



Hierzu dient der Zustand 2 (siehe Bild 2). Hier ist das A-Relais geschlossen und das R-Relais offen. Wir bezeichnen diesen Zustand als *Anfangsbedingung*. In diesem Zustand wird bekanntlich der Kondensator und damit der Ausgang des Integrierers auf den Wert  $u(0)$  aufgeladen, falls am Eingang die Größe  $u_a = -u(0)$  anliegt.

Im Zustand 3 sind beide Relais offen. Wir bezeichnen diesen Zustand mit *Halt*. Der Integrierer hält hier eine zeitlang den Endwert des Zustandes, den er vor dem Zustand Halt inne hatte. War dies der Zustand Rechnen, so hält er den Endwert der ausgeführten Rechnung. War es der Zustand Anfangsbedingung, so hält er den eingestellten Anfangswert. Der Zustand Halt wird beispielsweise dazu benutzt, um einen errechneten Wert  $u(t_0)$  auszudrucken. Ein Digitalvoltmeter oder ein Drucker braucht nämlich, um einen Wert  $u(t_0)$  erfassen zu können, eine gewisse Zeitspanne. Während dieser Zeitspanne darf sich der zu lesende Wert nicht ändern. Die Rechnung muß daher kurzfristig durch den Zustand Halt unterbrochen werden.

Der Zustand 4, in dem beide Relais geschlossen sind, hat keine praktische Bedeutung.

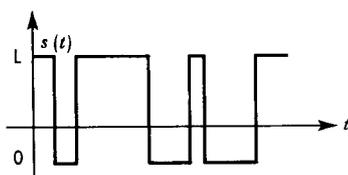


Bild 3. Steuerspannung.

Die Stellungen der Relais eines Integrierers werden durch Anlegen von Steuerspannungen hervorgerufen. Eine solche Steuerspannung kann nur zwischen zwei festen Werten hin und her springen (Bild 3). Hierfür werden bei den einzelnen Maschinentypen unterschiedliche Spannungswerte verwendet. Mathematisch ist eine Steuerspannung nichts anderes als eine *Boolesche Variable*. Ihre beiden Werte bezeichnen wir mit 0 und L und sprechen dann von einer *Steuergröße*.

Wir identifizieren nun die Werte einer Steuergröße  $s(t)$  mit den Zuständen eines damit gesteuerten Relais, indem wir vereinbaren: Ein Relais ist bei Anlegen einer Steuergröße  $s(t)$  geschlossen, wenn diese den Wert L hat und es ist offen, wenn die Steuergröße den Wert 0 besitzt.

### 3. Elementares und nichtelementares Analogrechnen

Bezüglich der Zustände der in einer Schaltung verwendeten Integrierer unterscheiden wir zweierlei Arten von Analogrechenschaltungen durch die

**Definition:** Eine Rechenschaltung bzw. die Rechenart heißt *elementar*, wir sprechen dann auch von *elementarem Analogrechnen*, wenn alle Integrierer der Schaltung synchron gesteuert werden und sich gleichzeitig im selben Zustand befinden. Andernfalls heißt die Schaltung bzw. die Rechenart *nichtelementar* oder *iterativ*.

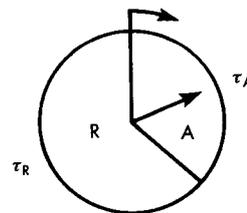
Wir besprechen kurz die wichtigsten Arten des elementaren Analogrechnens:

#### a) Das repetierende Rechnen

Die Steuerung des Rechenablaufes erfolgt hier über ein zentrales Steuergerät, das wir als *Uhr* bezeichnen. Eine Uhr führt die Integrierer einer Schaltung in zyklischer Folge in die Zustände

A (Anfangsbedingung), R (Rechnen), A, R, A, R, ... über. Für die symbolische Darstellung einer Uhr verwenden wir im einfachsten Fall einer Zweiphasenuhr das in Bild 4 angegebene Symbol. Ein „Zeiger“ läuft mit konstanter Winkelgeschwindigkeit um und wechselt nach konstanten Zeiten  $\tau_A$  bzw.  $\tau_R$  den Zustand der Schaltung. Bei jedem Umlauf des Zeigers wird die Rechnung genau wiederholt. Richtet man die Rechnung so ein, daß sich sehr kurze

Bild 4. Symbolische Darstellung einer Uhr.



Zeiten  $\tau_A$  und  $\tau_R$  ergeben, so erhält man auf einem Oszillographen unter Ausnutzung des Nachleuchteffektes des Bildschirmes ein stehendes Bild der Lösung des Problems<sup>1)</sup>. Werden während der einzelnen Repetitionsvorgänge Parameter abgeändert, so kann man die Lösung als Funktion dieser Parameter auf dem Oszillographen beobachten.

#### b) Das „einmalige Rechnen“<sup>2)</sup>

Die Steuerung des Rechenablaufes erfolgt hier über gewisse *Hauptrechenzustände*, die wir mit A für „Anfangsbedingung“, R für „Rechnen“, H für „Halt“ usw. bezeichnen. Diese Zustände werden meist durch Druck auf dafür vorgesehene Leuchttasten hervorgerufen (Bild 5). Man spricht in diesem Falle von *Handsteuerung* der *Hauptrechenzustände*. Die Gesamtschaltung kann sich immer nur in einem Hauptrechenzustand befinden, so daß die Auswahl eines Hauptrechenzustandes automatisch den vorherigen beendet.

Häufig ist es erwünscht, den Hauptrechenzustand genau nach Ablauf eines vorgegebenen Zeitintervalles zu ändern oder etwa den Rechenzustand von Ergebnissen der Rechnung her zu steuern. Letzteres ist beispielsweise der Fall, wenn der Wert einer Funktion  $u(t)$  zu einem Zeitpunkt  $t_0$  interessiert, in dem eine mit derselben Schaltung berechnete Funktion  $v(t)$  eine Nullstelle besitzt. Man wird dann die Rechnung zum Zeitpunkt  $t_0$  kurzfristig unterbrechen, um den Wert  $u(t_0)$  ausdrucken zu können. Ein Anhalten der Rechnung von Hand wäre aber viel zu ungenau. Jedem Hauptrechenzustand ist daher eine Buchse für *externe Steuerung* durch eine Steuergröße zugeordnet. Die Rechnung wechselt in den betreffenden Hauptrechenzustand, wenn diese Steuergröße vom Wert 0 auf den Wert L springt.

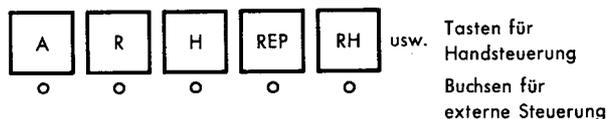


Bild 5. Steuerung des Rechenablaufes über Hauptrechenzustände.

#### c) Rechnen mit periodischem Halt

Die Steuerung des Rechenablaufes erfolgt hier wieder über eine Uhr, welche zyklisch die Zustände

$$R, H, R, H, R, H, \dots$$

aufruft. Der Lauf der Uhr wird durch Druck auf eine dafür vorgesehene Taste (RH in Bild 5) gestartet. Zuvor muß jedoch durch den Hauptrechenzustand A (Anfangsbedingung) dafür gesorgt werden, daß die Schaltung die richtigen Anfangswerte annimmt.

Das Rechnen mit periodischem Halt läßt sich etwa dazu verwenden, um Werte zu berechnender Funktionen  $u_i(t)$  ( $i = 1(1)m$ ) an äquidistanten Stellen  $t_j$  ( $j = 1(1)n$ ),  $t_{j+1} = t_j + h$  auszudrucken. Die Berechnung der Funktionen  $u_i(t)$  wird dann jeweils an den Stellen  $t_j$  ( $j = 1, 2, 3 \dots$ ) kurzfristig durch den Zustand Halt unterbrochen.

<sup>1)</sup> Ältere Anlagen können häufig nur in dieser Weise rechnen. Man bezeichnet diese daher auch als „Kurzzeitrechner“.

<sup>2)</sup> Da es hier nicht darauf ankommt, daß die Rechnung in sehr kurzen Zeiten abläuft, wird diese Rechenart häufig als Langzeitrechnen bezeichnet.

Beim elementaren Analogrechnen ist der Ablauf der Rechnung durch Wiedergabe der Rechenschaltung und Angabe der Rechenart hinlänglich und reproduzierbar beschrieben. Da die Steuerung des Rechenablaufes verhältnismäßig starr ist — die Anfangswerte müssen eben vor der eigentlichen Rechnung angelegt werden — kann auf eine besondere Beschreibung der Steuerung des Rechenablaufes als Ergänzung der Schaltung verzichtet werden. Demgegenüber wird beim nichtelementaren oder iterativen Rechnen durch Angabe der Rechenschaltung der Ablauf der Rechnung keineswegs eindeutig und reproduzierbar wiedergegeben. Eine zusätzliche Beschreibung der Steuerung des Rechenablaufes ist hier unerlässlich.

Bei größeren Analogrechenanlagen werden die Ein- und Ausgänge aller Rechenelemente meist auf ein zentrales Feld der Maschine geführt, welches wir als *Rechenbrett* bezeichnen. Es ist meist auswechselbar, so daß die *Rechenschaltung* unabhängig von der Maschine gesteckt und aufbewahrt werden kann. Die Verbindungen zwischen den Rechenelementen werden erst hergestellert, wenn das Rechenbrett auf die Maschine aufgesetzt wird. Alle Größen, welche in Eingänge von Rechenelementen geführt werden oder aus Ausgängen von Rechenelementen entnommen werden können, bezeichnen wir als *Rechengrößen*. Eine Rechengröße  $u(t)$  ist demnach eine reelle Variable, welche beliebige Werte im Bereich  $-1 \leq u(t) \leq +1$  annehmen kann. Es sei besonders darauf hingewiesen, daß dieser Definition gemäß auch ein Komparator von Rechengrößen gesteuert wird.

Beim nichtelementaren Analogrechnen erfolgt die Steuerung des Rechenablaufes über ein zweites, ebenfalls meist auswechselbares Brett, das wir als *Steuerbrett* bezeichnen sowie über die Einrichtungen des Bedienungspultes. Das Steuerbrett enthält insbesondere die Eingangsbuchsen zur Steuerung der Relaiskontakte der Integrierer. Auf dem Steuerbrett wird die *Steuerschaltung* gesteckt. Die Steuerung des Rechenablaufes erfolgt durch *Steuergrößen*. Es sind, wie bereits erwähnt, Boolesche Variable, welche nur die Werte 0 und L annehmen können.

Häufig ist es erforderlich, eine Steuergröße in eine Rechengröße oder umgekehrt eine Rechengröße in eine Steuergröße umzuwandeln. Letzteres ist etwa der Fall, wenn die Rechnung in Abhängigkeit von einer Rechengröße angehalten werden soll. Die Rechengröße muß dann eine Steuergröße erzeugen, welche die Relais der betreffenden Integrierer öffnet. Zur Umwandlung einer Rechengröße in eine Steuergröße und umgekehrt dienen die sog. *Umwandlungselemente*. Wir verwenden dafür die in Bild 6 angegebenen Symbole mit der dort angegebenen Bedeutung. Dabei ist stets  $x$  Rechengröße und  $s$  Steuergröße. Zusätzlich verein-

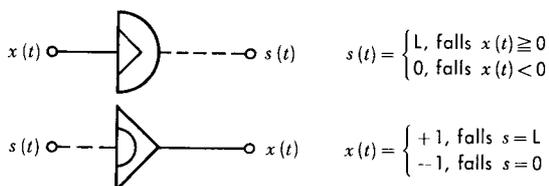


Bild 6. Symbolische Darstellung der Umwandlungselemente.

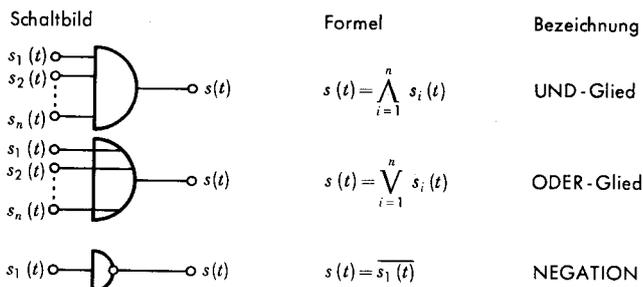


Bild 7. Verknüpfungsglieder für Steuergrößen.

baren wir, daß Leitungen für Steuergrößen, soweit sie in einer Rechenschaltung auftreten, zur Unterscheidung von den Rechengrößen zu stricheln sind.

Die Ein- und Ausgänge der Umwandlungselemente liegen jeweils auf verschiedenen Brettern. Die Umwandlungselemente stellen daher die Verbindungen vom Rechenbrett zum Steuerbrett und umgekehrt dar.

Zur Verknüpfung von Steuergrößen vereinbaren wir die auch anderweitig üblichen und in Bild 7 angegebenen *Verknüpfungsglieder* für UND, ODER und die NEGATION.

Die Verknüpfungsglieder haben folgende Bedeutung:

$s(t) = \bigwedge_{i=1}^n s_i(t)$ : Es ist  $s(t) = L$  genau dann, wenn alle Eingangsgroßen  $s_i(t)$  ( $i = 1(1)n$ ) den Wert L annehmen.

$s(t) = \bigvee_{i=1}^n s_i(t)$ : Es ist  $s(t) = L$ , wenn mindestens eine der Eingangsgroßen  $s_i(t)$  ( $i = 1(1)n$ ) den Wert L annimmt. D. h., es ist  $s(t) = 0$  genau dann, wenn alle Eingangsgroßen 0 sind.

$s(t) = \overline{s_1(t)}$ : Es ist  $s(t) = L$ , falls  $s_1(t) = 0$  ist,  $s(t) = 0$ , falls  $s_1(t) = L$  ist.

Aus der Definition der Verknüpfungsglieder folgt sofort, daß sie bezüglich der Eingänge kommutativ und assoziativ sind. Im übrigen erfüllen sie die üblichen Gesetze der Schaltlogik.

Zwischen den Verknüpfungsgliedern bestehen die als *de Morgansche* Regeln bekannten Gesetze:

$$\overline{\bigwedge_{i=1}^n s_i} = \bigvee_{i=1}^n \overline{s_i} \quad \overline{\bigvee_{i=1}^n s_i} = \bigwedge_{i=1}^n \overline{s_i}$$

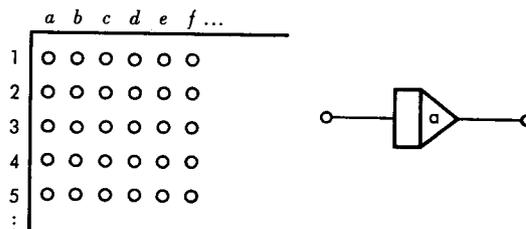


Bild 8. Gruppeneinteilung der Integrierer.

#### 4. Über die zweckmäßige Organisation des Steuerbrettes

##### a) Gruppeneinteilung der Integrierer

Die Integrierer einer nichtelementar gesteuerten Analogrechenschaltung teilen wir in *Gruppen* ein, indem wir vereinbaren: Zwei Integrierer der Schaltung gehören derselben Gruppe an, wenn sie synchron gesteuert werden und sich stets im selben Zustand befinden.

Bei dieser Definition einer Integrierergruppe ist es durchaus möglich, daß eine Schaltung Integrierergruppen enthält, welche nur ein einzelnes Element enthalten.

Technisch läßt sich die Gruppeneinteilung der Integrierer, wie in Bild 8 angedeutet, vornehmen. Dort sind die Gruppennamen horizontal aufgeschrieben und die Integrierernummern senkrecht. Jeder Kreuzungsstelle eines Gruppennamens mit einer Integrierernummer ist eine Buchse zugeordnet. Durch Stecken eines Stiftes an dieser Kreuzungsstelle wird ein Integrierer der gewünschten Gruppe zugewiesen.

In der Schaltung wird die Gruppeneinteilung der Integrierer durch Eintragen des Gruppennamens zum Ausdruck gebracht (Bild 8). Wählt man für die Eintragung jedes Gruppennamens eine andere Farbe, so wird diese besonders übersichtlich.

Auf dem Steuerbrett brauchen wir jetzt nur noch Steuereinrichtungen für die verschiedenen Integrierergruppen vorzusehen, wobei jede Integrierergruppe prinzipiell durch zwei Relais, das A- und das R-Relais der Gruppe, repräsentiert wird.

b) Externe Steuerung der Integrierergruppen

Jedem Relais einer Integrierergruppe ordnen wir auf dem Steuerbrett eine Buchse zu, in die die betreffende Steuergröße  $s_i(t)$  eingegeben wird (Bild 9). Wir sprechen dann von *externer Steuerung der Integrierergruppe*. Diese Steuerfunktionen  $s_i(t)$  sind so zu wählen, daß sie zu den betreffenden Zeiten die gewünschten in Bild 2 angegebenen Rechenzustände des Integrierers herstellen. In der Schaltung bringen wir die externe Steuerung eines Integrierers in der in Bild 9 rechts angedeuteten Weise zum Ausdruck. Dabei vereinbaren wir, daß die Steuergröße für das A-Relais auf der Seite der Anfangsbedingung und diejenige für das R-Relais auf der gegenüberliegenden Seite zugeführt wird. Die Steuergrößen  $s_i(t)$  und  $s_j(t)$  sind natürlich besonders zu beschreiben.

Die externe Steuerung der Integrierer ist die naheliegenste. Doch besteht eine gewisse Schwierigkeit darin, daß die Steuergrößen  $s_i(t)$  auf der Anlage erzeugt werden müssen, was in der Regel auf dem Rechenbrett geschehen muß und sehr mühevoll sein kann. Wir sehen daher noch eine weitere Steuermöglichkeit vor, bei der sich das Erzeugen der Steuergrößen erübrigt.

c) Phaseneinteilung, Steuerung über Hauptrechenzustände

Aus dem gesamten Rechenintervall  $0 \leq t \leq T_R$  greifen wir diejenigen Zeitpunkte  $t_j$  ( $j = 0(1)m$ ) heraus, in denen eines oder mehrere Relais der in der Schaltung verwendeten Integrierer seine Stellung verändert. Diese Zeitpunkte ordnen wir nach wachsenden Werten von  $t$  an:

$$0 = t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_j < \dots < t_{m-1} < t_m = T_R.$$

Jedes Intervall  $t_j < t < t_{j+1}$  ( $j = 0(1)m-1$ ) bezeichnen wir als *Rechenphase* oder kurz als *Phase*, die Differenz  $\Delta t_j = t_{j+1} - t_j$  als *Phasendauer*. Damit zerfällt das gesamte Rechenintervall in  $m$  aufeinanderfolgende Phasen. Während jeder Phase verändert kein Integrierer der Schaltung seinen Zustand<sup>3)</sup>.

Zur Steuerung einer Schaltung während einer Phase verwenden wir eine Steuereinrichtung, welche wir als *Hauptrechenzustand* bezeichnen. Diese bewirkt zunächst die Steuerung einer Schaltung während einer Phase. Auf dem Steuerbrett bzw. dem Bedienungspult sind nebeneinander Steuereinrichtungen für eine ganze Reihe von Hauptrechenzuständen  $H_i$  ( $i = 1(1)h$ ) vorgesehen (Bild 10/I). Ähnlich wie bei externer Steuerung ist bei jedem Hauptrechenzustand jedem Relais einer Gruppe eine Buchse zugeordnet.

<sup>3)</sup> In einer Arbeit von Helmut Adler, „Aufbau und Anwendungsmöglichkeiten eines elektronischen Analogrechners mit Programmsteuerung“, Habilitationsschrift Dresden 1965, wird in ähnlicher Weise der gesamte Rechenvorgang in eine Aufeinanderfolge von Phasen eingeteilt.

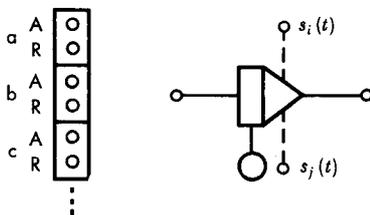


Bild 9. Externe Steuerung der Integrierer.

Die Steuerung der Relais erfolgt aber nicht durch die Steuergrößen, sondern durch Stecken oder nicht Stecken eines Stiftes. Dazu vereinbaren wir: Ein Stift wirkt während eines Hauptrechenzustandes wie eine Steuergröße L (Relais geschlossen), kein Stift wie eine Steuergröße 0 (Relais offen)<sup>4)</sup>.

Jeder Hauptrechenzustand kann entweder von Hand oder durch externe Steuerung ein- bzw. abgeschaltet werden. Das Einschalten von Hand erfolgt durch Druck auf eine hierfür vorgesehene Leuchttaste. Ein nochmaliger Druck auf diese Taste schaltet den Hauptrechenzustand wieder ab. Für die externe Steuerung sind die in Bild 10/I mit Eingang bzw. Ausgang bezeichneten Buchsenreihen vorgesehen. Der Hauptrechenzustand  $H_i$  wird ein- bzw. abgeschaltet, wenn eine in die linke bzw. rechte Eingangsbuchse geführte Steuergröße vom Wert 0 auf den Wert L springt. Die linke der beiden Ausgangsbuchsen liefert eine Steuergröße  $s_i$ , welche bei eingeschaltetem Hauptrechenzustand  $H_i$  den Wert L und sonst den Wert 0 besitzt. Die rechte der beiden Ausgangsbuchsen liefert die Steuergröße  $\bar{s}_i$ .

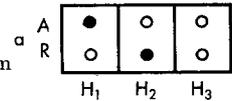


Bild 11. Die Hauptrechenzustände beim elementaren Analogrechnen.

Soll das Abschalten eines Hauptrechenzustandes  $H_i$  automatisch das Einschalten eines anderen  $H_k$  bewirken, so sind die Buchsen für die externe Steuerung wie in Bild 10/II zu verbinden. Soll hingegen das Einschalten eines Hauptrechenzustandes  $H_k$  automatisch einen anderen  $H_i$  abschalten, so sind diese wie in Bild 10/III zu verkoppeln.

Ist die Zeitspanne, während der ein Hauptrechenzustand eingeschaltet sein soll von vornherein bekannt (Phasendauer), so kann diese in einem auf dem Bedienungspult für jeden Hauptrechenzustand vorgesehenen Einstellrädchen, dem *Zeitgeber*<sup>5)</sup> eingestellt werden. Der Hauptrechenzustand wird dann automatisch nach Ablauf dieser Zeitspanne abgeschaltet.

Der Begriff des Hauptrechenzustandes ist eine Verallgemeinerung dessen, was wir beim elementaren Analogrechnen als Hauptrechenzustand bezeichnet haben. Die Integrierer einer elementar gesteuerten Schaltung bilden eine einzige Gruppe, für die die Zustände Anfangsbedingung ( $H_1$ ), Rechnen ( $H_2$ ) und Halt ( $H_3$ ) vorgesehen sind (Bild 11).

<sup>4)</sup> Technisch kann man diese Wirkung dadurch hervorrufen, daß der Stift zwei übereinanderliegende Leitungen, von denen die eine die Steuergröße L trägt und die andere zum jeweiligen Relais führt, verbindet.

<sup>5)</sup> Ein Zeitgeber läßt sich aus zwei Potentiometern, einem Integrierer und einem Umwandlungselement leicht explizit aufbauen. Vgl. dazu Bild 18.

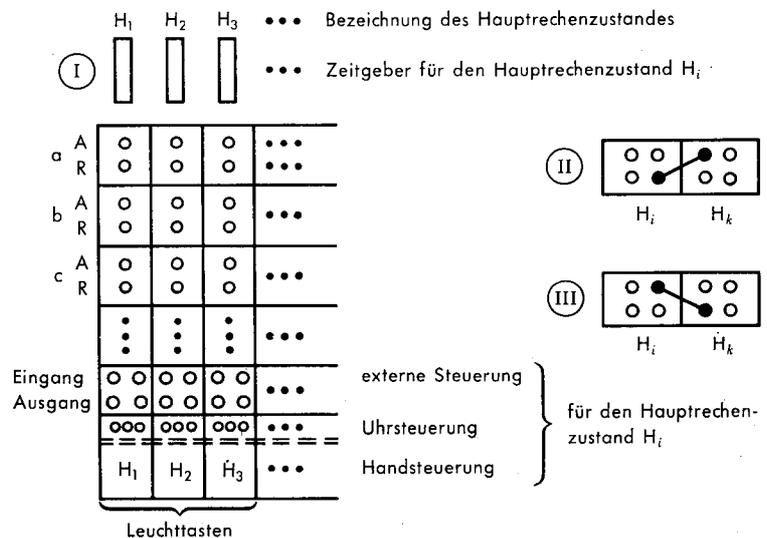


Bild 10. Steuerung über Hauptrechenzustände.

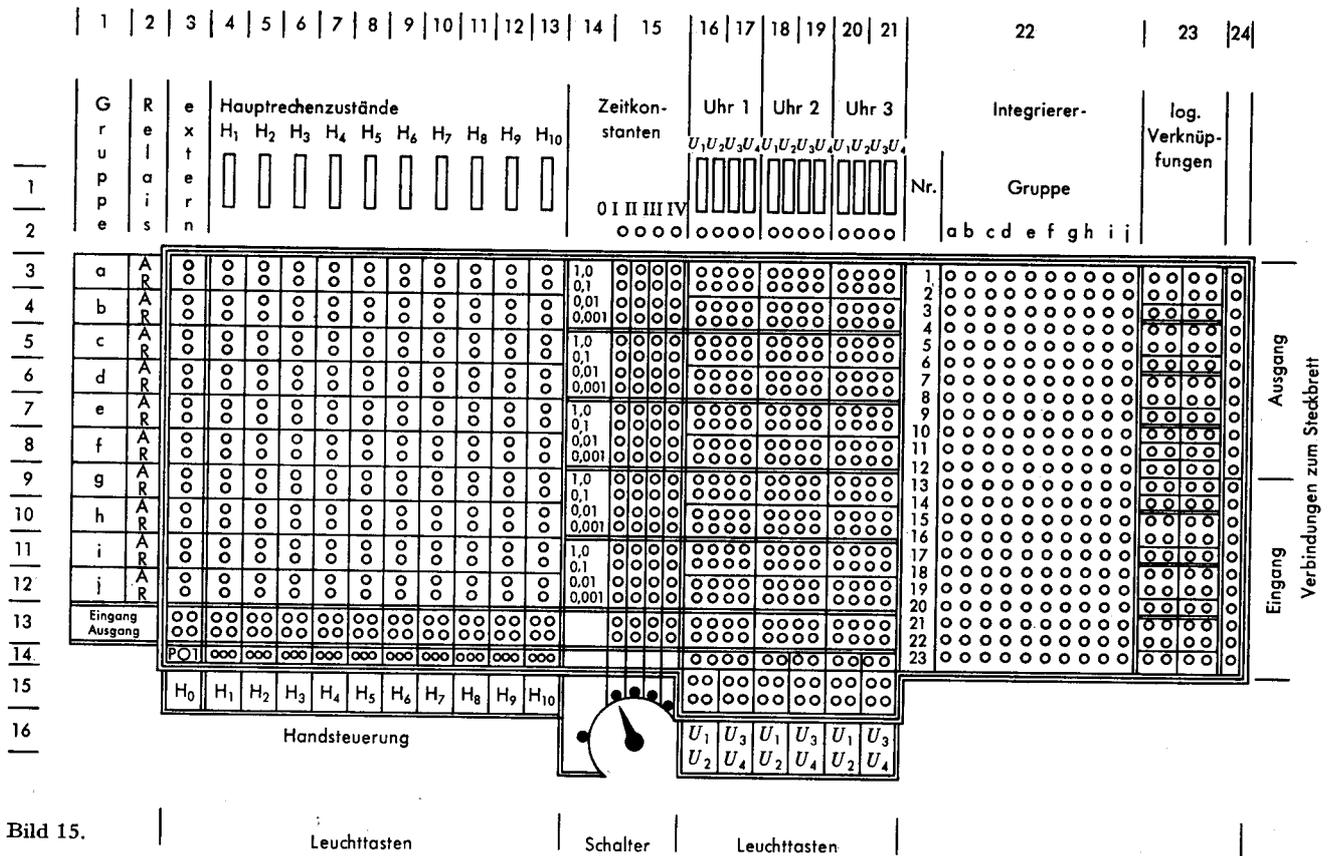


Bild 15.

externe Steuerung angewählt werden, wenn der Schalter in Zeile 16 in die Stellung 0 weist. Hierzu dient die mit Eingang bezeichnete Buchstabenreihe in Zeile 13. Diejenige Spalte, welche gerade in Aktion ist, wird durch Aufleuchten eines Anzeigelämpchens (Zeile 2) angezeigt. Die betreffende Ausgangsbuchse in Zeile 13 liefert dann eine Steuergröße  $L$ , andernfalls eine Steuergröße 0.

Links vom Hauptrechenzustand  $H_1$  befindet sich eine mit  $H_0$  bezeichnete Leuchttaste (Spalte 3, Zeile 15), in der die Potentiometereinstellung erfolgt. In diesem Zustand sind die Relais aller Integrierer offen. Zusätzlich sind auch die Eingangswiderstände der Summierer vom Verstärker abgetrennt und an Erde gelegt. Der Zustand  $H_0$  kann auch durch externe Steuerung (Zeile 13) ein- oder abgeschaltet werden.

Jede der drei Uhren ist mit vier Phasen ausgestattet. Zwischen den Zeitgebern und dem Steuerbrett befindet sich für jede Phase ein Anzeigelämpchen, welches aufleuchtet, wenn sich die Uhr in dieser Phase befindet.

In Zeile 16 sind außerhalb des Steuerbrettes für jede Uhr zwei Leuchttasten vorgesehen, welche gestatten, den Lauf der Uhr nach Beendigung der Phase  $U_1$  oder  $U_2$  bzw.  $U_3$  oder  $U_4$  anzuhalten. Für welche der beiden angeschriebenen Phasen die Taste wirken soll, wird in Zeile 14 durch Stecken eines Stiftes in der betreffenden Spalte entschieden. (Man könnte natürlich auch Halttasten für alle vier Phasen einer

Uhr vorsehen.) Ein Druck auf die Halttaste bewirkt, daß der gesamte von der Uhr gesteuerte Schaltungsteil nach Beendigung der angewählten Phase in den Zustand Halt übergeführt wird. Durch einen nochmaligen Druck auf die Leuchttaste wird der Lauf der Uhr an der unterbrochenen Stelle wieder fortgesetzt. Das Anhalten des Uhrlaufes nach Beendigung der in Zeile 14 angewählten Phase kann auch durch externe Steuerung (Zeile 15) erfolgen. Die einzelnen Buchsen haben dieselbe Bedeutung wie die entsprechenden für die externe Steuerung eines Hauptrechenzustandes.

Spalte 23 enthält von oben nach unten dreimal je zwei UND-Gatter mit jeweils vier Eingängen und zwei Ausgängen, fünfmal je zwei NEGATIONEN, links befindet sich die Eingangs- und rechts die Ausgangsbuchse sowie dreimal je zwei ODER-Gatter mit jeweils vier Eingängen und zwei Ausgängen.

Spalte 24 enthält die Ein- und Ausgangsbuchsen für die Verbindungen zum Rechenbrett, also die Umwandlungselemente.

### 5. Die Steuersymbolik und einfache Beispiele für nichtelementar gesteuerte Schaltungen

Die vorzuschlagende Steuersymbolik besteht nun einfach darin, daß derjenige Teil des Steuerbrettes, der zur Steuerung einer Schaltung verwendet wird, zur Schaltskizze hinzugezeichnet wird. Wir erläutern dies durch einige einfache Beispiele:

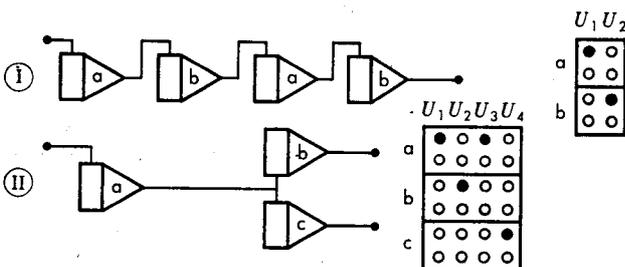


Bild 16. Speicherketten.

1. Als erstes betrachten wir eine vielfach als Taktspeicher bezeichnete Speicherkette (Bild 16/I). Die Integrierer werden von einer Uhr gesteuert, die mit dem Hauptrechenzustand  $H_1$  läuft. Während der Phase  $U_1$  des ersten Zyklus nimmt der erste Integrierer der Kette den anliegenden Wert auf und gibt ihn während der Phase  $U_3$  an den zweiten Integrierer weiter. Während der Phase  $U_1$  des zweiten Zyklus nimmt der erste Integrierer einen neuen Wert auf, während der dritte den zuerst gelesenen Wert übernimmt usw. Jeder Integrierer kehrt natürlich das Vorzeichen um.

Bild 16/II zeigt eine Speicherkette mit Verzweigung. Während eines Zyklus der Uhr werden zwei Werte eingelesen, die aber an verschiedene Integrierer weitergegeben werden.

2. Wir betrachten jetzt die Aufgabe, eine Kurvenschar zu berechnen und aufzuzeichnen. Als Beispiel wählen wir die Schar konzentrischer Kreise um den Nullpunkt mit den Radien  $r = 1 (0,1) 0$ . Bild 18 zeigt die zugehörige Schaltung mit Steuerung. Die veränderlichen Anfangswerte  $x = 1 - r$  werden mittels der Differentialgleichung

$$\frac{dx}{dr} = -1, \quad x(0) = 1$$

vom Integrierer a berechnet. Die Gruppe b dient der Berechnung der konzentrischen Kreise. Der Integrierer a nimmt während des Hauptrechnenzustandes  $H_1$  seinen Anfangswert auf. Der Hauptrechnenzustand  $H_2$  startet den Lauf einer Uhr, welche die Gruppen a und b steuert. Während der Phase  $U_1$  nimmt der Integrierer \* den Anfangswert  $+1$  auf. Während der Phase  $U_2$  integriert die Gruppe b  $2\pi$  sec lang. Dabei wird der erste Kreis gezeichnet. Während der Phase  $U_3$  berechnet der Integrierer a den nächsten Anfangswert  $r = 0,9$  usw. Die Rechnung kann von Hand oder durch den Zeitgeber des Hauptrechnenzustandes  $H_2$  beendet werden, indem das zehnfache der Zykelzeit, also  $10 \cdot (2\pi + 0,2)$  sec einzustellen wäre. Steht ein solcher Zeitgeber nicht zur Verfügung, so kann man diese Wirkung auch durch den Integrierer c, ein Umwandlungselement, und die externe Steuereinrichtung des Hauptrechnenzustandes  $H_2$  erreichen (Bild 7).

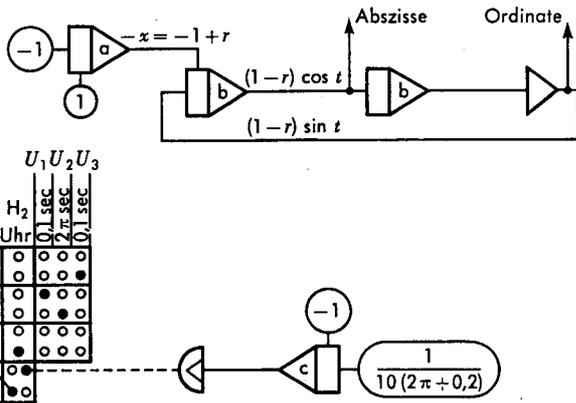


Bild 17. Erzeugung einer Kurvenschar.

3. Soll eine Uhr nach einer festen Anzahl von Umläufen abgeschaltet werden, wobei die Zykelzeit aber nicht von vornherein bekannt ist, so verwendet man eine Zählerschaltung, wie sie in Bild 18 angegeben ist. Dort sollen insgesamt 80 Zyklen durchlaufen werden. Der Integrierer b nimmt während des Hauptrechnenzustandes  $H_1$  den Anfangswert 0 auf. Der Hauptrechnenzustand  $H_2$  setzt die Uhr in Betrieb. Am Ende des ersten Zyklus der Uhr liegt am Ausgang des Integrierers b der Wert  $x = -0,01$  an. Damit ist  $y < 0$  und  $s = 0$ . Am Ende des zweiten Zyklus ist  $x = -0,02, y < 0$  und  $s = 0$  usw. Am Ende des 80. Zyklus

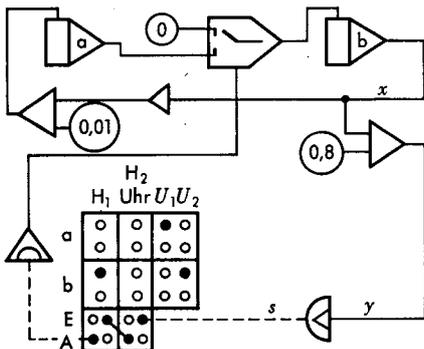


Bild 18. Zählerschaltung.

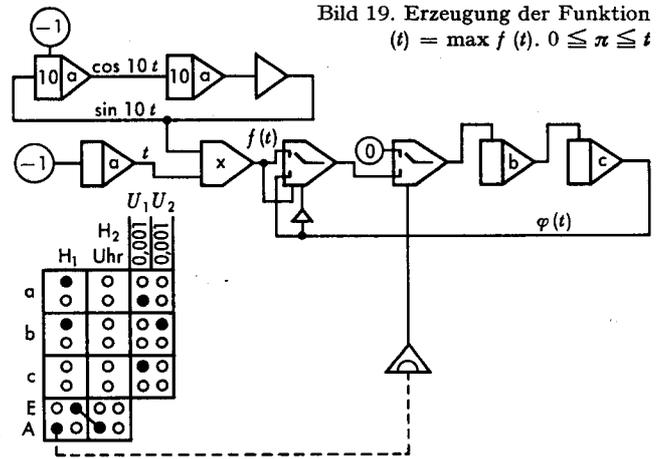


Bild 19. Erzeugung der Funktion  $\varphi(t) = \max f(t), 0 \leq t \leq \pi$

der Uhr ist  $x = -0,8$  und  $y = 0$ . Damit springt  $s$  vom Wert 0 auf den Wert L. Dieser Sprung von  $s$  schaltet den Hauptrechnenzustand  $H_2$  und damit den Lauf der Uhr ab.

4. Als letztes Beispiel betrachten wir eine Schaltung zur Erzeugung einer Funktion  $\varphi(t)$ , welche an jeder Stelle das Maximum einer gegebenen Funktion  $f(t)$  im Intervall  $0 \leq t \leq \pi$  annimmt, also

$$\varphi(t) = \max_{0 \leq \tau \leq t} f(\tau)$$

Als Beispiel betrachten wir die Funktion  $f(t) = t \cdot \sin 10t$ . Bild 19 zeigt die zugehörige Rechenschaltung mit Steuerung. Zur Erzeugung der Funktion  $f(t) = t \cdot \sin 10t$  dient die Gruppe a. Während des Hauptrechnenzustandes  $H_1$  nimmt diese Gruppe ihren Anfangswert auf. Der Integrierer b nimmt den Wert 0 an. Mit dem Hauptrechnenzustand  $H_2$  läuft die Uhr. Für die Dauer ihrer Phasen werden möglichst kurze Zeiten gewählt. Während  $U_1$  übernimmt der Integrierer c den Wert 0. Die Gruppe a berechnet den Wert  $f(0,001)$ . Der größere dieser beiden Werte wird von den Komparatoren durchgelassen und während der Phase  $U_2$  vom Integrierer b aufgenommen. Während der nächsten Phase  $U_1$  wird dieser Wert vom Integrierer c übernommen. Gleichzeitig errechnet die Gruppe a den Wert  $f(0,002)$ . Dieser wird dann mit dem bisherigen größten Wert verglichen. Der größere von beiden wird durch die Komparatoren hindurchgelassen usw.

Durch die angegebene Schaltung wird die Funktion  $f(t)$  natürlich nur an diskreten Punkten abgefragt.

Die angegebenen Steuerskizzen sind bei einer etwas anderen Deutung von der oben beschriebenen Maschine völlig unabhängig. Sie stellen vielmehr nur eine besonders einfache Beschreibung des Rechenablaufes dar. Dabei werden die verschiedenen Phasen nebeneinander und die Gruppenrelais untereinander aufgetragen. Während jeder Phase deutet ein kleiner Kreis die Steuergröße 0 und ein ausgefüllter Kreis die Steuergröße L an.

Bei Verwendung von kariertem Papier läßt sich das ganze noch dadurch vereinfachen, daß man nur noch die Steuergröße L etwa durch einen ausgefüllten Kreis einzeichnet, während die Steuergröße 0 durch ein freigeschaltetes Kästchen beschrieben wird. Bild 20 zeigt die Steuerskizze für das letzte Beispiel in dieser Schreibweise.

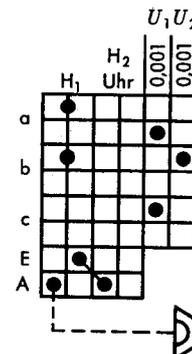


Bild 20. Steuerung der Schaltung von Bild 19.