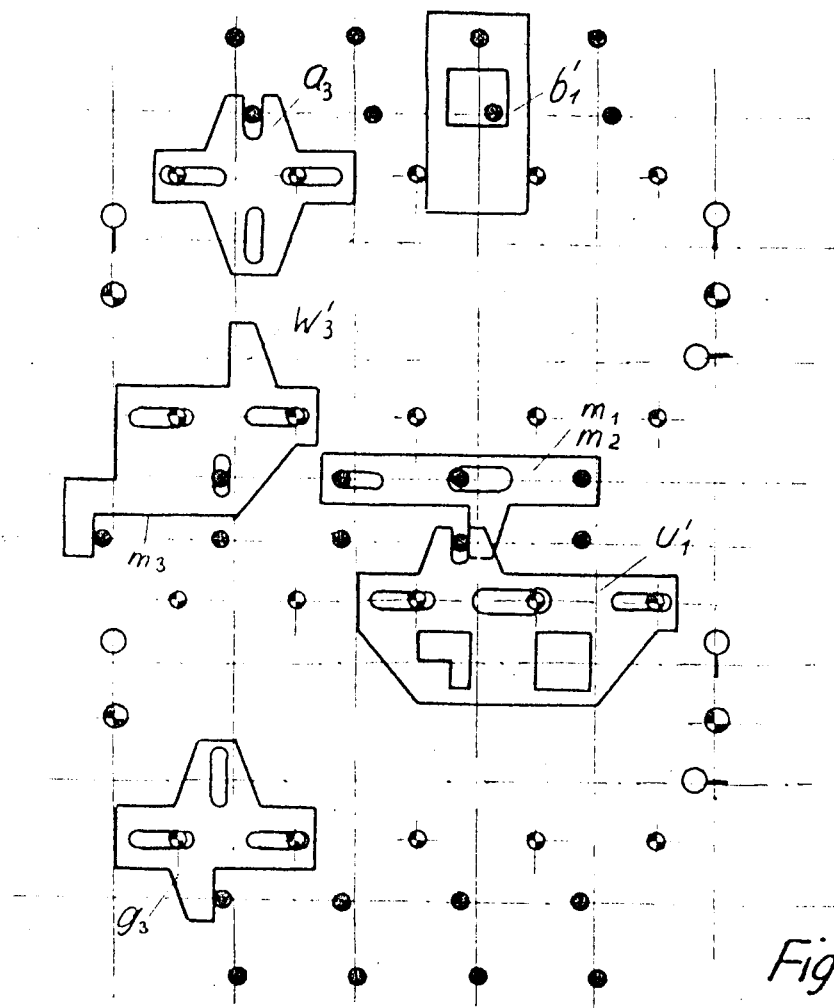


Fig. 76 b



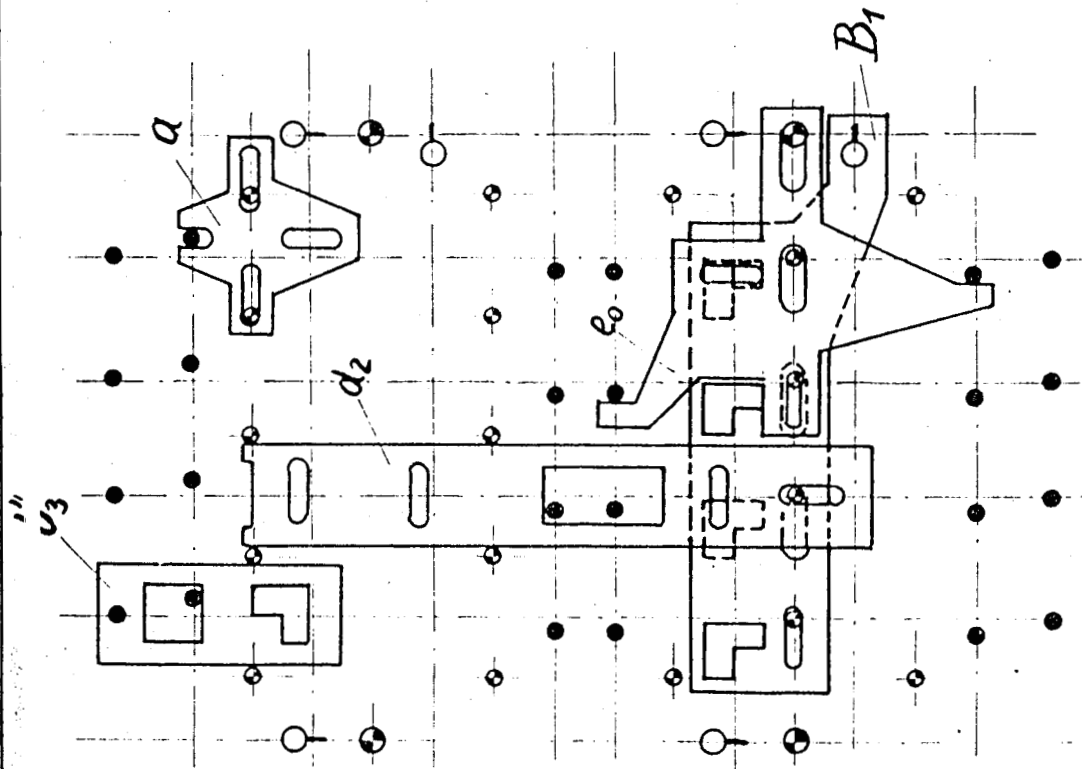


Fig. 77b

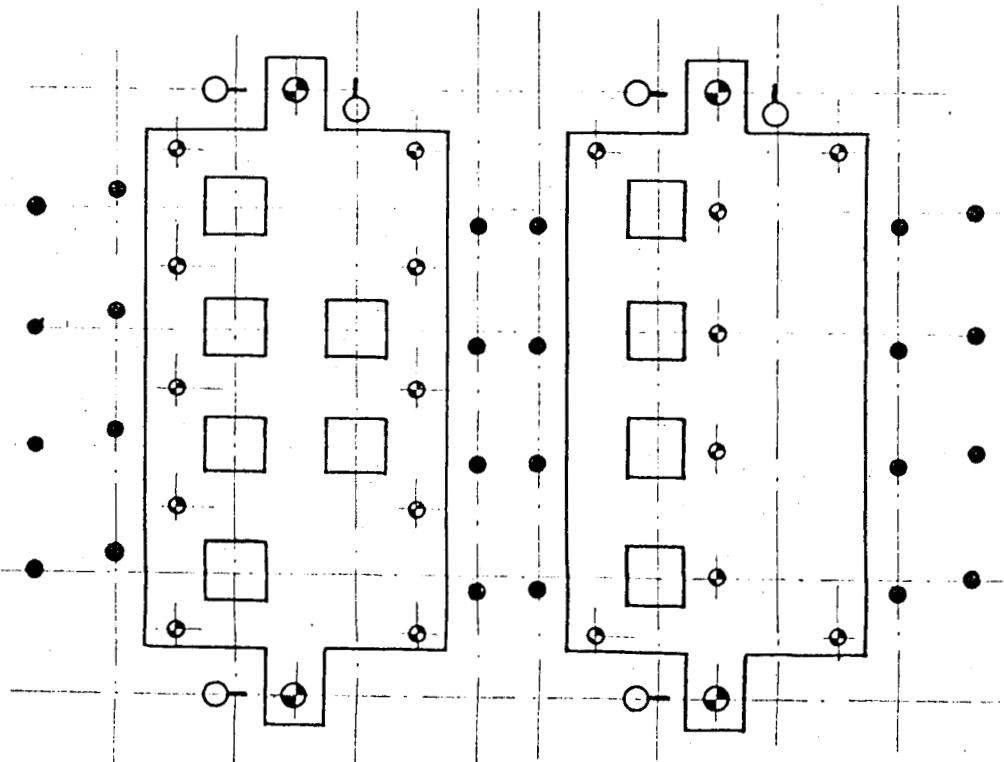


Fig. 77a

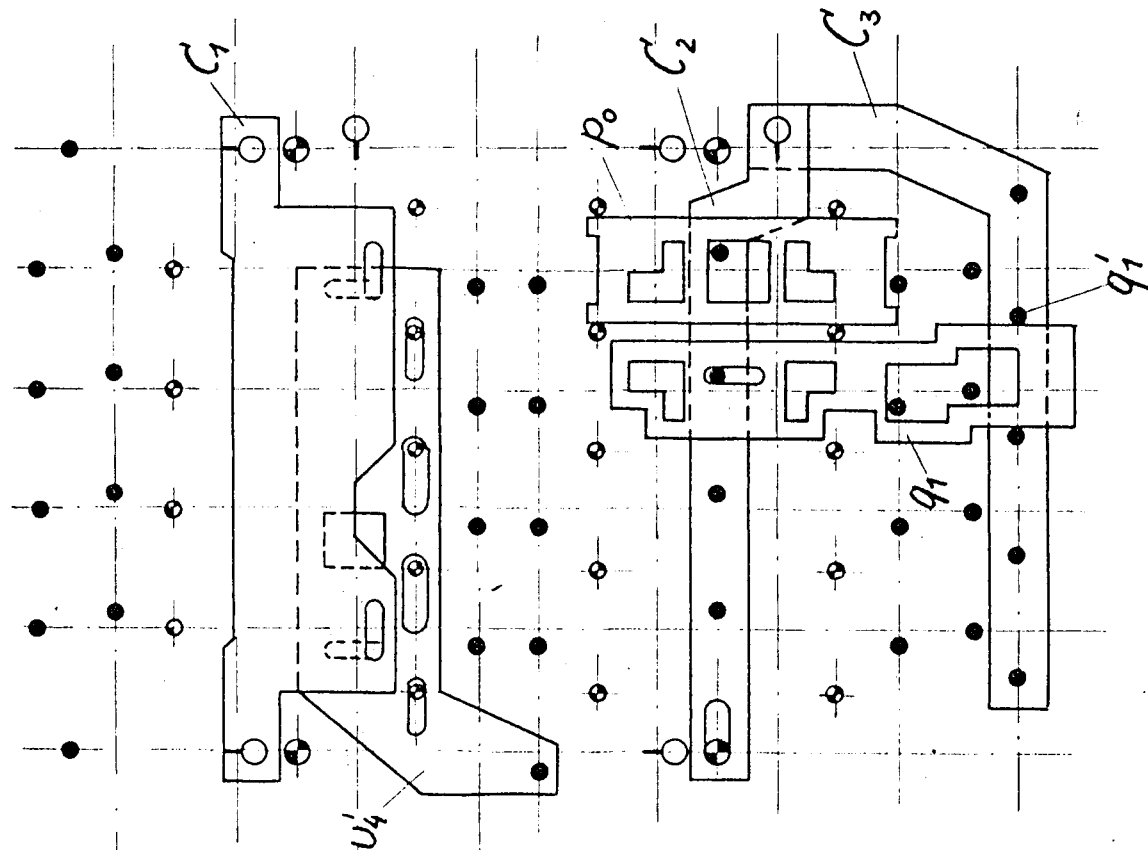


Fig. 78b

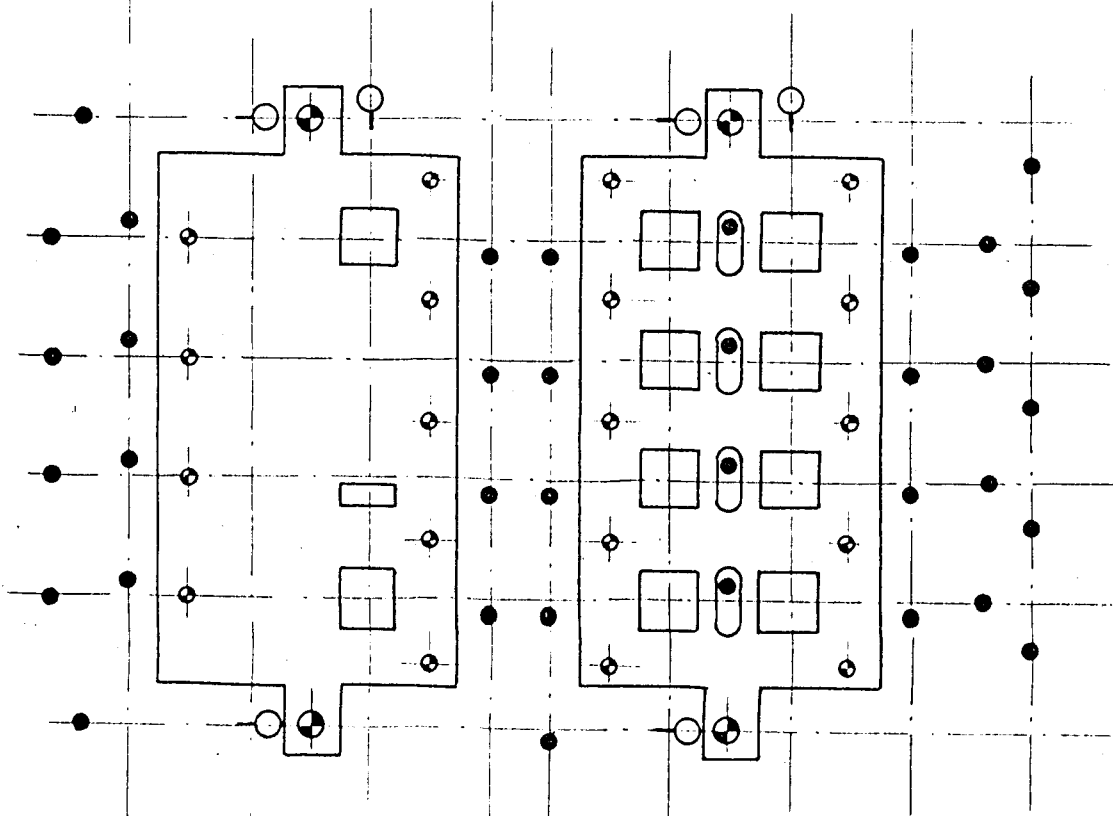


Fig. 78a

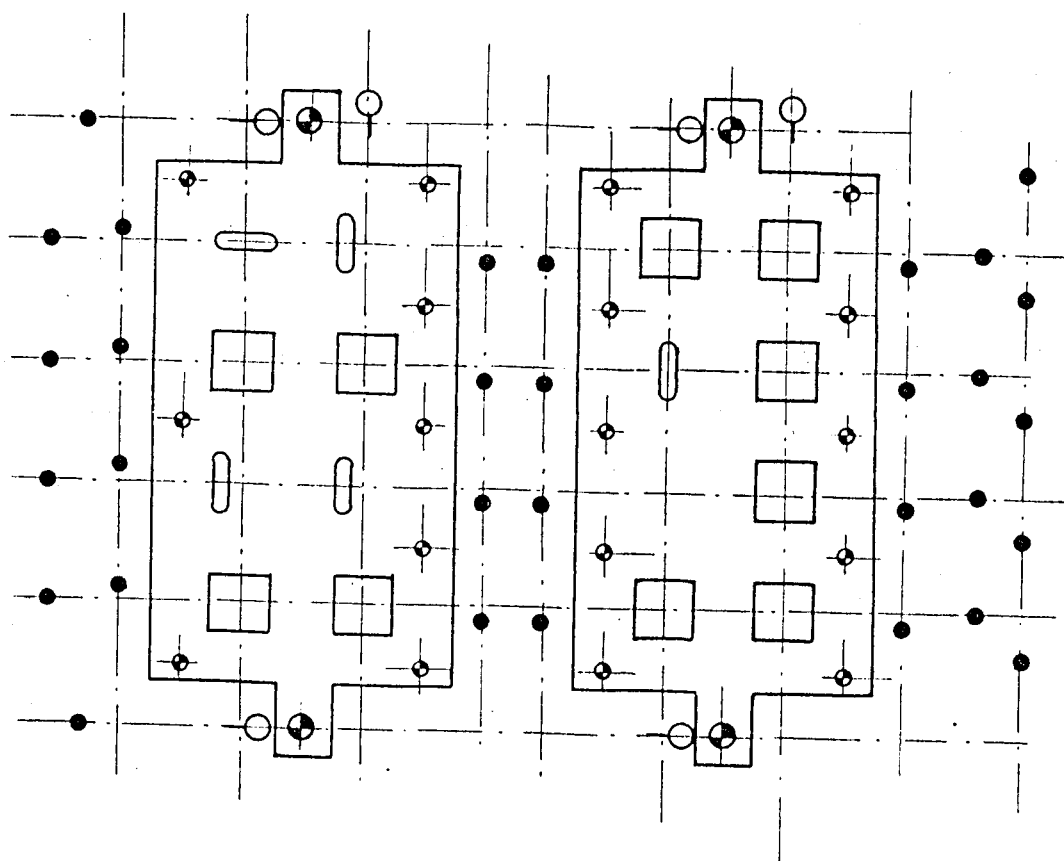


Fig. 79a

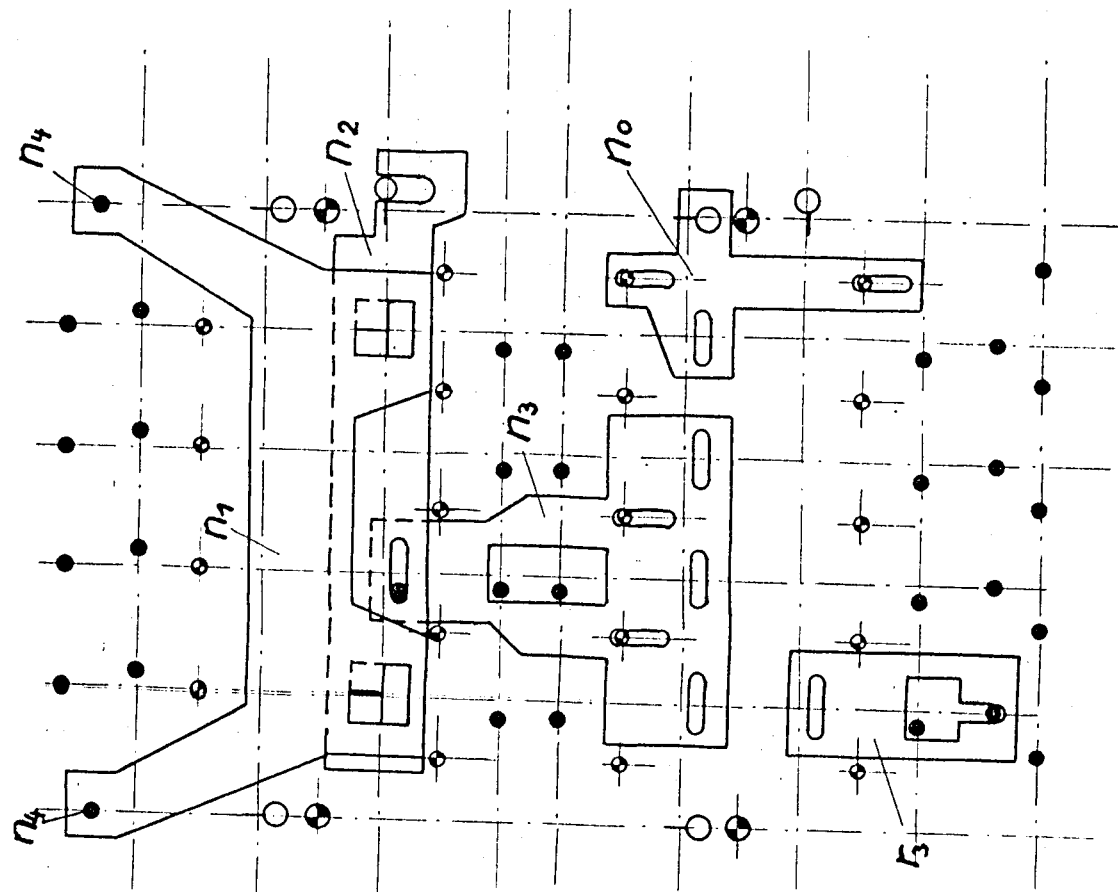


Fig. 78c

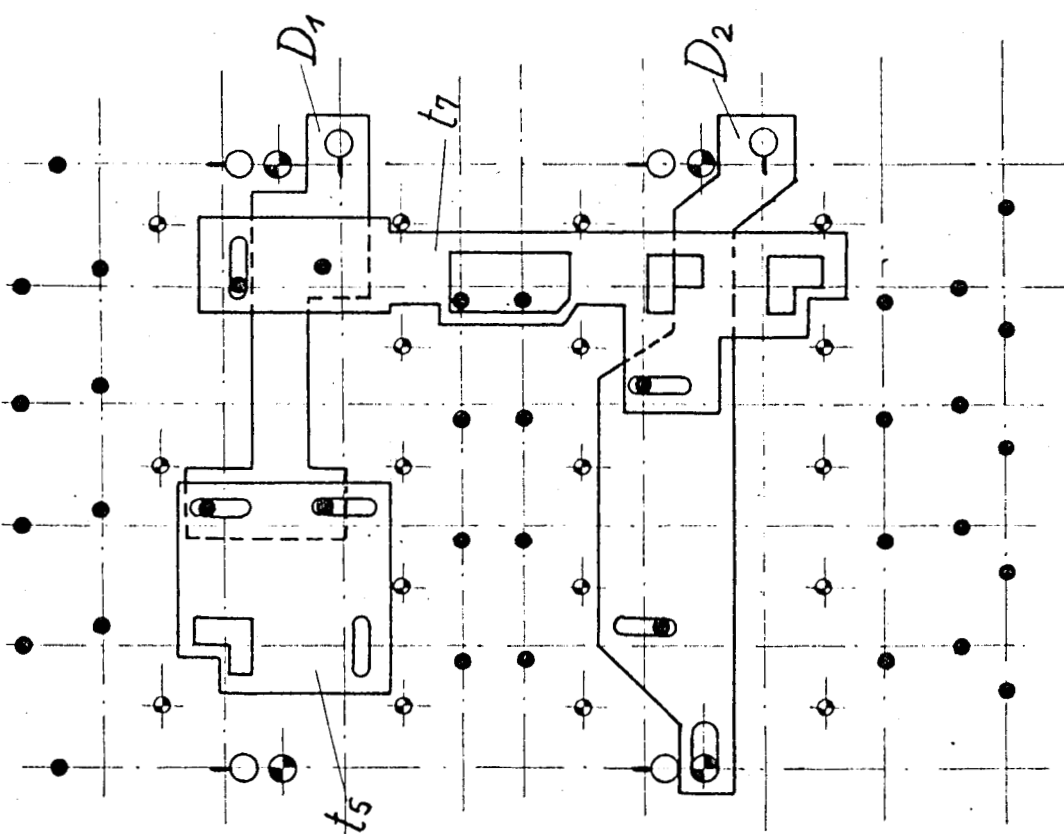


Fig. 79 c

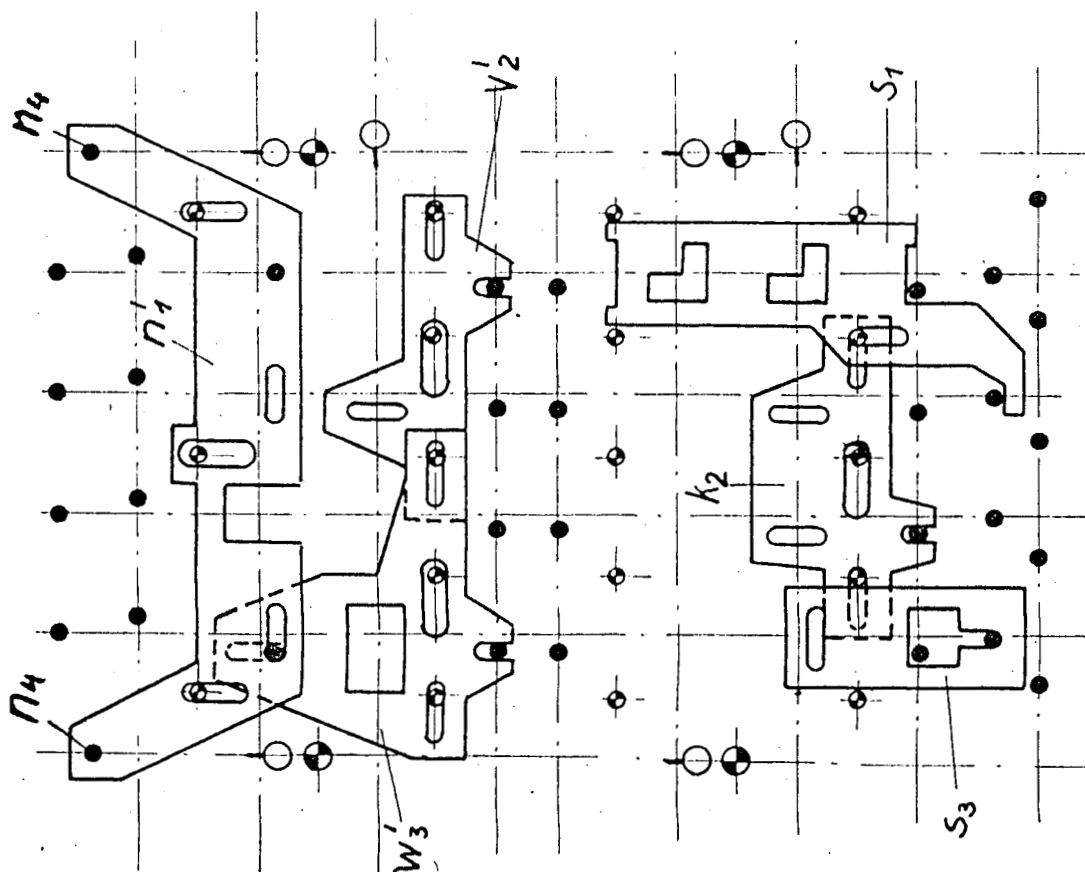


Fig. 79 b

MS 4

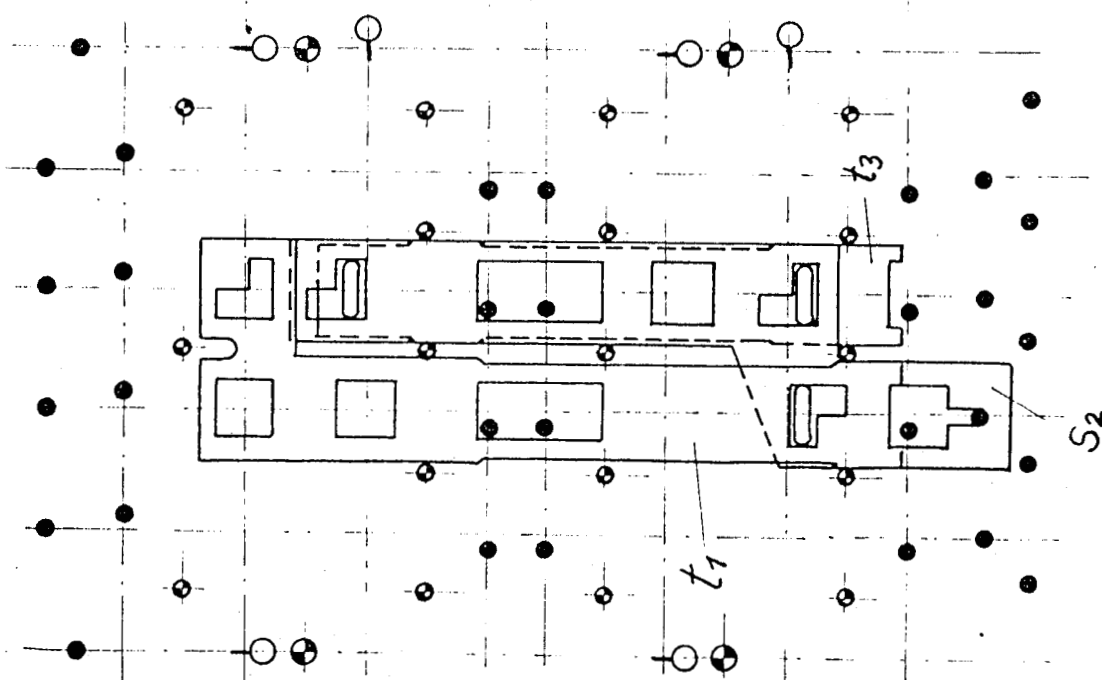


Fig. 79c

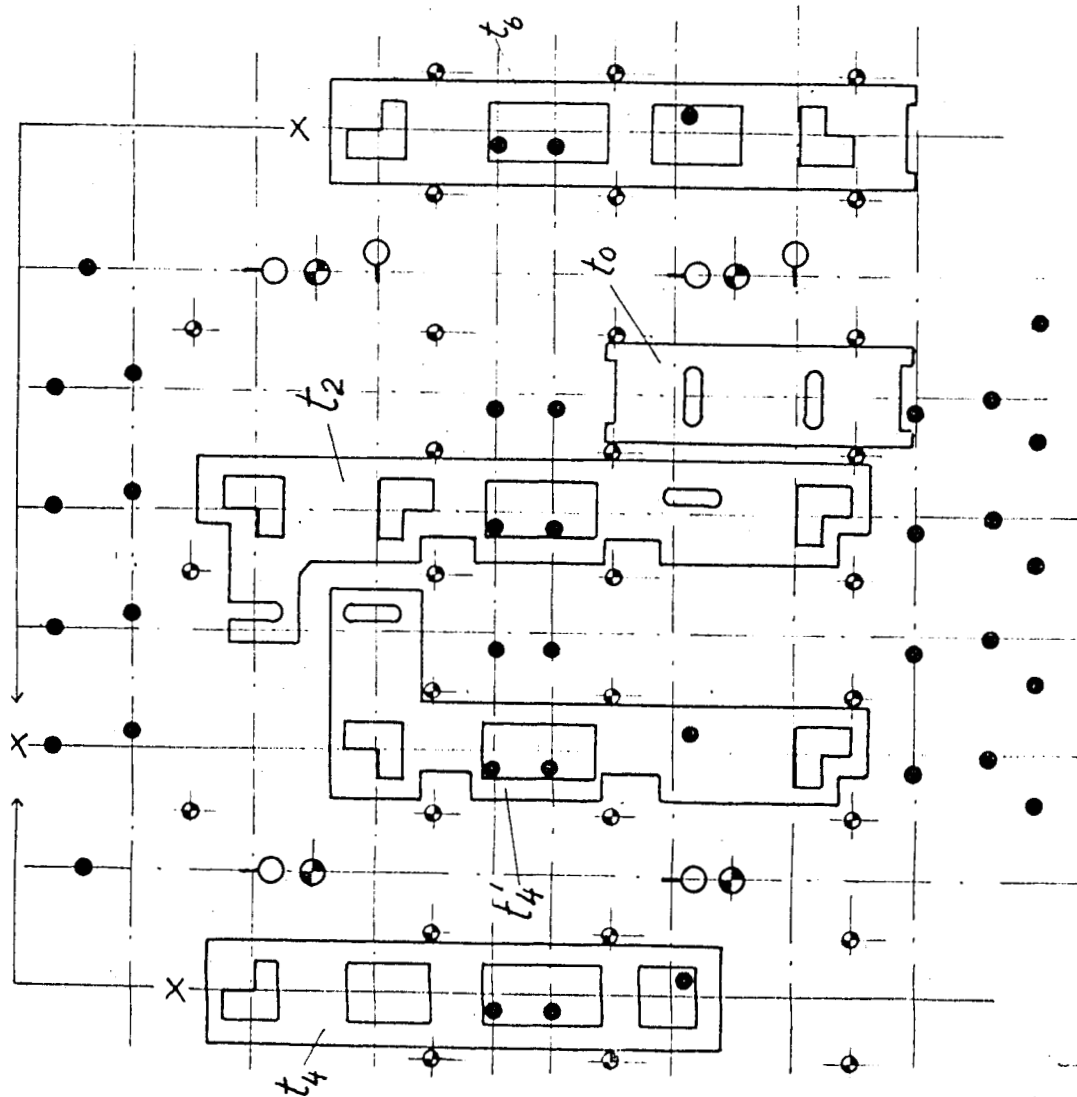


Fig. 79d

1/64

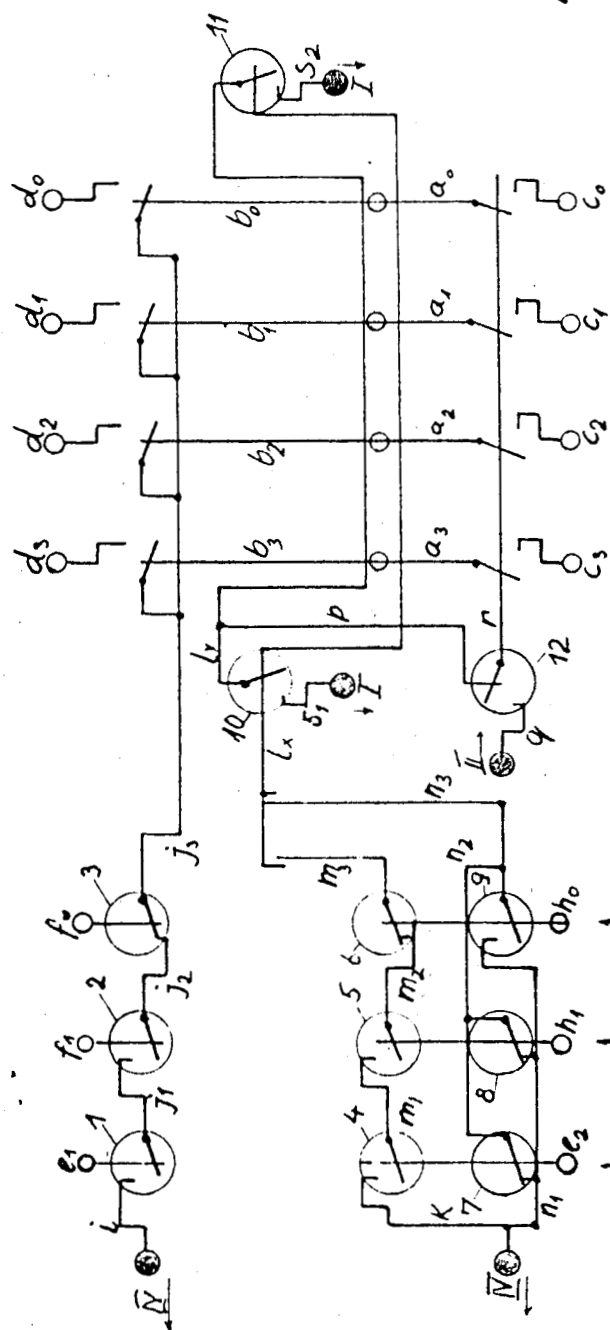


Fig. 80

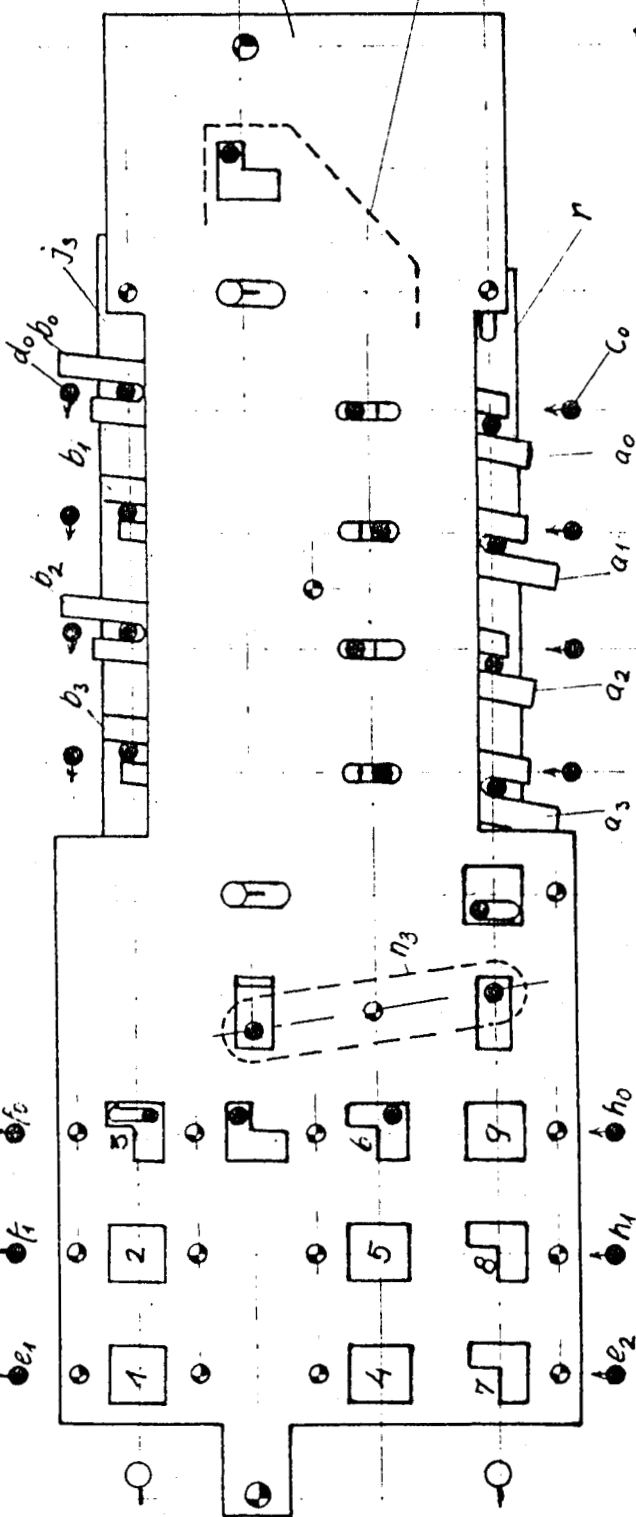


Fig. 81

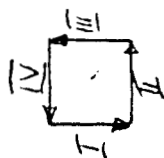
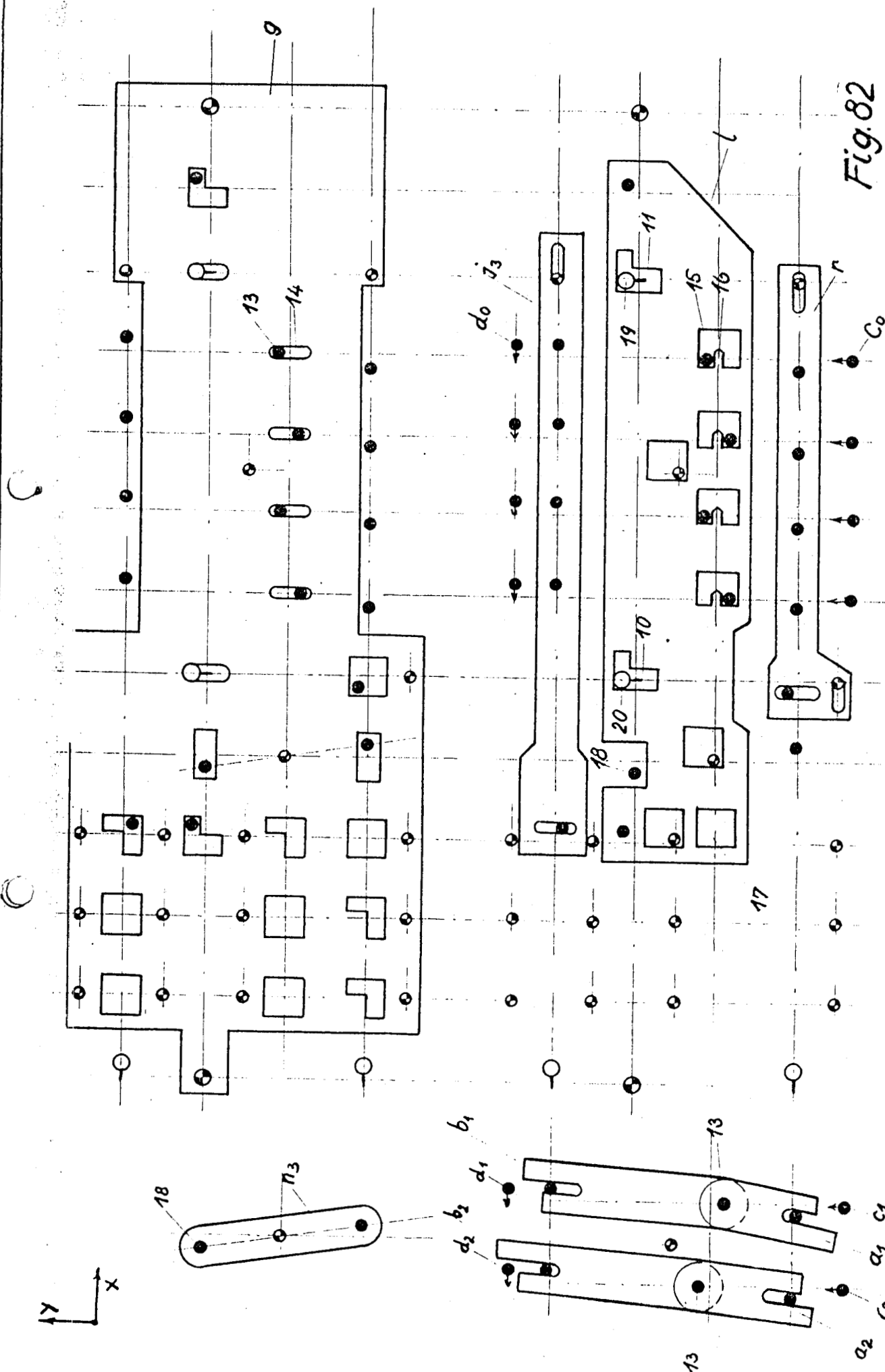


Fig. 82



2.31.1

Fig. 83

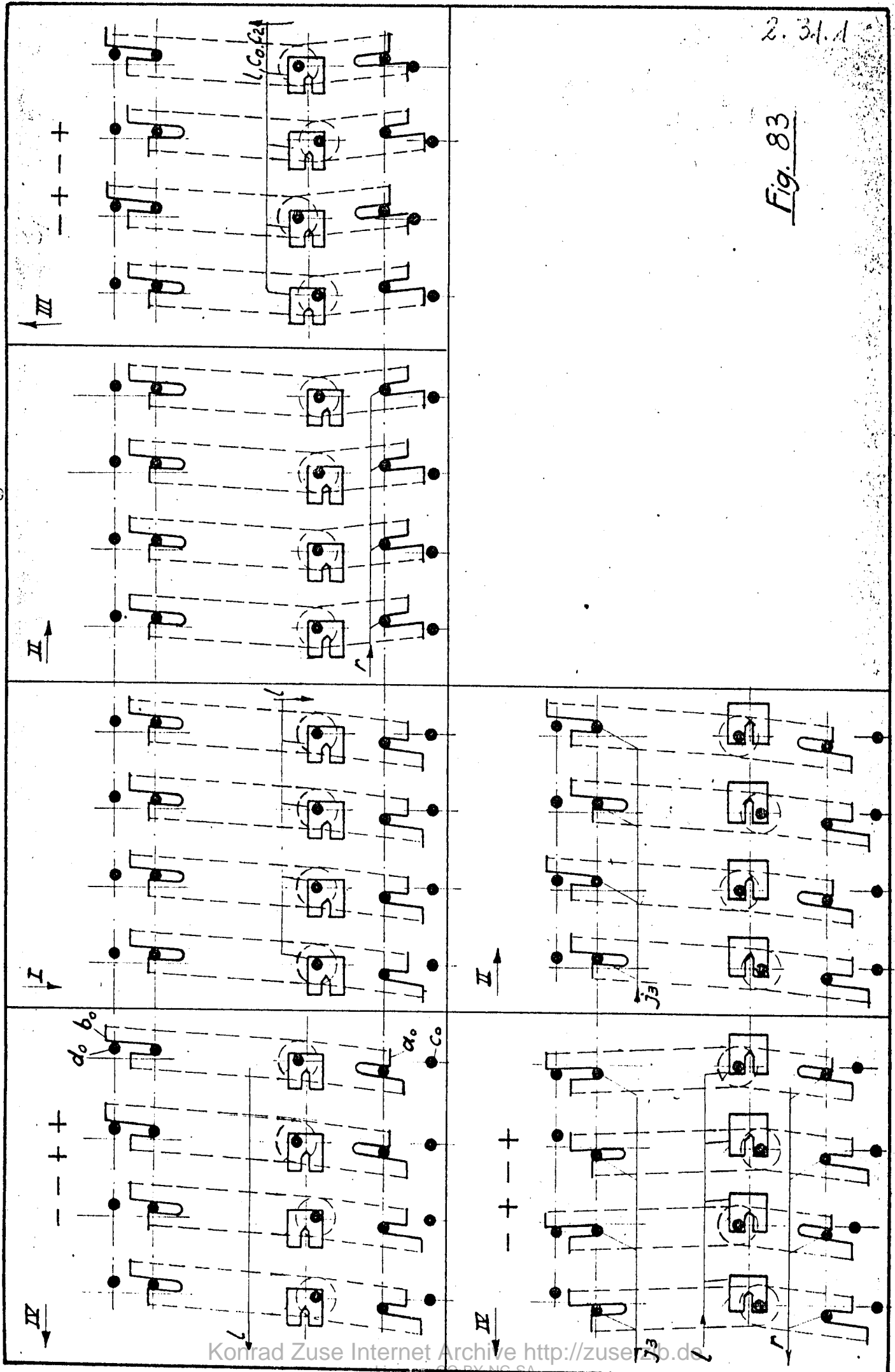


Fig. 85a

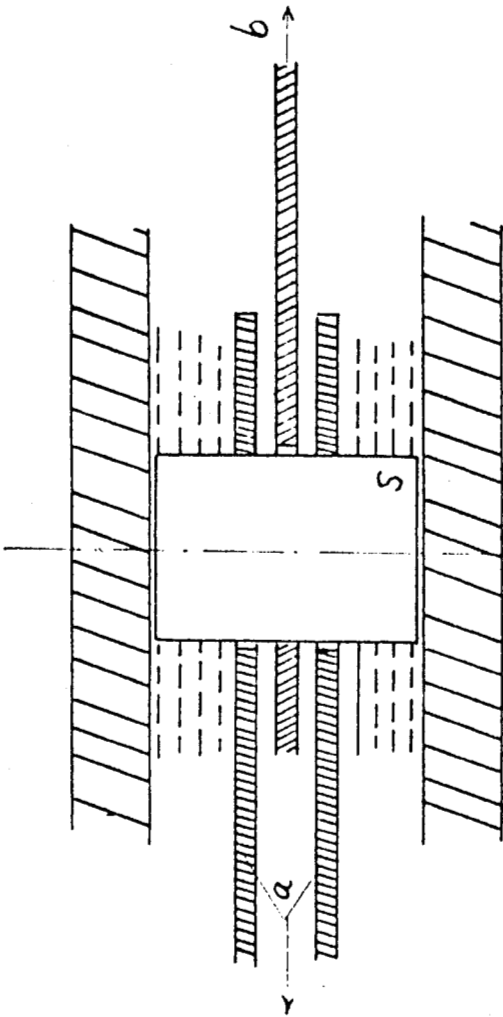


Fig. 85b

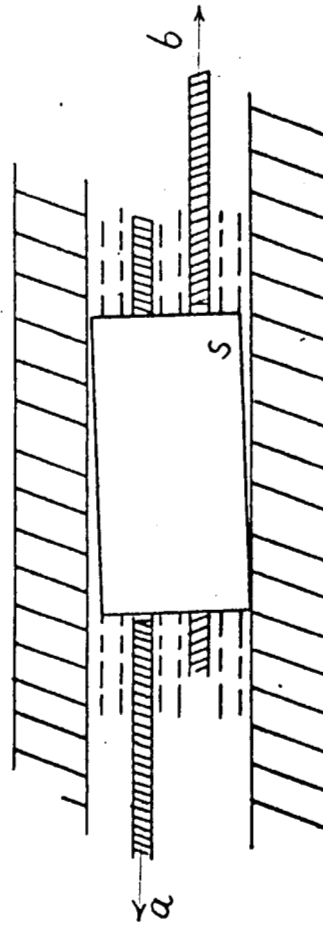


Fig. 84

