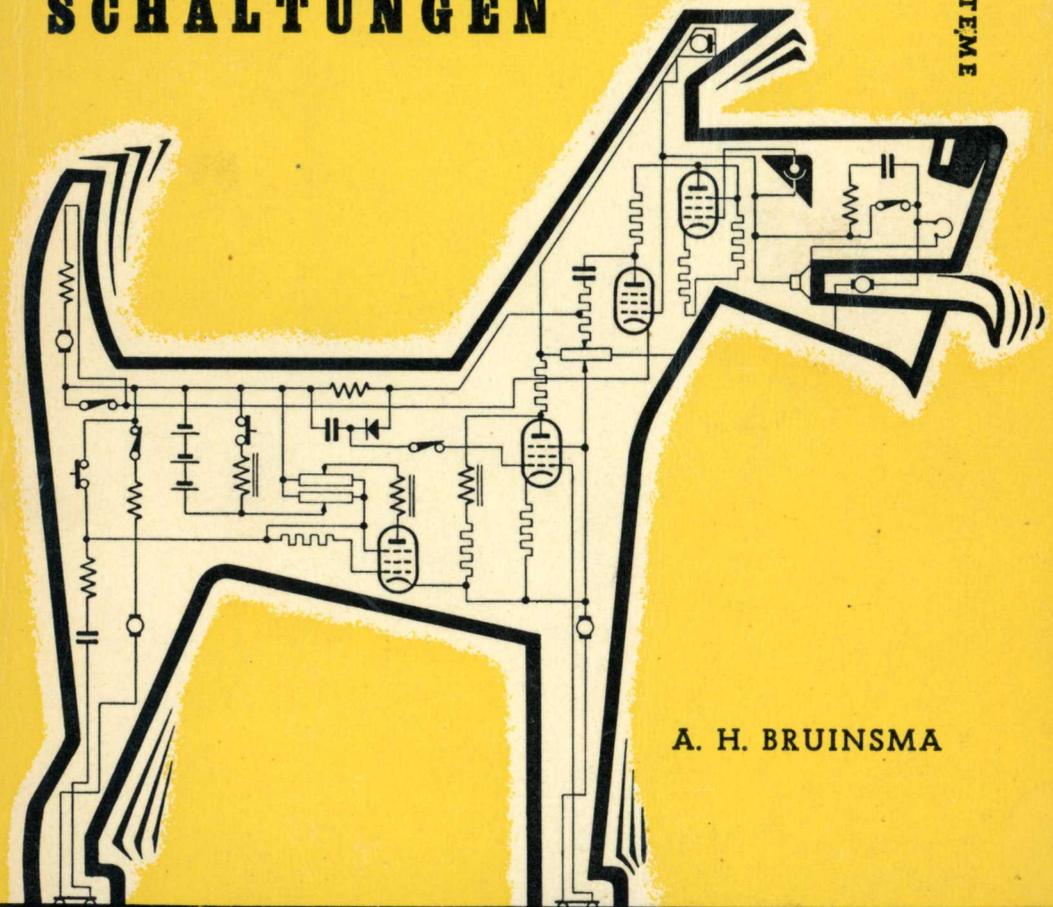


ELEKTRONISCHE SINNESORGANE

UND NERVENSYSTEME

ROBOTER

SCHALTUNGEN



A. H. BRUINSMA

A. H. BRUINSMA - ROBOTERSCHALTUNGEN



POPULÄRE REIHE

PHILIPS' TECHNISCHE BIBLIOTHEK

3 -

ROB O T E R
SCHALTUNGEN

RESEARCH
LIBRARY

RESEARCH
LIBRARY

REDAKTIE

R O B O T E R S C H A L T U N G E N

ELEKTRONISCHE SINNESORGANE
UND NERVENSYSTEME

VON

A. H. BRUINSMA

1958

POPULÄRE REIHE
PHILIPS' TECHNISCHE BIBLIOTHEK

Übersetzt von F. Engel - Eindhoven und R. Scholz - Hamburg

Dieses Buch erscheint in deutscher, englischer
französischer und holländischer Sprache

144 Seiten, 14,8 x 21 cm, 53 Abbildungen

D.K. 621.373.431.1

Copyright N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken Eindhoven (Holland)

Nachdruck, auch auszugsweise, verboten

Gedruckt in Holland

Alle in diesem Buch enthaltenen Angaben erfolgen ohne
patentrechtlichen Schutz

VORWORT

Wenn gelegentlich über Roboter und ihre Verrichtungen gesprochen wird, denkt man meistens an Konstruktionen, welche die Gestalt eines Menschen oder Tieres tragen und imstande sind, bestimmte Handlungen auszuführen, welche den Handlungen lebendiger Organismen entsprechen.

Eine Anzahl solcher Roboter wurden tatsächlich konstruiert, und darüber hinaus spielen die Roboter in Romanen, Filmen und Bildstreifen eine so grosse Rolle, dass man ein damit zusammenhängendes Thema ohne weiteres als volkstümlich bezeichnen kann.

Alle Erscheinungsformen der Roboter haben miteinander gemein, dass die dem Publikum einflössen und den vielfach verbreiteten Glauben vergrössern, dass diese Roboter die Menschheit bedrohen. Nun sind Roboter bestimmt nicht gefährlich als etwa das Schiesspulver, eine Atomspaltung oder jede andere technische Entwicklung oder Entdeckung. Es liegt ganz am Menschen, ob diese Neuheiten zum Heil oder zum Untergang der Menschheit angewendet werden.

Trotz der recht romantischen Erzählungen über Roboter, denen man mitunter sogar in technischen Zeitschriften begegnet, und trotz der enormen Entwicklung der elektronischen Wissenschaft, die den meisten Roboterschaltungen zu Grunde liegt, kann man die Entwicklung der Roboter noch völlig übersehen und sich ihrer bedienen, um den Lebensstandard der Menschheit zu verbessern. Nun kann man sich natürlich fragen, auf welche Weise diese merkwürdigen "Geschöpfe" aus Metall zu einer solchen Verbesserung beitragen könnten? Wir geben zu, dass der praktische Nutzen dieser Roboter wahrscheinlich nur sehr klein bleiben wird, aber ihre verschiedenen Baugruppen

und Schaltungen haben ihren grossen praktischen Wert bereits bewiesen.

Der Begriff des Roboters ist auch ganz unabhängig von seiner äusseren Formgebung; man kann ihn wohl am besten folgendermassen umschreiben:

Unter einem Roboter versteht man eine Schaltung oder eine Maschine, die eine oder mehrere Tätigkeiten ausführen kann, die sonst den Menschen oder anderen Lebewesen eigen sind, wobei die Reaktionen auf äussere Einflüsse mit denen lebender Wesen zu vergleichen sind.

Diese allgemeine Definition umfasst sehr viele Geräte, die schon seit langer Zeit verwendet werden und bestimmt nicht wie Roboter aussehen, sondern im Gegenteil eine Form haben, die man ganz ihrem Verwendungszweck anzupassen versucht. Zwar liegt der Zweck dieser Geräte darin, Arbeiten zu verrichten, die sonst von einem Menschen ausgeführt werden müssten; dies aber macht sie noch keineswegs zu Menschen. Denn wie genial und geschickt man auch einen Roboter konstruiert, er wird stets reproduktiv bleiben und niemals schöpferisch werden; d. h. er wird niemals Handlungen verrichten können, die nicht von Anfang an vom Konstrukteur festgelegt wurden. Dies verringert jedoch keineswegs den grossen Wert eines solchen Roboters, der darin liegt, dass er die Tätigkeiten, die er auszuführen hat, besser, genauer und schneller ausführen kann, als ein Mensch. Weiter liegt noch ein grosser Vorteil darin, dass er nicht durch geistige Einflüsse oder körperliche Ermüdung in der Durchführung seiner Aufgabe gestört werden kann, wie dies ja bei einem lebenden Wesen der Fall ist.

In diesem Buch sollen zwei Roboter-Systeme beschrieben werden, die wir für Vorführungszwecke hergestellt haben.

Das erste System hat die Gestalt eines lebenden Tieres, welches ein mehr oder weniger selbständiges Leben führt. Hierbei bietet sich die Gelegenheit, die verschiedenen Organe mit den entsprechenden menschlichen oder tierischen Organen zu vergleichen.

Im zweiten Fall handelt es sich um einen ortsfesten

Roboter, der bestimmt Denkarbeit verrichten kann; er kann nämlich ein einfaches Spiel, das wir später noch näher erklären werden, selbständig spielen.

Wenn der Leser nach dem Studium dieses Buches von der Arbeitsweise bestimmter Roboterschaltungen und den zahllosen noch nicht ausgenützten Möglichkeiten einen Eindruck erhalten und dennoch erkannt hat, dass der Mensch niemals den vollendeten Roboter mit den Eigenschaften eines selbständig denkenden, fühlenden und schöpferischen Menschen schaffen kann, so darf der Verfasser annehmen, dass er sein Ziel erreicht hat.

INHALT

Kapitel I.	Einige Grundprinzipien von Roboter-schaltungen	1
Kapitel II.	Elektronische Sinnesorgane	5
	II. 1. Das Sehorgan	5
	II. 2. Das Gehörorgan	18
	II. 3. Das Gefühlsorgan	49
Kapitel III.	Elektronische Gehirne	65
	III. 1. Die Auswertung der Sehreize	67
	III. 2. Die Auswertung der Gehörreize beim Hören des Kode-Signales	69
	III. 3. Die Auswertung der Reize beim Hören des Namens	80
	III. 4. Die Auswertung des Berührungs- reizes	80
	III. 5. Die Auswertung des Temperatur- reizes	81
	III. 6. Die Auswertung der Reize des Radarsystems	82
	III. 7. Die Umkehrstufe	84
Kapitel IV.	Einige Probleme bei der praktischen Ausführung des Roboters	86
	IV. 1. Mechanische Ausführung	86
	IV. 2. Stromversorgung	92
Kapitel V.	Elektronisch Denken	101
	V. 1. Einiges über denkende Maschinen	101
	V. 2. Ein einfaches Spiel	102
	V. 3. Analyse des Spieles	104
	V. 4. Praktische Ausführung des Roboters	106

V. 5. Germaniumdioden als Relaiskontakte	114
V. 6. Die Verluststufe	120
V. 7. Die Gewinnstufe	121
V. 8. Untersuchung der Gewinnmöglichkeit des Spielers	124
V. 9. Die freie Zug	126
V. 10. Die Fehlerstufe	127
V. 11. Die hörbaren Reaktionen des Roboters	133
V. 12. Die Stromversorgung	136

HINWEIS ZUR NOMENKLATUR

Die benutzte Nomenklatur wurde aus Gründen der Einfachheit gewählt. Es bedeuten

$$\begin{aligned} K &= 1000 \text{ und} \\ M &= 1\,000\,000. \end{aligned}$$

Eine Ziffer vor dem betreffenden Buchstaben und eine Ziffer nach den Buchstaben geben ein Komma an.

Die Bezeichnung 2 K 2 für einen Widerstand bedeutet beispielsweise: $2,2 \times 1000 \text{ Ohm} = 2\,200 \text{ Ohm}$.

M 22 bedeutet demnach: $0,22 \text{ Megohm}$ bzw. $220\,000 \text{ Ohm}$.

10 M und 10 K sind 10 Megohm bzw. $10\,000 \text{ Ohm}$.

Auch bei den Kondensatoren bedeutet

$$\begin{aligned} K &= 1000 \text{ und in diesem Fall } 1000 \text{ pF,} \\ M &= 1\,000\,000 \text{ pF d. h. } \mu\text{F.} \end{aligned}$$

Ein Kondensator von 5 K 6 bedeutet beispielsweise $5,6 \times 1000 \text{ pF} = 5600 \text{ pF}$ und ein Kondensator, auf dem 560 angegeben ist, bedeutet demnach 560 pF .

M22 und 220 K sind gleichbedeutend und werden auch abwechselnd benutzt.

KAPITEL I

EINIGE GRUNDPRINZIPIEN VON ROBOTERSCHALTUNGEN

Unter Roboterschaltungen verstehen wir Schaltungen, die auf Einflüsse von aussen entsprechend der Verhaltensweise eines Lebewesens automatisch reagieren, wobei diese Reaktionen auch dann noch eintreten, wenn die Einflüsse sich gegebenenfalls durch die vorhergehenden Reaktionen der Schaltung selbst ändern.

Diese Einflüsse können vielerlei Art sein; in vielen Fällen sind es physikalische Einflüsse, wie Licht, Wärme, Schall, Feuchtigkeit usw.; es kommen auch z. B. Luftdruck, Luftbewegung und mechanischer Druck in Frage.

Eine Roboterschaltung kann auch auf Problemstellungen reagieren, die auf verschiedene Weise in die Schaltung eingegeben werden, wobei das Gerät tatsächlich Wahrnehmungs- und Denkarbeit verrichtet. Aus dieser grossen Vielseitigkeit geht bereits hervor, dass man kaum von Standardschaltungen sprechen kann.

In der modernen Gesellschaft sind bereits viele Roboterschaltungen mit elektronischen Sinnesorganen, Nervensystemen und sogar elektronischen Gehirnen im Gebrauch. Man denke nur an Türen, die sich beim Hindurchgehen selbsttätig öffnen und schliessen, an automatische Feuerlöschgeräte, an Projektile, die selbst ihr Ziel suchen, an elektronisch gesteuerte Drehbänke, an das automatisch gelenkte, alle möglichen Einflüsse berücksichtigende Feuer der Flakartillerie, an elektronische Rechenmaschinen, Buchhaltungsmaschinen usw.

Eine Beschreibung aller dieser Geräte könnte Bände füllen und liegt ausserhalb des Rahmens dieses Buches. Wir müssen uns daher auf einige allgemeine Roboterschalt-

tungen beschränken, die auch in zwei Modellen verwendet werden, welche wir für Vorführungszwecke angefertigt haben. Wir hoffen, an Hand dieser Beschreibung dem Leser einen allgemeinen Eindruck von der Arbeitsweise von Roboterschaltungen übermitteln zu können.

Alle diese Schaltungen können in folgende Elemente eingeteilt werden, die dann in mehr oder weniger abgewandelter oder spezialisierter Form vorhanden sind (s. Abb. 1).



Abb. 1. Die Hauptelemente einer Roboterschaltung:
Sinnesorgane, Nervensysteme, Gehirne, Muskeln.

1. Das Sinnesorgan: Dies ist der Teil der Schaltung, der die verschiedenen äusseren Einflüsse von aussen aufnehmen kann und in eine elektrische Spannung oder einen elektrischen Strom umformt. Hierfür gibt es natürlich sehr verschiedene Ausführungsformen.
2. Das Nervensystem: Dies ist der Teil der Schaltung, der die Spannungen oder Ströme in eine solche Form bringt, dass sie zur weiteren Verwendung geeignet sind und zum nächsten Teil geleitet werden können.
3. Dem Gehirn: Dies ist der Teil der Schaltung, welcher die aus dem Nervensystem erhaltenen Daten sortiert, verarbeitet, eventuell aufbewahrt (Gedächtnis) und dann weiter gibt an:
4. Die Muskeln: Also an jenen Teil der Schaltung, der auf die Einflüsse, welche von den Sinnesorganen aufgenommen wurden, auf die gewünschte Weise reagiert.

In vielen Schaltungen ist es schwer, das Nervensystem scharf vom Gehirn zu unterscheiden; dies ist übrigens auch oft beim Menschen und beim Tier der Fall.

Diese Elemente sind absichtlich so benannt, dass Ge-

dankenverbindungen zu den menschlichen Organen entstehen. Obwohl man hierzu grundsätzlich berechtigt ist, wird es sich dennoch herausstellen, dass sich diese elektronischen Organe sehr stark von den menschlichen oder tierischen Organen mit denselben Aufgaben unterscheiden. Es ist jedoch sehr verführerisch, Vergleiche zu ziehen, und wir werden dies auch in einigen Fällen tun. Dabei wird sich herausstellen, dass fast alle Arten der menschlichen Sinnesorgane auch bei den Robotern vorkommen können.

Die elektronischen Sinnesorgane sind den menschlichen zuweilen unterlegen, mitunter gleichwertig, aber auch häufig überlegen.

Das Nervensystem als Überbringer von Informationen lässt sich hinsichtlich der Geschwindigkeit und Genauigkeit wohl mit dem menschlichen vergleichen, aber dessen komplizierter Aufbau wird wohl niemals in einer Maschine verwirklicht werden können.

Das elektronische Gehirn zeigt sich ohne Zweifel dem menschlichen Gehirn unterlegen. Während das menschliche Gehirn schöpferisch tätig sein kann, ist dies bei seinem elektronischen Spiegelbild keineswegs der Fall.

Das elektronische Gehirn lässt sich darum höchstens mit demjenigen Teil des menschlichen Gehirnes vergleichen, der für die Reflexe, also für das gedankenlose Verichten von Handlungen verantwortlich ist.

Dagegen ist das elektronische Erinnerungsvermögen sehr zuverlässig, denn es kann Zehntausende von Daten für unbegrenzte Zeit aufbewahren, wenn man auch zugeben muss, dass sein Fassungsvermögen im Hinblick auf die enorme Vielfalt und Verschiedenheit des Gedächtnisgutes, welches das menschliche Gehirn erfassen kann, doch nur eng begrenzt ist.

Wenn man zu der Schlussfolgerung kommt, dass das "geistige" Niveau eines elektronischen Roboters alles in allem kaum dem Niveau der niedrigsten bekannten Tierart entspricht, so muss man doch bedenken, dass die praktisch ausgeführten Roboter so sehr für ihre bestimmte Aufgabe spezialisiert sind, dass sie auf ihrem Gebiet dem Menschen weit überlegen sind. Hieraus schliessen wir, dass

sie für die Menschheit grosse Bedeutung haben können. Das Leben in der modernen Gesellschaft verlangt nun einmal von jedem Einzelwesen, dass es sich stark spezialisiert, um sich durchsetzen zu können.

Es zeigt sich, dass man den elektronischen Roboter so spezialisiert ausbilden kann, wie es ein Mensch in gleichem Umfang nie zu erreichen vermag.

Wenn wir einige Grundschaltungen für Robotersysteme beschreiben wollen, müssen wir uns auf das Nervensystem und das Gehirn beschränken. Obwohl hierbei verschiedene Schaltungen verwendet werden können, haben wir die Erfahrung gemacht, dass viele, wenn nicht alle Probleme, die hierbei auftreten, gut oder sogar besser als mit anderen Schaltungen gelöst werden können, wenn man die verschiedenen Variationen der Multivibratorschaltungen und der dazu gehörenden Torstufenschaltungen anwendet.

Diese verhältnismässig neue Technik der Rechteckspannungen und der davon abgeleiteten Nadelimpulsspannungen bietet so viele Möglichkeiten, dass sie für viele Probleme, die bis vor kurzem unlösbar zu sein schienen, offensichtlich sehr geeignet ist. Wie wir sehen werden, beruhen die verschiedenen Roboterschaltungen, welche in diesem Buch beschrieben werden, häufig auf Multivibratorschaltungen. Darum ist es vorteilhaft, zuerst ihre Eigenschaften zu untersuchen und dann erst zu den einzelnen praktischen Anwendungen überzugehen, wie sie in unseren Vorführungsmodellen vorkommen.

Nun bestehen bereits sehr ausführliche Veröffentlichungen, welche die theoretische Seite dieser Schaltungen beleuchten *). Es ist jedoch sehr gut möglich, sich ihrer mit Erfolg zu bedienen, wenn man nur einige praktische Daten von ihnen beherrscht. Wir wollen uns darum auch auf die Behandlung dieser Daten beschränken, zumal da sich dies ganz in den Rahmen dieses Buches einfügt.

*) A. H. Bruinsma: Multivibratorschaltungen. Einführung in die Robotertechnik.

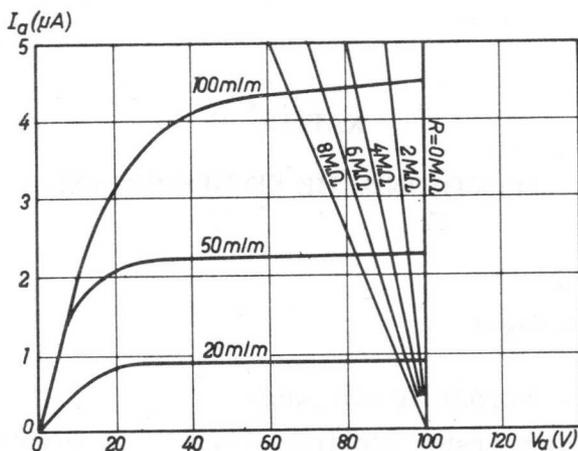
KAPITEL II

ELEKTRONISCHE SINNESORGANE

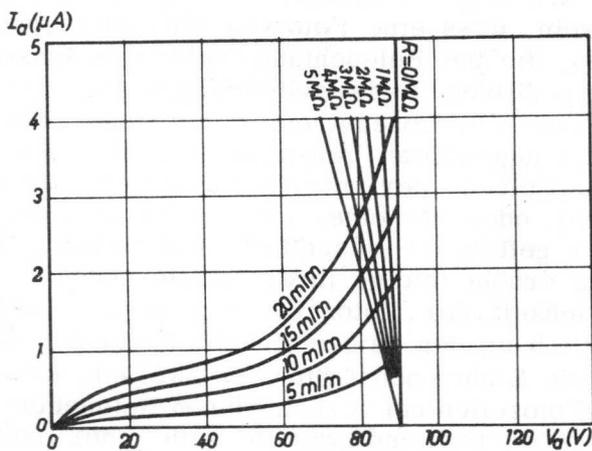
II. 1. Das Sehorgan

II. 1. 1. *Die Fozozelle als Auge*

Eines der ersten elektronischen Sinnesorgane, die in Roboterschaltungen verwendet wurden, lässt sich mit dem menschlichen Auge vergleichen: die Fozozelle. Es dürfte bekannt sein, dass eine Fozozelle eine vorwiegend ebenen Katode hat, die bei Beleuchtung Elektronen aussendet, die von einer positiven, meist stabförmigen Anode aufgefangen werden. Der Elektronenstrom bildet einen Maszstab für die Beleuchtungsstärke. Anode und Katode befinden sich in einem Glaskolben, der entweder evakuiert (Hochvakuum-Fozozellen), oder mit einer kleinen Menge eines geeigneten Gases gefüllt ist (gasgefüllte Fozozellen). Die kleine Gasmenge erhöht infolge ihrer ionisierenden Wirkung die Empfindlichkeit der Fozozelle wesentlich. Dies erkennt man deutlich an den beiden Kennlinien in der Abb. 2, in welcher die Elektronenströme von zwei einander entsprechenden Fozozellen bei verschiedenen Beleuchtungsstärken wiedergegeben sind, und zwar links die einer Hochvakuumzelle und rechts die einer gasgefüllten Zelle. Wie bei Röhrenkennlinien üblich, kann auch in diese I_a/V_a -Kennlinie ein Anodenwiderstand als Belastungskennlinie eingezeichnet werden. Aus dieser lässt sich die Anodenspannungsänderung bestimmen, die zu einer bestimmten Änderung der Beleuchtungsstärke gehört. Die Verwendung von Gas in der Fozozelle hat eine höhere Empfindlichkeit zur



a



b

Abb. 2. Zwei Kennlinien von Fotozellen.

- A. Eine Hochvakuumzelle (Philips Typ 90 AV)
 B. Eine entsprechende gasgefüllte Fotozelle (Philips Typ 90 AG). Mit Hilfe von Belastungskennlinien kann die Spannung am Anodenwiderstand bei verschiedenen Beleuchtungsstärken abgelesen werden.

Folge, bringt jedoch den Nachteil mit sich, dass infolge der Trägheit der relativ schweren Gasionen die Empfindlichkeit für schnelle Beleuchtungsänderungen abnimmt. Bei Beleuchtungsänderungen schneller als etwa 10.000 mal in der Sekunde beginnt der Vorteil der Gasfüllung hinfällig zu werden. Bei Hochvakuumzellen gibt es keine andere Frequenzbegrenzung als bei anderen Hochvakuumröhren, aber sie sind wesentlich unempfindlicher. Ein weiterer Fortschritt in dieser Hinsicht bedeutet die Fozelle mit Sekundäremission, in der eigentlich ein trägheitsarmer Verstärker eingebaut ist, der auf dem Sekundäremissionseffekt beruht. Es würde zu weit führen, hierauf noch näher einzugehen. Begnügen wir uns mit der Angabe, dass mit einer solchen Zelle Beleuchtungsänderungen mit einer Frequenz von etwa 5 MHz bei zufriedenstellender Empfindlichkeit wiedergegeben werden können.

Die einfachste und auch am meisten angewandte Fozellenschaltung sehen wir in Abb. 3. Das Licht einer konstanten Lichtquelle L wird mit oder ohne Bündelung durch eine Konvexlinse auf die Fozelle FC geworfen. Hierdurch entsteht eine positive Spannung am Widerstand R . Wird nun ein Gegenstand in der Pfeilrichtung durch den Lichtstrahl bewegt, so wird der Lichtstrahl ganz oder teilweise unterbrochen, wobei die Spannung V am Widerstand R zeitlich abnimmt. Diese Spannungsänderung kann z. B. ein Registriergerät steuern. Die Fozelle "sieht" also den Gegenstand passieren. Dieses "sehen" bringt uns unwillkürlich dazu, die Fozelle mit dem menschlichen Auge zu vergleichen; wir können einige übereinstimmende Faktoren, aber auch grosse Unterschiede feststellen.

Genau wie das Auge reagiert die Fozelle auf Lichtindrücke. Die Empfindlichkeit des Auges ist jedoch wesentlich höher. Unter Empfindlichkeit verstehen wir die Fähigkeit, sehr kleine Beleuchtungsstärken zu registrieren. Bei der Fozelle werden diese nicht mehr wahrgenommen, sobald die dazugehörigen Stromänderungen in die Grössenordnung des Rauschens der Fozelle oder des angeschlossenen Verstärkers kommen.

Im menschlichen Auge finden wir eine Linse, mit der

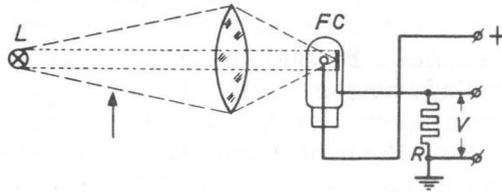


Abb. 3. Eine gebräuchliche Fotozellenschaltung. Bei Unterbrechung des Lichtbündels in Pfeilrichtung ändert sich die Spannung V ; damit kann irgend ein Steuervorgang ausgelöst werden. Mit der Sammellinse kann ein grösserer Teil des von der Lampe L ausgestrahlten Lichtes auf die Fotokathode geworfen werden, wodurch die Empfindlichkeit erhöht wird (Vergleiche die äusseren, gröber gestrichelten und die inneren, feiner gestrichelten Linien, welche die Begrenzung des Bündels mit und ohne Linse wiedergeben).

das Bild auf der Netzhaut durch Veränderung der Brennweite sich scharf einstellt. Auch bei einer Fozelle kann man eine Linse verwenden; eine Fokussierung (veränderliche Brennweite) besitzt diese im allgemeinen nicht, die Scharfeinstellung erhält man, indem man die Entfernung zwischen der Linse und der Fozelle ändert.

Der Iris des Auges entspricht die Blende, die man bei Fozellen verwendet. Eine automatische Blendeneinstellung wie beim Auge ist bei Fozellen nicht gebräuchlich, obwohl sie sich verwirklichen lässt.

Infolge der automatischen Einstellung der Empfindlichkeit des menschlichen Auges ist dieses jedoch für eine zuverlässige Messung der Beleuchtungsstärke ungeeignet. Was wäre ein Fotograf ohne Belichtungsmesser? Eine Fozelle zeigt jedoch die Beleuchtungsstärke – wenigstens innerhalb der Grenzen ihres Einstellbereichs – immer zuverlässig an. Der grosse Unterschied zwischen dem Auge und der Fozelle besteht jedoch darin, dass unser Auge zusammen mit dem Gehirn uns ein Bild mit allen seinen Einzelheiten übermittelt, während eine Fozelle nur die mittlere Beleuchtungsstärke registriert. Es gibt jedoch auch elektronische Sinnesorgane, die hierzu imstande

sind, nämlich Fernseh-Aufnahmeröhren wie Ikonoskope, Orthikons u. a. m. Tatsächlich bestehen diese aus einer sehr grossen Anzahl von Fotozellen — wie auch das menschliche Auge eine grosse Anzahl von Sehnerven enthält — die in einer bestimmten Reihenfolge abgetastet werden und auf diese Weise den Bildinhalt wiedergeben können. Vor allem besitzen die modernen Ausführungen dieser Elektronenröhren eine Empfindlichkeit, die sich der Empfindlichkeit des menschlichen Auges stark nähert. Die Aufnahmeröhren sind wesentlich grösser als das menschliche Auge. Die elektronischen Sehwerkzeuge können auch so weit entwickelt werden, dass die Farben aufnehmen können.

In Roboterschaltungen finden wir bisher nur Fotozellen, weil es einen verhältnismässig grossen Aufwand bedeutet, ein Fernsehbild so zu zerlegen, dass hierdurch bestimmte Reaktionen erfolgen.

Wenn der Vergleich zwischen dem Auge und der Fotozelle bisher zum Vorteil des Auges ausfällt, so darf nicht vergessen werden, dass die Fotozelle auf Teile des Spektrums ansprechen kann, für die das Auge völlig blind ist. Dies ist beim infraroten und ultravioletten Licht der Fall. Es lassen sich Fotozellen anfertigen, die für diese "Farben" sehr empfindlich sind und auf elektromagnetische Schwingungen reagieren, welche für das menschliche Auge unsichtbar sind. Wenn wir noch die Möglichkeit der Fotozelle erwähnen, sehr schnelle Beleuchtungsänderungen zu registrieren (bis zu Millionen in der Sekunde) während das Auge nur etwa 25 in der Sekunde wahrnehmen kann, müssen wir die Fotozelle als ein elektronisches Auge betrachten, welches viele praktische Verwendungsmöglichkeiten besitzt und viele Funktionen ausführen kann, zu denen das menschliche Auge nicht imstande ist.

II. 1. 2. *Stereoskopisch Sehen*

Der Mensch hat zwei Augen, um in drei Dimensionen sehen zu können. Mit einem Auge sieht man nur zwei Dimensionen, nämlich Breite **und** Höhe; die dritte Dimension, die Entfernung, fehlt. Dies kann man leicht nach-

weisen, wenn man einen spitzen Gegenstand vor sich auf den Tisch hält und versucht, einen Bleistift senkrecht auf die Spitze dieses Gegenstandes zu stellen. Mit beiden Augen geht dies leicht, aber mit nur einem Auge wird es sehr schwierig: man irrt sich zwar nicht bezüglich der Höhe und der Breite, wohl aber in der Entfernung, der dritten Dimension. Die Tatsache, dass man mit zwei – naturgemäss gesunden – Augen Entfernungsunterschiede sieht, lässt sich dadurch erklären, dass die beiden Augen zwei etwas verschiedene Bilder infolge der Entfernung zwischen den Augen wahrnehmen. So sieht beispielsweise das linke Auge einen Würfel so, wie in Abb. 4 dargestellt. Die Draufsicht in Abb. 5 gibt eine Erklärung für die Bilder der Abb. 4. Das Gehirn vereinigt nun diese nur kleinen Unterschiede zu der dritten Dimension, der Tiefe.

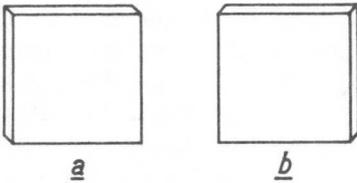


Abb. 4. Unter bestimmten Umständen sieht das linke Auge einen Würfel so, wie unter "a" und das rechte Auge wie unter "b" wiedergegeben. s. auch Abb. 5.

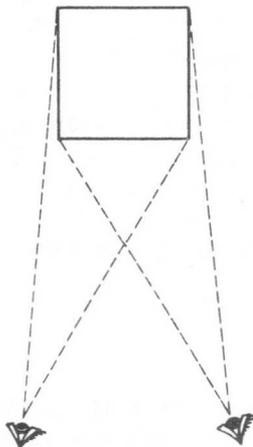


Abb. 5. Erklärung für die Entstehung zweier verschiedener Bilder ein und desselben Gegenstandes im linken und im rechten Auge.

Gewöhnliche Fotozellen mit einer gleichmässigen Kato-

denoberfläche lassen, wie wir gesehen haben, keine Bildzerlegung zu. Wenn man eine Lampe ein wenig hin- und herbewegt, sieht die Fozelle keinen Unterschied; nur eine Entfernungsänderung bewirkt eine Änderung des Fozellenstromes, der sich umgekehrt proportional zum Quadrat der Entfernung verhält. Bei einer Bewegung in seitlicher Richtung ändert sich der Strom nicht; solange das Licht ganz auf die Katode fällt. Mit einem einfachen Hilfsmittel lässt sich eine Änderung jedoch erreichen, indem man eine Blende vor der Fozelle anbringt, deren Durchlässigkeit nach der Seite hin abnimmt. Dies ist in Abb. 6 dargestellt. Hierin wird die Lichtquelle L auf der Blende S abgebildet, die links weniger durchlässt als rechts (s. Abb. 6a). Bewegt man die Lichtquelle L in gleicher Ent-

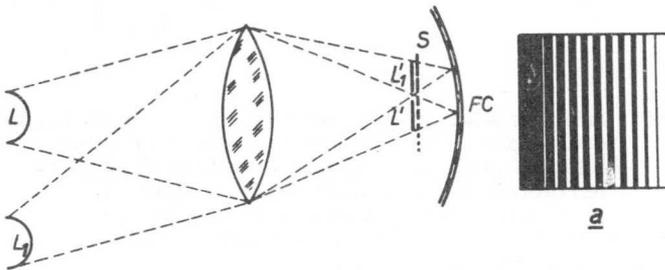


Abb. 6. Die Blende S bewirkt, dass bei seitlicher Verschiebung der Lichtquelle L mehr oder weniger Licht auf die Katode F fällt. a. zeigt den Aufbau der Blende S .

fernung von der Fozelle nach Punkt L_1 , so kommt die Abbildung L'_1 auf einem weniger durchlässigen Teil der Blende als in der ursprünglichen Stellung L (Abb. L') zustande. Auf diese Weise kann man abhängig von der Richtung den Fozestrom von Maximum bis Null variieren lassen. Mit dieser einfachen Masznahme ist es bereits möglich, eine Mechanik zu entwerfen, welche Roboterneigungen zeigt. Angenommen, die Fozelle befindet sich auf einer Drehscheibe, die durch einen in seiner Drehrichtung umschaltbaren Motor bewegt wird. In Abb. 7 sind dieser Aufbau und die dazugehörige Schaltung schematisch wiedergegeben. Nehmen wir an, dass in der gezeichneten Stellung

der Fozozelle F in Abhängigkeit vom auftreffenden Lichtstrom der Lampe L soviel Strom fließt, dass die Spannung am Gitterwiderstand der Röhre B das Relais R_e ge-

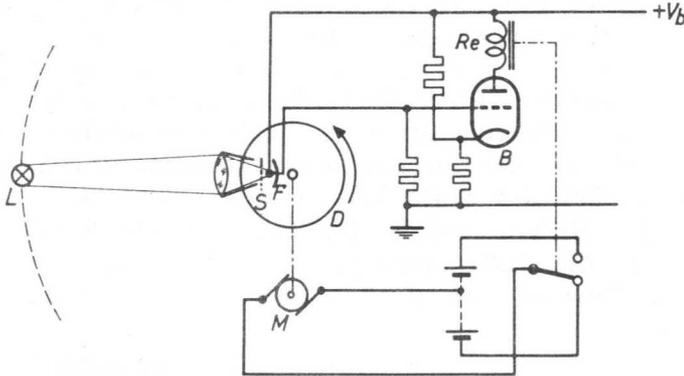


Abb. 7. Prinzipschaltung einer Anordnung, die einer Lichtquelle folgen kann. Infolge der Zwischenschaltung der Blende S steuert die auf der Drehscheibe D angebrachte Fozozelle F die Relaisröhre B und damit den Motor M derart, dass die Drehscheibe der Lampe L folgt, wenn sie sich auf dem gestrichelten Kreisbogen um die Scheibe bewegt.

rade noch nicht erregt. Dieses Relais lässt in der gezeichneten Ruhestellung über den Motor die Scheibe D sich in Pfeilrichtung drehen. Es ist offensichtlich, dass sich hierbei die Abbildung der Lampe L nach einem lichtdurchlässigeren Teil der Blende bewegt. Der Fozozellenstrom nimmt zu, das Gitter wird also stärker positiv, und das Relais zieht an. Die Scheibe dreht sich dann entgegen der Pfeilrichtung, durch die Blende gelangt weniger Licht, die Gitterspannung sinkt, das Relais fällt ab, die Scheibe dreht sich wieder zurück in Pfeilrichtung usw. Die Scheibe bewegt sich also in einem bestimmten Winkel hin und her; die Zelle bleibt dabei innerhalb dieses Winkels auf die Lampe gerichtet. Die Zelle "sieht" also die Lampe und bleibt auf sie gerichtet, solange sie sich auf der gestrichelten Kreisbahn bewegt. Die Zelle verfolgt also die Lampe bei dieser

Bewegung. Dieses Sehen mit nur einem "Auge" ist jedoch sehr primitiv und kann nur in einer sehr begrenzten Entfernung funktionieren. Bewegt man die Lampe zur Zelle hin, so fällt mehr Licht auf die Blende. Die Mittelstellung, um die sich die Scheibe bewegt, wird dann nach einem weniger durchlässigen Teil verschoben, was an Hand des oben erwähnten leicht festzustellen ist. Die Zelle "sieht" dann nicht mehr auf die Lampe, sondern daran vorbei. Dasselbe geschieht, wenn man die Lampe weiter entfernt, die Zelle blickt dann auch an der Lampe vorbei, jetzt allerdings auf der anderen Seite. Die Schaltung ist übrigens ziemlich unempfindlich, weil zur Umschaltung des Relais mehrere Volt erforderlich sind. Dies bedeutet, dass das Schwenken um den Nullpunkt in einem grossen Winkel erfolgen muss, damit die Beleuchtung der Zelle sich genügend ändert.

So kam man dazu, zwei Fotozellen in einer Art Gegentaktschaltung zu verwenden. Obwohl dies viele Vorteile mit sich bringt, ergibt sich noch keine echte Stereoskopie – im Gegenteil – der Tiefenwirkung wird hier geradezu entgegengewirkt. Aber die Analogie mit dem menschlichen Auge hat uns dennoch veranlasst, diese Schaltung "stereoskopisch" zu nennen, wobei man jedoch die Anführungsstriche nicht vergessen darf.

II. 1. 3. *Eine "stereoskopische" Fotozellenschaltung*

Verwendet man eine bistabile Multivibratorschaltung, die von zwei Fotozellen gesteuert wird, kann man eine einfache und dennoch universelle Schaltung zum Aufsuchen und kontinuierlichem Folgen einer Lichtquelle erhalten. Die Lichtquelle kann hierbei willkürliche Bewegungen ausführen, falls sie nur in der Ebene der Drehscheibe, auf der die Fotozellen montiert sind, bleibt. Eine solche Schaltung haben wir für Batterieröhrenbetrieb ausgeführt; das Schaltbild ist wiedergegeben in Abb. 8.

Die Schirmgitter und Anoden der Röhren B_{10} und B_{20} sind über die Abgriffe an den Anodenwiderständen über Kreuz miteinander verbunden und bilden so eine bistabile

Stufe, die durch kleine Gleichspannungsänderungen am Steuergitter gesteuert werden kann *). Jetzt stehen uns für die Steuerung zwei Steuergitter zur Verfügung, deren Spannung durch den auf die Fotozellen F_1 und F_2 fallende Lichtstrom bestimmt wird.

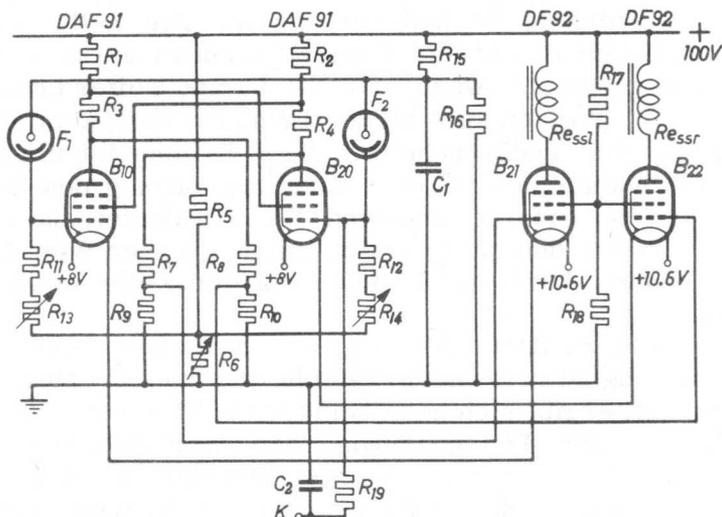


Abb. 8. Vollständige "stereoskopische" Fotozellenschaltung für Batterieöhren. Wenn Fotozelle F_1 mehr Licht erhält als F_2 , wird das Relais Re_{ss1} betätigt; erhält F_1 weniger Licht als F_2 , dann zieht Relais Re_{ssr} an. Bei richtiger Einstellung von R_6 ist ohne Licht stets eines der beiden Relais angezogen, s. auch Abb. 9.

R_1R_2	= 68 K	$R_{13}R_{14}$	= Potentiometer 5 M
R_3R_4	= 27 K	R_{15}	= 1 M 2
R_5	= 100 K	R_{16}	= 8 M 2
R_6	= Potentiometer 10 K	R_{17}	= 3 K 3
R_7R_8	= 2 M 7	R_{18}	= 56 K
R_9R_{10}	= 560 K	C_1	= 10 K
$R_{11}R_{12}$	= 10 M	C_2	= 6 K 8

Wenn auf die Zellen kein Licht fällt, führen sie keinen wesentlichen Strom, und die Spannungen an R_{11} - R_{13} bzw. R_{12} - R_{14} sind sehr gering. Jetzt lässt sich mit R_6 die

*) Vergleich die Schaltung beschrieben in A. H. Bruinsma: Multivibratorschaltungen. Kapitel I. 1. 11. 4. Philips Technische Bibliothek.

negative Gitterspannung so einstellen, dass die Stufe gerade bistabil ist.

Dies bedeutet, dass eine der Röhren einen höheren Strom führt als die andere und damit die Anodenspannung der einen Röhre niedriger ist als die der anderen. Die Widerstände $R_7 \dots R_{10}$ sind nun so gewählt, dass jeweils eine der folgenden Röhren B_{21} oder B_{22} gesperrt ist, während die andere Strom führt, so dass eines der in diesen Anodenleitungen liegenden Relais Re_{ssr} bzw. Re_{ssl} erregt wird.

Abb. 9 zeigt die Aufstellung der Fotozellen F_1 und F_2 und der zugehörigen Blenden. Wir sehen, dass die Blenden

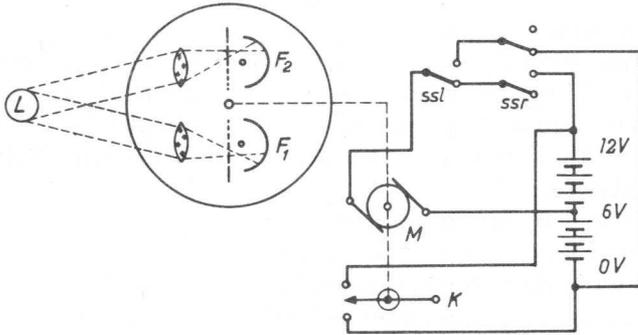


Abb. 9. Schaltung des Motors M durch die Relaiskontakte ssl und ssr . Aufstellung der Fotozellen F_1 und F_2 und der dazugehörigen Blenden (vergl. Abb. 8).

spiegelbildlich angeordnet sind. Hiermit wird erreicht, dass bei einer Verschiebung der Lichtquelle, von den Fotozellen aus gesehen nach rechts, der auf F_1 fallende Lichtstrom abnimmt, der auf F_2 fallende jedoch zunimmt und umgekehrt. Dies bedeutet, dass die Gitterspannung der Röhre B_{10} abnimmt und die der Röhre B_{20} zunimmt. Hierdurch wird also die Empfindlichkeit der Stufe erhöht. Der Motor M , der die Drehscheibe mit den Fotozellen antreibt, wird durch die Relaiskontakte der Relais Re_{ssl} und Re_{ssr} gesteuert. Wird Re_{ssr} erregt und fällt Re_{ssr} ab,

dann dreht der Motor die Scheibe entgegen dem Uhrzeigersinn. Wenn umgekehrt Re_{SSR} erregt wird, dreht sich die Scheibe mit dem Uhrzeigersinn.

Wenn man sich vorstellt, dass in Abb. 9 die Lichtquelle, von den Fotozellen aus gesehen, nach links bewegt wird, verschiebt sich die Abbildung der Lampe auf der Blende von der Fotozelle F_1 nach dem durchlässigeren Teil, und es fällt damit mehr Licht auf die Zelle, während gleichzeitig das Licht auf Zelle F_2 abnimmt. Da sich die Scheibe dann links herumdreht, folgt die Scheibe der Bewegung der Lampe, bis sie, wenn die Lampe zum Stillstand gekommen ist, so weit durchgedreht ist, dass F_2 mehr Licht erhält als F_1 . Der Motor dreht dann die Scheibe wieder zurück usw., so dass sie sich schliesslich pendelförmig um einen Punkt bewegt, der die Richtung der Lampe angibt. Im Prinzip wird hier dasselbe wie mit der einfachen Schaltung der Abb. 7 erreicht. Die Stufe in den Abb. 8 und 9 hat jedoch folgende wichtige Vorteile:

1. Die Empfindlichkeit wird durch die bistabile Schaltung wesentlich erhöht.

Etwa 1 mV Spannungsunterschied zwischen den Steuergittern genügt, um die Stufe zum Kippen zu bringen. Dadurch wird der Pendelausschlag äusserst klein gehalten.

2. Die Lichtquelle kann viel schwächer sein, bzw. die Stufe lässt sich noch aus viel grösserer Entfernung steuern.
3. Innerhalb der Empfindlichkeitsgrenzen kann die Lichtquelle nach den Zellen hin oder von ihnen fort bewegt werden, ohne dass hierdurch die "Blickrichtung" beeinflusst wird. Beide Zellen reagieren ja in gleicher Weise auf eine solche Verschiebung, und die Stufe reagiert nur auf Unterschiede in der Beleuchtungsstärke der beiden Zellen.
4. Durch die Anordnung der Blenden erhält man ausserdem eine Art automatischer Empfindlichkeitsreglung. In grosser Entfernung von der Lampe fällt die Abbildung auf der Blende für beide Zellen auf einen durchlässigeren Teil als bei kurzer Entfernung. Demnach steht also bei grosser Entfernung (also bei kleinerer Beleuchtungsstärke) relativ ein grösserer Lichtstrom zur Verfügung

und bei kurzer Entfernung (also bei grösserer Beleuchtungsstärke) ein kleinerer Lichtstrom.

5. Die Stufe kann, wenn kein Licht auf die Zellen fällt, auf einfache Weise "suchend" gemacht werden.

Hierfür lässt man mit der Scheibe einen Kontakt P mitdrehen, der in der äussersten linken Stellung einen Kontakt mit der Spannung 0 V und in der äussersten rechten Stellung einen Kontakt mit + 12 V berührt (siehe Abb. 9). Dieser Kontakt P wird über einen hohen Widerstand mit dem Steuergitter der zweiten Röhre (B_{20} , Abb. 8) verbunden.

Da immer eines der beiden Relais erregt ist (auch wenn kein Licht auf die Fotozellen fällt), bringt dieser Kontakt P die Stufe in seinen Endstellungen zum Kippen. Die Scheibe bewegt sich dann von der einen Endstellung nach der anderen und sucht die Umgebung nach eventuellen Lichtquellen ab.

In der beschriebenen Schaltung kann die Empfindlichkeit bei richtiger Einstellung von R_6 (Abb. 8) so erhöht werden, dass bei einer guten Allgemeinbeleuchtung ein weisses Objekt in der Grössenordnung einiger Quadratdezimeter in einer Entfernung von reichlich 1 Meter noch gesehen wird. Hierbei verwendet man die kleinen gasgefüllten Fotozellen des Typs 58 CG mit einer Linse von 3 cm Durchmesser. Eine 100 Watt-Lampe wird noch in einer Entfernung von wenigstens 12 m gesehen. Bei einer sehr grossen Beleuchtungsstärke der Zellen wird der Anodenstrom in beiden Röhren so gross, dass beide Relais ausfallen und die Pendelbewegung aufhört. Naturgemäss folgt auch in diesem Fall die Scheibe der Lichtquelle.

Die Regelwiderstände R_{13} und R_{14} in Abb. 8 haben die Aufgabe, kleine Unterschiede in der Symmetrie der Stufe auszugleichen, damit die Zellen in der richtigen Richtung nach der Lichtquelle sehen.

II. 2. Das Gehörorgan

II. 2. 1. *Das Mikrofon als Ohr*

Das elektrische Ebenbild des menschlichen Gehörorgans ist zweifellos das Mikrofon. Das Mikrofon verwandelt nämlich Schallschwingungen in elektrische Spannungen, die in einem Verstärker verstärkt werden und beispielsweise auf einem Magnetofonband festgelegt oder direkt mit Hilfe eines Lautsprechers wiedergegeben werden können. Es gibt eine grosse Anzahl verschiedener Mikrofonarten z.B.: Kohlemikrofone, elektromagnetische und elektrodynamische Mikrofone, Kondensatormikrofone, Kristallmikrofone usw.

Obwohl alle diese Arten sehr verschieden konstruiert sind und grosse Unterschiede hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit und naturgetreuen Wiedergabe besitzen, haben sie alle genau dieselben Aufgaben zu erfüllen, nämlich Luftschwingungen in elektrische Spannungen umzuwandeln.

Wenn wir nun ein gutes, modernes Mikrofon mit dem menschlichen Ohr vergleichen, so stellen wir fest, dass der vom Mikrofon erfasste Frequenzbereich mindestens ebenso gross ist wie der des menschlichen Ohres, wenn nicht grösser.

Auch die Empfindlichkeit nähert sich stark der Empfindlichkeit des menschlichen Gehörorgans. Zu bestimmten Zwecken kann man mit besonderen Mitteln die Empfindlichkeit des Mikrofons für bestimmte Schwingungen sogar noch erhöhen. Es können auch die Abmessungen eines Mikrofons recht klein gehalten werden.

Es drängt sich, wenn man das elektronische und das menschliche Gehörorgan miteinander vergleicht, der Gedanke auf, dass die Technik auch auf diesem Gebiet sich der Natur sehr genähert oder sie sogar übertroffen hat. Dies mag natürlich solange zutreffen, wie man das Ohr nur als Werkzeug ansieht, das wie ein Mikrofon die Schallschwingungen aufnimmt und an das Gehirn weiterleitet, indem dann die entsprechenden Empfindungen wie Freude, Lust usw. ausgelöst werden. Der Vergleich hinkt dagegen insofern, dass es nie elektronische Gehirne geben kann,

die genau wie das menschliche Gehirn die Empfindungen eines menschlichen Wesens nachzufühlen imstande sein werden.

Musik, aufgenommen von einem Mikrofon und, sei es direkt oder später durch Abspielen eines Magnetofonbandes, übertragen, ruft bei guter Wiedergabe genau die gleichen Empfindungen wie "echte" Musik hervor. Dennoch klingt Musik aus einem einzigen Lautsprecher – selbst bei bester Qualität – anders, als bei Anwesenheit des Zuhörers im Konzertsaal. Das kommt daher, dass im letzten Fall der Zuhörer die Instrumente aus den verschiedenen Richtungen hört, während bei der Lautsprecherwiedergabe das ganze Orchester von einem einzigen Punkt aus, von der Lautsprecheröffnung, erklingt. Der Mensch ist ebenso wie die meisten Tiere imstande, die Richtung einer Schallquelle festzustellen, weil er zwei Ohren hat, mit denen er räumlich (also stereofonisch) hören kann.

II. 2. 2. *Stereofonisch Hören*

Wenn wir untersuchen, warum wir mit zwei Ohren die Richtung einer Schallquelle feststellen können, finden wir, dass dies zum grossen Teil auf den Entfernungsunterschied zwischen den beiden Ohren und der Schallquelle zurückzuführen ist. Nun nimmt die Lautstärke mit dem Quadrat der Entfernung ab, so dass es naheliegt, anzunehmen, dass die Möglichkeit, die Richtung einer Schallquelle festzustellen, darin besteht, dass das Gehirn die Lautstärkeunterschiede, die von beiden Ohren aufgefangen werden, richtig interpretiert. Obwohl diese Unterschiede zu dieser Feststellung beitragen können, bilden sie dennoch nicht die wichtigste Informationsquelle. Der erwähnte Unterschied wird auch sehr klein, wenn sich die Schallquelle in grösserer Entfernung befindet. Der prozentuale Unterschied in der Entfernung wird dann so klein, dass selbst nach dem Potenzieren die dazugehörenden Lautstärkeunterschiede sehr schnell sich nicht mehr feststellen lassen. Dennoch wird bei grossen Entfernungen der Schallquelle die Genauigkeit, mit der die Richtung festgestellt werden kann, nur

wenig geringer, als bei kurzen Entfernungen. Es muss also noch einen anderen Unterschied geben; dieser besteht in dem Phasenunterschied. Wie dieser entsteht, wird in Abb. 10 dargelegt. Von einer Schallquelle B wird der Ton in regelmässigen Wechsel von Luftverdichtungen und -verdünnungen mit einer Ausbreitungsgeschwindigkeit von etwa 330 m/sek nach allen Seiten ausgestrahlt. Da die Ausbreitung gradlinig stattfindet, interessieren uns hier nur die Schwingungen, die von der Tonquelle direkt zu beiden Ohren gelangen. Weil eine Zeichnung von Verdichtungen und Verdünnungen recht schwierig ist, haben wir diese durch eine sinusförmige Schwingung um die beiden Linien angegeben, wobei ein "Bauch" nach oben einer Verdichtung und ein "Bauch" nach unten einer Verdünnung entspricht. Naturgemäss muss man Abb. 10 im übrigen als eine Momentdarstellung betrachten, weil sich ja die gezeichneten Bäuche und Knoten mit der Schallgeschwindigkeit fort-pflanzen, so dass sich die Verhältnisse an den Ohren ständig verändern. Es verändert sich jedoch der Entfernungsunterschied und damit der Zeitunterschied nicht, mit dem ein bestimmter Bauch oder Knoten bei dem einen bzw. dem anderen Ohr ankommt. Es ist üblich, diesen Zeitunterschied als Phasenunterschied (gemessen in Graden) auszu-

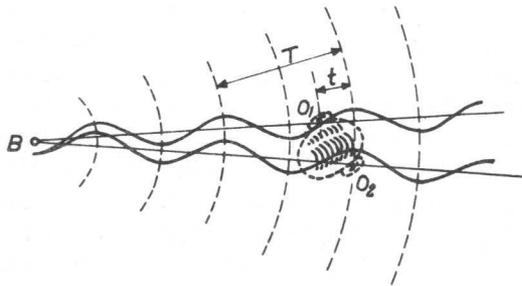


Abb. 10. Wie man die Richtung einer Schallquelle feststellen kann. Der Phasenunterschied infolge der verschiedenen Entfernung der beiden Ohren bis B ist mit t bezeichnet. T bedeutet die Schwingungszeit einer ganzen Periode der Schallschwingung.

drücken, wobei der Zeitunterschied zwischen zwei aufeinander folgenden Schallverdichtungen (T in Abb. 10) 360° entspricht. Der Phasenunterschied zwischen den Ohren O_1 und O_2 beträgt nun $t/T \times 360^\circ$ und ist demnach in Abb. 10 etwa 120° . Die Schwingung bei O_1 eilt 120° der bei O_2 voraus, weil ein bestimmter Zustand bei O_1 früher erscheint. Bei einer anderen Schwingungsfrequenz bleibt zwar der Zeitunterschied t derselbe, da aber die Schwingungsdauer T anders ist, verändert sich auch der Phasenunterschied. Bei der doppelten Frequenz wie in Abb. 10 wird T um die Hälfte verringert und der Phasenunterschied zweimal so gross, also 240° , bei der halben Frequenz dagegen wird T zweimal so gross und der Phasenunterschied halb so klein, also 60° . Da die beiden menschlichen Ohren einen festen Abstand voneinander haben, dürfte es klar sein, dass — je niedriger die Frequenz ist — der mögliche Phasenunterschied stets kleiner wird. Damit ist auch erklärt, dass es immer schwieriger wird, die Richtung der Schallwellen nach niedrigen Frequenzen hin festzustellen. Weiterhin kann man an Hand von Abb. 10 leicht verstehen, dass die Entfernung zwischen der Schallquelle und dem Kopf den auftretenden Phasenunterschied kaum beeinflusst. Nur bei sehr kurzen Entfernungen ändert sich die Phase, dann aber unterstützen bei den menschlichen Ohren die Lautstärkeunterschiede die Wirkung. Bei grossen Entfernungen und nicht zu niedrigen Frequenzen bildet also die Feststellung der Phasenunterschiedes eine zuverlässige Methode für die Richtungsbestimmung. Der Mensch ist offensichtlich imstande, von einer bestimmten Schallquelle, die auch noch gleichzeitig mehrere Frequenzen umfassen kann, den Phasenunterschied von jeder einzelnen Frequenz wahrzunehmen und hieraus die Richtung zu bestimmen. Dies ergibt sich aus der Wirkungsweise der beiden Ohren. Sowohl der Mensch als auch die Tiere können jedoch darüber hinaus noch feststellen, ob der Ton von vorne oder von hinten kommt, obwohl es sich in beiden Fällen um den gleichen Phasenunterschied handeln kann. Ausserdem lässt sich feststellen, unter welchem Winkel von oben oder unten der Schall ankommt, obwohl hierbei

im Prinzip keine zusätzlichen Phasenunterschiede entstehen. Anscheinend hängen diese beiden Möglichkeiten mit den Ohrmuscheln und der Kopfform zusammen.

Wenn man in Abb. 10 die beiden Ohren durch 2 Mikrofone ersetzt, besitzen die erzeugten Wechselfspannungen denselben Phasenunterschied wie die Schallschwingungen, vorausgesetzt, dass die beiden Mikrofone keine verschiedene Phasencharakteristik haben. Aus diesem Phasenunterschied kann dann ebenfalls die Richtung einer Schallquelle bestimmt werden. Im folgenden Abschnitt werden wir eine Anordnung kennen lernen, die dies ermöglicht.

II. 2. 3. *Eine stereofonische Mikrofonschaltung*

Die von uns verwendete Mikrofonschaltung hat folgende Aufgabe zu erfüllen: Mit ihrer Hilfe muss sich der Kopf des Roboters in die Richtung eines Pfeifsignals drehen! Da nur zwei Mikrofone (die beiden Ohren) verwendet werden konnten, war es nicht möglich, hierbei zu unterscheiden, ob der Schall von vorne oder von hinten kommt. Die Verwendung eines Pfeifsignals, welches nur einen Grundton mit einer Anzahl von Harmonischen umfasst, bot die Möglichkeit, erstens eine hohe Empfindlichkeit für die gewählte Frequenz, zweitens eine verhältnismässig grosse Unempfindlichkeit gegen Umgebungsgeräusche – sehr wichtig bei Vorführungen *) – zu erhalten, und drittens einen einfachen Phasenmesser für eine einzige Frequenz

*) Es hat sich in der Praxis herausgestellt, dass die Empfindlichkeit gegen Umgebungsgeräusche noch zu hoch war. In einer grossen Anzahl von Geräuschen, wie etwa im Zuschlagen einer Tür, im Husten, beim Überfliegen eines Flugzeuges usw. kommt die Frequenz von 400 Hz anscheinend so häufig vor, dass die Schaltung hierauf anspricht. Da diese Art von Geräuschen auf den Menschen kaum mehr einen Eindruck macht – wenn sie natürlich auch gehört werden – war es zuerst völlig unverständlich, dass die Schaltung auf sie anspricht.

Da die weitere Reaktion des Roboters auf ein aufgenommenes Signal viel Zeit beansprucht, wurde die Vorführung des gewünschten Effektes schwierig und zeitraubend. Um diese Schwierigkeit zu beseitigen, wurde eine gewisse Kodeschaltung eingebaut, die jedoch das Prinzip des stereofonischen Hörens beibehält. Die Änderungen in der noch zu behandelnden Schaltung werden unter dem Titel: "Das Reagieren auf bestimmte Töne" näher besprochen werden.

zu verwenden, weil die Phase dann einen unmittelbaren Maszstab für den Einfallswinkel des Tones bildet.

Wir entschlossen uns für ein Pfeifsignal mit einer Frequenz von 400 Hz, weil:

1. hierbei die Entfernung zwischen den beiden Mikrofonen nicht zu gross wird, wenn man für die verschiedenen Einfallswinkel einen gut auswertbaren Phasenunterschied erhalten will (s. weiter unten);
2. mit dieser Frequenz genügend trennscharfe Filterkreise sich konstruieren lassen;
3. beim Roboter auch noch andere Frequenzen verwendet werden müssen;
4. gerade diese Frequenz vom Menschen ohne mechanische Hilfsmittel kaum erzeugt werden kann (unerwünschte Beeinflussung der Vorführungen durch das Publikum).

Die Schaltung besteht aus folgenden, in Abb. 11 im Blockschema wiedergegebenen Baugruppen:

Die Mikrofone M_1 und M_2 , für die wir wegen des geringen Gewichtes Kristallmikrofone wählten, sind an die

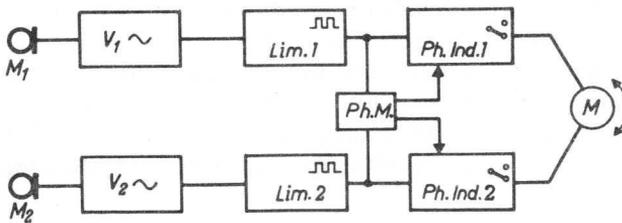


Abb. 11. Blockschema der von uns verwendeten stereofonischen Mikrofonschaltung. V_1 und V_2 sind selektive Verstärker. Lim 1 und 2 sind Begrenzerschaltungen, welche die sinusförmigen Schwingungen in Rechteckspannungen verwandeln. Ph. M. ist der Phasemesser, der die Schalllage der Ausgangsrelais Ph. ind. 1 und Ph. ind. 2 bestimmt. Wenn die Phasenlagen der Mikrofonspannungen von M_1 und M_2 unterschiedlich sind, bewirkt Ph. ind. 1 bzw. Ph. ind. 2, dass der Motor M sich in die gewünschte Richtung dreht. Der Drehwinkel wird in beiden Fällen durch den Phasemesser Ph. M. bestimmt.

Verstärker V_1 und V_2 angeschlossen. Diese Verstärker

enthalten einen auf die Frequenz von 400 Hz abgestimmten Kreis. Obwohl eine völlige Phasengleichheit erstrebt wurde, besteht bei diesen Verstärkern eine Möglichkeit der Phasenkorrektur, damit man die Ausgangsspannungen beider Kanäle in ihrer Phase vollkommen gleich machen kann. Die Ausgangsspannungen werden dann den Begrenzungsschaltungen Lim1 und Lim2 zugeleitet, welche die sinusförmigen Spannungen phasenetreu in Rechteckspannungen mit konstanter Amplitude verwandelt. Verstärkungsunterschiede in den beiden Kanälen werden hierdurch völlig ausgeglichen. Der Phasenunterschied zwischen den beiden Rechteckspannungen der zwei Kanäle, der als direkter Masstab für den Einfallswinkel des Schalls auf die Mikrofone gilt, wird in dem Phasenmesser Ph. M. gemessen; eine der beiden Ausgangsstufen Ph. Ind. 1 oder Ph. Ind. 2 wird dann durch die Rechteckspannung angesteuert, je nachdem die Spannung des Kanales 1 bezüglich der des Kanales 2 voreilt oder nacheilt. Hierdurch wird der Motor, der den Kopf des Roboters bewegt, mit der richtigen Drehrichtung eingeschaltet. Der Drehwinkel hängt vom Messergebnis des Phasenmessers ab und ist so groß, dass sich der Kopf der Schallquelle zukehrt.

Bevor wir die verschiedenen Baugruppen eingehender beschreiben, wollen wir noch einige Worte über das Verhältnis zwischen der Richtung des ankommenden Tones und dem sich daraus ergebenden Phasenunterschied sagen.

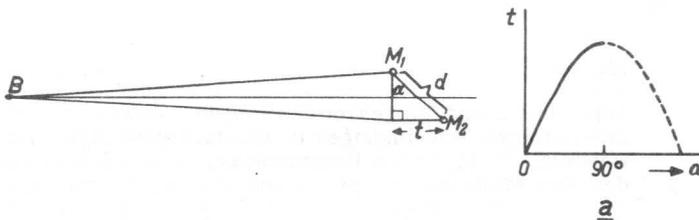


Abb. 12. Der Phasenunterschied t in Abhängigkeit vom Winkel α , unter dem der Schall aufgefangen wird. Unter a ist diese Beziehung grafisch für den Fall dargestellt, dass die Mikrofone M_1 und M_2 in freier Luft aufgestellt sind.

In Abb. 12 sehen wir die beiden Mikrofone M_1 und M_2 in grosser Entfernung von der Schallquelle. Dies gestattet uns, den angegebenen Winkel mit guter Annäherung als einen rechten Winkel zu betrachten. Wenn die beiden Mikrofone frei in der Luft aufgehängt sind, beträgt der bei einer bestimmten Frequenz auftretende Phasenunterschied $t = d \sin \alpha$. In Abb. 12a ist die Abhängigkeit zwischen dem Winkel α und der auftretenden Phasenverschiebung grafisch dargestellt. Hieraus ergibt sich, dass die Abhängigkeit nicht linear, sondern eine Sinusfunktion ist, und es ist offensichtlich, dass die grössten Phasenunterschiede je Grad der Drehung bei $\alpha = 0^\circ$ austreten, also wenn der Kopf direkt auf die Schallquelle gerichtet ist, und die kleinsten Unterschiede bei $\alpha = 90^\circ$, also, wenn der Kopf zur Seite gedreht ist. Am grössten ist die Genauigkeit also bei $\alpha = 0^\circ$, auch beim Menschen, der ja beim Feststellen der Richtung stets dazu neigt, den Kopf in die Richtung des Schalls zu drehen. Beim Roboter lässt sich auch solch eine sinusförmige Abhängigkeit verwerten, aber in unserer Schaltung war eine lineare schon deswegen empfehlenswert, um die Schaltung nicht zu kompliziert werden zu las-

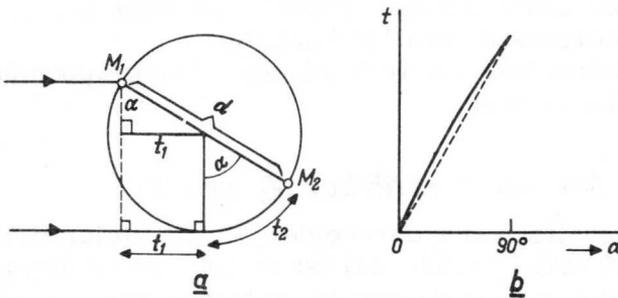


Abb. 13. Der Phasenunterschied $t = (t_1 + t_2)$ in Abhängigkeit vom Winkel α , unter dem der Schall von 2 Mikrofonen M_1 und M_2 , aufgefangen wird, die sich an einem zylindrischen Kopf befinden. Das Verhältnis ist unter a grafisch dargestellt und zeigt sich als angenähert linear (vergl. die rechte gestrichelte Linie).

*) Der Winkel α ist hierbei im Bogenmasse ausgedrückt.

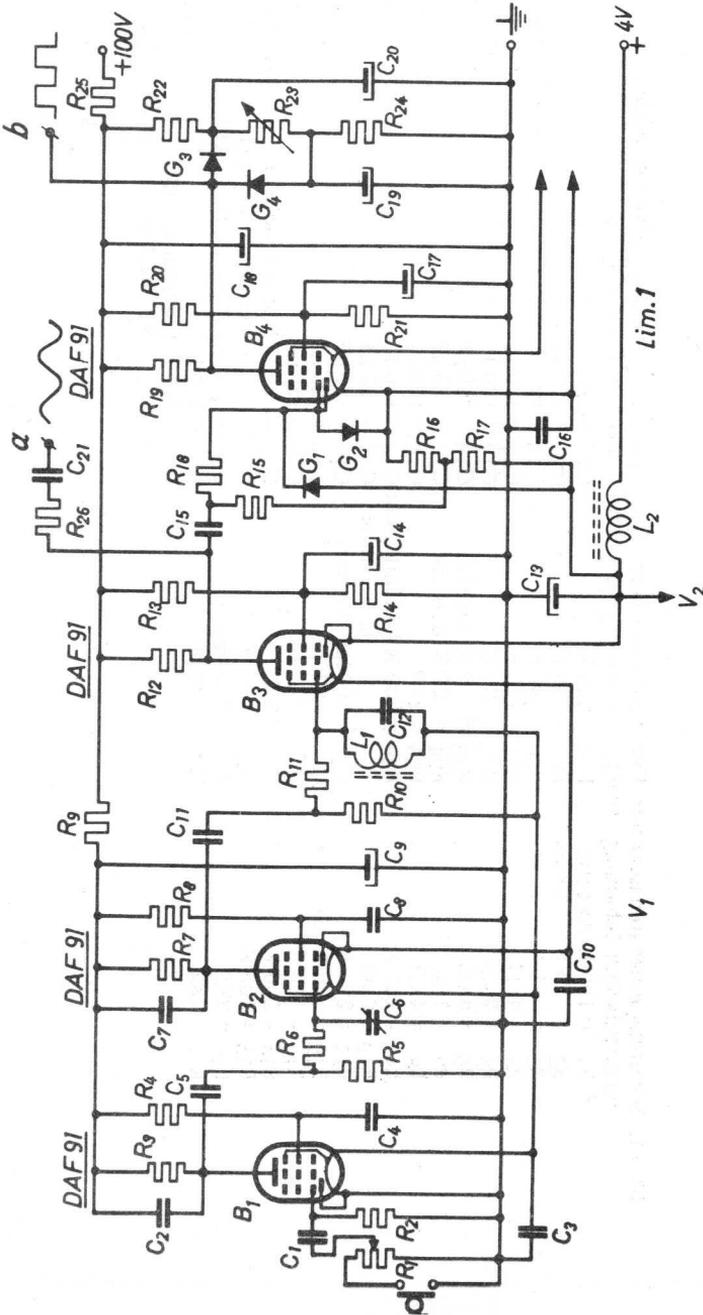
sen. Durch einen geeigneten Einbau der Mikrofone in den Kopf kann die Linearität der Abhängigkeit noch verbessert werden. Um dies besser zu verstehen, betrachte man die Abb. 13, in der von einem zylindrischen Kopf ausgegangen wird. Betrachten wir den Unterschied der kürzesten Schallwege, so sehen wir, dass dieser Unterschied $t = t_1 + t_2 = (\alpha + \sin \alpha) \frac{1}{2} d$ beträgt *). Geben wir diese Funktion grafisch wieder (Abb. 13a), so zeigt es sich, dass diese grafische Darstellung rechts gut einer Gerade nahezukommt.

Die Entfernung zwischen den Mikrofonen kann nun anhand der gewählten Frequenz (in unserem Fall 400 Hz) festgestellt werden. Wie wir sehen werden, beträgt der maximale Phasenunterschied, der vom Phasemesser festgestellt werden kann, $+ 180^\circ$. Bei unserer Frequenz von 400 Hz ergibt sich dabei, dass der grösste Unterschied zwischen den beiden Schallwegen nicht mehr als $\frac{33000}{2 \times 400} =$ etwa 41 cm betragen darf. Der Durchmesser eines zylindrischen Kopfes ist dann etwa 32 cm. Weil der Phasemesser in der folgenden Stufe bei grossen Phasenunterschieden nicht mehr linear arbeitet (siehe unten), haben wir den Durchmesser und damit den Abstand zwischen den Mikrofonen etwas kleiner gewählt, so dass der maximale Phasenunterschied etwa 150° beträgt.

Nun wollen wir die verschiedenen Baugruppen der Abb. 11 näher betrachten.

II. 2. 3. 1. Die Vorverstärker V_1 und V_2

Das Schaltschema der beiden völlig gleichen Vorverstärker V_1 und V_2 (Abb. 11) ist in Abb. 14 wiedergegeben. Die Einzelteile werden vorher nachgemessen, um die Verstärkung und die Phasencharakteristik so gut wie möglich aneinander anzugleichen. Empfindlichkeitsunterschiede der Mikrofone können mit dem Potentiometer R_1 kompensiert werden. Die Heizfäden der Röhren B_1 , B_2 und B_3 sind in Serie geschaltet und an eine Spannungsquelle von 4 V angeschlossen. Auf diese Weise erhält man am einfachsten die negativen Gitterspannungen für die Röhren B_2



und B_3 . Die entsprechenden Heizkreise des Verstärkers V_2 sind an dieselbe Batterie angeschlossen. Da die Röhren DAF 91, die wegen ihrer geringen Mikrofonie ausgewählt wurden, 50 mA Heizstrom verbrauchen, beträgt der gesamte Heizstromverbrauch 100 mA. Da noch weitere Verstärkerröhren an die 4 V-Batterie angeschlossen sind, hat es sich als notwendig erwiesen, die Heizfadengruppen der Röhren $B_1 \dots B_3$ mit dem Filter $L_2 - C_{13}$ zu entkoppeln, um eine Störung über die Heizkreise zu vermeiden. Die Anodenspeisung wird durch die Filter $R_9 - C_9$ und $R_{25} - C_{18}$ entkoppelt.

Die Kondensatoren C_2 und C_7 an den Anodenwiderständen der Röhren B_1 und B_2 sind so bemessen, dass die Verstärkung bei Frequenzen über 400 Hz allmählich abnimmt, während mit den verhältnismässig kleinen Koppelkondensatoren C_1 , C_5 und C_{11} das gleiche bei Frequenzen unter 400 Hz erreicht wird. Aus denselben Gründen haben die Entkopplungskondensatoren für die Schirmgitter (C_4 und C_8) auch kleine Werte. Mit dem Kondensator C_6 des Filters $R_6 - C_6$ kann man die Phase des 400 Hz-Signales einstellen; ausserdem schwächt es auch die höheren Frequenzen ab. Mit diesem Filter können also Unterschiede im Phasengang der Verstärker V_1 und V_2 oder der beiden Mikrofone ausgeglichen werden. Ist auch die Durchlasskurve der beiden Stufen B_1 und B_2 bei 400 Hz bereits überhöht, so erhält man die eigentliche Trennschärfe durch den abgestimmten Kreis $L_1 - C_{12}$. Die Schwingkreisspule L_1 (wie auch die Drosselspule L_2) ist auf einem Ferroxcube-Kern gewickelt; hierdurch erhält man eine hochwertige, magnetisch gut abgeschirmte Spule. Da das Ganze noch in einem Abschirmbecher untergebracht ist, ist auch eine gute statische Abschirmung gewährleistet. Infolge der geringen Verluste ist der Resonanzwiderstand dieses Kreises bei 400 Hz sehr hoch, nämlich einige Megohm. Der Vorwiderstand R_{11} gibt darum praktisch keine Abschwächung. Ausserhalb der Abstimmung jedoch sinkt die Impedanz schnell, so dass die übertragene Spannung durch die Teilung über R_{11} schnell abnimmt. Eine Anregung des Kreises durch Spannungsschüsse wird dadurch verhindert,

dass der Kreis hinter den schon einigermassen trennscharfen Verstärkerstufen B_1 und B_2 liegt, die andere Frequenzen als 400 Hz schon wesentlich abschwächen.

Am Anodenwiderstand R_{12} fällt dann die unverzerrte Ausgangsspannung ab, die nur bei 400 Hz eine ausreichende Amplitude erreicht. Für Verwendungszwecke, die im folgenden Kapitel behandelt werden, kann diese Ausgangsspannung am Punkt a abgegriffen werden. Beim Verstärker V_2 ist dies nicht erforderlich.

II. 2. 3. 2. Die Begrenzerschaltung

Die Schaltung der Begrenzerstufe ist für beide Kanäle wieder gleich; sie ist in der rechten Hälfte der Abb. 14 wiedergegeben.

Die Stufe enthält die Röhre B_4 und die vier Germaniumdioden G_1 bis G_4 . Die Gittervorspannung der Röhre B_4 wird zwischen den Widerständen R_{16} und R_{17} abgegriffen und beträgt - 0,7 V bezüglich der Katode von B_4 ; diese Spannung wird über R_{15} und R_{18} dem Gitter zugeführt. Nach positiven Werten hin wird die Wechsellspannung durch die Spannungsteilung über den hochohmigen Widerstand R_{18} und den niedrigen Innenwiderstand der Kombination G_2 - Diodenstrecke von B_4 begrenzt, nach negativen Werten hin durch die Diode G_1 , die gegen eine Spannung von -1,35 V bezüglich der Katode abgestützt ist. Die Gitterspannung kann also niemals höher als 0 V und niemals niedriger als -1,35 V werden. Durch diese symmetrische Schaltung wird vermieden, dass sich bei grossen Signalamplituden das mittlere Potential des Gitters durch einseitigen Gitterstrom verändert; dies muss in Hinsicht auf die zweite Begrenzerschaltung in der Anode vermieden werden. Durch die Teilung über die Widerstände R_{22} - R_{23} - R_{24} fällt an R_{23} eine Spannung ab. Ihr mittleres Potential ist gleich dem mittleren Anodenpotential bei nicht ausgesteuerter Röhre. Nach oben hin wird nun die Anodenwechsellspannung durch G_3 und symmetrisch dazu nach unten durch G_4 begrenzt. Die Elektrolytkondensatoren C_{19} und C_{20} sorgen dafür, dass dieser Begrenzungswert während der kurzen

Stromstösse sich nicht ändert. In Abb. 15 sehen wir unter a die Anfangs-Wechselspannung, unter b dieselbe Spannung wie sie am Gitter von B_4 auftritt und gestrichelt die Spannung, die am Anodenwiderstand abfallen würde, wenn die Germaniumdioden G_3 und G_4 nicht vorhanden wären.

Aus der Abbildung geht hervor, dass die Flankensteilheit in dieser Stufe wesentlich zunimmt; dies ist auf die Verstärkung in der Röhre B_4 zurückzuführen.

In der Begrenzerstufe wird also eine sinusförmige Eingangsspannung in eine Rechteckspannung verwandelt, deren Amplitude unabhängig von der Eingangsspannung ist. Nur

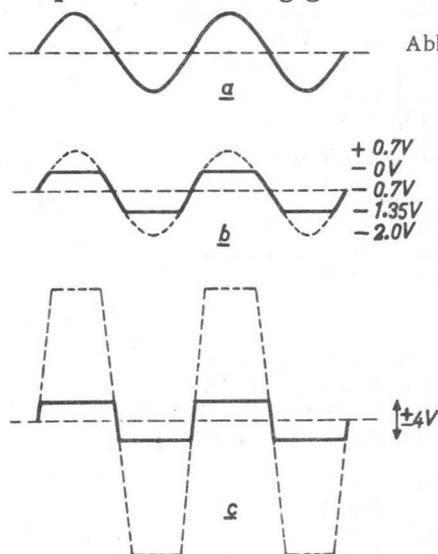


Abb. 15. Grafische Darstellung der Wirkungsweise der Begrenzerstufe aus Abb. 14.

- a. Anoden-Wechselspannung der Röhre B_3
- b. Vollinie: die übrigbleibende Spannung am Steuergitter der Röhre B_4 .
- c. Strichlinie: Anoden-Wechselspannung der Röhre B_4 bei Fehlen der Dioden G_3 und G_4 . Vollinie: Anodenspannung der Röhre B_4 und Spannung an der Ausgangsklemme b (Abb. 14) die Begrenzung durch die Dioden G_3 und G_4 . Im Vergleich zur Gitterspannung (b) ist die Amplitude nur wenig grösser geworden, aber die Flankensteilheit der Rechteckspannung wurde wesentlich verbessert.

bei kleineren Mikrofonspannungen als 0,5 mV genügt die Flankensteilheit nicht mehr, um die weiteren Stufen zuverlässig auszusteuern. Mit dem Regelwiderstand R_{23} kann die Amplitude der Rechteckspannung eingestellt werden.

II. 2. 3. 3. Der Phasenmesser

Im Phasenmesser wird der Phasenunterschied zwischen den beiden Mikrofonkanälen gemessen. Das Schaltbild ist in Abb. 16 wiedergegeben.

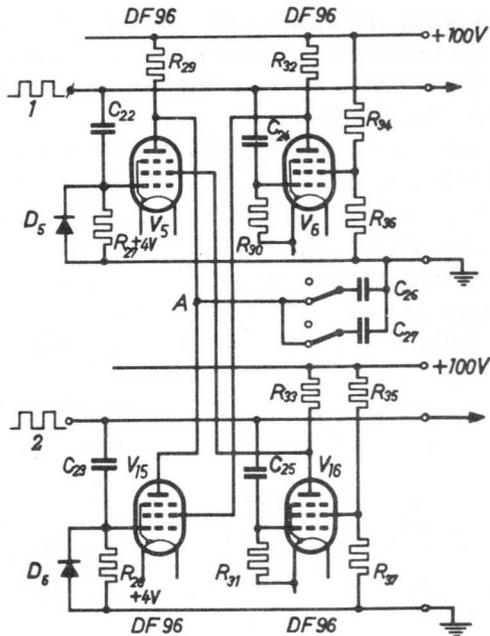


Abb. 16. Schaltbild des Phasenmessers. Die Spannung an Punkt A ist linear von dem Phasenunterschied zwischen den Eingangssignalen 1 und 2 abhängig.

R27 und R28 = 2 M 2

R29 = 220 K

R30 und R31 = 2 M 2

R32 und R33 = 68 K

R34 und R35 = 39 K

R36 und R37 = 68 K

C22 und C23 = 22 K

C24 und C25 = 330 K

G5 und G6 = Germaniumdiode

OA85

Diese Stufe enthält vier Röhren, B_5 und B_6 für den einen, B_{15} und B_{16} für den anderen Kanal. Das aus dem Begrenzer kommende rechteckige Signal 1 wird über C_{22} dem Gitter von B_5 und das zumeist phasenverschobene Signal 2 über C_{23} dem Gitter von B_{15} zugeführt. Ohne Signal

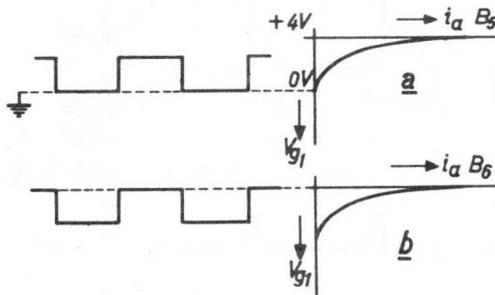


Abb. 17. Die Rechteckspannung bildet sich wegen der Germaniumdiode G_5 im Gitterkreis der Röhre B_5 aus, wie unter a wiedergegeben. Die gleiche Rechteckspannung stellt sich durch den der Röhre B_6 auftretenden Gitterstrom ein, wie unter b wiedergegeben.

sind diese Röhren gesperrt, weil die Katode um 4 Volt positiv gegenüber dem Gitter ist. Die Germaniumdioden D_5 und D_6 bewirken, dass bei einem ankommenden Signal das Gitter stets positiv zur Masse wird, wie in Abb. 17a wiedergegeben ist. Bei richtiger Wahl der Signalamplitude wird diese Röhre fast völlig angesteuert. Das vom Begrenzer kommende Signal 1 wird über C_{24} zugleich dem Gitter von B_6 und das phasenverschobene Signal 2 über C_{25} dem Gitter von B_{16} zugeführt. Durch Gittergleichrichtung erreicht man, dass die Spannungen an diesen Gittern stets negativ gegenüber den Katoden werden, wie in Abb. 17b wiedergegeben. Nun ist die Anode von B_6 mit dem Schirmgitter von B_{15} und umgekehrt die Anode von B_{16} mit dem Schirmgitter von B_5 verbunden. Für B_5 bedeutet dies, dass ohne Phasenverschiebung zwischen den beiden Kanälen die Gitter- und Schirmgitterspannungen sich in Gegenphase befinden, wodurch diese Röhre völlig gesperrt wird und kein Anodenstrom fließen kann. Dasselbe gilt sinngemäss für die Röhre B_{15} . Bei einem Phasenunterschied zwischen beiden Signalen fließt ein impulsförmiger Anodenstrom, da hierbei das Steuergitter und das Schirmgitter gleichzeitig angesteuert werden. Die zeitliche Lage des Impul-

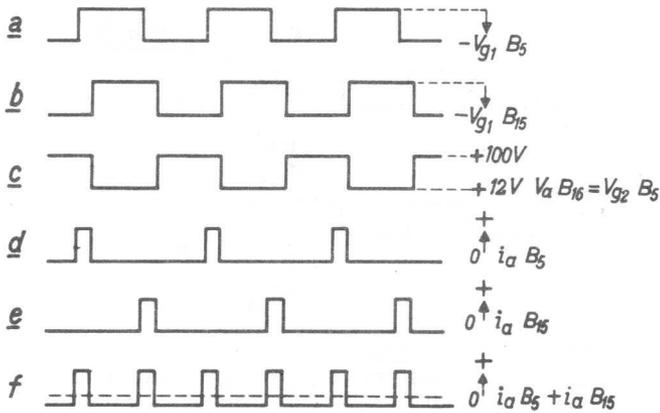


Abb. 18. Beziehungen zwischen den zugeleiteten Rechteckspannungen bei einem bestimmten Phasenunterschied ($+45^\circ$), und den Anoden- und Schirmgitterspannungen und Anodenströmen der Phasennessers aus Abb. 16.

- a. Gitterspannung Röhre B_5
- b. Gitterspannung Röhre B_{15}
- c. Anodenspannung Röhre B_{16} und gleichzeitig Schirmgitterspannung Röhre B_5
- d. Der aus a und c abgeleitete Anodenstrom der Röhre B_5
- e. Der auf gleiche Weise entstandene Anodenstrom der Röhre B_{15}
- f. Der Gesamtanodenstrom der Röhren B_5 und B_{15} , der durch den gemeinsamen Anodenwiderstand R_{29} fließt. Gestrichelter mittlerer Anodenstrom, der die Gleichspannung an den Kondensatoren C_{26} und C_{27} in Abb. 16 bestimmt.

ses ist in Abb. 18c wiedergegeben. Die Dauer dieses Impulses ist gleich dem Phasenunterschied zwischen den Eingangssignalen 1 und 2. In Abb. 18d ist der Anodenstrom von B_5 und in Abb. 18e der entsprechenden Anodenstrom von B_{15} wiedergegeben. Da die Anoden der Röhren B_5 und B_{15} miteinander verbunden sind, erhalten wir für den gesamten Anodenstrom das Bild in Abb. 18f, aus dem hervorgeht, dass die Impulse der beiden Röhren genau um 180° gegeneinander verschoben sind. Bei einem Phasenunterschied der Signale 1 und 2 von 180° erreichen diese Impulse gleichfalls eine Dauer von 180° , so dass in der ganzen Periode der maximale Anodenstrom fließt. Das mittlere

Potential an den miteinander verbundenen Anoden bewegt sich also zwischen Speisespannung bei 0° Phasenverschiebung und einem Mindestwert, der bei einem konstanten Anodenstrom bei 180° Phasenunterschied auftritt. Diese phasenabhängige Spannung liegt gleichfalls an den Kondensatoren C_{26} und C_{27} , worauf wir später zurückkommen werden.

Weiterhin erkennen wir, dass das Verhältnis zwischen dem Phasenunterschied und dem mittlerem Anodenstrom linear ist. Höchst- und Mindestwert bleiben ja bei konstanter Eingangsamplitude stets gleich. Durch die Begrenzerstufen wird diese Amplitude konstant gehalten, so dass der Mittelwert nur vom Phasenunterschied abhängt.

II. 2. 3. 4. *Der Phasenindikator*

Wie wir gesehen haben, liefert der Phasenmesser eine Spannung, die von dem Phasenunterschied zwischen 0 und 180° abhängt, sagt jedoch nichts darüber aus, ob das Signal eines bestimmten Kanales vorläuft oder zurückbleibt. Hierzu dient nun der Phasenindikator, dessen Schaltbild in Abb. 19 wiedergegeben ist. Die Schaltung enthält zwei gleiche monostabile Multivibratorstufen, welche die Röhren B_7 und B_8 für den einen und B_{17} und B_{18} für den anderen Kanal enthalten. Im Ruhezustand liegt das Gitter der Röhre B_7 über dem Widerstand R_{44} an der Katode, so dass diese Röhre den entsprechenden hohen Anodenstrom führt; demzufolge ist das Anodenpotential niedrig (etwa $+12$ V). Ungefähr ein Zehntel dieser Spannung, also $+1$ V wird durch den Spannungsteiler R_{62} , R_{64} und R_{66} dem Gitter von B_8 und eine entsprechende Spannung dem Gitter von B_9 zugeführt. Durch geeignete Katodenpotentiale ($+6,7$ V bei B_9 und $+10,7$ V bei B_8) sind diese Röhren völlig gesperrt, so dass das Relais abgefallen ist. Über C_{30} , R_{40} und C_{32} wird nun ein Teil der vom Begrenzer gelieferten Rechteckspannung dem Gitter der Röhre B_7 zugeführt. Durch Gittergleichrichtung wird dieses Signal bezüglich der Katode negativ. Die sich ergebende Rechteckspannung an der Anode gelangt, auf ein Zehntel abgeschwächt, mit positiver Am-

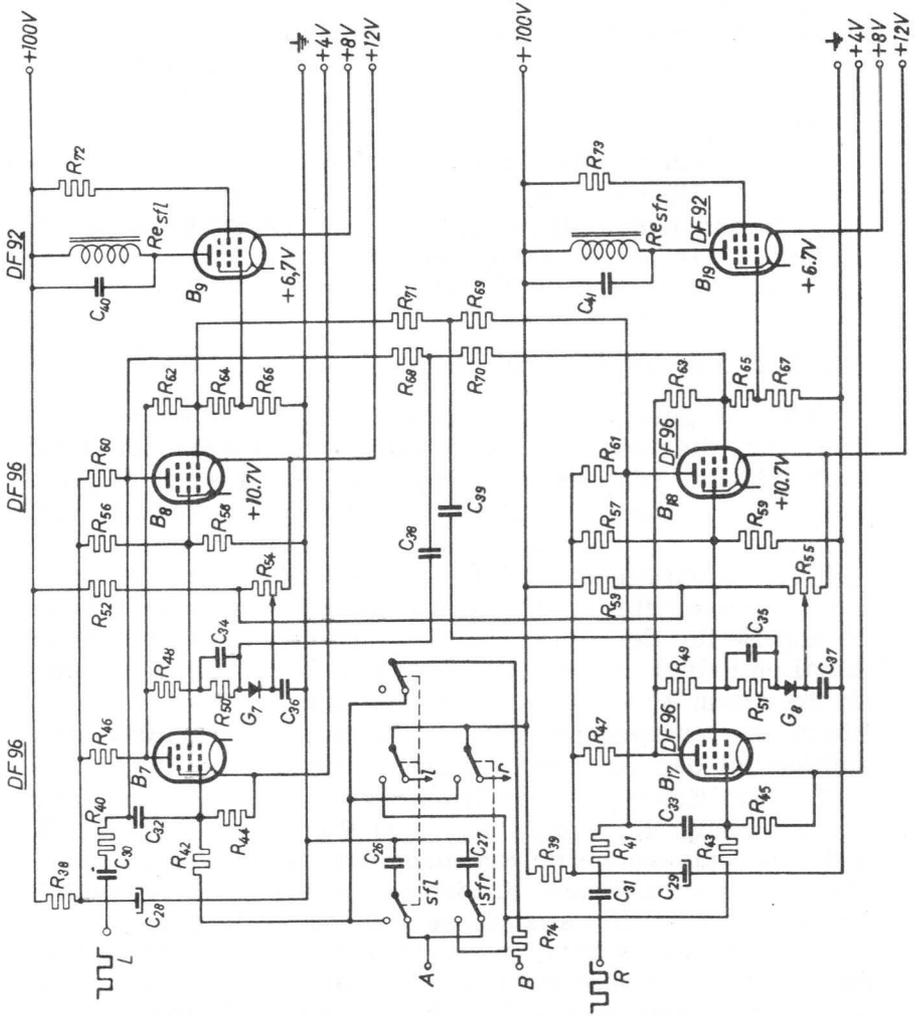
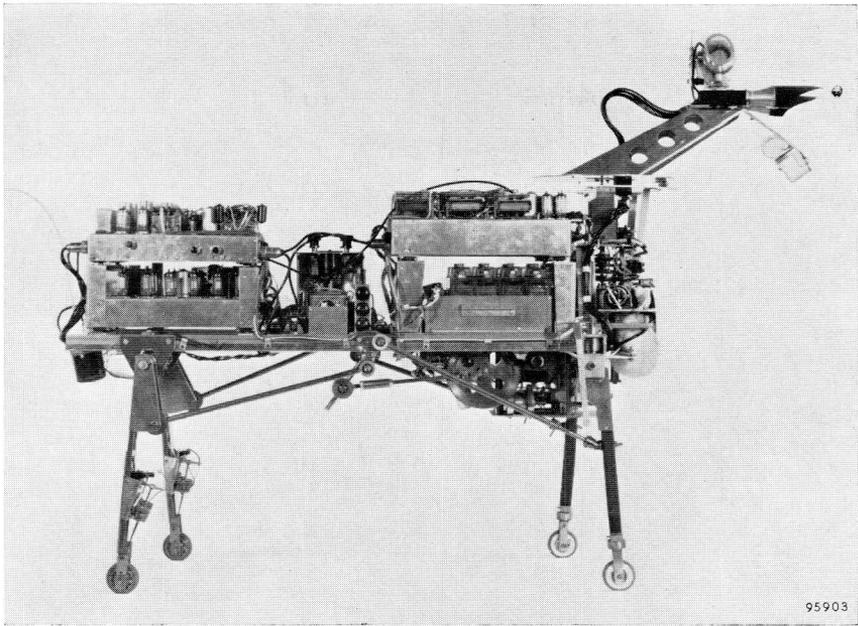


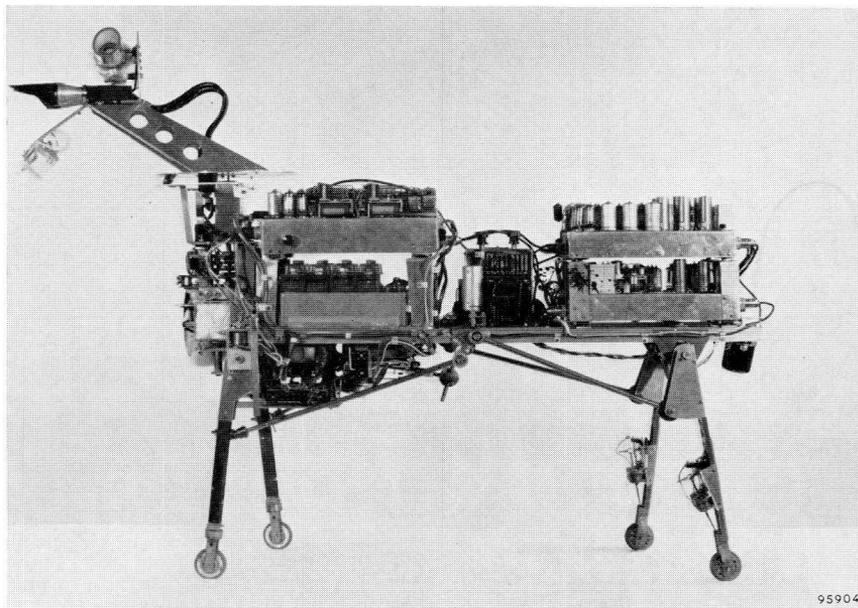
Abb. 19. Schaltbild eines Phasenindikators, bei dem das Anziehen der Relais abhängig ist vom Phasenunterschied, der in Form einer Spannung an einem Kondensator (C 26 oder C 27) von dem Phasenmesser aus Abb. 16 zugeleitet wird. Relais Resfl zieht an, wenn die Spannung an L der an R vorläuft; Resf zieht an, wenn Spannung an R der an L vorläuft.

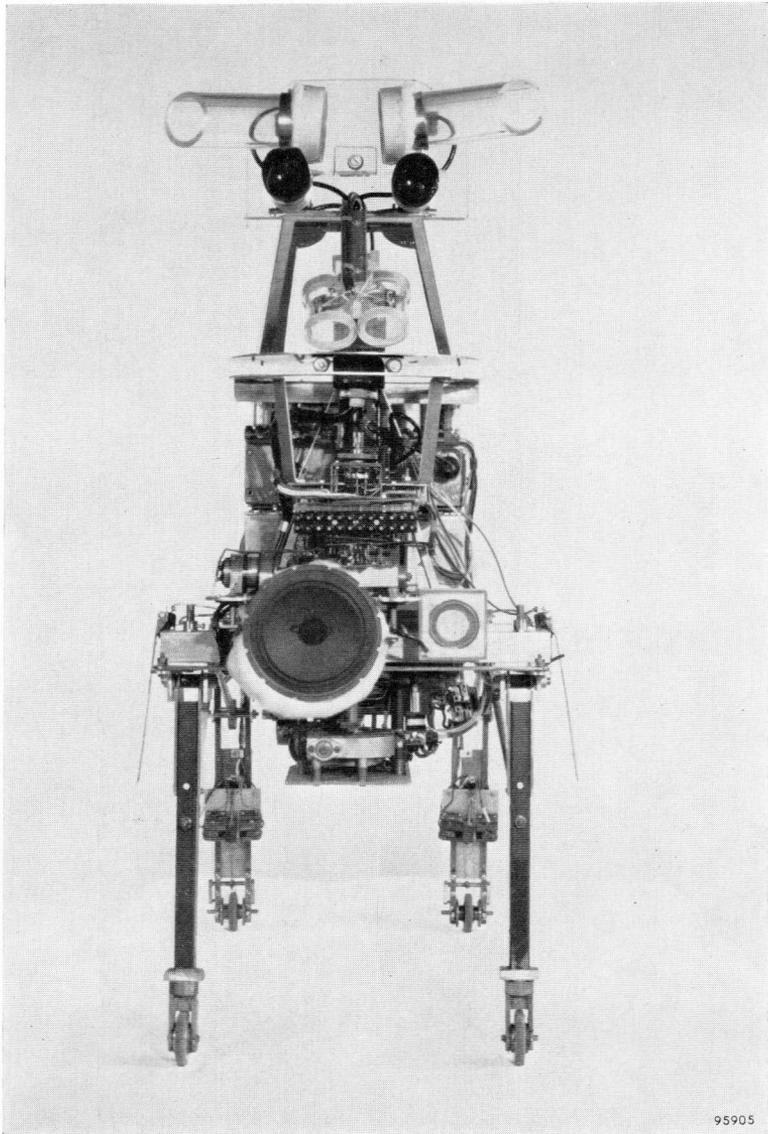
R38 und R39 = 2K2	C26 und C27 = 330 K
R40 und R41 = 220 K	C28 und C29 = 25 μ F
R42 und R43 = 1 M	C30 und C31 = 470 K
R44 und R45 = 5M6	C32 und C33 = 470 K
R46 und R47 = 100 K	C34 und C35 = 220 pF
R48 und R49 = 39 K	C36 und C37 = 22 K
R50 und R51 = 1 M	C38 und C39 = 56 pF
R52 und R53 = 33 K	C40 und C41 = 2K7
R54 und R55 = 20 K (lineare potentiometer)	D7 und D8 = Germaniumdiode 0A85
R56 und R57 = 18 K	Resfl und Resfr = Relais mit vier Wechselkontakten
R58 und R59 = 39 K	Wicklung 15.000 Ohm.
R60 und R61 = 100 K	
R62 und R63 = 560 K	
R64 und R65 = 33 K	
R66 und R67 = 68 K	
R68 und R69 = 4 M	
R70 und R71 = 68 K	
R72 und R73 = 4K7	
R74 = 1 M	

plitude an das Gitter von B_8 . Das Katodenpotential von B_7 ist jedoch so gross, dass dieses Signal die Röhre noch nicht zum Kippen bringen kann. Dieselbe Überlegung gilt für den zweiten Kanal mit den Röhren B_{17} , B_{18} und B_{19} . Um nun den Phasenunterschied in der Schaltung anzuzeigen, wird der Rechteckimpuls an der Anode der Röhre B_7 über den kleinen Kondensator C_{38} differenziert an das Gitter der Röhre B_{18} geleitet (Stromkreis: $R_{48}-C_{34}-C_{38}-R_{70}-R_{65}-R_{67}$), während andererseits der Rechteckimpuls an der Anode der Röhre B_{17} ebenfalls differenziert über C_{39} an das Gitter von B_8 geleitet wird (Stromkreis: $R_{49}-C_{35}-C_{39}-R_{71}-R_{64}-R_{66}$). In Abb. 20 ist ein Teil dieser Spannungen für ein bestimmtes Phasenverhältnis zwischen den beiden Kanälen zur Verdeutlichung wiedergegeben. Unter a sehen wir das Signal am Gitter von B_7 , unter b das entsprechende Signal an der Anode und unter c das sich daraus ergebende Signal am Gitter der Röhre B_8 . Wenn das Signal an der Anode von B_7 differenziert wird, entstehen positive und negative Nadelimpulse zu den unter d angegebenen Zeitpunkten. Weiterhin sehen wir unter e das Signal am Gitter der Röhre B_{17} , unter f das entsprechende Signal an der Anode und unter g das sich hieraus ergebende Signal am Gitter von B_{18} , während das differenzierte Signal mit den positiven und negativen Nadelimpulsen in dem richtigen Phasenverhältnis unter h wiedergegeben wird. Unter i ist das bereits dargestellte Signal am Gitter von B_8 zu dem differenzierten Signal von Röhre B_{17} addiert, und daneben die I_a/V_g -Kennlinie dieser Röhre wiedergegeben. Aus dieser geht hervor, dass die Nadelimpulse in den Aussteuerbereich dieser Röhre fallen, so dass die Schaltung kippen kann. Unter j sehen wir dann noch die Addition des Signals am Gitter von B_{18} mit dem differenzierten Signal von B_7 , woraus hervorgeht, dass B_{18} bei dieser Einstellung nicht kippen kann. Das Prinzip dieser Schaltung beruht also darauf, dass bei einem einzelnen Signal an einem der Kanäle das betreffende Relais niemals anziehen kann, sondern dass dies nur bei Zuführung eines etwas verzögerten Signals an den anderen Kanal erfolgen kann, weil in diesem Fall die Impulse des anderen Kanals zu dem Rechtecksig-



Die linke und rechte Seite des elektronischen Robotertieres, bevor die provisorische Plastikhaut angebracht worden war.





Vorderansicht. Die Aufnahme wurde noch vor dem Anbringen der Plastikhaut gemacht. Deutlich sichtbar sind die Ohren (Mikrophone), die Augen, (Photozellen), die Nasenlöcher (NTC-Widerstände). Die Zunge war noch nicht angebracht. Der Lautsprecher und das Mikrophon in der Mitte gehören zu dem Radarsystem.

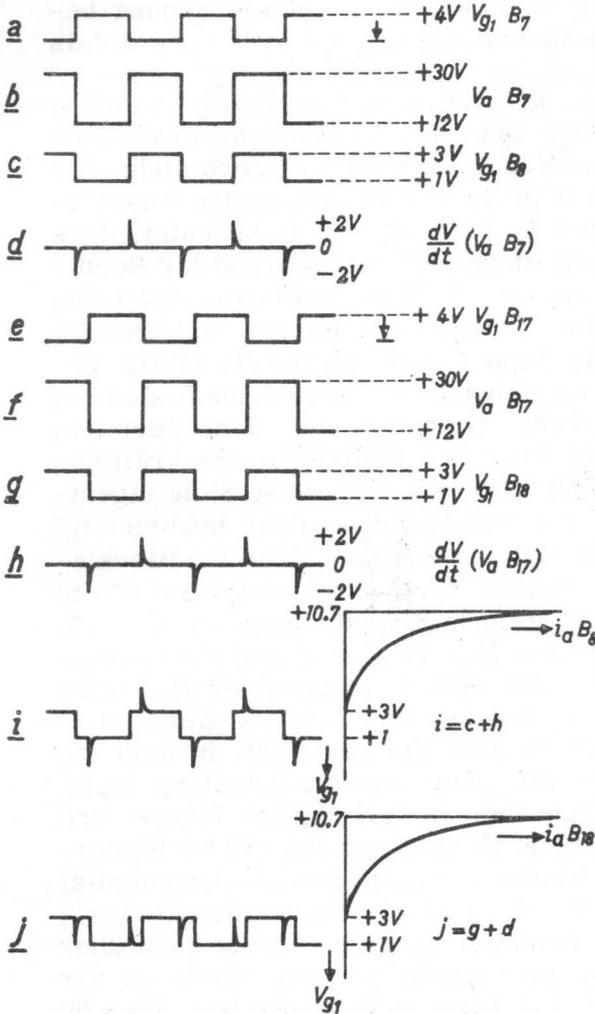


Abb. 20. Zusammenhang zwischen den Gitter- und Anodenspannungen im Phasenindikator aus Abb. 19.

- a. Die dem Steuergitter der Röhre B_7 zugeleitete Rechteckspannung.
- b. Die daraus entstandene Anodenspannung der Röhre B_7 .
- c. Der Teil dieser Anodenspannung, der an das Steuergitter der Röhre B_8 gelangt.
- d. Die durch den Kondensator C 38 differenzierte Anodenspannung der Röhre B_7 wird dem Steuergitter der Röhre B_{18} zugeleitet.
- e. Die Rechteckspannung des zweiten Kanales, die dem Steuergitter der Röhre B_{17} zugeleitet wird. Diese Spannung läuft also der unter a nach.
- f. Die Anodenspannung der Röhre B_{17} .
- g. Der Teil dieser Anodenspannung, der an das Steuergitter der Röhre B_{18} gelangt.

- h. Die durch den Kondensator C 39 differenzierte Anodenspannung der Röhre B_{17} , die dem Steuergitter der Röhre B_8 zugeführt wird.
- i. Die gesamte Gitterspannung der Röhre B_8 ($c + h$), eingezeichnet in die I_a/V_{g1} -Kennlinie dieser Röhre. Die Spitzen fallen in das Anodenstromgebiet und bringen die Stufe zum Kippen.
- j. Die gesamte Gitterspannung am Gitter der Röhre B_{18} ($g + d$), gleichfalls eingezeichnet in die I_a/V_{g1} -Kennlinie der Röhre B_{18} . Weder die Rechteckspannung noch die Spitzen gelangen in das Anodenstromgebiet, und die Stufe kann nicht kippen.

nal addiert werden. In dem Kanal, dessen Spannung bezüglich des anderen Kanales voreilt, zieht also das Relais an, so lange dieses Voreilen zwischen 0 und 180° liegt.

Hierbei muss noch folgendes berücksichtigt werden: Die Signalamplitude, die ohne das Vorhandensein von Impulsen aus dem zweiten Kanal die Schaltung noch nicht zum Kippen bringt, bildet nur einen Teil des gesamten Aussteuerbereiches der Röhren B_7 bzw. B_{17} . Das bedeutet, dass sich die Anodenspannung dieser Röhren während der Rechteckaussteuerung nur um etwa 18 V bezüglich der Spannung im Ruhezustand erhöht. Sobald nun infolge des zweiten Signales die Schaltung kippt, wird Röhre B_7 völlig gesperrt, wodurch das Anodenpotential sehr schnell sich auf die Speisespannung erhöht. Dies bedeutet, dass über den Kondensator C_{38} dem Gitter der Röhre B_{18} ein kräftiger positiver Stoss zugeführt wird, wodurch diese Stufe eigentlich kippen müsste, was naturgemäss nicht beabsichtigt ist. Um dies zu vermeiden, wurde eine Zahl von Blockierungen eingeschaltet, welche verhindern, dass der zweite Kanal beeinflusst wird, wenn der erste kippt. Die erste wird durch die Kombination R_{48}, R_{50}, C_{34} und die Germaniumdiode D_7 gebildet. Mit dem Potentiometer R_{54} wird das Potential an C_{36} so eingestellt, dass es gleich dem Anodenpotential von B_7 in dem Zeitpunkt ist, in dem die Steuerspannung negativ ist, ohne dass die Schaltung kippt. Dieses Potential beträgt etwa 30 V bezüglich Masse und sperrt die Germaniumdiode D_7 während des ganzen Steuersignales. Wird durch Kippen der Stufe das Anodenpotential von B_7 höher als 30 V, so wird die Germaniumdiode G_7 leitend und lässt das Potential an ihrer Anode nicht über 30 V hinaus gelangen. Der ganze positive Stoss an der Anode von B_7 , dessen Potential ja beim Kippen von + 30 bis auf + 100 V springt, wird also völlig durch die Germaniumdiode D_7 kurzgeschlossen und kann an dem Gitter von B_{18} keinen positiven Störimpuls mehr bilden. Der Widerstand R_{48} verhindert, dass die Flankensteilheit des Spannungsanstiegs an der Anode von B_7 beeinträchtigt wird, so dass das Kippen der Stufe $B_7 - B_8$ nicht beeinflusst wird. Der Kondensator C_{34} ist gross genug bezüglich C_{38} , um

den Rechteckimpuls, der zum Differenzieren durchgelassen werden muss, nicht zu verkleinern. Der Widerstand R_{50} bewirkt, dass C_{34} nach dem Zurückkippen wieder entladen wird. Der Kondensator C_{36} ist gross genug, um das Kathodenpotential und damit auch das Anodenpotential der Germaniumdiode während des Stromstosses, der beim Kippen auftritt, auf dem mit R_{54} eingestellten Wert festzuhalten.

Eine zweite Sperrung bildet der Widerstand R_{68} , der die Anode von B_8 über den Widerstand R_{70} mit dem Gitter der Röhre B_{18} verbindet. Wenn die Stufe nicht gekippt ist, beträgt das Anodenpotential von B_8 etwa 100 V, wodurch am Gitter der Röhre B_{18} eine Gleichspannung von + 1 V entsteht. Diese verschwindet jedoch bis auf einen kleinen Rest, wenn die Stufe $B_7 - B_8$ kippt, weil die Anodenspannung von B_8 dann auf etwa 18 V fällt. Durch diesen negativen Stoss am Steuergitter von B_{18} wird weiter verhindert, dass die Stufe kippt. Entsprechende Sperrschaltungen findet man bei den Röhren B_{17} und B_{18} , wo die Impulse durch die Germaniumdiode D_8 unterdrückt werden und die Spannung von 1 V ans Gitter von B_8 über R_{69} übertragen wird.

Schliesslich besteht noch eine nachträgliche Verriegelung durch die mit 1 bzw. r bezeichneten Relaiskontakte, die die Widerstände R_{43} bzw. R_{42} mit der + 100 V-Leitung verbinden. Hierdurch wird infolge der Zunahme des Gitterstromes der Widerstand der Gitter-Katodenstrecke soweit herabgesetzt, dass das ankommende Rechtecksignal durch die Spannungsteilung über R_{41} bzw. R_{40} am Gitter wesentlich abgeschwächt wird.

Die Spannung, die über den Spannungsteiler $R_{62} - R_{64} - R_{66}$ an das Gitter der Röhre B_9 gelangt, erhöht sich beim Kippen der Stufe soweit, dass das Relais Re_{sf1} angezogen wird. Die Zeit, während der die Schaltung gekippt bleibt, wird bekanntlich durch die Zeitkonstante von C_{32} und R_{44} bestimmt. Beim Kippen fällt das Anodenpotential der Röhre B_8 um etwa 70 V; dieser Spannungssprung gelangt über C_{32} an das Gitter von B_7 , wodurch diese Röhre gesperrt wird; sie kehrt erst dann in den Ruhezustand zurück, wenn C_{32}

über R_{44} etwa auf Erdpotential aufgeladen ist. Diese Zeit wird jetzt noch beeinflusst, indem über den Relaiskontakt *sfl* der Kondensator C_{26} , der bekanntlich ein phasenabhängiges positives Potential erhalten hat, über R_{42} mit C_{32} verbunden wird. Die Kapazität dieses Kondensators ist so gewählt, dass beim kleinsten Phasenunterschied, bei dem die Relais noch ansprechen, die Ladung von C_{26} über R_{42} in etwa einer Viertelsekunde nach C_{32} übertragen wird. Die negative Ladung von C_{32} wird hierdurch neutralisiert und das Gitter etwa auf Erdpotential zurückgebracht, wodurch die Stufe zurückkippt.

Bei einem grösseren Phasenunterschied ist die Ladung von C_{26} , wie wir gesehen haben, kleiner, so dass sie die negative Ladung von C_{32} nicht völlig neutralisieren kann und beide Kondensatoren über R_{44} sich auf Erdpotential umladen müssen. Bei 180° Phasenunterschied dauert dies bei den angegebenen Werten etwa 15 Sekunden, so dass die Zeitkonstanten zwischen 0 und 180° zwischen einer Viertelsekunde und 15 Sekunden variieren. Die Beziehung

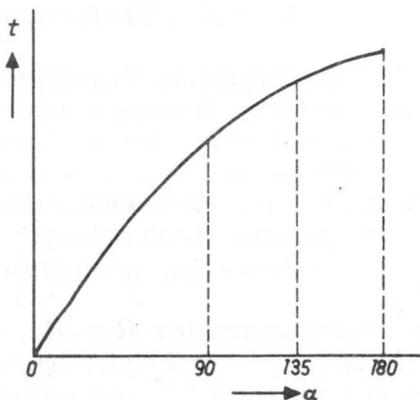


Abb. 21. Beziehung zwischen der Anzugszeit des Phasenindikators und dem Phasenwinkel. Erst über 135° beginnt Kurve zu stark von der Linearität abzuweichen.

zwischen Zeitkonstanten und Phasenwinkeln ist in Abb. 21 wiedergegeben. Wir sehen, dass bei grösseren Phasenwinkeln der Zusammenhang nicht mehr linear ist. Die Entfernung zwischen den beiden Mikrofonen ist in unserem Fall auch so gewählt, dass grössere Phasenunterschiede als 150° nicht vorkommen.

Schliesslich machen wir auf den Anschlusspunkt B in Abb. 19 aufmerksam. Wenn wir diesen Punkt mit + 100 V verbinden, wird, wie beim Schliessen des Relaiskontaktes r , der obere monostabile Multivibrator gesperrt. Dies bedeutet, dass der ganze Phasenindikator ausser Betrieb gesetzt wird, weil hierfür ja beide Kanäle benötigt werden. Die Sperrung ist erforderlich, wenn ein Teil der Schaltung für einen anderen Zweck verwendet wird, der im folgenden Kapitel beschrieben wird. Der Widerstand R_{74} flacht dabei den Spannungsschoss ab, der beim Schliessen des Relaiskontaktes r am Punkt B und in der angeschlossenen Leitung entsteht, die mit einer anderen empfindlichen Leitung im gleichen Kabel verlegt ist.

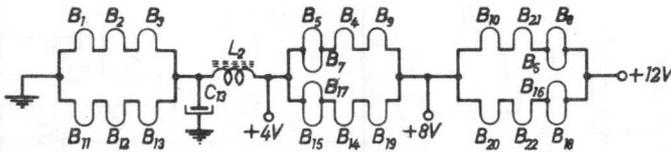


Abb. 22. Schaltsdrang der Heizfäden im stereoskopischen und stereofonischen Teil.
Die Bezeichnungen der Röhren entsprechen denen der Abbildungen 8, 14, 16 und 19.

Vollständigkeitshalber geben wir in Abb. 22 noch eine Erläuterung der verschiedenen Heizfadenpotentiale, die in den Schaltungen angegeben sind. In unserem Modell sind nämlich die "stereoskopische" Fotozellenschaltung und die stereofonische Mikrofonschaltung auf einem Chassis untergebracht. Die Röhrenbezeichnungen in Abb. 22 beziehen sich also auf die Röhren in den Abb. 8, 14, 16 und 19. Die Röhren B_{11} , B_{12} und B_{13} sind die den Röhren B_1 , B_2 und B_3 entsprechenden Vorverstärkerröhren des zweiten Tonkanales. Jede Dreier-Schaltung hat einen Strom von 50 mA; der Gesamtstrom beträgt also 100 mA bei 12 V.

II. 2. 4. Das Reagieren auf bestimmte Töne

Der Mensch sowie viele Tiere – wenn auch diese in weit

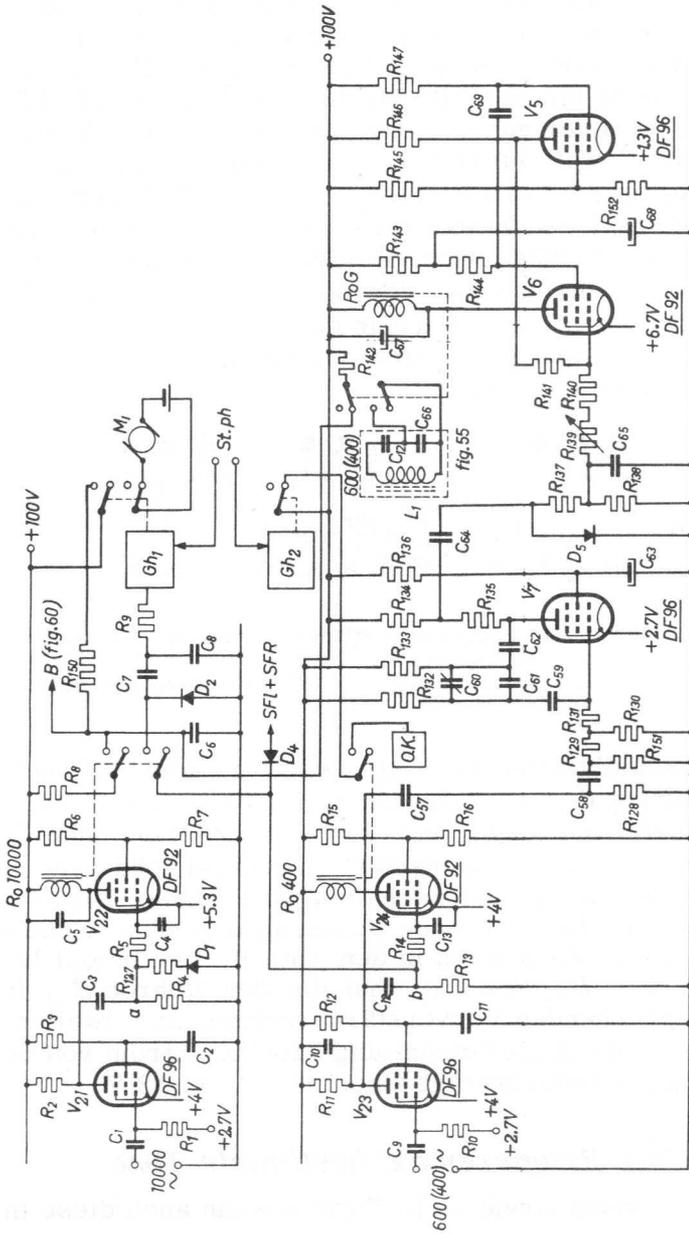


Abb. 23. Schaltung, die auf eine Reihenfolge von Tönen anspricht (ein 10.000 Hz-Signal gefolgt von einem 400 Hz-Signal und ein 600 Hz-Signal gefolgt von einem 400 Hz-Signal). Beschreibung s. Text.

R ₁	= 220 K	R ₁₃₈	= 100 K	G ₁ bis G ₅	= Germaniumdiode 0A85
R ₂	= 100 K	R ₁₃₉	= 1 M (Potentiometer)	R ₀ 10.000	= Relais mit 2 Wechselkontakten
R ₃	= 150 K	R ₁₄₀	= 560 K	R ₀ 400	= Widerstand 15.000 Ohm
R ₄	= 2 M 2	R ₁₄₁	= 1 M 2	R ₀ 4	= Spulen
R ₅	= 1 M	R ₁₄₂	= 100 K	Gh ₁ und Gh ₂	= Gedächtnisstufe (s. S. 71)
R ₆	= 8 K 2	R ₁₄₃	= 1 K	O. K.	= Umkehrstufe (s. S. 183)
R ₇	= 47 K	R ₁₄₄	= 15 K	M ₁	= Antriebsmotor
R ₈	= 100 K	R ₁₄₅	= 15 K		
R ₉	= 100 K	R ₁₄₆	= 100 K		
R ₁₀	= 470 K	R ₁₄₇	= 5 M 6		
R ₁₁	= 100 K	R ₁₅₀	= 100 K	C ₅₇	= 2 K 2
R ₁₂	= 150 K	R ₁₅₁	= 1 M	C ₅₈	= 150 K
R ₁₃	= 2 M 2	R ₁₅₂	= 68 K	C ₅₉	= 18 pF
R ₁₄	= 1 M			C ₆₀	= Trimmer 30 pF
R ₁₅	= 8 K 2			C ₆₁	= 68 pF
R ₁₆	= 47 K	C ₁	= 270 pF	C ₆₂	= 220 pF
		C ₂	= 12 K	C ₆₃	= 8 μF
		C ₃	= 1 μF	C ₆₄	= 100 K
R ₁₂₇	= 56 K	C ₄	= 12 K	C ₆₅	= 220 K
R ₁₂₈	= 100 K	C ₅	= 10 K	C ₆₆	= 65 K
R ₁₂₉	= 5 M 6	C ₆	= 820 pF	C ₆₇	= 5 μF
R ₁₃₀	= 2 M 2	C ₇	= 5 K 6	C ₆₈	= 25 μF
R ₁₃₁	= 3 M 3	C ₈	= 1 K		
R ₁₃₂	= 1 M 5	C ₉	= 2 K 2		
R ₁₃₃	= 470 K	C ₁₀	= 8 K 2		
R ₁₃₄	= 33 K	C ₁₁	= 22 K		
R ₁₃₅	= 68 K	C ₁₂	= 2 μF		
R ₁₃₆	= 220 K	C ₁₃	= 22 K		
R ₁₃₇	= 56 K				

geringerem Masse — können bestimmten Tönen eine Bedeutung geben. Man denke nur an das gesprochene Wort, das ja nichts anderes ist, als eine Reihenfolge bestimmter Töne. Allerdings muss man die Bedeutung erst erlernen, aber dann bleibt sie lange Zeit im Gedächtnis haften. Da die Anzahl der Tonkombinationen (= der Worte), die einem gebildeten Menschen zur Verfügung stehen, sehr gross ist, muss der Teil des Gehirns, der diese Kenntnis festhält, sehr kompliziert sein. Der von uns konstruierte Roboter hat ebenfalls eine, wenn auch sehr bescheidene, Kenntnis gewisser Tonkombinationen.

Hierzu verwenden wir die selektiven Mikrofonverstärker, die bereits für andere Verwendungszwecke vorhanden sind, und zwar einen der beiden Vorverstärker für die stereofonische Schaltung, der sowohl auf 600 als auch auf 400 Hz abgestimmt sein kann, und den Vorverstärker für das später zu behandelnde Radarsystem, welches auf 10.000 Hz abgestimmt ist. Das Schaltbild des ersten wurde bereits in Abb. 14 gezeigt. Wir müssen jedoch dem abgestimmten Kreis $L_1 - C_{12}$, der die Frequenz bestimmt, auf welche die Stufe anspricht, noch etwas hinzufügen. Hierfür ist dieser Kreis ebenfalls in Abb. 23 eingezeichnet; wir können sehen, dass in Serie mit dem Schwingkreiskondensator C_{12} noch ein Kondensator C_{66} eingeschaltet ist, der mit dem Kontakt des Relais RoG kurzgeschlossen werden kann. Im Ruhezustand dieses Relais beträgt durch C_{66} die Abstimmfrequenz 600 Hz anstelle von 400 Hz.

Mit diesen Mikrofonverstärkern sind folgende Tonkombinationen möglich.

II. 2. 4. 1. *Ein 10.000 Hz-Signal gefolgt von einem 600 Hz-Signal (s. Abb. 23)*

Das 10.000 Hz-Signal wird über den Kondensator C_1 dem Steuergitter der Röhre B_{21} zugeführt und in ihr verstärkt. Das verstärkte Signal wird mit der Germaniumdiode D_1 gleichgerichtet, so dass am Punkt a eine positive Spannung gegen Masse entsteht. Diese wird dem Gitter der Röhre B_{22} zugeleitet, in deren Anodenkreis ein Relais

liegt. Die 10.000 Hz-Modulation am Punkte a wird im Filter R_5-C_4 unterdrückt. Das Relais $R_{O10.000}$ zieht an.

Nach Beendigung des Signales bleibt das Relais noch etwa 1 Sekunde infolge der Zeitkonstanten von C_3R_4 angezogen. Mit dem Widerstand R_{127} , der die Gleichrichtung des Signals verzögert, sowie durch geeignete Wahl von C_3 wird erreicht, dass das Relais auch etwa 0,5 sek. später anzieht, so dass die Stufe nicht auf kurzzeitige Signale anspricht, die, wie wir noch sehen werden, auch in dieser Stufe auftreten. Zieht das Relais $R_{O10.000}$ an, werden folgende Vorgänge ausgelöst:

1. wird Punkt B in Abb. 19 über R_8 mit + 100 V verbunden. Wie oben beschrieben, wird hierdurch ein Kanal der stereofonischen Schaltung ausser Betrieb gesetzt*),
2. wird die Germaniumdiode D_2 zu R_{13} parallel geschaltet und damit dieser Stromkreis dem des 10.000 Hz-Teils angeglichen.

Ein über C_9 der Röhre B_{23} zugeführtes 600 Hz-Signal wird dann durch diese Diode gleichgerichtet und bringt das Relais R_{O400} zum Anziehen. Die 600 Hz-Modulation am Punkt b wird durch denselben Kontakt von $R_{O10.000}$ der Gedächtnisstufe Gh_1 zugeführt, die hierdurch in Betrieb gesetzt wird und den Antriebsmotor M_1 ausschaltet. Gleichzeitig wird durch ein Relaiskontakt der Gedächtnisstufe Gh_1 die stereofonische Schaltung (über R_{150}) gesperrt, auch wenn das Relais $R_{O10.000}$ bereits abgefallen ist.

Der Relaiskontakt von R_{O400} steuert noch die Umkehrschaltung OK, wodurch der Roboter plötzlich stehen bleibt, wie weiter unten beschrieben werden wird.

Die Folge eines 10.000 und 600 Hz-Signales kommt in dem Wort "Cyber" vor, wenn es mit einer besonderen Betonung ausgesprochen wird. Wenn das "C" wie ein zischen-des s und das "y" wie "i" mit Kopftoune ausgesprochen wird, sind genügend viele Komponenten vorhanden, um die Schaltung auf die oben beschriebene Weise ansprechen zu lassen.

*) Der Widerstand R_8 und der Kondensator C_6 verhindern, dass der scharfe, positive Spannungsschoss sich auf der Leitung B ausbreitet. (Vergleiche R74 in Abb. 19).

Der Roboter reagiert also auf seinen Namen "Cyber" mit Stillstand, bis die Gedächtnisschaltung sich weiter ausgewirkt hat (etwa 20 Sekunden).

II. 2. 4. 2. *Ein 600 Hz-Signal gefolgt von einem 400 Hz-Signal.*

Wie beschrieben wurde, arbeitet die stereofonische Schaltung mit einem 400 Hz-Signal. Da diese Frequenz in lauten Umgebungsgeräuschen vorkommt, wodurch eine Vorführung erschwert wird, war es erwünscht, einen bestimmten Kode einzuführen, der in einem Störgeräusch gar nicht oder nur selten vorkommt. Dieser Kode besteht darin, dass normalerweise die stereofonische Schaltung ausgeschaltet bleibt und nur dann eingeschaltet wird, wenn ein 600 Hz-Signal beendet ist und auch kein anderes Signal von annähernd gleicher Frequenz im Augenblick hörbar ist. Die stereofonische Schaltung ist im Ruhezustand der monostabilen Multivibratorstufe mit den Röhren B_6 und B_5 ausgeschaltet. (Abb. 23) Im Ruhezustand des dazugehörenden Relais ROG ist nämlich die stereofonische Schaltung über R_{142} blockiert und gleichzeitig durch C_{66} der Resonanzkreis des linken Mikrofonkanales auf 600 Hz abgestimmt.

Der Wert des Gitterwiderstandes von B_6 (R_{140} und R_{139}) in dieser monostabilen Stufe ist so hoch gewählt, dass eine negative Spannung an R_{138} und C_{65} erforderlich ist, um die Röhre B_6 im Ruhezustand gesperrt zu halten. Wenn diese Spannung wegfällt, kippt die Stufe und bleibt während ihrer Zeitkonstanten die eine Sekunde beträgt, in diesem Zustand. Während dieser einen Sekunde kann ein 400 Hz-Signal die stereofonische Schaltung in Betrieb setzen. Der Wert des Gitterwiderstandes wird mit R_{139} so eingestellt, dass die monostabile Schaltung in den Ruhezustand zurückkehrt, wenn die negative Spannung an R_{138} wiederhergestellt ist.

Die negative Spannung an R_{138} erhält man durch Gleichrichtung der Anodenwechselspannung der als RC -Oszillator geschalteten Röhre B_7 . Das Arbeitsprinzip eines solchen Oszillators ist im Kapitel V. 11 beschrieben. Die Fre-

quenz kann mit dem Trimmer C_{60} auf 600 Hz eingestellt werden. Die feste negative Gitterspannung von B_7 beträgt - 2,7 V. Um bei diesem negativen Wert noch eine ausreichende Steilheit und Verstärkung zu erhalten, muss die Schirmgitterspannung ziemlich hoch sein. Während des Oszillierens nimmt der Katodenstrom infolge der Aussteuerung der Gitters zu; hierdurch sinkt die Schirmgitterspannung wieder um einen entsprechenden Betrag, bis ein Gleichgewichtszustand entsteht. In diesem Gleichgewichtszustand ist die Gittersteuerspannung nur klein und ziemlich gut sinusförmig. Wenn das Gitter dadurch weiter angesteuert wird, dass es über R_{129} ein Signal von 600 Hz erhält, nimmt der Katodenstrom zu und die Schirmgitterspannung sinkt weiter. Wenn dieses zusätzliche Signal beendet ist, kann die Schirmgitterspannung wegen der Zeitkonstanten von $R_{136}C_{63}$ nicht schnell genug bis auf den Wert ansteigen, bei dem Oszillieren möglich ist, und die Stufe hört vorübergehend auf zu schwingen. Die Gleichspannung an R_{138} fällt damit auch zeitweilig weg; die monostabile Stufe kann kippen und die Sperrung der stereophonischen Schaltung während 1 Sekunde aufheben.

Das zusätzliche Signal wird vom linken Mikrofonkanal, der im Ruhezustand auf 600 Hz abgestimmt ist, abgegriffen und über Röhre B_{23} , C_{57} , C_{58} und R_{129} der Oszillatorstufe zugeleitet. Abweichende Frequenzen werden bereits durch den Kreis $L_1-C_{12}-C_{66}$ abgeschwächt, kommen aber ausserdem in der Oszillatorstufe viel geringer zur Auswirkung, weil sich diese wie ein selektiver Verstärker verhält. Man kann es so auffassen, dass der Widerstand R_{130} für 600 Hz durch Rückkopplung in der Oszillatorstufe eine höhere Impedanz erhält.

Bei Frequenzen, die von 600 Hz abweichen, wird dagegen die weitere Aussteuerung der Röhre viel schwieriger, so dass in diesem Fall die Oszillatorspannung nicht wegfällt, wenn das Störsignal zu Ende ist.

Während des 600 Hz-Signals wird Relais R_{0400} nicht erregt, weil sich jetzt keine Germaniumdiode im Gitterkreis von B_{24} befindet und daher auch keine Gleichspannung entsteht. Dies ist nur der Fall kurz nach einem

10.000 Hz-Signal (Diode D_2) bzw., wenn das Relais *SFL* oder *SFR* angezogen hat (Diode D_4).

II. 3. Das Gefühlsorgan

Menschen und Tiere haben fast über die ganze Körperoberfläche Gefühlsnerven, mit denen sie eine Berührung mit einem Gegenstand feststellen und dessen Temperatur, wenn auch häufig sehr ungenau, bestimmen können. Diese Gefühlsnerven sind sehr klein und ihre Anzahl ist ausserordentlich gross. Einen Nadelstich z. B. fühlt man an jeder Stelle des Körpers. Ein reines elektronisches Äquivalent für Gefühlsnerven gibt es nicht, aber mit einer Kombination eines empfindlichen Schalters und eines temperaturabhängigen Widerstandes kann man den Tastsinn bzw. das Gefühl für Temperaturen nachbilden. Auch unser Roboter besitzt solche Sinnesorgane, allerdings nur einige davon und nur an den "strategisch" wichtigen Punkten.

II. 3. 1. *Der Tastsinn*

Hierfür verwendet man Mikroschalter, die geschlossen werden, wenn der Roboter an einen Gegenstand anstösst. In unserem Fall sind zwei derartige Schalter seitlich angebracht; sie sind über eine verhältnismässig grosse Fläche durch eine Kontaktscheibe wirksam, die den Mikroschalter bedient. Das Schliessen eines Mikroschalters verursacht eine zeitliche Veränderung im Steuerorgan, was als eine Reflexbewegung betrachtet werden kann. Eine solche Reflexbewegung entsteht beim Menschen, wenn er sich unvermutet, z. B. an dem Ellenbogen, stösst. Unwillkürlich zieht er dann den Arm in entgegengesetzter Richtung zurück und zögert einige Zeit, den Arm wieder vorwärts zu bewegen.

Die von uns verwendete Reflexschaltung ist in Abb. 24 wiedergegeben. Aus dieser Abb. geht hervor, dass ein monostabiler Multivibrator, der ein Relais steuert, angewendet wird. Die Mikroschalter *L* bzw. *R* verbinden die

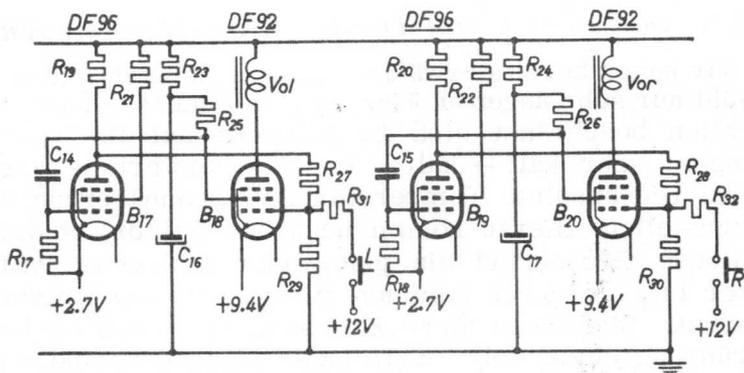


Abb. 24. Die Stufe für das Tastgefühl (linke bzw. rechte Seite), gesteuert von den Schaltern L bzw. R.

Mikroschalter

R_{17} und $R_{18} = 5 \text{ M } 6$

R_{19} und $R_{20} = 100 \text{ K}$

R_{21} und $R_{22} = 27 \text{ K}$

R_{23} und $R_{24} = 1 \text{ K}$

R_{25} und $R_{26} = 15 \text{ K}$

R_{27} und $R_{28} = 820 \text{ K}$

R_{29} und $R_{30} = 100 \text{ K}$

R_{31} und $R_{32} = 27 \text{ K}$

C_{14} und $C_{15} = 1 \text{ F}$

C_{16} und $C_{17} = 25 \text{ F}$

Vol und Vor = Relais 15.000 Ohm

L und R = Mikroschalter

Steuergitter der Röhre B_{18} bzw. B_{20} über R_{31} bzw. R_{32} mit einem Potential von $+12 \text{ V}$, das also höher als das Katodenpotential ist, wodurch die Stufe kippt und damit das Relais Vol bzw. Vor anzieht. Der Vorteil der Multi-vibratorstufe liegt darin, dass auch bei einem sehr kurzzeitigen Schliessen des Schalters das Relais noch einige Zeit angezogen bleibt (abhängig von $C_{14}R_{17}$ bzw. $C_{15}R_{18}$), während andererseits durch die Art, in der die Stufe angesteuert wird, das Relais solange angezogen bleibt, wie der Schalter aus irgendwelchen Gründen längere Zeit geschlossen ist.

Es wurde noch ein dritter Mikroschalter an der Rückseite des Roboters angebracht; dieser arbeitet jedoch in einer anderen Schaltung und soll in dem Kapitel: "Ein akustisches Radarsystem" behandelt werden.

II. 3. 2. *Das Fühlen von Temperaturunterschieden*

Wir haben bereits erwähnt, dass der Mensch mit seinem Gefühl nur sehr ungenau Temperaturen messen kann. Tatsächlich beschränkt sich die Messung auf die Wahrnehmungen: sehr kalt – kalt – frisch – lauwarm – warm – heiss. Die absolute Temperatur ist nur annäherungsweise festzustellen. Hierzu kommt noch der Faktor, ob der betreffende Gegenstand ein guter oder schlechter Wärmeleiter ist; hierdurch kommen mitunter falsche Ergebnisse zustande. Man kennt diese Erscheinung beispielsweise bei Berührung eines Holz- und eines Eisengegenstandes gleicher Temperatur; wenn seine Temperatur niedriger als die Körpertemperatur ist, so fühlt sich das Eisen, weil es dem Körper leichter Wärme entzieht, kälter an als das Holz; während es sich umgekehrt wärmer als das Holz anfühlt, wenn die Temperatur oberhalb der Körpertemperatur liegt.

Bei einer elektronischen Temperaturmessung können solche Fehler nicht vorkommen. Erstens ist die Wärmekapazität eines temperaturabhängigen Widerstandes so gering, dass sie die Temperatur des Gegenstandes nicht beeinflussen kann; zweitens ist die Genauigkeit so gross, dass Bruchteile von Graden leicht und zuverlässig angezeigt werden können. In unserem Roboter befindet sich eine Temperaturmesseinrichtung, bei der wir die hierfür sehr brauchbaren Miniatur-NTC-Widerstände verwendeten (NTC = negativer Temperatur-Koeffizient). Diese NTC-Widerstände liefern bei kleinen Temperaturschwankungen verhältnismässig grosse Widerstandsschwankungen.

Man kann die Temperatur eines Gegenstandes auf zweierlei Weise feststellen:

1. als absoluten Wert, der z. B. in Graden Celsius abgelesen wird,
2. als relativen Wert, also als Unterschied gegenüber einer anderen Temperatur.

In unserem Falle war er angebracht, den Roboter auf kleine Temperaturunterschiede reagieren zu lassen, also eine relative Temperaturmessung durchzuführen. Gedacht wurde beispielsweise an ein warmes Würstchen oder eine

Hand. Die Schaltung durfte vor allem nicht auf Veränderungen der Umgebungstemperatur reagieren, die ja auf einer Ausstellung recht gross sein können. Eine absolute Temperaturmessung kam daher nicht infrage, weil die Schaltung dann in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur entweder sehr empfindlich oder sehr unempfindlich geworden wäre. Die von uns verwendete Schaltung ist in Abb. 25 wiedergegeben. Sie besteht aus zwei identischen

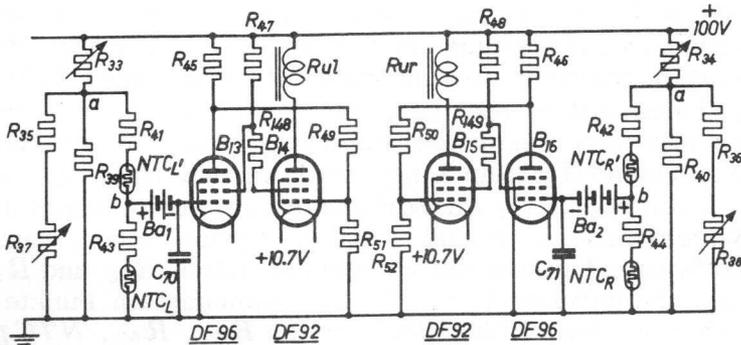


Abb. 25. Die beiden identischen Stufen für eine empfindliche Temperaturmessung an zwei Stellen. Der Einfluss der Umgebungstemperatur wird hierbei durch Serienschaltung der beiden gleichen N.T.C.-Widerstände kompensiert. Die Stufen, die als bistabile Multivibratoren ausgeführt sind und eine hohe Empfindlichkeit besitzen, werden durch eine örtliche Temperaturerhöhung des N.T.C.-Widerstandes L für die eine bzw. des N.T.C.-Widerstandes R für die andere Seite bedient.

Miniatur N.T.C.-Widerstände mit einem Widerstand bei Zimmertemperatur von etwa 10 Megohm.

Relais mit Spulenwiderstand von 15.000 Ohm.

Trockenbatterie 45 Volt.

R33 und R34 = 20 K Potentiometer

R43 und R44 = 1 M

R35 und R36 = 1 M

R45 und R46 = 100 K

R37 und R38 = 5 M Potentiometer

R47 und R48 = 4 K 7

R39 und R40 = 68 K

R49 und R50 = 470 K

R41 und R42 = 1 M

R51 und R52 = 560 K

R148 und R149 = 4 K 7

C70 und C71 = 22 K

NTC L, NTC L', NTC R und NTC R' = Miniatur NTC-Widerstände mit einem Widerstand bei Zimmertemperatur von etwa 10 Megohm.

Ru1 und Ru2 = Relais mit Spulenwiderstand von 15.000 Ohm.

Ba1 und Ba2 = Trockenbatterie 45 Volt.

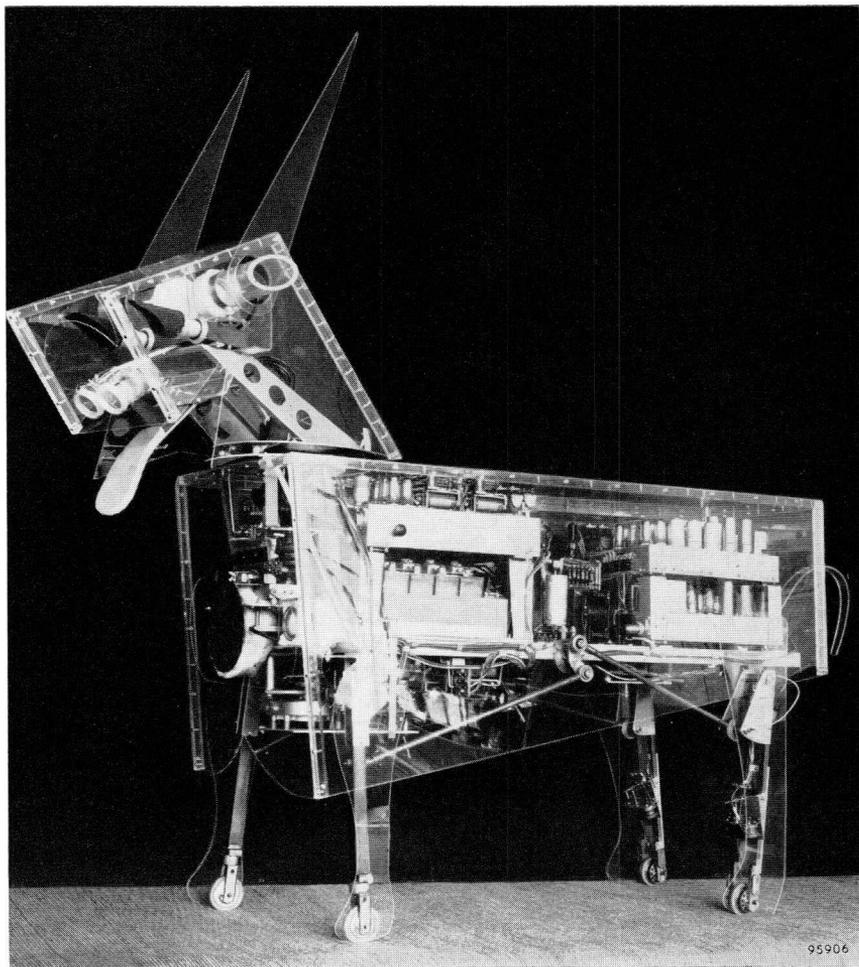
Teilen, nämlich aus einem für die linke und einem für die rechte Seite, wobei, wie wir in einem der folgenden Kapitel sehen werden, eine bestimmte Wirkung erzielt werden kann.

Wenn wir das Schirmgitter mit der Anode der Röhre B_{13} und zugleich das Steuergitter mit dem Schirmgitter der Röhre B_{14} als Trioden betrachten, erkennen wir, dass infolge wechselseitiger Verbindung dieser Elektroden eine bistabile Multivibratorstufe entstanden ist, die durch eine kleine Spannungsänderung am Steuergitter der Röhre B_{13} zum Kippen gebracht werden kann. Hierfür muss jedoch dieses Steuergitter ein bestimmtes Potential besitzen, welches mit dem Regelwiderstand R_{33} grob und mit dem Regelwiderstand R_{37} fein eingestellt werden kann. Da der Strom durch R_{39} (R_{40}) im Verhältnis zum Strom durch die NTC-Widerstände gross ist, wird die Spannung des Punktes a vorwiegend durch die Regelwiderstände R_{33} und R_{37} bestimmt und beträgt etwa 90 V. Die Spannung am Punkte b hängt ab von den Widerstandswerten R_{41} , R_{43} , NTC_L' und NTC_L . R_{41} und R_{43} haben denselben Wert, und die beiden NTC-Widerstände sind so ausgesucht, dass sie bei den infragekommenden Temperaturen ungefähr denselben Widerstand haben.

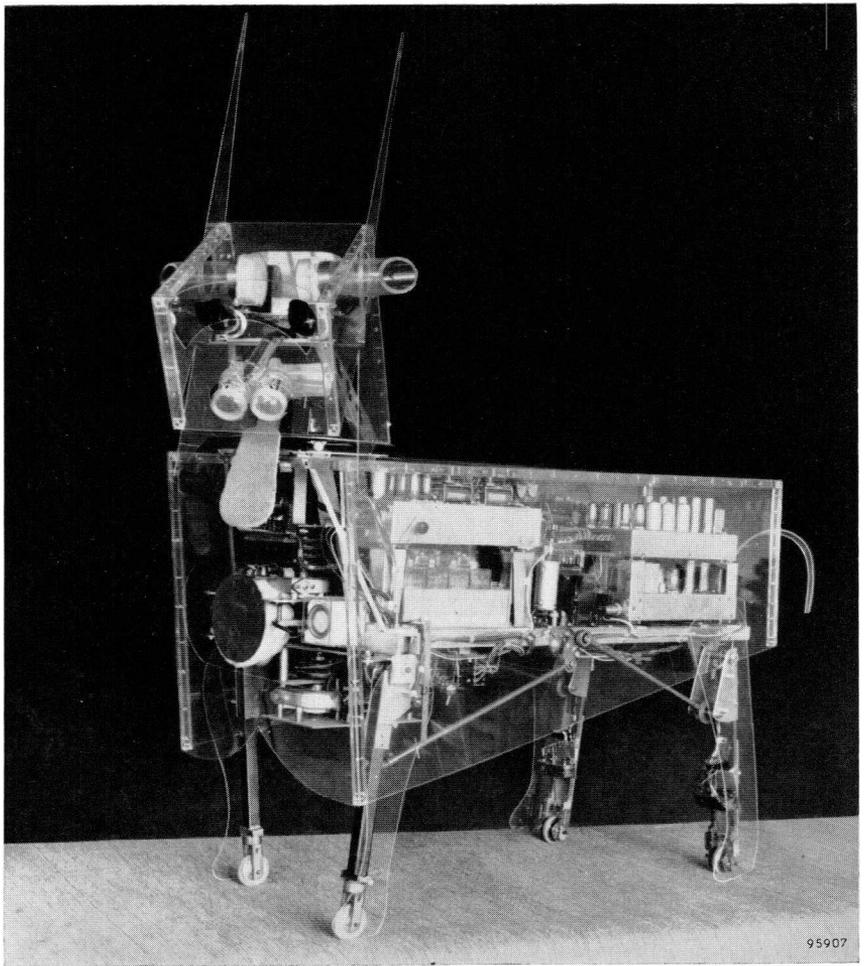
Die Spannung am Punkt b beträgt also etwa 45 V. Mit der Batterie Ba_1 wird am Steuergitter der Röhre B_{13} ein Potential von etwa -1 V eingestellt.

Nimmt die Umgebungstemperatur zu, so wird der Widerstand der beiden NTC-Widerstände niedriger; wenn die Änderung für beide gleich gross ist, ändert sich das Potential des Punktes b, also des Steuergitters, nicht.

Nun sind NTC-Widerstände sehr empfindlich für Konvektions- und Konduktionswärme, d. h. für Wärme, die entweder durch vorbeistreichende Luft oder durch direkte Berührung übertragen wird, wobei die Empfindlichkeit für Strahlungswärme wesentlich kleiner ist. Da wir das Geruchsorgan nachbilden wollten, kam praktisch nur Strahlungswärme infrage. Für diese musste die Schaltung also sehr empfindlich gemacht werden. Bei dieser hohen Empfindlichkeit erwiesen sich zuerst die Schwankungen durch



Gesamtansicht. Durch die provisorische Plastikhaut erkennt man in dem Rumpf links oben das „Gehirn“-Chassis, darunter den Speiseakku, rechts oben das Chassis für den „stereoskopischen“ und stereophonischen Teil, darunter das Radarchassis. Zwischen diesen Chassis ist der Zerhackerteil der Speisung noch sichtbar. Das Hebel-system, das die Beine in Bewegung setzt, ist auf dieser Abbildung deutlich zu sehen.



Im Kopf sieht man in der Reihenfolge von oben nach unten die beiden Ohren (Mikrophone), die beiden Augen (Photozellen), zwei Nasenlöcher (NTC-Widerstände) und die Zunge. Darunter ist in dem Rumpf der Lautsprecher und das Mikrophon des Radarsystems zu sehen.

Konvektionswärme (Zug z. B.) trotz der Kompensation als zu gross. Die zur Messung dienenden NTC's sowie die Kompensation-NTC's wurden nun in geschlossenen Kunststoffhülsen untergebracht, wobei die zur Messung dienenden NTC's im Brennpunkt eines Hohlspiegels eingesetzt wurden. Hierdurch wird die Strahlungswärme auf den Messwiderstand konzentriert, während die Luft in der Hülse stillsteht. Der Widerstand des Kompensationswiderstandes ändert sich also praktisch nicht, und bei der Zufuhr von Strahlungswärme fällt die Spannung am Punkte b, wodurch das Relais anzieht. Bei einer empfindlichen Einstellung und einer nicht zu hohen Umgebungstemperatur kann die Wärme einer Hand in einer Entfernung von etwa 10 cm die Schaltung noch betätigen, wenn dies auch etwa 1 Minute dauert. Bei einem heissen Würstchen geht dies naturgemäss schneller.

Die Widerstände R_{41} und R_{43} schützen die NTC-Widerstände gegen einen grossen Strom. Wenn sie nicht davor geschaltet wären, würden die bei höheren Temperaturen auftretenden grösseren Ströme die Temperatur immer weiter erhöhen, wodurch noch grössere Ströme entstehen würden usw., bis schliesslich die NTC-Widerstände zerstört würden.

II. 3. 3. *Das Fühlen von Gegenständen ohne direkte Berührung (Das Sehen im Dunkeln)*

Ein gesunder Mensch oder ein gesundes Tier braucht bei Tageslicht nicht Gegenstände anzurühren oder dagegenzulaufen, um sich von ihrem Vorhandensein in Kenntnis zu setzen. Dafür haben sie ja ihren Gesichtssinn, durch den sie rechtzeitig gewarnt werden, wenn ihnen ein Gegenstand im Wege steht. Wenn uns jedoch unser Sehvermögen im Stich lässt, z. B. in tiefster Dunkelheit, brauchen wir die Berührung, um nicht über alle möglichen Hindernisse zu straucheln. Das Suchen und Tasten in der Dunkelheit muss also das Sehen ersetzen. Nur Menschen, die schon längere Zeit blind sind, scheinen so etwas wie einen sechsten Sinn entwickeln zu können, um Hindernisse zu fühlen,

ohne sie unbedingt berühren zu müssen. Wahrscheinlich lässt sich dies mit der Art und Weise erklären, in der sie die Geräusche, die sie selbst beim Laufen erzeugen, oder die sonst vorhanden sind, interpretieren. Sie hören diese Töne nicht nur unmittelbar von der Tonquelle, sondern gleichzeitig als eine Kombination von Echos, die durch Reflexion an den Hindernissen an ihre Ohren gelangen. Diese Fähigkeit vieler Blinder hat eine gewisse Ähnlichkeit mit einem akustischen Radarsystem.

Ein solches noch besser ausgebildetes System finden wir in der Natur bei den Fledermäusen. Diese sind imstande, nachts bei völliger Dunkelheit zu fliegen, ohne irgendwo anzustossen; dies ist umso merkwürdiger, weil das Sehvermögen der Fledermäuse sehr schlecht entwickelt ist. Es konnte nachgewiesen werden, dass dieses Tier beim Fliegen in kurzen Zwischenräumen sehr kurze Tonschwingungen erzeugt, die oberhalb der Gehörschwelle des Menschen liegen (sogenannte Ultraschallschwingungen). Durch Reflexion dieser Schwingungen, welche naturgemäss für die Fledermäuse hörbar sind, werden die Tiere auf Hindernisse aufmerksam gemacht.

II. 3. 4. *Ein akustisches Radarsystem*

Das im Roboter verwendete Radarsystem ist aus praktischen Gründen mit dem elektronischen Generator einer Geräuschart kombiniert, die man wohl am besten als "Gebell" bezeichnen könnte. Dieses "Bellen", das unter bestimmten Umständen erzeugt wird, musste mit dem Radarsystem gekoppelt werden, um gegenseitige Störungen zu vermeiden. Das Ganze ist auch auf einem gemeinsamen Chassis aufgebaut.

Das Radarprinzip beruht kurz gesagt auf folgenden: Ein sehr kräftiger, kurzzeitiges Hochfrequenzsignal (z. B. 800 MHz = etwa 37 cm Wellenlänge), wird vom Senderteil des Radarsystems in regelmässigen Zwischenräumen ausgesendet (etwa 10.000/sek). Dieses HF-Signal pflanzt sich mit einer Geschwindigkeit von 300.000 km/sek fort. Über eine hierfür geeignete Antenne wird dieses Signal nur nach

einer Richtung ausgestrahlt. Wenn sich in der Bahn dieser Strahlen ein Gegenstand befindet, wird das Signal mit unveränderter Geschwindigkeit zurückgeworfen, wobei ein kleiner Teil der ausgestrahlten Energie an den Ausgangspunkt zurückkehrt. Der Zeitunterschied zwischen dem Zeitpunkt der Abstrahlung und dem Zeitpunkt der Rückkehr, also des Echos, bildet das Mass für die Entfernung des reflektierenden Gegenstandes. Das Echo wird beispielsweise von derselben Antenne aufgefangen und dem Empfänger zugeleitet, der den Zeitunterschied feststellt. Der Empfänger ist im allgemeinen hochempfindlich, weil die Echosignale, besonders bei grossen Entfernungen, recht schwach sind. Um dennoch das ursprüngliche Sendesignal, welches ums Vielfache stärker ist, von dem Empfänger abzuhalten, wird dieser u. a. mit einer Torstufe gesperrt und nur in den Zeitabschnitten eingeschaltet, in denen Echos hereinkommen können. Bei einer Wiederholungsfrequenz der HF-Impulse von 10.000 Hz steht also im Prinzip ein Zeitraum von max. 100 μ sek für den Hin- und Rückweg zur Verfügung. In dieser Zeit kann das Signal

max. $\frac{300.000}{10.000} = 30$ km zurückgelegt haben; weil es sich bei

einem Echo ja stets um die doppelte Entfernung handelt, beträgt die Reichweite bei dieser Wiederholungsfrequenz 15 km. Um einen Gegenstand, der sich in einer Entfernung von 100 m befindet, anzuzeigen, muss ein Zeitunterschied

von nur $\frac{200}{300.000.000}$ sek = 0,67 μ sek gemessen werden.

Dies bildet wohl ungefähr die Grenze der praktischen Möglichkeiten und setzt gleichzeitig voraus, dass der HF-Impuls ausserordentlich kurz sein muss, jedenfalls kürzer als die obenerwähnte Zeit, weil je sonst der Anfang des Impulses bereits zurückgekehrt ist, bevor noch das Ende den Sender verlassen hat.

Das von uns verwendete akustische Radarsystem arbeitet nach demselben Prinzip wie oben beschrieben, aber die Zahlenwerte liegen für kurze Entfernungen viel günstiger, weil die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schallwellen nur 330 m/sek beträgt. Dieses System eignet sich darum

viel besser für kurze Entfernungen. Um einen Gegenstand, der sich in einer Entfernung von 10 cm befindet, anzuzeigen, muss der zu messende Zeitunterschied $\frac{20}{33.000}$ sek = 600 μ sek betragen; dies bereitet keine Schwierigkeiten. Da in unserem Fall eine maximale Reichweite von 1 m vollkommen ausreicht, braucht der Empfänger nicht länger als 6.000 μ sek nach jedem Impuls geöffnet zu werden. Hieraus folgt, dass eine Wiederholungsfrequenz von etwa 160 Hz infragekommt. Aus verschiedenen Gründen, z. B. wegen der zur Verfügung stehenden Leistung der Speisequelle, haben wir diese Wiederholungsfrequenz auf etwa 0,5 Hz verringert. Dies bietet den Vorteil, dass der Empfänger während des grössten Teiles der Zeit gesperrt ist und damit unempfindlich für andere, eventuell störende Schallwellen, und dass diese Zeit auch zur Erzeugung anderer Geräusche, wie in unserem Fall des "Bellens" gebraucht werden kann. Ausserdem können wir hierfür auch noch denselben Lautsprecher gebrauchen, der für die Radarimpulse abstrahlt. Als "HF-Signal" gebrauchen wir nämlich 10.000 Hz, und zwar eine einzige, komplette Sinusschwingung, also mit einer Zeitdauer von 100 μ sek. Im Prinzip hätte diese Frequenz im Ultraschallgebiet, also oberhalb der Gehörgrenze liegen können, aber die Anforderungen an den Lautsprecher, das Mikrofon und den Echoverstärker wären dann unverhältnismässig hoch gewesen. Jetzt kann z. B. als Mikrofon ein leichtes Kristallmikrofon verwendet werden, wobei ein normalempfindlicher Lautsprecher das "HF-Signal" abstrahlt.

Die verschiedenen Elemente der verwendeten Schaltung sind in Abb. 26 im Blockschema wiedergegeben. Der Hauptoszillator H. O., der innerhalb zweier Sekunden je einmal eine Rechteckspannung erzeugt, steuert den Impulsgeber, der mit dem gleichen Intervall dem Lautsprecher eine Schwingung von 10.000 Hz zuführt. Weiterhin steuert der Hauptoszillator den "Gebell"-Oszillator B. O., der ein mehr oder weniger gebellähnliches Signal erzeugt, das über den Verstärker K. V. gleichfalls dem Lautsprecher in den Zwischenräumen zwischen zwei Radarim-

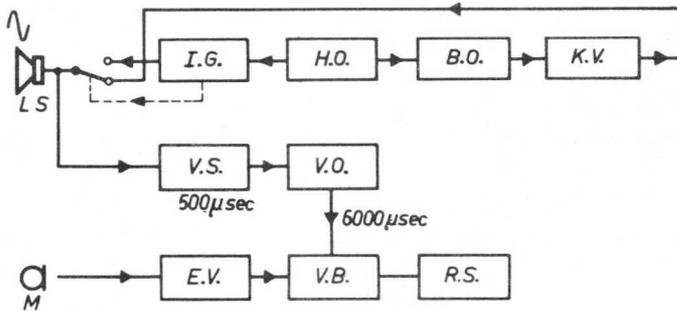


Abb. 26. Blockschema des akustischen Radarsystems

H.O. = Hauptoszillator

I.G. = Impulsgeber

I.S. = Lautsprecher

V.S. = Verzögerungsstufe für eine Zeit von etwa $500 \mu \text{ sek}$

V.O. = Torstufenoszillator für eine Zeit von etwa $6000 \mu \text{ sek}$

M. = Mikrofon für das Echosignal

E.V. = Echoverstärker, abgestimmt auf 10.000 Hz

V.B. = Torstufe, getastet von V.O.

R.S. = Reaktionsstufe

B.O. = "Gebell"-Oszillator

K.V. = Kraftverstärker, der den Lautsprecher L.S. bei einem "Gebell"-Signal aussteuert.

pulsen zugeführt wird. Aus dem Radarimpuls selbst wird ein Synchronisierungssignal abgeleitet, welches die Verzögerungsstufe *V.S.* mit einer Zeitdauer von $500 \mu \text{ sek}$ steuert. Nach diesen $500 \mu \text{ sek}$ liefert die Verzögerungsstufe einen Synchronisierungsimpuls an den Torstufenoszillator *V.O.*, der während etwa $6.000 \mu \text{ sek}$ die Torstufe *V.B.* öffnet.

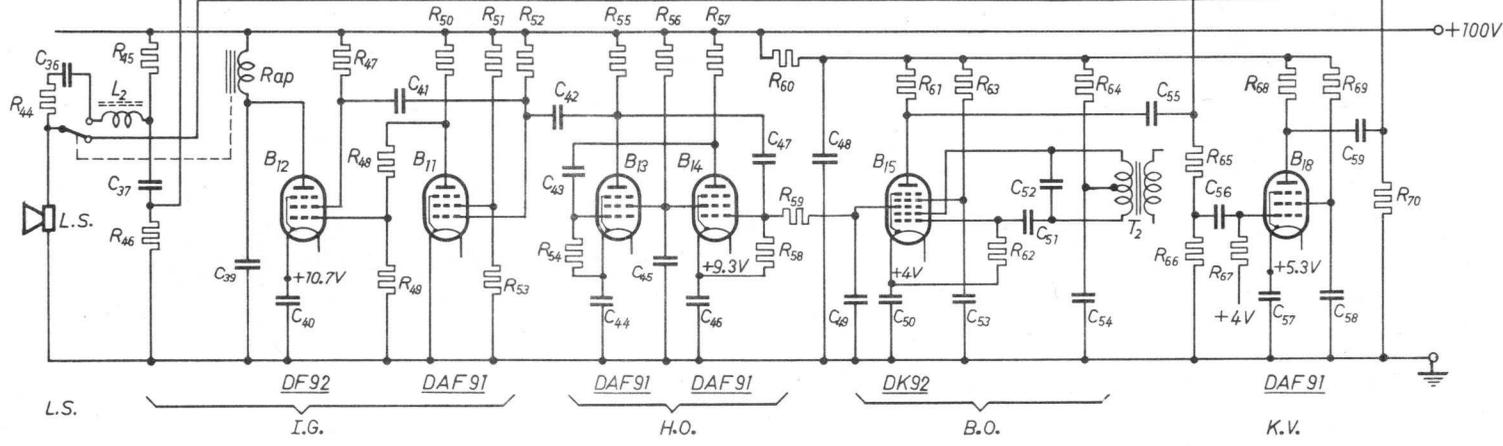
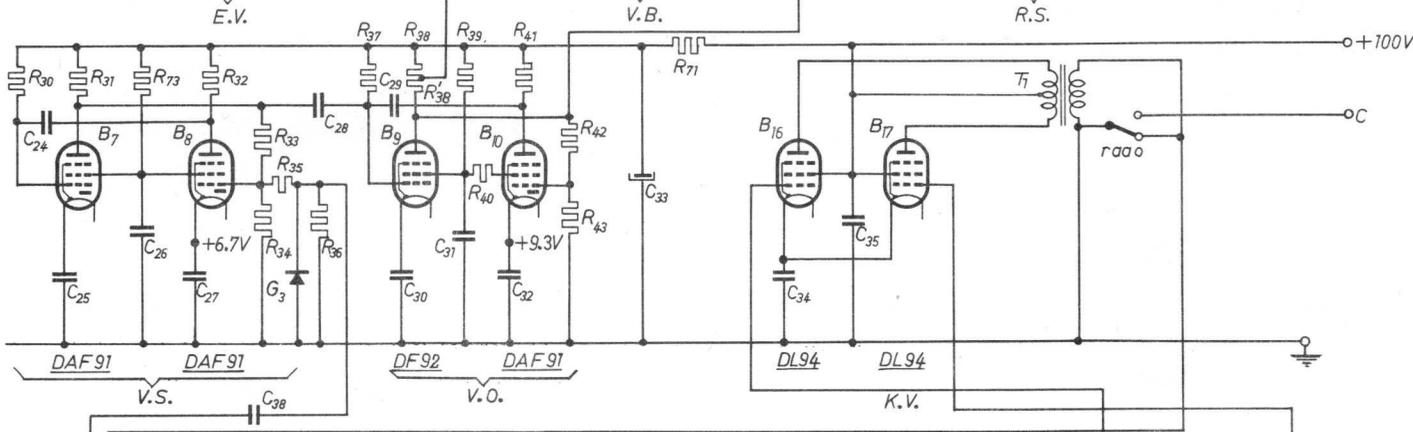
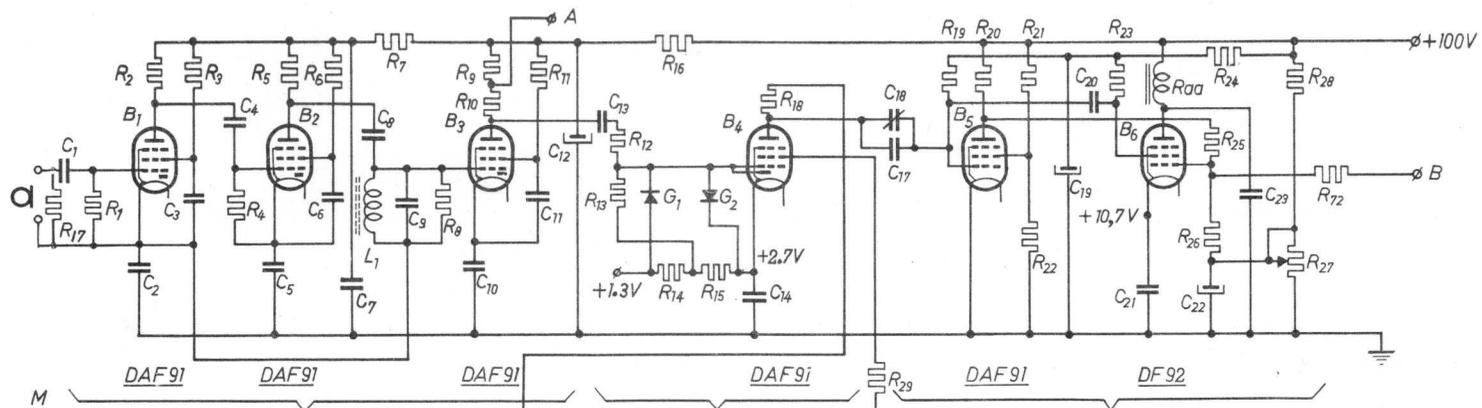
Diese Torstufe *V.B.* ist ein Teil des Echo-Verstärkungszweiges, der aus dem Mikrofon *M*, dem selektiven Verstärker *E.V.*, der nur Signale von 10.000 Hz durchlässt, und der Torstufe *V.B.* besteht. Nur wenn ein Echo innerhalb des durch den Torstufenoszillator *V.O.* bestimmten Zeitabschnitts von $6.000 \mu \text{ sek}$ hereinkommt, wird dieses Signal an die Reaktionsstufe *R.S.* durchgelassen, welche ein Relais steuert, das eine bestimmte Zeit eingeschaltet bleibt. In unserem Fall wird also nicht die

Entfernung des Gegenstandes bestimmt, sondern nur gezeigt, dass ein Gegenstand innerhalb einer Entfernung von etwa 1 m vorhanden ist.

In Abb. 27 ist das vollständige Schaltbild der Radarschaltung wiedergegeben. Der Hauptoszillator enthält die Röhren B_{13} und B_{14} , die als astabiler, also oszillierender Multivibrator geschaltet sind. Die Frequenz der erzeugten Rechteckspannung beträgt etwa 0,5 Hz, in dem Augenblick, in dem die Anodenspannung der Röhre B_{13} von dem hohen nach dem niedrigen Spannungswert kippt, wird über C_{42} der Impulsgeber mit den Röhren B_{11} und B_{12} angestoßen. Diese Röhren sind als monostabiler Multivibrator geschaltet, wobei die Zeit, in der das Relais R_{ap} angezogen bleibt, durch $C_{41}R_{52}$ bestimmt wird. Sie beträgt etwa 0,3 Sekunden. Mit dem Relaiskontakt von R_{ap} wird nun die 10.000 Hz-Schwingung auf den Lautsprecher übertragen. Dies geschieht folgendermassen: Im Ruhezustand des Kontaktes lädt sich der Kondensator C_{37} über R_{45} und R_{46} auf + 100 V der Anodenspannungsquelle auf. Wenn der Relaiskontakt umschaltet, wird der Kondensator C_{37} über L_2 und die Lautsprecherspule (und R_{46}) entladen. Infolge der Induktivität von L_2 und der Lautsprecherspule erfolgt diese Entladung in Form einer gedämpften Sinusschwingung mit einer Frequenz von 10.000 Hz. Zusätzlich nützt man die hier willkommene Nebenerscheinung aus, dass die obere (feste) Kontaktfeder durch den leichten Schlag beim Anziehen des Umschaltkontaktes ein wenig nachgibt und danach wieder zurückfedert. Nach dem ersten Schliessen wird der Kontakt also für einen Augenblick wieder unterbrochen, um sich dann endgültig zu schliessen. Nun beträgt infolge der Federkraft und Masse der Kontaktfeder die Zeit der ersten Kontaktgabe gerade etwa 100 μ sek; sie genügt also zur Bildung einer vollständigen Sinusschwingung. Da die Schwingung stark gedämpft ist, wird der Kondensator praktisch völlig entladen. Die Zeit, die weiter verstreicht, bevor sich der Kontakt zum zweiten Mal schliesst, beträgt einige Tausend Mikrosekunden; die kleine Restschwingung hat für das Radarsystem keine Bedeutung mehr. Ausserdem bewirken $C_{36}R_{44}$ noch eine zu-

Abb. 27. Grundsaltung eines akustischen Radarsystems mit dem "Gebell"-Oszillator und dem zugehörigen Kraftverstärker. Die Buchstabenbezeichnungen entsprechen denen aus Abb. 26.

R ₁ = 100 K	R ₃₈ = 18 K	C ₁ = 330 pF	C ₄₀ = 120 K
R ₂ = 1 M	R _{38'} = 12 K	C ₂ = 100 K	C ₄₁ = 120 K
R ₃ = 4 M 7	R ₃₉ = 12 K	C ₃ = 33 pF	C ₄₂ = 100 pF
R ₄ = 3 M 3	R ₄₀ = 8 K 2	C ₄ = 27 pF	C ₄₃ = 120 K
R ₅ = 1 M	R ₄₁ = 150 K	C ₅ = 100 K	C ₄₄ = 120 K
R ₆ = 4 M 7	R ₄₂ = 1 M	C ₆ = 33 pF	C ₄₅ = 120 K
R ₇ = 100 K	R ₄₃ = 100 K	C ₇ = 100 K	C ₄₆ = 120 K
R ₈ = 3 M 3	R ₄₄ = 470 Ohm	C ₈ = 10 pF	C ₄₇ = 180 K
R ₉ = 82 K	R ₄₅ = 100 K	C ₉ = 110 pF	C ₄₈ = 100 K
R ₁₀ = 150 K	R ₄₆ = 3 Ohm	C ₁₀ = 100 K	C ₄₉ = 820 pF
R ₁₁ = 820 K	R ₄₇ = 15 K	C ₁₁ = 220 pF	C ₅₀ = 120 K
R ₁₂ = 100 K	R ₄₈ = 1 M	C ₁₂ = 2,5 μF	C ₅₁ = 10 K
R ₁₃ = 2 M 2	R ₄₉ = 150 K	C ₁₃ = 220 pF	C ₅₂ = 22 K
R ₁₄ = 2 K 2	R ₅₀ = 150 K	C ₁₄ = 120 K	C ₅₃ = 120 K
R ₁₅ = 2 K 2	R ₅₁ = 56 K	C ₁₇ = 33 pF	C ₅₄ = 120 K
R ₁₆ = 10 K	R ₅₂ = 5 M 6	C ₁₈ = Trimmer	C ₅₅ = 10 K
R ₁₇ = 100 K	R ₅₃ = 82 K		C ₅₆ = 10 K
R ₁₈ = 68 K	R ₅₄ = 1 M	C ₁₉ = 25 μF	C ₅₇ = 120 K
R ₁₉ = 10 M	R ₅₅ = 150 K	C ₂₀ = 2 μF	C ₅₈ = 120 K
R ₂₀ = 150 K	R ₅₆ = 180 K	C ₂₁ = 120 K	C ₅₉ = 10 K
R ₂₁ = 56 K	R ₅₇ = 150 K	C ₂₂ = 2,5 μF	
R ₂₂ = 82 K	R ₅₈ = 2 M 2	C ₂₃ = 100 K	L ₁ = 2,3 H
R ₂₃ = 15 K	R ₅₉ = 5 M 6	C ₂₄ = 560 pF	L ₂ = 0,25 mH
R ₂₄ = 1 K 2	R ₆₀ = 10 K	C ₂₅ = 120 K	G ₁ , G ₂ und G ₃ =
R ₂₅ = 560 K	R ₆₁ = 100 K	C ₂₆ = 120 K	Germaniumdiode 0A85
R ₂₆ = 100 K	R ₆₂ = 1 M	C ₂₇ = 120 K	Raa und Rap = Relais,
R ₂₇ = Regelwiderstand	R ₆₃ = 180 K	C ₂₈ = 120 pF	Spulenwiderstand
10 K	R ₆₄ = 33 K	C ₂₉ = 3 K 9	15.000 Ohm
R ₂₈ = 180 K	R ₆₅ = 1 M	C ₃₀ = 120 K	T ₁ = Lautsprechertber-
R ₂₉ = 220 K	R ₆₆ = 47 K	C ₃₁ = 100 K	trager 43:43:1
R ₃₀ = 3 M 9	R ₆₇ = 1 M	C ₃₂ = 120 K	T ₂ = Lautsprechertber-
R ₃₁ = 150 K	R ₆₈ = 100 K	C ₃₃ = 25 μF	trager 43:43:1
R ₃₂ = 150 K	R ₆₉ = 470 K	C ₃₄ = 120 K	
R ₃₃ = 1 M	R ₇₀ = 1 M	C ₃₅ = 100 K	
R ₃₄ = 470 K	R ₇₁ = 1 K	C ₃₆ = 100 K	
R ₃₅ = 100 K	R ₇₂ = 100 L	C ₃₇ = 0,5 μF	
R ₃₆ = 22 K	R ₇₃ = 180 K	C ₃₈ = 22 K	
R ₃₇ = 3 M 3		C ₃₉ = 0,5 μF	



sätzliche Dämpfung, die ebenfalls für die Funkenlöschung an den Kontakten erforderlich ist.

Um eine Vorstellung von der Energie der durch diese Entladung erzeugten Schallschwingungen zu erhalten, können wir die im Kondensator gespeicherte Energie berechnen. Da seine Kapazität $0,5 \mu\text{F}$ ist, beträgt sie $\frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 100^2 : 10^6 = 0,0025$ Wattsekunde. Da diese Energie jedoch bereits in $100 \mu\text{sek}$ verbraucht ist, entspricht dies einer Leistung von 25 W . Sieht man von den Verlusten ab, die u. a. im R_{46} auftreten, kann man sich vorstellen, dass der Lautsprecher während der Zeit von $100 \mu\text{sek}$ an einen 25 W -Verstärker angeschlossen ist. Dieser Schallimpuls hat eine ausreichende Energie, zumal da ein Lautsprecher mit gutem Wirkungsgrad bei hohen Frequenzen verwendet wird.

Infolge der Entladung des Kondensators über den Lautsprecher wird der Strom im Entladungskreis anfänglich eine dem Uhrzeiger entgegengesetzte Richtung haben. Die Spannung an R_{46} ist darum auch anfänglich negativ gegen Masse. Der Koppelkondensator C_{38} wird in diesem Zeitpunkt über die Germaniumdiode G_3 aufgeladen, welche für diese Stromrichtung leitend ist. Wenn danach die Spannung an R_{46} positiv wird, kann die Ladung von C_{38} nicht so schnell abfließen, da G_3 jetzt gesperrt ist; hierdurch entsteht ein positiver Spannungsschoss am Gitter von B_8 . Die Verzögerungsstufe mit den als monostabiler Multivibrator geschalteten Röhren B_7 und B_8 kippt durch diesen positiven Schoss und verbleibt infolge der Zeitkonstanten $R_{30}C_{24}$ etwa $500 \mu\text{sek}$ in diesem Zustand.

Nach dieser Verzögerungszeit, die nötig ist um den Echoverstärker während und unmittelbar nach dem Schallimpuls des Lautsprechers der direkt in das daneben befindliche Mikrofon gelangen kann in jedem Fall gesperrt zu halten, wird beim Zurückkippen über C_{28} ein negativer Steuerimpuls an den Torstufenoszillator (B_9 und B_{10}) durchgegeben. Diese Stufe ist gleichfalls monostabil mit einer Kippzeit von etwa $6.000 \mu\text{sek}$, die durch $R_{37}C_{29}$ bestimmt wird. Die Anode der Röhre B_9 steuert direkt das Schirmgitter der Torstufenröhre B_4 über den Schirmgitter-

terwiderstand R_{29} . Der Anodenwiderstand R_{18} von B_4 ist an einen Abgriff am Anodenwiderstand von B_9 angeschlossen.

Im Ruhezustand haben die Anodenspannung von B_9 und demnach auch die Schirmgitterspannung von B_4 einen niedrigen Wert. B_4 ist dadurch gesperrt; das Anodenpotential von B_4 wird daher nur durch die Spannung am Abgriff des Widerstandes $R_{38} - R'_{38}$ bestimmt. Während des Kippens der Stufe B_9B_{10} ist B_9 gesperrt; die Anodenspannung dieser Röhre und damit auch die Speisespannung für Schirmgitter und Anode der Torstufenröhre B_4 haben also einen hohen Wert. Diese Röhre führt daher Strom, und es entsteht über R_{18} ein Spannungsabfall. Durch geeignete Wahl des Abgriffs am R_{38} kann dieser Spannungsabfall dem Spannungsanstieg an der bewussten Anzweigung angeglichen werden. Auf diese Weise lässt sich das Anodenpotential der Torstufenröhre konstant halten, während sie geöffnet ist, so dass infolgedessen kein Impuls an die angeschlossene Reaktionsstufe $B_5 - B_6$ weitergegeben wird (kompensierte Torstufenschaltung).

Da der Anoden- und Schirmgitterstrom von B_4 auch durch R_{38} bzw. R'_{38} fließt, ist es erwünscht, den Einfluss dieses Stromes auf die Stufe $B_9 - B_{10}$ soviel wie möglich zu unterdrücken, indem man den Wert des Widerstandes $R_{38} - R'_{38}$ niedrig wählt. Darum wurde für B_9 eine stärkere Röhre (DF 92) als für die anderen Multivibrator-Röhren (DAF 91) ausgewählt. Der Echoverstärker mit den Röhren B_1 , B_2 und B_3 weicht in folgenden Punkten von einem üblichen Niederfrequenzverstärker ab:

1. Die Koppelkondensatoren C_1 , C_4 , C_8 und C_{13} haben kleine Kapazitätswerte, desgleichen auch
2. die Glättungskondensatoren C_3 , C_6 und C_{11} . Hierdurch fällt die Verstärkung bei niedrigeren Frequenzen als 10.000 Hz wesentlich ab.
3. Parallel zum Gitterwiderstand R_8 der Röhre B_3 wurde ein verlustarmer, abgestimmter Kreis $L_1 - C_9$ angebracht, der auf 10.000 Hz abgestimmt ist und praktisch nur diese Frequenz durchlässt.
3. Im Gitterkreis der Röhre B_4 befindet sich eine Begren-

zerschaltung, welche die Amplitude der durchgelassenen Schwingung auf einen Spitze-Spitze-Wert von etwa 1,3 V begrenzt. Diese Begrenzerschaltung mit den Hauptelementen R_{12} , G_1 und G_2 arbeitet ebenso wie die in der stereofonischen Schaltung, die wir bereits in einem früheren Kapitel behandelt haben.

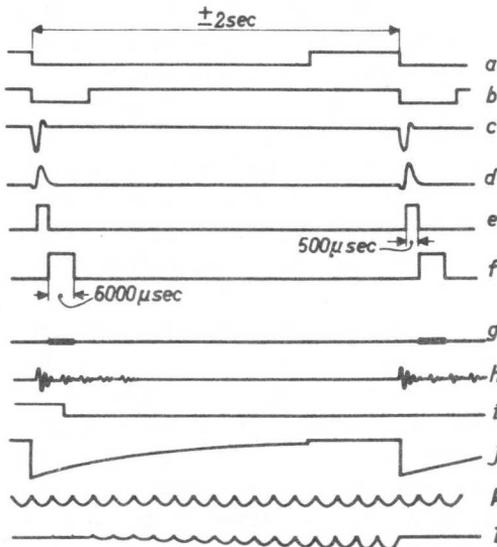
Die steilen Flanken eines 10.000 Hz-Echosignales werden nun über die Koppelkondensatoren C_{17} und C_{18} (von denen C_{18} als Trimmer ausgeführt ist), an die Reaktionsstufe mit den Röhren B_5 und B_6 weitergegeben, um diese zum Kippen zu bringen. Die Kippzeit wird durch $R_{19}C_{20}$ bestimmt und beträgt etwa 3 Sekunden. Durch das Relais *Raa* wird der Roboter, wie wir weiter sehen werden, auf Rückwärtslauf umgeschaltet. Wenn der Roboter im Rückwärtslauf einen Gegenstand berührt, wird über den in II. 3. 1. erwähnten Mikroschalter Punkt B mit Masse verbunden, wodurch die monostabile Schaltung zurückkippt und den Roboter wieder auf "vorwärts" umschaltet. Mit dem Regelwiderstand R_{27} kann die Reaktionsstufe sehr empfindlich eingestellt werden. Damit sie dabei nicht durch Störspannungen in der Speiseleitung beeinflusst wird, wird u. a. die Schirmgitterspannung für B_6 durch $R_{24} - C_{19}$ geglättet. Schliesslich weisen wir noch auf Punkt A hin, an dem, unabhängig vom Zustand der Torstufe, eine Tonfrequenz von 10.000 Hz abgenommen werden kann. Diese Spannung wird für die Schaltung benötigt, in welcher der Roboter auf bestimmte Töne reagiert (II. 2. 4).

Betrachten wir jetzt noch einmal den Hauptoszillator H. O. Sobald die Anodenspannung der Röhre B_{13} fällt und die Radar-Periode beginnt, bekommt auch das Gitter von B_{14} über C_{47} einen negativen Impuls. Da dieses Gitter über $R_{59}C_{49}$ mit dem dritten Gitter der Röhre B_{15} des "Gebell-Oszillators" verbunden ist, wird auch B_{15} gesperrt. Die ersten zwei Gitter dieser Heptode schwingen kontinuierlich in einer Hartley-Schaltung mit der mit C_{59} abgestimmten Wicklung des Transformators T_2 . Wenn das dritte Gitter negativ ist, gelangt diese Schwingung nicht zur Anode. Bekanntlich steigt die Gitterspannung von B_{14} und damit die Spannung am dritten Gitter von B_{15} wieder nach

einer exponentiellen Kurve an. Die Amplitude des "Gebell-Signals" nimmt damit wieder an der Anode der Röhre B_{15} zu und schwillt zu einem Maximum an. Dieses anschwellende Signal an der Anode wird dann dem Steuergitter der Röhre B_{16} und über die Phasenumkehreröhre B_{18} gleichfalls der zweiten Röhre B_{17} der Gegentaktendstufe zugeleitet. Wenn der Kontakt *raao* des Relais *Raa* umgeschaltet ist, was nach dem Empfang eines Echos der Fall ist, ertönt das Bellsignal im Lautsprecher. Man kann also sagen, dass der Roboter einen Gegenstand, auf den er zugeht, anbellt.

In Abb. 28 werden vollständigheitshalber die verschiedenen Signalspannungen in ihrer zeitlichen Zuordnung wie-

Abb. 28. Beziehungen zwischen den verschiedenen Signalen in der akustischen Radaranlage.



- a. Hauptoszillatorspannung
- b. Impulsgeberspannung
- c. 10.000 Hz-Strom in R_{46} im Lautsprecher
- d. der aus c) abgeleitete positive Synchronisierungsimpuls
- e. Verzögerungsimpuls von $500\mu\text{sek}$
- f. Torstufenoszillatorimpuls von $6000\mu\text{sek}$
- g. Zeit, in der die Torstufe geöffnet ist.
- h. Ursprüngliches Radar-signal mit Echos, wie sie am Gitter der Fensterrohre auftreten.
- i. Auf das Echosignal ansprechende Reaktionsstufe
- j. Spannung am dritten Gitter des "gebell"-Oszillators
- k. Spannung am zweiten Gitter des "gebell"-Oszillators
- l. Spannung an der Anode des "gebell"-Oszillators, zugleich "gebell"-Signal im Lautsprecher.

dergegeben. Unter a sehen wir die Anodenspannung der Röhre B_{13} des Hauptoszillators, unter b die Spannung an der Anode der Röhre B_{12} der Impulsgebers. Während des kurzen negativen Rechteckimpulses ist das Relais *Rap* angezogen, wobei die Anzugs- und die Abfallzeit vernachlässigt werden, c stellt die Spannung dar, die bei der Entladung von C_{37} über die Lautsprecherspule mit der Unterbrechung nach $100 \mu\text{sek}$ über R_{46} abfällt. (Hierbei ist die Zeitachse erheblich gedehnt, um die Form besser zu zeigen). d gibt den aus c abgeleiteten positiven Synchronisierungsimpuls an R_{36} an (Zeitachse ebenfalls gedehnt). e ist der Impuls für die Verzögerungsstufe (Zeitachse gedehnt), und f der aus diesem abgeleitete Torstufenoszillator-Impuls, ebenfalls mit gedehnter Zeitachse. g gibt auf der gleichen Zeitachse mit einer stärker ausgezogenen Linie die Zeit an, in der die Torstufenröhre geöffnet ist, und h auf der gleichen gedehnten Zeitachse den Originalimpuls und eine Anzahl von Echosignalen, wie sie im Echoverstärker auftreten. Wir sehen hier, dass die Echosignale sowie das ursprüngliche Impulssignal infolge des scharf abgestimmten Kreises im Echoverstärker mehrere Perioden ausschwingen. Nur das Echo, welches in die Zeit fällt, in der die Torstufenröhre offen ist, bringt die Reaktionsstufe zum Kippen; dies ist durch i dargestellt; in dieser Kurve wird die Anodenspannung der Röhre B_6 gezeigt. Die Kurve j zeigt auf der nicht gedehnten Zeitachse den Spannungsverlauf am Steuergitter der Röhre B_{14} und am dritten Gitter der Röhre B_{15} . h ist die in der Röhre B_{15} erzeugte "Gebell-Spannung"; und schliesslich wird unter i der Amplitudenverlauf dieser Spannung an der Anode von B_{15} wiedergegeben.

Vollständigkeitshalber zur Erläuterung der im Schaltbild des Radar-Chassis angegebenen Katodenpotentiale wird in Abb. 29 die Schaltung der Heizfäden der 18 hier verwendeten Röhren wiedergegeben. Da alle Röhren einen Heizstrom von 50 mA haben, beträgt der gesamte Heizstrom 100 mA bei 12 V. Die Punkte 4 V und 8 V werden direkt mit der Spannungsquelle verbunden. Um zu verhindern, dass die einzelnen Stufen sich über die Heizungen

gegenseitig beeinflussen, sind die Heizfäden an verschiedenen Stellen getrennt durch Kondensatoren entkoppelt.

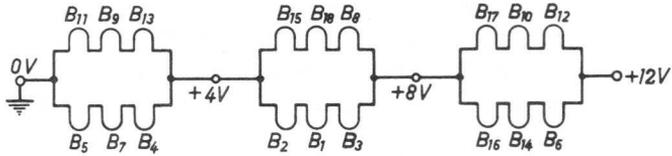


Abb. 29. Schaltung der Heizfäden im Radarchassis. Die Bezeichnungen der Röhren entsprechen denen der Abb. 27.

KAPITEL III

ELEKTRONISCHE GEHIRNE

Im vorigen Kapitel haben wir eine Anzahl elektronischer Sinnesorgane kennengelernt, die ebenso wie die menschlichen imstande sind, bestimmte Erscheinungen in der Umgebung wahrzunehmen. In einigen Fällen ist diese Wahrnehmung schlechter oder unvollkommener, in anderen Fällen jedoch schärfer, als bei den menschlichen Sinnesorganen. Bei diesen werden die Wahrnehmungen über das Nervensystem zum Gehirn geleitet und lösen dort bestimmte Vorgänge aus. Die zu den elektronischen Sinnesorganen gehörende Schaltung, die in unserem Fall stets zum Schliessen oder Öffnen eines Relaiskontaktes führt, kann also mit einem Gehirnzentrum verglichen werden, wobei der Relaiskontakt die Auslösung eines weiteren Vorgangs bewirkt.

Beim Menschen werden die Nevenreize im Gehirn verarbeitet und ausgewertet; in vielen Fällen reagiert man auf diese Reize in vorgegebener Weise, wie etwa mit einem neuen Befehl, der bestimmte Muskeln veranlasst, sich zusammenzuziehen. In anderen Fällen erfolgt diese Reaktion ohne bewusste Kontrolle, wie beispielsweise die sehr komplizierte Reaktion beim Laufen, bei dem eine grosse Anzahl Muskeln in bestimmter Reihenfolge einbezogen werden, ohne dass man sich dessen bewusst wird. Auch kommt beim Laufen noch eine grosse Anzahl von Korrekturen zur Erhaltung des Gleichgewichtes bei Unebenheiten des Bodens hinzu. Alle diese Reaktionen bleiben jedoch nicht in Erinnerung: Niemand wird sich im allgemeinen der einzelnen, kleinen Unebenheiten des Weges, den man zurückgelegt hat, erinnern, wenn es sich nicht gerade um

grössere Löcher handelte, obgleich schon ein Höhenunterschied von einem halben Zentimeter eine Korrektur des Gleichgewichtes erforderlich macht. Das Gedächtnis wird also für diese zur Gewohnheit gewordenen Fähigkeiten nicht mehr eingeschaltet; alle unbewussten Reaktionen während des Laufens bleiben normalerweise nicht in Erinnerung.

Die Erinnerung tritt in den Fällen in Tätigkeit, in denen die Reaktion zu einem bestimmten Zweck, dessen Erfüllung einige Zeit erfordert, einsetzt. Wenn man gerufen wird und sich zu der betreffenden Person begibt, muss man sich wenigstens der Aufforderung erinnern, bis man angekommen ist. Erst dann darf man diesen Vorgang ruhig vergessen. Nun kann es tatsächlich vorkommen, dass man unterwegs durch andere Reize abgelenkt wird und darüber das ursprüngliche Ziel vergisst. Eine solche Zerstreutheit kommt ja sprichwörtlich vor allem bei grossen Wissenschaftlern vor. Wir werden bald sehen, dass auch unser Roboter an dieser Zerstreutheit leidet.

Weiterhin gibt es die reinen Reflexbewegungen, die zwar über das Gehirn direkt auf den empfangenen Reiz folgen, aber ohne dass das Gehirn "eingreift". Diese Reflexbewegungen treten beispielsweise auf, wenn man sich stösst oder verbrennt, und sie können eine gewisse Zeit nachwirken.

Schliesslich gibt es bei dem menschlichen Gehirn auch noch das unübersehbar grosse Gebiet der verstandesgemässen Reaktion auf einen oder mehrere Reize. Tatsächlich wird dann eine Auswahl aus einer grossen Anzahl von Reaktionsmöglichkeiten getroffen, und die Auswahl wird durch die bei früheren Gelegenheiten gemachte Erfahrung geleitet (Empirie oder Lernen aus Erfahrung), und ferner wird die Auswahl durch verstandesgemässe Überlegung, kombiniert oder nicht kombiniert mit Originalität, bestimmt. Nun gibt es elektronische Gehirnschaltungen, die lernen können *) und die auch verstandesgemäss reagieren, d. h. intellektuelle Arbeit verrichten können. Ein Beispiel

*) A Machine that learns, von Dr. Walter Grey, Popular Science, Nov. 1951.

für diese Möglichkeit wird im letzten Kapitel dieses Buches behandelt. Aber elektronische Gehirne, die originell sind, also etwas tun, was nicht vorher durch den Konstrukteur hineingelegt wurde, sind (noch?) nicht hergestellt, wenn es auch mitunter den Anschein hat, dass sie wohl etwas Originelles und Unvorhergesehenes hervorbringen können *).

Bei dem von uns konstruierten Roboter wollten wir uns auf elektronische Gehirnzentren beschränken, die gedankenlos auf die Reize der Sinnesorgane reagieren, wenn auch in einigen Fällen mit einem kurzen Gedächtnis, jedoch ohne aus der Vergangenheit zu lernen. Trotzdem kam auf diese Weise ein Roboter zustande, der sich schon sehr bemerkenswert beträgt und deutlich wahrnehmbar ein eigenes Leben lebt, welches jedoch durch allerlei Erscheinungen von aussen her beeinflusst wird.

Da die Muskeln unseres Roboters hauptsächlich aus Motoren bestehen, werden diese direkt oder indirekt durch die den Sinnesorganen zugeordneten Gehirnzentren (durch die dazugehörigen Relaiskontakte) geschaltet. Abb. 30 zeigt, wie die verschiedenen Motoren durch die zugehörigen Relaiskontakte geschaltet werden. Wir wollen nun der Reihe nach den Einfluss dieser Gehirnzentren der verschiedenen elektronischen Sinnesorgane näher betrachten.

III. 1. Die Auswertung der Sehreize

In Kapitel II wurde die Auswertung der Sehreize bereits teilweise behandelt (Vergleiche Abb. 9). Abb. 30 zeigt, wie der Motor M_3 , der den Hals und damit den Kopf dreht, über die Relaiskontakte ssl bzw. ssr (und über G_{1b}) entweder mit + 12 V oder 0 V des 12 V-Akkus verbunden werden kann. Hierdurch dreht sich der Hals entweder nach rechts (Kontakt ssr geschlossen) oder nach links (ssl geschlossen). In den äussersten Stellungen wird der durch den Motor fliessende Strom durch die Endkontakte N_4 oder N_5 unterbrochen, während hierbei gleichzeitig Punkt K mit

*) Der Homeostat von Dr. Ashby.

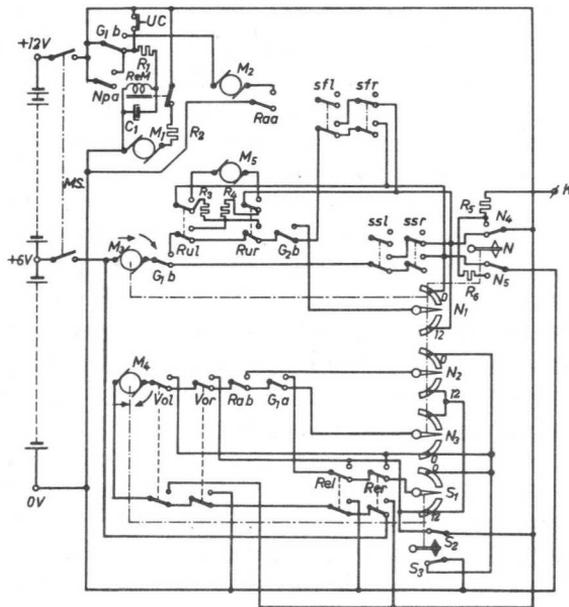


Abb. 30. Steuerung der Motoren (M) des Roboters über Relais- und Schleifkontakte.

M_1 = Motor für die Fortbewegung

M_2 = Motor für das Schweißwedeln

M_3 = Motor für die Hals- und Kopfdrehung (in Beide Richtungen)

M_4 = Steuermotor (für beide Richtungen)

M_5 = Motor für die Zungenbewegung

N_1 , N_2 und N_3 Schleifkontakte, die mit der Halswelle gekuppelt sind. In der Mittelstellung wird der Kontakt unterbrochen.

N_4 und N_5 = Endkontakte, die vom Hals in den Endstellungen unterbrochen werden.

S_1 = Schleifkontakt, mit dem Steuerorgan gekuppelt. In der Mittelstellung wird der Kontakt unterbrochen.

S_2 und S_3 = Endkontakte, mit dem Steuerorgan gekuppelt. In den Endstellungen werden die Kontakte unterbrochen. Nähere Erklärung s. Text.

M. S. = Hauptschalter für die Motoren

R_1 = 68 ohm

R_2 = 0,7 ohm

R_3 und R_4 = 4,7 ohm

R_5 und R_6 = 1 M

R_{eM} = 6 - V Leistungsrelais

C_1 = 750 μ F

UC = Unterbrecherkontakt, bedient mit der Antriebswelle für die Läufe gekuppelt.

+ 12 V oder 0 V verbunden wird, wodurch, wie aus Abb. 9 hervorgeht, die Fotozellenschaltung zum Kippen gebracht wird. Der Hals bzw. Kopf des Roboters sucht also entweder die Umgebung nach Licht ab, oder wendet sich, wenn dies gefunden ist, zur Lichtquelle hin. Die Pfeile bei M_3 geben die bei der angegebenen Stromrichtung auftretende Drehrichtung wieder. Der Steuermotor M_4 , der die Richtung bestimmt, in der sich der Roboter fortbewegt (auch mit Pfeilen für die Drehrichtung versehen), wird in der gezeichneten Stellung durch die Relaiskontakte Vol , Vor , Rab und G_{1a} über den Schleifkontakt N_3 gespeist, dessen Stellung durch den Hals bestimmt wird. Ist der Hals nach links gerichtet, so geht das Steuer auch nach links, und der Roboter kann hierdurch über einen grösseren Winkel nach Licht suchen, als dies der Hals allein zulässt. Wenn eine Lichtquelle oder eine lichtreflektierende Fläche gefunden ist, ermöglicht diese Schaltung zugleich, dass der Roboter direkt darauf zugeht. Wenn sich die Lichtquelle bewegt, folgt der Roboter ebenfalls, falls der Halsmotor die Bewegung beibehalten kann. Wenn die Bewegung zu schnell erfolgt, ist es möglich dass im Gesichtsfeld eine Lichtverteilung entsteht, die den Hals sich gerade nach der anderen Richtung drehen lässt.

Schliesslich weisen wir darauf hin, dass das Sehorgan mit den Fotozellen ausgeschaltet wird, sobald der Relaiskontakt G_{1b} umgeschaltet wird (Abb. 30). Dies erfolgt bei Inbetriebsetzung des Gehörorganes, worauf wir im folgenden Paragraphen zurückkommen.

III. 2. Die Auswertung der Gehörreize beim Hören des Kode-Signales

Wie wir gesehen haben, reagiert die stereofonische Mikrofonschaltung nur auf das Kode-Signal, welches aus einem 600 Hz-Signal besteht, dem ein 400 Hz-Signal folgt. In dem Augenblick, in dem die Schaltung auf dieses kodierte Signal anspricht, können z.B. folgende Verhältnisse vorliegen: Der Rumpf des Roboters steht in einem bestimmten Winkel zur Tonquelle; unabhängig hiervon bildet der Hals

ebenfalls einen bestimmten Winkel zur Tonquelle und gleichzeitig einen anderen zum Rumpf. Damit der Roboter dennoch richtig auf das Signal reagiert, nämlich in Richtung auf das bereits verklungene Signal läuft, müssen verschiedene Stadien durchlaufen werden, wenigstens dann, wenn man keine Kreiselsteuerung mit allen damit verbundenen Schwierigkeiten verwenden will.

Anhand einer bestimmten Situation, wiedergegeben in Abb. 31, wollen wir die verschiedenen Stadien aufzählen und ausführlicher behandeln.

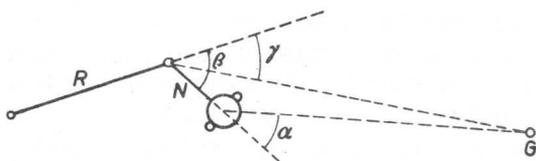


Abb. 31. Beispiel für eine Situation, in der der Roboter das 400 Hz-Signal hört. G = Tonquelle. Der Kopf auf dem Halse N hört den Ton unter Winkel α . Der Hals bildet in diesem Augenblick einen Winkel β mit dem Rumpf R. Der Rumpf steht im Winkel γ zur Richtung der Tonquelle.

Im Augenblick, in dem das Signal an der Stelle G ertönt, bildet der Hals N (der Kopf) einen Winkel α zur Tonquelle. Weiterhin steht der Hals in einem Winkel β zum Rumpf R, und dieser bildet den Winkel γ zur Tonquelle. Nun laufen hintereinander bzw. fast gleichzeitig folgende Vorgänge ab:

- a. Der Roboter bleibt sofort stehen.
- b. Der Hals dreht sich, bis der Kopf in der Richtung zur Tonquelle steht (siehe gestrichelte Linie) und seine Lage zum Rumpf durch γ definiert ist.
- c. Der Winkel γ wird nun in einer Gedächtnisstufe festgehalten.
- d. Hals und Steuer werden beide in die neutrale Mittelstellung gebracht.
- e. Danach wird der Antriebsmotor wieder eingeschaltet.

- f. Jetzt wird das Steuer durch die Gedächtnisstufe von der Mittelstellung aus eine bestimmte Zeit nach rechts und eine kürzere Zeit nach links eingeschlagen, abhängig vom Winkel γ .
- g. Der Roboter dreht sich hierbei in die richtige Richtung und folgt mit dem Steuer in Mittelstellung dieser Richtung eine bestimmte Zeit lang.

Zu a- Aus Abb. 30 geht hervor, dass Relais ReM , welches den Antriebsmotor M_1 steuert, in Ruhestellung über den Kontakt G_1b und R_1 an den 12 V-Akku angeschlossen ist. Das Relais fällt ab und schaltet den Motor aus, sobald G_1b umschaltet. Dies geschieht in Abhängigkeit von der stereofonischen Mikrofonschaltung, wie wir unter Zu b. sehen werden. Ferner wird nicht nur der Antriebsmotor zum Stillstand gebracht, sondern auch der Roboter durch die Umkehrstufe, die weiter unten behandelt werden wird, gebremst.

Zu b- Aus Abb. 19 ging hervor, dass als Reaktion auf das 400 Hz-Signal entweder das Relais Re_{sfl} oder Re_{sfr} anzieht, je nachdem sich das linke oder das rechte Mikrofon näher an der Tonquelle befindet. Weiter wurde beschrieben, dass sich die Zeit, in der das Relais angezogen bleibt, proportional zu dem Phasenwinkel verhält, also abhängig vom Winkel α in Abb. 31. Die Relaiskontakte l und r (s. Abb. 19) steuern je zwei Relais mit je zwei Wechselkontakten, deren Schaltung in Abb. 32 dargestellt ist, wo sie als $Sfla$ und b , bzw. $Sfra$ und b gekennzeichnet sind. Im Ruhezustand stehen die Kontakte l und r in Abb. 19 unter Spannung, so dass die Relais dabei angezogen sind. Darum sind die betreffenden Kontakte in Abb. 32 in diesem Fall in der oberen Stellung (im Ruhezustand der Schaltung) gezeichnet. *)

Im Ruhezustand wird nun der Kondensator C_{21} (Abb. 32) auf eine Spannung aufgeladen, die durch R_{56} und R_{58} bestimmt wird. Wenn durch die Funktion der stereofonischen

*) Obwohl diese Schaltung auch noch bei anderen Relais vorkommt, haben wir da stets die untere Schaltung als Ruhezustand gezeichnet, wieweil hiermit eigentlich nicht der Zustand wiedergegeben ist, in dem das Relais abgefallen ist (Ruhezustand des Relais).

Mikrofonschaltung die linken oder die rechten Relaisketten spannungslos werden, wird Kondensator C_{21} gegen Masse kurzgeschlossen. Der hierbei entstehende negative Impuls wird über C_{22} der Gedächtnisstufe Gh_1 zugeführt und bringt diese zum Kippen. Wie wir uns erinnern, ist diese Gedächtnisstufe mit den Röhren B_1 und B_2 ein monostabiler Multivibrator mit einer Zeitkonstante von etwa einer halben Minute. Beim Kippen zieht das Relais G_{1a} an, während das Relais G_{1b} abfällt. Aus Abb. 30 geht hervor, dass mit dem Kontakt G_{1b} das Relais des Antriebmotors M_1 ausgeschaltet wird.

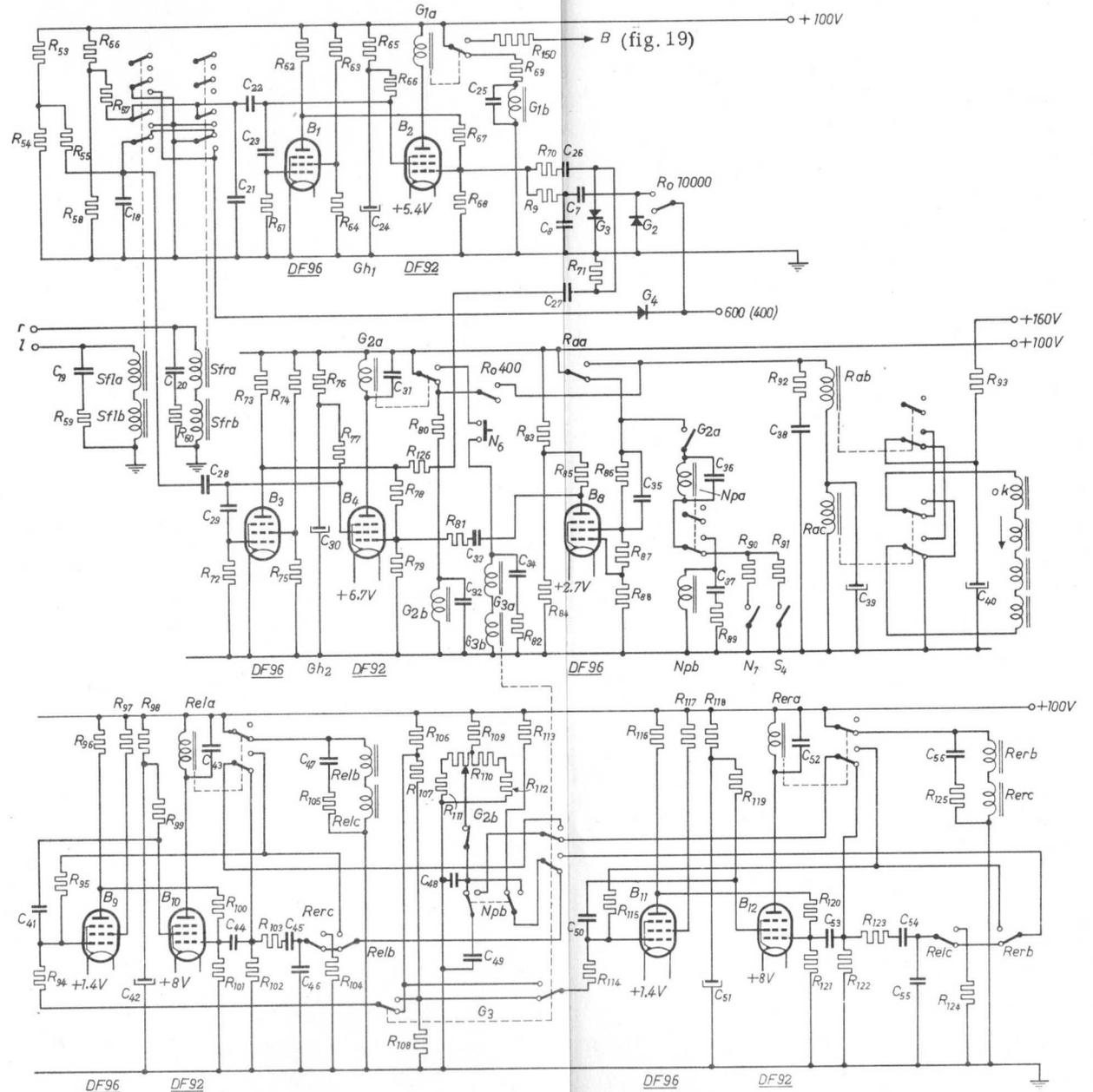
Durch die Relais Sfl bzw. Sfr wird gleichzeitig die Germaniumdiode G_4 mit Masse verbunden, so dass das 400 Hz-Signal, welches durch die Röhre B_{23} durchgegeben wird (s. Abb. 23), gleichgerichtet werden kann und das Relais R_0 400 anzieht. Abb. 32 zeigt, dass hierdurch den Relais Rab und Rac Spannung zugeführt wird, weil Relais G_{2a} sich noch in der hier eingezeichneten Ruhestellung befindet. Hierdurch wird die Umkehrstufe gesteuert, die den Roboter unmittelbar zum Stillstand bringt.

Weiter laufen noch folgende Vorgänge ab: Abb. 30 zeigt, dass der Motor M_3 , der den Hals bewegt, über die Kontakte G_{1b} (der umgeschaltet ist), Rul , Rur , G_{2b} (der noch in der hier eingezeichneten Ruhestellung ist) jetzt durch die Kontakte Sfl und Sfr geschaltet wird. Wenn einer von beiden durch das Signal betätigt wird, dreht sich der Hals nach rechts oder links in Richtung auf den Ton. Hierbei bestimmen wiederum die Endkontakte N_4 oder N_5 die Endstellungen. Weiterhin wird der Steuermotor M_4 , der erst durch den Schleifkontakt des Halses N_3 gesteuert wurde, infolge der Umschaltung des Kontakts G_{1a} jetzt durch den Schleifkontakt S_1 über Rel und Rer betätigt. Dieser Schleifkontakt wird durch den Steuermotor selbst bewegt, und die Kontakte haben solche Spannungen, dass sich das Steuer zu der spannungslosen Mittelstellung hin bewegt. Diese Vorgänge laufen unmittelbar hintereinander ab. Die Zeit, in der Sfl oder Sfr umgeschaltet bleiben, der Hals sich also dreht, ist im Verhältnis zur Drehgeschwindigkeit so gewählt, dass sich der Hals in Richtung auf den Ton einstellen kann.

Abb. 32. Der Teil des Robotergehirns, der die Reaktion auf das 400 Hz-Signal auslöst.

R53 = 1 M	R92 = 5 K 6	C18 = 100 K
R54 = 100 K	R93 = 10 K	C19 = 10 K
R55 = 1 M	R94 = 22 M	C20 = 10 K
R56 = 200 K	R95 = 2 M 7	C21 = 100 K
R57 = 1 M	R96 = 100 K	C22 = 1 K
R58 = 15 K	R97 = 15 K	C23 = 2 μ F
R59 = 5 K 6	R98 = 1 K	C24 = 25 μ F
R60 = 5 K 6	R99 = 15 K	C25 = 10 K
R61 = 10 M	R100 = 1 M	C26 = 8 K 2
R62 = 100 K	R101 = 100 K	C27 = 56 pF
R63 = 15 K	R102 = 4 M 7	C28 = 820 pF
R64 = 68 K	R103 = 47 K	C29 = 2 μ F
R65 = 1 K	R104 = 10 M	C30 = 25 μ F
R66 = 15 K	R105 = 5 K 6	C31 = 10 K
R67 = 1 M 5	R106 = 92 K	C32 = 10 K
R68 = 100 K	R107 = 27 K	C33 = 820 pF
R69 = 15 K	R108 = 15 K	C34 = 10 K
R70 = 100 K	R109 = 8 K 2	C35 = 10 K
R71 = 2 M 2	R110 = lineares Potentiometer 200 K mit Mittelabgriff	C36 = 10 K
R72 = 10 M		C37 = 10 K
R73 = 100 K		C38 = 22 K
R74 = 15 K	R111 = 4 K 7	C39 = 5 μ F
R75 = 68 K	R112 = 4 K 7	C40 = 100 μ F
R76 = 1 K	R113 = 10 M	C41 = 470 K
R77 = 15 K	R114 = 22 M	C42 = 25 μ F
R78 = 1 M 2	R115 = 2 M 7	C43 = 10 K
R79 = 100 K	R116 = 100 K	C44 = 82 pF
R80 = 15 K	R117 = 15 K	C45 = 1 K
R81 = 100 K	R118 = 1 K	C46 = 1 K
R82 = 5 K 6	R119 = 15 K	C47 = 10 K
R83 = 150 K	R120 = 1 M	C48 = 82 K
R84 = 39 K	R121 = 100 K	C49 = 82 K
R85 = 10 M	R122 = 4 M 7	C50 = 470 K
R86 = 180 K	R123 = 47 K	C51 = 25 μ F
R88 = 10 K	R124 = 10 M	C52 = 10 K
R89 = 5 K 6	R125 = 5 K 6	C53 = 82 pF
R90 = 56 K	R126 = 100 K	C54 = 1 K
R91 = 56 K		C55 = 1 K
		C56 = 10 K

G2, G3 und G4 = Germaniumdiode 0A85
 Alle Relais Re haben eine Spule von 15.000 Ohm und besitzen zwei Wechselkontakte.



Zu c- Abb. 32 zeigt, dass, solange eins der Relais sfl oder sfr nicht in der Ruhestellung ist, der sonst kurzgeschlossene Kondensator C_{18} sich über R_{55} auf eine positive Spannung aufladen kann, die durch die Widerstände $R_{53}R_{54}$ bestimmt wird. Kehrt das Relais in die Ruhestellung zurück (wenn also der Hals in Richtung zum Ton steht), wird C_{18} wieder kurzgeschlossen; es entsteht über C_{28} ein negativer Impuls, der die zweite Gedächtnisstufe Gh_2 mit den Röhren B_3 und B_4 zum Kippen bringt. Relais G_{2a} zieht an und G_{2b} fällt ab. (Die Stufe Gh_2 ist identisch mit Gh_1 .)

Jetzt laufen folgende Vorgänge kurz hintereinander ab. Falls R_{040} noch nicht zurückgefallen sein sollte, wird mit Kontakt G_{2a} die Spannung am Relais Rab und Rac unterbrochen, wodurch die Umkehrschaltung den Roboter wieder auf "Vorwärtsgang" schaltet, obwohl der Antriebsmotor M_1 noch nicht eingeschaltet ist. Je nachdem, ob der Hals sich in der neuen Stellung rechts oder links von der Mittelstellung befindet, ist der Hilfskontakt N_6 , der durch eine Nockenscheibe auf der Halswelle gesteuert wird, geschlossen oder offen, so dass über diesen Kontakt die Relais G_{3a}/G_{3b} anziehen, wenn der Hals rechts steht, dagegen abgefallen bleiben, wenn er links steht. Diese Relais legen also fest, ob sich der Roboter nach rechts oder nach links bewegen muss, um sich in Richtung auf die Tonquelle einzustellen.

Im unteren Teil der Abb. 32 finden wir das Potentiometer R_{110} , das mit der Halswelle gekoppelt ist und dessen Schleifer eine Spannung hat, die umso niedriger wird, je weiter sich der Hals, gleichgültig ob rechts oder links, aus der Mittelstellung befindet. In der Mittelstellung ist die Spannung am höchsten (etwa 90 V). Die Spannung am Schleifer liegt auch an den beiden Kondensatoren C_{48} und C_{49} . Wenn G_{2b} öffnet, bleibt die momentane Spannung des Schleifers an den beiden verlustarmen Kondensatoren über längere Zeit erhalten. Die Spannung an diesen Kondensatoren legt also zusammen mit der Stellung der Relais G_{3a}/G_{3b} den Winkel γ der Tonquelle zum Rumpf fest.

Zu d- Aus Abb. 30 geht hervor, dass bei Umschaltung

des Kontaktes G_2b der Halsmotor M_3 durch den Schleifkontakt N_1 der Halswelle direkt gesteuert wird, wobei die Spannung an den Kontakten so gerichtet ist, dass sich der Hals zur Mittelstellung hin bewegt. Das gleiche gilt auch für das Steuer, wenn es über den Schleifkontakt S_1 bedient wird. Sowohl der Hals als auch das Steuer haben einen Kontakt N_7 bzw. S_4 (s. Abb. 32), der nur in der Mittelstellung geschlossen ist. Da der Relaiskontakt G_{2a} geschlossen ist, kann über Raa und die Widerstände R_{90} und R_{91} ein Strom durch das Relais Npa fließen. Ist nur einer der Kontakte N_7 oder S_4 geschlossen, so genügt der Strom nicht, um das Relais anzuziehen. Nur dann, wenn sowohl der Hals als auch das Steuer in der Nullstellung sind, kann das Relais Npa anziehen. Zu diesem Zweck ist der untere Wechselkontakt vom Relais Npa so justiert, dass er erst unterbricht, wenn die Verbindung mit dem oberen Kontakt zustande gekommen ist.

Zu e- Aus Abb. 30 geht hervor, dass bei Umschaltung des Kontakts Npa das Relais ReM , welches den Motor M_1 steuert, an den 12 V-Akku angeschlossen wird, so dass sich der Roboter vorwärts bewegt.

Zu f- Der Hals bleibt in der Mittelstellung stehen; der Steuermotor M_4 wird nun durch die Kontakte Rel und Rer (Abb. 30) so gesteuert, dass sich das Steuer entweder nach links und anschliessend nach rechts oder umgekehrt zuerst nach rechts und dann nach links bewegt. Diese Schaltung erfolgt durch zwei gleichzeitig schliessende Kontakte, wobei die Spannung am Steuermotor sich von 6 V auf 12 V erhöht. Hierdurch wird das Steuer sehr schnell in die Endstellung gebracht. Durch diese Steuerung wird der Roboter in die richtige Richtung gebracht. Danach kehrt das Steuer wieder in die Mittelstellung zurück. Die Richtungsänderung, die ja vom Winkel abhängen muss, wird durch die Reaktionsstufe bestimmt, welche die Relais Rel und Rer steuert. Sie wird im folgenden Abschnitt behandelt werden.

Zu g- Nachdem der Roboter sich in die richtige Richtung eingestellt hat, bewegt er sich in diese Richtung geradeaus weiter, solange die Gedächtnisstufen Gh_1 und Gh_2 ar-

beiten. Diese Zeit genügt meistens, um die Tonquelle zu erreichen. Seine weiteren Reaktionen werden unten behandelt werden.

II. 2. 1. Die Reaktionsstufe

Bevor wir die Arbeitsweise der Reaktionsstufe erklären, wollen wir erst anhand der Abb. 33 die Anforderun-

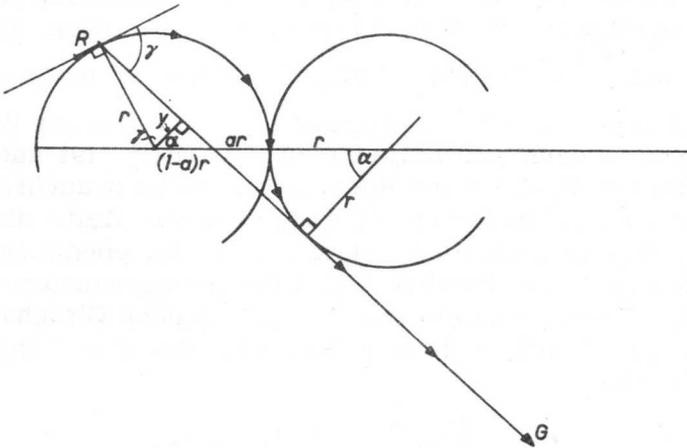


Abb. 33: Die Winkelbeziehungen müssen festgestellt werden, damit der Roboter sich bei einem bestimmten Winkel γ des Rumpfes R zur Richtung der Tonquelle G gewünschte Richtung steuert. Für einen Winkel γ zwischen 90° und 0° ist $\frac{\gamma + \alpha}{\alpha}$ annähernd konstant und etwa 2,5.

gen näher betrachten, die an sie gestellt werden. R stellt hierbei den Rumpf des Roboters und G die Tonquelle dar, so dass die Richtung, aus der der Ton ankommt, durch Winkel γ bestimmt wird. Oben wurde bereits beschrieben, dass sich der Hals in Richtung zur Tonquelle einstellt, und dass der Winkel γ als eine Kondensatorspannung gespeichert wird. Die Reaktionsstufe muss nun bewirken, dass sich der Rumpf des Roboters in die Richtung zur Tonquelle wendet. Hierfür muss das Steuer im Falle der Abb. 33 erst

nach rechts gestellt werden. Der Roboter beschreibt dann einen Kreisbogen mit dem Radius r über eine Strecke, die durch den Winkel $(\gamma + \alpha)$ bestimmt wird; dann stellt sich das Steuer nach links, und der Roboter beschreibt einen Kreisbogen mit demselben Radius r , wobei aber die Strecke durch den Winkel α im rechten Kreis bestimmt wird. Die Richtung ist dann festgelegt, und das Steuer kommt wieder in Mittelstellung. Bei konstanter Laufgeschwindigkeit sind die Winkel $(\gamma + \alpha)$ und α proportional zur Zeit, die für das Durchlaufen der betreffenden Kreisbogen verfügbar ist. Wie wir unten zeigen werden, ist das Verhältnis $\frac{\gamma + \alpha}{\alpha}$ in erster Näherung konstant, und zwar = 2,5 (mit einer höheren Genauigkeit als 2%). Da der Winkel $(\gamma + \alpha)$ sich dann proportional zu γ verhält, ist auch die Zeit, die der Roboter zur Rechtsschwenkung braucht, proportional zu γ . Weiterhin verhält sich die Zeit, die der Roboter danach nach links schwenken muss, ebenfalls proportional zu γ ; sie beträgt $1/2,5$ der erstgenannten Zeit. Diese Beziehungen ergeben sich aus folgenden Gleichungen.

Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke mit den Winkeln α und 90° folgt:

$$1. \frac{y}{r} = \frac{(1-a)r}{ar+r} = \frac{1-a}{1+a} = \cos \gamma$$

a kann hierbei von 0 bis 1 variieren.

$$2. \cos \alpha = \frac{r}{r+ar} = \frac{1}{1+a}$$

Wenn wir a aus diesen beiden Gleichungen eliminieren, bekommen wir $\cos \gamma = 2 \cos \alpha - 1$. Wenn wir nun die verschiedenen Werte für α zwischen 0 und 60° eintragen, sehen wir, dass γ genau oder annähernd $1,5 \cdot \alpha$ ist, d. h. γ verhält sich proportional zu α und also auch zu $\gamma + \alpha$. Der Winkel $\gamma + \alpha$ ist also $\sim 2,5 \alpha$, und da diese Winkel die Zeit bestimmen, innerhalb deren die Kreisbögen durchlaufen werden, beträgt die Zeit zum Durchlaufen des ersten Kreisbogens stets 2,5 mal die Zeit für den zweiten Kreisbogen.

Der grösste Winkel α , der in diesem Fall vorkommen kann, beträgt 60° ; hierbei ist γ also 90° . Der kleinste Winkel α beträgt 0° , und γ ist dann ebenfalls 0° . In diesem Fall befindet sich also die Tonquelle genau in der Achse des Rumpfes.

Aus dem Vorhergehenden können wir ersehen, dass die Reaktionsschaltung das Steuer eine von γ abhängige Zeit nach rechts bzw. nach links und anschliessend den 2,5ten Teil dieser Zeit in die entgegengesetzte Richtung einschlagen muss.

Die Schaltung ist im unteren Teil der Abb. 32 wiedergegeben und besteht aus 2 identischen monostabilen Multivibratorstufen mit den Röhren B_9/B_{10} bzw. B_{11}/B_{12} . Das feste Zeitkonstantenverhältnis von 1:2,5 erhält man dadurch, dass man die Gitterwiderstände R_{94} und R_{114} an entsprechende positive Spannungen über die unteren Relaiskontakte G_3 legt. In der gezeichneten Stellung ist der Gitterwiderstand der linken Stufe an die höhere und der der rechten Stufe an die niedrigere positive Spannung des Spannungsteilers R_{106} , R_{107} , R_{108} angeschlossen. Diese Widerstände sind so ausgewählt, dass die Zeitkonstante der linken Stufe 2,5 mal kürzer ist als die der rechten. Die beiden anderen Kontakte von G_3 bewirken, dass beim Umschalten von Npb (also wenn Hals und Steuer in die Ruhestellung gelangt sind), C_{48} mit C_{46} und C_{49} mit R_{122} verbunden werden.

Betrachten wir zuerst den ersten Fall. Vor dem Umschalten von Npb war C_{46} über die verschiedenen Relaiskontakte und R_{113} mit + 100 V verbunden und damit auf diese Spannung aufgeladen. Wird nun Npb umgeschaltet, so entsteht an C_{46} durch die Parallelschaltung von C_{48} ein Spannungssprung in negative Richtung, dessen Amplitude von der Spannung an C_{48} abhängt. Der sich hierdurch am Steuergitter von B_{10} ergebende negative Impuls kann diese Stufe nicht zum Kippen bringen. Da C_{46} viel kleiner als C_{48} ist, ändert sich die Spannung an C_{48} praktisch nicht.

Die Parallelschaltung von C_{49} mit R_{122} ergibt jedoch immer einen Spannungssprung in positiver Richtung, des-

sen Amplitude von der Spannung an C_{49} abhängt. Oberhalb eines Mindestwertes von etwa 4 V ist der über C_{58} ans Steuergitter von B_{12} gelangende positive Impuls gross genug, um die rechte Stufe zum Kippen zu bringen. Relais *Rera* zieht an und verbindet C_{49} über R_{115} mit dem Steuergitter von B_{11} . Da das Kippen sehr schnell erfolgt und R_{122} sehr gross ist, geht hierbei nur sehr wenig Ladung von C_{49} verloren, so dass seine Spannung immer noch ein Mass für den Winkel γ bildet. Die Zeitkonstante der rechten Stufe wird jetzt nicht mehr allein durch C_{50} , R_{114} und die Spannung bestimmt, an die R_{114} angeschlossen ist, sondern auch durch die Ladung von C_{49} , welche die Ladung von C_{50} verringert, wodurch die Zeitkonstante verkürzt wird. Die Ladung von C_{50} wird umso mehr verringert, je höher die Spannung an C_{49} ist, - sie ist also abhängig vom Winkel γ . Hat die Spannung an C_{49} ihren Höchstwert (etwa 90 V), so wird die Ladung von C_{50} umsoviel verringert, dass die Stufe sofort wieder zurückkippt. Bei der kleinsten wirksamen Spannung an C_{49} (etwa 4 V) ist die Zeitkonstante so gross, dass die Kippzeit gerade dafür genügt, dass der Roboter den grössten Kreisbogen von 150° zurücklegen kann. Für dazwischenliegende Werte ist die Zeit entsprechend kleiner.

Der Widerstand R_{115} hat noch eine andere wichtige Funktion. Ohne diesen Widerstand würde bei der Umschaltung von C_{49} das Gitter zeitweilig die Spannung von C_{49} erhalten, wodurch die Stufe mit Sicherheit zurückkippen würde. Da $R_{115} \gg R_{119}$ ist, wird durch die Spannungsteilung über R_{115} und R_{119} der positive Impuls am Steuergitter von B_{11} so abgeschwächt, dass er kein Zurückkippen mehr auslösen kann. Die Zeitkonstante von C_{49} , C_{50} und R_{115} , welche die Zeit des Überfliessens der Ladung von C_{49} nach C_{50} bestimmt, ist jedoch klein bezüglich der Zeitkonstanten der Stufe, weil $R_{114} \gg R_{115}$. Nach dem Überfliessen der Ladung kann man sich C_{49} und C_{50} die zusammen über R_{114} bis zum Zurückkippen der Stufe aufgeladen werden, parallelgeschaltet vorstellen.

Beim Anziehen des Relais *Rera* wird das Relais *Rerb/Rerc* abgeschaltet. Der Kontakt *Rerc* schaltet den Konden-

sator C_{46} von C_{48} ab und legt ihn über R_{104} an Masse. Hierdurch wird C_{46} sehr schnell entladen, wodurch jedoch die linke Stufe auch nicht zum Kippen gebracht wird.

Wenn die rechte Stufe ihre Funktion erfüllt hat und zurückkippt, kehrt auch der Kontakt $Rerc$ wieder in die gezeichnete Ruhestellung zurück. C_{46} wird also aufs neue mit C_{48} verbunden, jetzt aber im entladene Zustand. Der hierbei entstehende positive Impuls gelangt über C_{45} , R_{103} und C_{44} an das Gitter von B_{10} , und die linke Stufe kippt. Das Relais $Rela$ zieht an, und das Relais $Relb/Relc$ fällt ab. Durch den Kontakt $Relb$ wird C_{48} über R_{95} mit dem Gitter von B_9 verbunden. Jetzt läuft der gleiche Vorgang wie bei der rechten Stufe ab. Da der Gitterwiderstand R_{94} an einer höheren Spannung als R_{114} liegt, beträgt die Kippzeit der linken nur $1/2,5$ von der der rechten Stufe, weil die weiteren Bedingungen die gleichen sind. Nach Zurückkippen der linken Stufe stehen alle Kontakte wieder in den gezeichneten Stellungen. Die Schaltung kann jetzt nicht wieder in Funktion treten, weil die Kondensatoren C_{48} und C_{49} annähernd entladen sind. Ihre Restspannung kann nämlich höchstens $+ 1,5$ V betragen (Spannung zwischen den Kathoden der Röhren B_9 bzw. B_{11} und Masse), und diese Spannung ist zum Anstossen einer Stufe zu niedrig. C_{46} wird zwar über R_{113} mit $+ 100$ V verbunden, aber die Zeitkonstante von C_{46} R_{113} ist zu gross, als dass sich eine genügende Flankensteilheit für einen ausreichenden positiven Impuls über C_{44} ergeben könnte.

Erst wenn die Gedächtnisstufe Gh_2 zurückgekippt ist, und dadurch die Kontakte G_{2b} und Npb umschalten, werden die Kondensatoren C_{48} und C_{49} über das Potentiometer R_{110} wieder aufgeladen, und die Schaltung ist wieder arbeitsbereit. Wenn jetzt das Relais G_{3a}/G_{3b} angezogen sein sollte, erhält über die unteren Kontakte G_3 die linke Stufe die $2,5$ mal grössere Zeitkonstante als die rechte. In diesem Fall wird C_{48} mit dem auf 100 V aufgeladenen Kondensator C_{55} verbunden und löst keine Funktion aus, während C_{49} mit R_{102} verbunden wird und die linke Stufe als erste zum Kippen bringt. Als zweite kippt die rechte

Stufe mit einer $\frac{1}{2,5}$ mal kleineren Zeitkonstante, so dass der Roboter sich in die richtige Richtung einstellt.

III. 3. Die Auswertung der Reize beim Hören des Namens

Wir erinnern uns, dass beim Rufen des Namens "Cyber" die stereofonische Schaltung gesperrt wird, so dass die Relais *Sfl* und *Sfr* nicht betätigt werden. Über den Kontakt $R_0 10.000$, C_7 und R_9 erreicht die 600 Hz-Modulation die Gedächtnisstufe Gh_1 und bringt sie zum Kippen (Abb. 32). Über denselben Relaiskontakt wird die Germaniumdiode G_2 hinzugeschaltet, wodurch das Relais $R_0 400$ eine Zeitlang unter Einwirkung des 600 Hz-Signales anzieht. Da sich G_{2a} in Ruhestellung befindet, steuert $R_0 400$ die Umkehrstufe mit den Relais *Rab* und *Rac*, wodurch der Roboter auf Rückwärtsgang geschaltet wird. Da mit dem Kontakt G_{1b} der Gedächtnisstufe der Antriebsmotor *M* ausgeschaltet wird (Abb. 30), hält der Roboter plötzlich an, wenn sein Name gerufen wird.

Da auch G_{1b} umschaltet, bleibt der Halsmotor *M* gleichfalls plötzlich stehen. Denn die Kontakte *Sfl* und *Sfr* sowie Kontakt G_{2b} bleiben dann in Ruhestellung. Der Halsmotor lässt sich jetzt nur noch durch die Kontakte *Rul* und *Rur* steuern, was wir unten noch behandeln werden.

Es besteht hier ein wesentlicher Unterschied zur Reaktion auf das Kodesignal. Beim Kodesignal bewegt sich der Roboter zur Tonquelle hin, ertönt dagegen sein Name, bleibt er unbeweglich stehen. Diese Unbeweglichkeit hält solange an, wie die Gedächtnisstufe Gh_1 in Funktion ist, und wird auch, wie wir weiter unten sehen werden, durch Radar nicht beeinflusst. Der grundsätzliche Unterschied besteht eigentlich darin, dass jetzt die Gedächtnisstufe Gh_2 nicht in Funktion tritt.

III. 4. Die Auswertung des Berührungsreizes

Wie oben beschrieben wurde, zieht das Relais *Vol* bzw.

Vor an, wenn der Roboter auf der linken bzw. rechten Seite auf ein Hindernis stösst, wobei infolge der Zeitkonstante der Stufe das Relais eine bestimmte Zeit angezogen bleibt, nachdem der Roboter sich vom berührten Gegenstand getrennt hat. Aus Abb. 30 geht hervor, dass durch die Relais der Steuermotor M_4 eingeschaltet wird, und zwar derart, dass bei einer Berührung auf der rechten Seite sich die Steuer nach links wendet bzw. umgekehrt. Der Roboter zeigt also die Neigung sich von dem berührten Gegenstand zurückzuziehen. Auch hier erhält der Steuermotor die doppelte Spannung, so dass die Reaktion sehr schnell erfolgt. So ist es z. B. möglich, den Roboter mit Hilfe eines Stockes eine bestimmte Richtung einschlagen zu lassen. Durch die Schaltung ist es bedingt, dass die Reaktion auf die Berührungsreize Vorrang vor anderen hat, also nicht durch andere Einflüsse, d. h. durch die Stellung anderer Relaiskontakte, gestört werden kann.

Hierin liegt begründet, dass der Roboter aus der Richtung gerät, wenn er nach der 400 Hz-Tonquelle unterwegs ist und mit einem Gegenstand, z. B. mit einem Stock in Berührung kommt. Der Roboter wird also hierdurch abgelenkt und gerät in Verwirrung.

III. 5. Die Auswertung des Temperaturreizes

Wir haben gesehen, dass durch eine Temperaturerhöhung der NTC-Widerstände die Relais *Rul* und *Rur* gesteuert werden können. Abb. 30 zeigt, dass die zugehörigen Kontakte den Halsmotor steuern können, wenn $G_1 b$ umgeschaltet ist. Dies ist dann der Fall, wenn der Roboter nach der 400 Hz-Tonquelle unterwegs ist oder auf seinen Namen reagiert hat. Nur der letzte Fall hat jedoch praktische Bedeutung, da nämlich die Zeit für eine ausreichende Erwärmung der NTC-Widerstände zu kurz ist, während der Roboter läuft. In jedem Mundwinkel befindet sich ein NTC-Widerstand. Ist nun der Roboter stehen geblieben, als er seinen Namen hörte, und hält man ihm beispielsweise ein warmes Würstchen dicht vor den Mund, dreht

sich der Hals, wenn der rechte Widerstand am nächsten liegt, von *Rur* gesteuert langsam nach rechts, um noch dichter an das Würstchen heranzukommen. Die langsame Drehung wird durch den Widerstand R_3 bewirkt, wie sich aus Abb. 30 ergibt. Hat sich auch der zweite NTC-Widerstand dem Würstchen genähert, so wird Kontakt *Rul* umgeschaltet, und der Halsmotor steht still. Jetzt wird der Motor M_5 an den 12 V-Akku angeschlossen, und, da M_5 die Zunge bedient, hat es den Anschein, dass der Roboter am Würstchen leckt! Im Prinzip wendet der Roboter seinen Kopf einen warmen Gegenstand zu und leckt an ihm.

III. 6. Die Auswertung der Reize des Radarsystems

Da der Lautsprecher, der die Radar-Impulse abstrahlt, und das Mikrofon, das die Echos auffängt, vorn im Rumpfe des Roboters montiert sind, beginnt das Radar zu arbeiten, wenn ein Gegenstand sich in gerader Linie vor dem Rumpf befindet. Wie bereits beschrieben, wird der Kontakt *Raa* dann für eine bestimmte Zeit umgeschaltet. Wie Abb. 32 zeigt, wird hierdurch die Umkehrstufe mit den Relais *Rab* und *Rac* betätigt, wodurch der Roboter auf Rückwärtsgang geschaltet wird. Weiter wird beim Umschalten des Kontakts *Rab* (Abb. 30) der Steuermotor M_4 mit dem vom Hals gesteuerten Schleifkontakt N_2 verbunden. Die Drehrichtung des Steuermotors hängt dann von der Stellung des Halses ab. Die Spannungen an den Kontakten von N_2 sind den Spannungen an den Kontakten von N_3 entgegengesetzt. Man erreicht hiermit folgendes. Im allgemeinen kann angenommen werden, dass sich der Hals entweder rechts oder links von der Mittelstellung befindet. Solange M_4 (das Steuer) durch N_3 gesteuert wird, ist das Steuer entweder nach rechts oder links gerichtet. Begegnet der Roboter beispielsweise bei einer Rechtsschwängung einem Hindernis, so schaltet *Rab* um, und das Steuer dreht sich sofort nach links. Beim Zurücklaufen weicht also der Roboter vor dem Hindernis mit einer Schwängung in entgegengesetzter Richtung aus.

Wenn die Reaktion auf die Radarschaltung beendet ist, wird wieder auf den Schleifkontakt N_3 zurückgeschaltet; es hängt dann von der Stellung, in welcher der Hals gerade steht, ab, in welche Richtung der Roboter weiterläuft. Aus Abb. 30 ist auch zu ersehen, dass mit dem Kontakt Raa der Motor M_2 , welcher den Schwanz wedeln lässt, eingeschaltet wird, falls die Gedächtnisstufe Gh_1 eingeschaltet ist, also wenn der Roboter entweder das Kodesignal oder seinen Namen gehört hat.

Schliesslich ist bei der Inbetriebnahme des Radarsystems auch das "Gebell" im Lautsprecher zu hören. Durch die Umschaltung des Kontakts Raa in Abb. 32 wird auch die Schirmgitter- und die Steuergitterspannung der Röhre B_8 abgeschaltet, so dass der Anodenstrom zu fließen aufhört. Hierdurch bekommt die Anode von B_8 ein Potential, welches durch R_{83} und R_{84} bestimmt wird. Hierbei wird C_{33} über R_{81} und R_{79} aufgeladen, und ein positiver Impuls würde ans Gitter der Röhre B_4 gelangen und die Gedächtnisstufe Gh_2 zum Kippen bringen, wenn dies nicht durch den hohen Wert des Anodenwiderstandes R_{85} verhindert würde. C_{35} entlädt sich über R_{86} , so dass, wenn Raa in die Ruhestellung zurückkehrt, ein positiver Impuls an das Schirmgitter und damit auch an das Steuergitter gelangt, wodurch ein negativer Impuls an der Anode entsteht. Dieser gelangt ungeschwächt über C_{33} und R_{81} an das Steuergitter von B_4 . Wenn Gh_2 gekippt ist, kippt sie durch diesen negativen Impuls zurück. Der hierbei über R_{73} entstehende negative Impuls gelangt über R_{126} , C_{27} , C_{26} und R_{70} an das Steuergitter von B_2 und bringt diese Stufe (Gh_1) auch zum Zurückkippen.

Die Germaniumdiode G_3 verhindert, dass positive Impulse der einen Stufe jeweils zur anderen gelangen und sie ungewollt zum Kippen bringen können.

Dadurch, dass die beiden Gedächtnisstufen ausgeschaltet werden, verliert der Roboter, der nach der Quelle des Kode-Signales unterwegs ist, das Kode-Signal völlig aus dem Gedächtnis, nachdem er einem Hindernis begegnet ist. Man muss dann das Kode-Signal aufs neue geben.

Nachdem man seinen Namen gerufen hat, kann man sich

ruhig vor den Roboter hinstellen, denn ein Radar-Signal kann dann Gh_1 nicht zum Kippen bringen, weil nur Gh_2 dieses kann, die aber dann nicht eingeschaltet ist. Jedoch ist in diesem Fall das "Bellen" zu hören und das "Schweifwedeln" zu sehen.

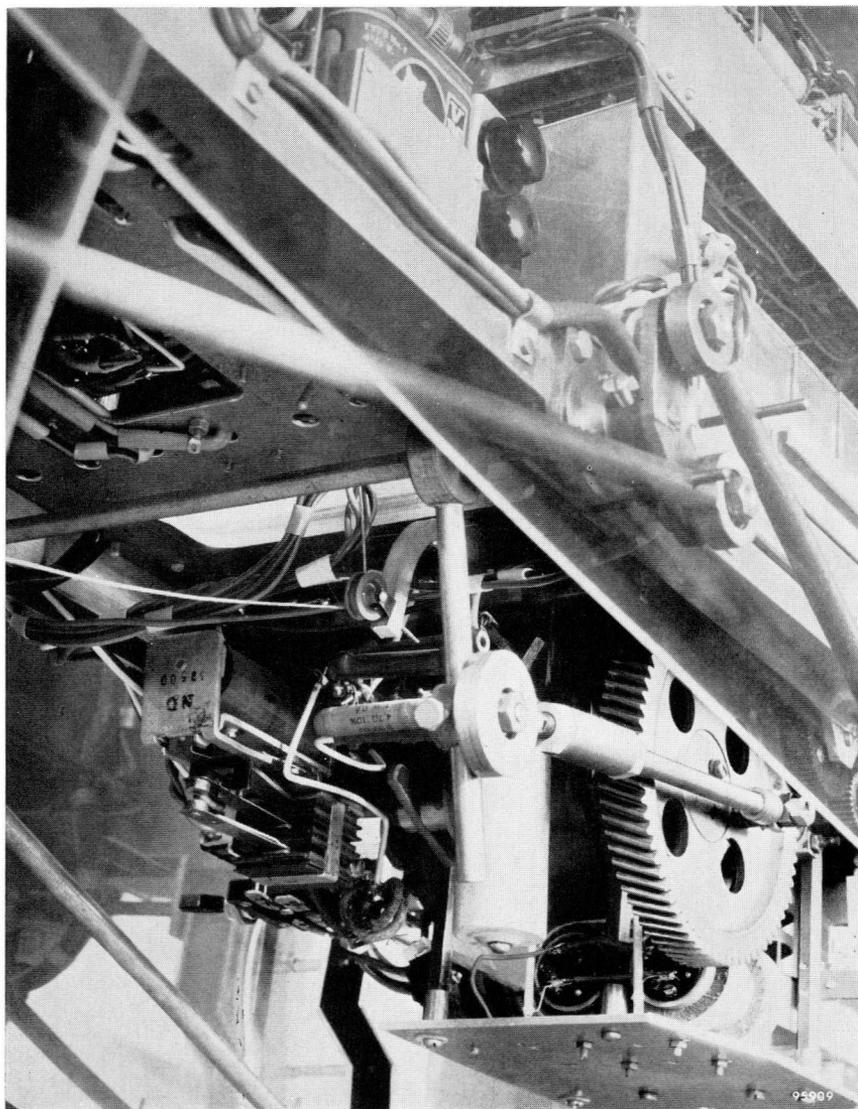
III. 7. Die Umkehrstufe

Wie schon erwähnt, wird durch die Umkehrstufe der Roboter in seiner Vorwärts- bzw. Rückwärtsbewegung angehalten. Diese Stufe kann durch R_{O400} bzw. Raa gesteuert werden. In der in Abb. 32 gezeichneten Ruhestellung wird der Elektrolytkondensator C_{40} über R_{93} auf 160 V aufgeladen. Wird der Kontakt R_{O400} bzw. Raa umgeschaltet, so zieht zuerst Rab an, weil der Spannungsanstieg an Rac durch den Kondensator C_{39} verzögert wird (um etwa $1/4$ Sekunde). Wenn Rab anzieht, wird der Kondensator C_{40} über die Spulen ok entladen. Diese Entladung geht sehr schnell vor sich, weil der Spulenwiderstand nur klein ist; jedoch ist die Dämpfung des durch die Selbstinduktion der Spule und die Kapazität C_{40} gebildeten Schwingkreises so gross, dass nicht eine gedämpfte Schwingung entstehen kann. Die Dämpfung ist überkritisch, und es entsteht ein hoher Spitzenstrom in Pfeilrichtung (s. Abb. 32), der dann schnell auf Null zurückfällt. Wenn Rac dann etwas später anzieht, kann sich C_{40} wieder aufladen und erreicht nach etwa 1 Sekunde wieder eine Spannung von rund 100 V. Werden die Relais Rab und Rac wieder stromlos, so fällt erst Rab ab, während Rac durch C_{39} noch eine Zeitlang angezogen bleibt. C_{40} wird jetzt wieder entladen, wobei aber, wie aus Abb. 32 ersichtlich, der Strom durch die Spulen ok gegen die Pfeilrichtung fliesst. Wenn auch Rac abgefallen ist, kann C_{40} wieder geladen werden.

Mit den Stromstössen in den Spulen ok werden Permanentmagneten aus Ferroxdure gesteuert, die mechanisch die Laufrichtung des Roboters bestimmen, s. folgendes Kapitel.



Der Rumpf des Robotertieres von oben gesehen. Im Vordergrund das „Gehirn“ Chassis mit darunterliegendem Speiseakku. Dahinter der Zerhacker mit dem Zerhackertransformator und weiter die beiden Chassis für die „stereoskopischen“ und stereophonischen Schaltungen (oben) und das Radarchassis (unten). Im Vordergrund links ist die Drehkonstruktion des Halses zum Teil sichtbar.



Unteransicht des Robotertieres mit deutlich sichtbarem Antriebsmechanismus der Beine. Das sichtbare Relais betätigt den Antriebsmotor, der übrigens nicht deutlich zu erkennen ist. Die beiden kleinen runden Motoren unten auf der Abbildung bilden zusammen den Steuermotor.

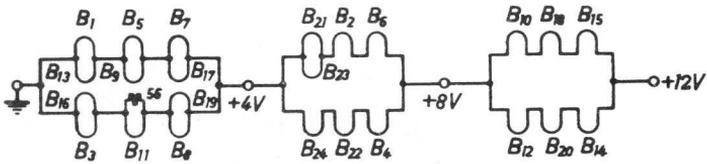


Abb. 34. Schaltung der Heizfäden der Röhren im "Gehirn"-Chassis. Die Bezeichnung der Röhren bezieht sich auf die Röhren der Abbildungen 23, 24, 25 und 32.

KAPITEL IV

EINIGE PROBLEME BEI DER PRAKTISCHEN AUSFÜHRUNG DES ROBOTERS

IV. 1. Mechanische Ausführung

Es würde zu weit führen, alle Schwierigkeiten, die bei der Konstruktion des Roboters auftraten, ausführlich zu behandeln. Wir glauben jedoch, dass wir einige interessante Probleme näher erläutern sollen.

IV. 1. 1. *Das Laufen*

Es wurde davon ausgegangen, dass der Roboter vier Läufe haben soll. Um Gleichgewichtsprobleme zu vermeiden, deren Lösung fast unmöglich schien, war es ausgeschlossen, dass der Roboter seine Pfoten während des Laufens vom Boden lösen könnte. Daraus folgte, dass die Pfoten auf kleine Räder gesetzt werden mussten, die sich bei der Vorwärtsbewegung, der Läufe (in der Laufrichtung des Roboters nach vorne) frei drehen können. Der Roboter wird dadurch angetrieben, dass die Läufe, unabhängig von der Laufrichtung, vor und zurück bewegt werden. Bei diesem System bewegt sich der Roboter nicht nur vorwärts bzw. rückwärts, sondern auch bei jedem Schritt ein wenig auf und nieder, da die Läufe in festen Gelenken am Rumpf befestigt sind. Da ausserdem aus ästhetischen Gründen die Räder in den Pfoten nur klein sein konnten, was eine grössere Reibung bedeutet, musste ein kräftiger 12 V-Motor verwendet werden, der einen Anlaufstrom von reichlich 6 A besitzt.

IV.1.2. Die Umkehrschaltung

Damit der Roboter mit vorwärts und rückwärts sich bewegenden Läufen vor- und zurücklaufen kann, mussten die Räder in den Läufen jeweils in der einen oder anderen Drehrichtung blockierbar sein. Aus praktischen Gründen wurde diese Blockierung nur bei den Hinterläufen angebracht, die Räder an den Vorderläufen können sich frei vorwärts und rückwärts drehen. Die Konstruktion der Räder in den Hinterpfoten ist in Abb. 35 wiedergegeben.

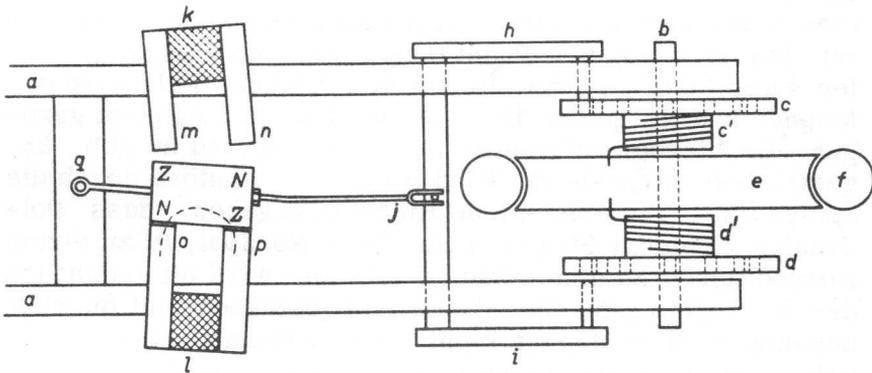


Abb. 35. Umkehrmechanismus (Hinterläufe) des Roboters, Beschreibung s. Text.

In der Gabel *a* ist die Achse *b* starr befestigt. Um diese Achse können sich das Antriebsrad *e*, das einen Gummireifen *f* trägt, und die Scheiben *c* und *d*, die je einen zylindrischen Ansatz *c'* bzw. *d'* haben, frei drehen. Auf die zylindrischen Ansätze sind Spiralfedern, von der Mitte her gesehen mit entgegengesetztem Drehsinn gewickelt, deren Enden im Rade *e* befestigt sind. Die Brücke mit den Seitenarmen *h* und *i* kann parallel zur Achse *b* bewegt werden, wodurch die Bolzen der Seitenstücke in eines der auf einen Kreis mit entsprechendem Radius angebrachten Bohrungen der Scheibe *c* bzw. *d* eintauchen können. In der

gezeichneten Stellung beispielsweise sitzt der Bolzen des Arms h in einer Bohrung der Scheibe c , wodurch diese in der Gabel a verriegelt wird. Das Rad e und damit die Gabel a kann in diesem Fall zwar (in der Zeichnung) nach links, aber nicht nach rechts laufen, weil dann die Spiralfeder auf dem Zylinder c' festgezogen wird. Wenn die Brücke h/i nach oben umgeschaltet wird, wird die Scheibe c frei, und die Scheibe d wird durch den Bolzen des Arms verriegelt. Das Rad kann dann nach rechts, aber nicht nach links laufen, also gerade umgekehrt. Hiermit kann man also bewirken, dass der Roboter vorwärts bzw. rückwärts läuft. Die Brücke h/i wird durch die Gabel j umgeschaltet, die über eine Blattfeder mit dem Ferroxdure-Magneten verbunden ist, der sich um den Punkt q zwischen den Elektromagneten k und l drehen kann. Durch sein eigenes Feld wird der Magnet kräftig gegen die Pole des Elektromagneten gezogen; die hierbei auftretenden Kraftlinien sind in Abb. 35 gestrichelt dargestellt. Wird nun ein Stromstoß durch die Spulen k und l in eine solche Richtung gegeben, dass Polschuh p zu einem Südpol, o zu einem Nordpol, m zu einem Nordpol und n zu einem Südpol werden, wird offensichtlich der Ferroxdure-Magnet durch l abgestossen und durch k angezogen. Der Magnet kippt also in die andere Lage und hält sich nach Beendigung der Stromstöße selbst dort fest. Ein Stromstoß in entgegengesetzter Richtung bewirkt, dass der Magnet wieder die ursprüngliche Lage einnimmt. Diese Stromstöße werden von der Umkehrstufe ok geliefert, die im vorigen Kapitel beschrieben wurde (Abb. 32). Da es nicht immer sicher ist, dass die Brücke h/i dem Magneten direkt folgen kann — infolge einer mechanischen Belastung während des Laufens kann der Stift seitlich in der Scheibe festsitzen — ermöglicht die Blattfeder, dass der Magnet trotzdem umkippen kann. Der dadurch entstehende Druck auf die Brücke h/i bewirkt, dass sie bei der ersten sich bietenden Gelegenheit nachfolgt.

An beiden Hinterläufen sind die Spulen der Elektromagneten in Serie geschaltet und so angeschlossen, dass dieselbe Drehrichtung an beiden Läufen blockiert ist.

IV.1.3. Das Steuerorgan

Da sich die beiden Hinterläufe stets in entgegengesetzter Richtung bewegen (wie übrigens auch der Hinter- und der Vorderlauf auf der gleichen Seite des Roboters), wird die Vorwärtsbewegung jeweils nur durch einen Hinterlauf bewirkt.

Die Entfernung zwischen dem antreibenden Hinterlauf und den Vorderläufen verändert sich also stets, und beim nächsten Schritt ist die Lage wieder verändert.

Darum ist es auch nicht möglich, zur Richtungsänderung die Vorderräder um den gleichen Winkel zu verstellen, weil dann erhebliche Kräfte in Richtung des Radachse auftreten könnten, die vor allem bei kleineren Kurven unzulässig hohe Werte erhalten könnten.

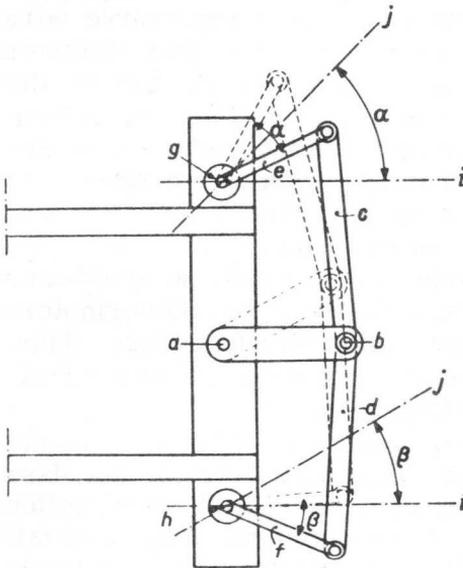


Abb. 36. Prinzip des Steuermechanismus (Vorderläufe). Beschreibung s. Text.

Um zu vermeiden, dass solche Kräfte auftreten, wählten wir die im folgenden beschriebene Konstruktion für das Steuerorgan. Die Hauptelemente der Konstruktion sind in Abb. 36 in Draufsicht wiedergegeben. Der senkrechte,

mit dem Hebel $a - b$ fest verbundene Bolzen a wird durch den Steuermotor gedreht, so dass dieser Hebel über das Gelenk b und die Hebel c und e den senkrechten Bolzen g und über die Hebel d und f den Bolzen h drehen kann.

An den Bolzen g und h sind die Gelenke befestigt, in denen sich die Vorderläufe in der senkrechten Ebene vor und zurück bewegen können. In der Mittelstellung, die in der Abb. 36 mit ausgezogenen Strichen dargestellt ist, erfolgt diese Bewegung in den senkrecht durch die Geraden i durchlaufenden Ebenen. Wird nun der Mittelbolzen a entgegen dem Uhrzeigersinn gedreht, wie in der Abb. 36 gestrichelt angedeutet ist, dreht sich, da die Hebel c bzw. d länger sind als die Strecke $g - a$ bzw. $h - a$, der Bolzen g um einen grösseren Winkel als der Bolzen h ($\alpha > \beta$). Die durch j laufenden senkrechten Ebenen, in denen sich die Vorderläufe jetzt bewegen können, stehen nicht mehr parallel zueinander. Der Vorderlauf in der Innenkurve wird stärker gedreht als der in der Aussenkurve. Bei richtiger Wahl der Längen c , e , d und f kann man die Kräfte, die beim Laufen in einer Kurve seitlich auf die Vorderräder einwirken, auf einen geringfügigen Rest reduzieren. Solange die Steuerung sich einstellt, kann es trotzdem vorkommen, dass sich die Entfernung zwischen den Vorderrädern so stark verändert, dass Seitenkräfte hierbei auftreten. Geschieht dies während des Laufens, so schadet es nichts: infolge der begrenzten Leistung des Steuermotors verändert sich die Richtung automatisch gerade dann, wenn die Läufe ungefähr senkrecht stehen. In dieser Stellung treten nämlich keine Seitenkräfte auf.

Da aber die Steuerstellung auch geändert werden muss, wenn der Roboter still steht, liegt es auf der Hand, dass man den Antriebsmotor in dem Zeitpunkt ausschalten muss, in dem die Läufe senkrecht stehen. Dies wird mit Übernahmekontakt UC in Abb. 30 bewirkt. Dieser Kontakt ist normalerweise geschlossen, wird jedoch in einem kleinen Winkelbereich durch eine Nockenscheibe unterbrochen, wenn die Läufe die senkrechte Stellung passieren. Das den Antriebsmotor steuernde Relais kann also nur in dieser Stellung ausgeschaltet werden. Der Antriebsmotor schlägt

beim Ausschalten etwas zurück; um die richtige Stellung zu erreichen, wird das Abfallen des Relais ReM durch den parallelgeschalteten Elektrolytkondensator C_1 (Abb. 30) etwas verzögert.

IV. 1. 4. *Federnde Aufhängung*

Da es in dem Roboter verschiedene sehr empfindliche Mikrofonschaltungen gibt, wurde viel Sorgfalt auf eine genügende Isolierung der Verstärker gegen Geräusche, die der Roboter selbst erzeugt, aufgewendet. Diese Geräusche werden hauptsächlich von den verschiedenen Motoren und mechanischen Übertragungen erzeugt und können trotz sorgfältigster Konstruktion nicht ganz vermieden werden. Ihre Ursache sind mechanische Schwingungen, die sich nicht nur über die Luft, sondern auch direkt über die Metallkonstruktion des Roboters fortpflanzen und die Mikrofone und sogar die ersten Verstärkerröhren beeinflussen können.

Um eine Störung zu vermeiden, sind die Fassungen dieser Röhren federnd auf den Chassis angebracht, die ihrerseits mit Gummiblöcken am Gestell befestigt sind. Die Motoren selbst sind ebenfalls nach Möglichkeit auf Gummi montiert, so dass sie ihre Schwingungen an möglichst wenige Schaltelemente abgeben können. Letztlich ist jedoch die Aufhängung der Mikrofone am wichtigsten. Die Kristallmikrofone für die 600- und 400 Hz-Signale sind, vor allem für mechanische Schwingungen, besonders empfindlich. Sie sind darum in einem Ring aus Schaumlatex befestigt und mit diesem in ein mit Watte gefülltes Kunststoffgehäuse verpackt, wobei die Vorderseite natürlich freibleibt. Die Kunststoffgehäuse der beiden Mikrofone sind zusammen auf einer Kunststoffbrücke befestigt, die ihrerseits mit Gummiringen an der Kopfkonstruktion aus Kunststoff aufgehängt ist. Die Lager der Halsachse sind schliesslich noch mit einem Gummiring isoliert. Die Verpackung der Mikrofone in Watte hat noch den weiteren Zweck, die Rückwärtsempfindlichkeit des Mikrofones so klein wie möglich zu halten. Diese wurde hierdurch so

klein, dass man die 600- und 400 Hz-Mikrofone, die Ohren des Roboters, mit Kunststoffzylindern versehen konnte, die als Ohrmuscheln dienen und infolge der Verbreiterung der Basis den Phasenunterschied vergrössern, ohne dass die Entfernung zwischen den Mikrofonen unhandlich gross gehalten zu werden braucht. Als Entfernung zwischen den Mikrofonen kann nun die Entfernung zwischen den Öffnungen der Kunststoffzylinder angesehen werden; dies kommt dem Aussehen des Kopfes zugute.

Bei dem Mikrofon des Radarsystems bietet die grosse Rückwärtsdämpfung den Vorteil, dass Echosignale, die aus dem Inneren des Roboters zurückgeworfen werden, geringeren Einfluss ausüben. Um diesen Einfluss noch kleiner zu halten, ist die Rückseite des Lautsprechers, der die Radarsignale aussendet, mit einer Watteschicht abgedichtet.

IV. 2. Stromversorgung

IV.2.1. Heizspannung

Multivibratorschaltungen, die in unserem Roboter in grosser Anzahl vorkommen, sind im allgemeinen gegen Heizspannungsschwankungen nicht sehr empfindlich. Infolge der hier angewendeten Serienschaltung der Heizfäden, mit der man auf einfache Weise negative Gitterspannungen erhält, hat jedoch eine Schwankung der Heizspannung zugleich eine Veränderung der negativen Vorspannung zur Folge, und diese beeinflusst die monostabilen Stufen. Eine zu hohe Heizspannung macht eine solche Stufe unempfindlicher und eine zu niedrige Spannung viel empfindlicher als bei normaler Einstellung. Um hierdurch entstehende Schwierigkeiten zu vermeiden, ist es zweckmässig, als Stromquelle einen Akku zu gebrauchen, der während der Entladung eine konstante Spannung hat.

Die Wahl fiel auf eine Silber-Zinkbatterie, welche diese Bedingung erfüllt, wenn man von einer etwas höheren Spannung in der ersten Zeit nach dem Aufladen absieht. Aus-

serdem haben diese Akkus im Verhältnis zu ihrer Kapazität geringes Gewicht und kleine Abmessungen; dies war in unserem Fall ebenfalls sehr vorteilhaft. Bei monostabilen Multivibratorschaltungen treten auch erhebliche Anodenstromänderungen auf. Da die Anodenströme mehrere Röhren bei Serien-Schaltung der Heizfäden durch Heizfäden fließen, können hierdurch auch die negativen Gittervorspannungen sich ändern. Darum ist es zweckmässig und auch üblich, nicht mehr als drei Heizfäden in Serie zu schalten und die Verbindungspunkte mehrerer derartiger Spannungsgruppen von 4 V an eine Stromquelle mit niedrigem Innenwiderstand anzuschliessen. Auf diese Weise wird auch die Gefahr einer Mit- oder Gegenkopplung zwischen den Gruppen über die Heizfäden wesentlich verringert. An dem verwendeten Akku von 12 V kommen die Spannungen von 4 und 8 V nicht vor, weil jede Zelle eine Spannung von 1,5 V hat. Die von uns angewendete Lösung mit drei Trockenbatterien von je 4 V ist in Abb. 37 wie-

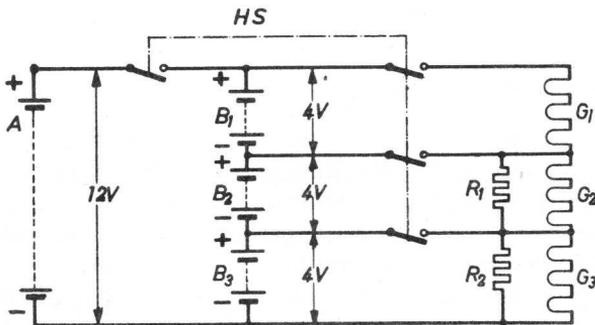


Abb. 37. Anschluss der Heizkreise an den 12V-Akku unter Verwendung von drei Trockenbatterien von je 4V. HS = 4-poliger Heizstromschalter. Beschreibung s. Text.

dergegeben, in welcher A den Akku, bestehend aus acht Elementen von je 1,5 V, und B₁, B₂ und B₃ die drei Trockenbatterien mit je 4 V darstellen. Mit dem Hauptschalter HS, der vierpolig ist, werden die Batterien paral-

lel zum Akku und die drei Heizfadengruppen G_1 , G_2 und G_3 parallel zu den Batterien geschaltet. Die Widerstände R_1 und R_2 sind so bemessen, dass der durch sie fließende Strom gleich dem mittleren Katodenstrom der Gruppen G_1 bzw. $G_1 + G_2$ ist (der mittlere Katodenstrom der Gruppe G_3 fließt direkt zum negativen Pol der Anodenspannungsquelle). Hiermit wird also erreicht, dass der Strom durch die beiden mittleren Schalter 0 ist. Nur die Abweichungen vom mittleren Katodenstrom müssen jetzt noch durch die Trockenbatterien geliefert bzw. von dieser aufgenommen werden, so dass ihre Lebensdauer sehr gross ist. Nur wenn die Batterien neu sind und ihre *EMK* noch grösser als 4 V ist, müssen sie einen Ausgleichstrom liefern. Da der gesamte Heizstrom 600 mA ist, wird der stabile Zustand jedoch sehr schnell erreicht. Der von den Trockenbatterien gelieferte Strom nimmt dann allmählich ab und erreicht den Wert 0, wenn seine *EMK* ebenfalls 4 V geworden ist. Der Innenwiderstand ist aber noch genügend niedrig, um die Punkte von 4 V und 8 V genügend festzuhalten, wenn der Katodenstrom sich ändert.

IV. 2. 2. Anodenspannung

Es ist bekannt, dass Multivibratorschaltungen sehr empfindlich gegen Schwankungen der Anodenspeisespannung sind. Darum muss diese Spannung stabilisiert werden, was am besten elektronisch durchgeführt wird, da man dadurch einen sehr niedrigen Innenwiderstand erhält.

Eine gebräuchliche Schaltung zur Stabilisierung einer Gleichspannung ist in Abb. 38 in vereinfachter Form wiedergegeben.

V_r ist die nicht stabilisierte Eingangsspannung, V_{st} die stabilisierte Ausgangsspannung. Der gesamte entnommene Strom fließt durch die Röhre B_1 . Über den Widerstand R_2 fließt durch die Vergleichsspannungs-Röhre B_2 der erforderliche Ruhestrom, so dass die Katode von B_2 ein stabilisiertes Potential von 85 V bezüglich Masse hat. Gitter- und Schirmgitterspannung von B_2 werden durch die Widerstände R_3 , R_4 und R_5 bestimmt und sind so gewählt,

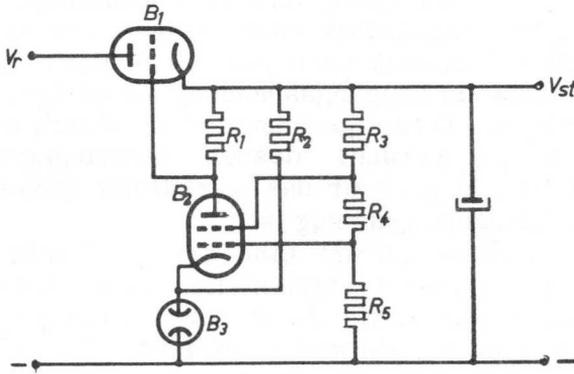


Abb. 38. Prinzip einer gebräuchlichen Schaltung für Stabilisierung der Ausgangsspannung V_{st} .

dass ein mittlerer Anodenstrom durch B_2 fließt, der über den Anodenwiderstand R_1 die negative Gitterspannung für die Regelröhre B_1 erzeugt. Wenn die Ausgangsspannung V_{st} dadurch fällt, dass mehr Strom entnommen wird, fallen auch die Steuergitter- und Schirmgitterspannung, wodurch der Anodenstrom in B_2 und damit auch die Gitterspannung für B_1 fallen. Diese Röhre liefert also mehr Strom, wodurch die Spannung V_{st} wieder ansteigt. Damit die Regelung arbeitet, muss natürlich eine Abweichung von V_{st} vorhanden sein. Je grösser jedoch die Spannungsverstärkung zwischen V_{st} und dem Steuergitter von B_1 (über B_2) ist, desto genauer ist die Stabilisierung. Auch eine Schwankung der Eingangsspannung V_r wird offensichtlich hierdurch kompensiert.

Wenn man diese sonst gut geeignete Schaltung in unserem Roboter anwenden will, zeigen sich jedoch einige Nachteile.

Da der gesamte entnommene Strom durch die Regelröhre fließt, und dieser Strom in unserem Fall maximal 160 mA beträgt, wären eine oder mehrere sehr leistungsfähige Röhren erforderlich, welche zwangsläufig einen hohen Heizstromverbrauch hätte. Da der Heizfaden ein Po-

tential von 100 V gegen Masse hat, wäre auch ein besonderer Speiseakku für diese Heizfäden notwendig. Schliesslich benötigt die Regelröhre eine Anodenspannung von mindestens 150 V, um den oben genannten Strom liefern zu können, so dass die Eingangsspannung V_r wenigstens 250 V betragen müsste. Diese Spannung müsste durch einen Zerschacker erzeugt werden, dessen Wirkungsgrad umso schlechter ist, je grösser das Verhältnis zwischen Ausgangs- und Eingangsspannung ist.

Wir verwendeten darum eine andere Stabilisierungsmethode, bei der eine Zusatzlast-Röhre parallel zum Verbraucher geschaltet wird. Diese Röhre braucht nicht mehr Strom aufzunehmen, als der maximalen Schwankung entspricht, die auftreten kann; in unserem Fall beträgt diese etwa 30 mA. Berücksichtigen wir eine kleine Reserve, erhöht sich der Strom auf etwa 40 mA.

Zwei Subminiaturtrioden der Type EC 70 in Parallelschaltung können bei 100 V Anodenspannung einen Strom von 50 mA aufnehmen. Dieser Bereich genügt völlig zur Stabilisierung der Spannung bei den gegebenen Schwankungen des entnommenen Stromes.

Die verwendete Schaltung ist in Abb. 39 wiedergegeben. Die Vergleichspannungs-Röhre B_5 (85 A2) erhält den erforderlichen Ruhestrom über R_{13} . Da die Spannung an B_5 konstant ist, erscheint eine Schwankung der Ausgangsspannung V_{st} unverändert an R_{13} und gelangt über R_{10} an das Steuergitter von B_4 . Diese Änderung wird in den Röhren B_4 und B_3 beträchtlich verstärkt und über die Batterie Ba den Steuergittern der Zusatzlast-Röhren B_1 und B_2 zugeleitet. Die Röhren B_1 bis B_4 sind als Gleichspannungsverstärker geschaltet. Die Gegenkopplung, die infolge der Katodenwiderstände R_8 und R_9 auftritt und die Verstärkung verringert, wird dadurch niedrig gehalten, dass über R_5 und R_7 ein konstanter Strom durch diese Widerstände fliesst, der im Verhältnis zum Katodenstrom gross ist.

Das mittlere Gitterpotential von B_4 beträgt + 16 V; das Katodenpotential von B_4 kann mit R_{12} auf etwa 16,5 V eingestellt werden, so dass die Röhre eine Gitterspannung von etwa -0,5 V hat. Das Anodenpotential von B_4 und da-

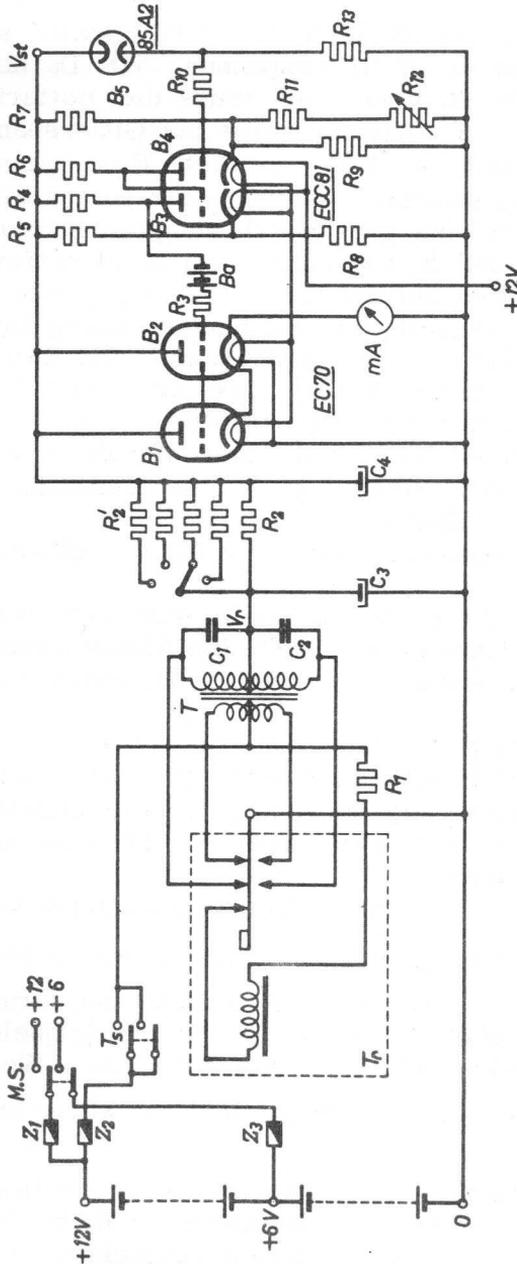


Abb. 39. Der bei unserem Roboter verwendete Stromversorgungsteil. Die Ausgangsspannung V_r von 160 V erhält man aus dem 12V-Akku über den selbstgleichrichtenden Zerkacker T_r und den Transformator T. Über den einstellbaren Widerstand R_2 erhält man aus dieser Spannung die Ausgangsspannung V_{st} (100V), die durch Regelung über die Zusatzlast-Röhren B_1 und B_2 stabilisiert wird. Die Heizfäden der Röhren $B_1 \dots B_4$ werden aus dem 12V-Heizspannungsakku aus Abb. 37 gespeist.

- Z1 = 10 A
- Z2 = 6 A
- Z3 = 6 A
- R1 = 18 Ohm
- R2-R2' = 375 Ohm
- R3 = 100 K
- R4 = 100 K
- R5 = 33 K
- R6 = 330 K
- R7 = 39 K
- R8 = 18 K
- R9 = 8 K 2
- R10 = 22 K
- R11 = 18 K
- R12 = 100 K
- R13 = 4 K 7
- Regelwiderstand = 33 K
- C1 und C2 = 50 μ F
- C3 und C4 = 50 μ F
- Ba = Trockenbatterie 67,5 V
- MS = Hauptschalter für die Motoren
- TS = Hauptschalter für den Zerkacker
- Tf = Zerkacker Philips Typ AP 6002
- B1 und B2 = EC 70
- B3 bis B4 = ECC 81
- B5 = 85 A2.

mit das Gitterpotential von B_3 ist auf 39 V eingestellt, so dass diese Röhre auch -0,5 V Gitterspannung hat. Da das Anodenpotential von B_3 66 V beträgt, muss die Batterie Ba eine Spannung von 67,5 V haben, damit die Gitterspannung der Röhren B_1 und B_2 -1,5 V beträgt. Eine kleine Erhöhung der Ausgangsspannung infolge einer geringeren Stromentnahme hat nun eine grosse Erhöhung der Steuer-gitterspannung von B_1 und B_2 zur Folge. Der Anodenstrom in diesen Röhren steigt so weit an, dass durch die grössere Belastung der Spannungsquelle die Ausgangsspannung sich auf fast den ursprünglichen Wert zurückregelt. Die Regelung funktioniert also in der Weise, dass bei einer Abnahme des Verbraucherstromes die Differenz durch die Zusatzlast-Röhren fliesst bzw. bei einer Zunahme des Verbraucherstromes der Strom durch die Zusatzlast-Röhren um die Differenz abnimmt.

Die Belastung der Spannungsquelle ist also annähernd konstant.

Weitere Teile dieser Spannungsquelle sind der Zerhacker Tr und der Transformator T die die Akkuspannung von 12 V in eine Gleichspannung von 160 V bei voller Belastung umformen.

Es müssen folgentlich 60 V über den Widerstand R_2 abfallen. Dieser dient nicht nur zusammen mit C_4 als Sieb-glied, sondern ist gleichzeitig notwendig, um die Zusatzlast-Röhren gegen Überlastung zu schützen. Dies sei im Folgenden näher erläutert:

In unserem Fall hat, bei einer Eingangsspannung von 160 V, R_2 einen Wert von $\frac{60.000}{160} = 375$ Ohm. Es ergibt sich eine Verlustleistung von beinahe 10 W; man könnte darum fragen, warum beispielsweise nicht eine Spannungsquelle von nur 110 V verwendet wird. R_2 hatte dann eine Wert von $\frac{10.000}{160} = 62,5$ Ohm, und die Verlustleistung würde nur 1,6 W betragen.

Man kann die Belastung mit der Stabilisierungsschaltung als eine Gegen-EMK mit einem sehr niedrigen R_i für die Spannungsquelle (die Zerhackeranordnung) betrachten.

Nimmt die Speisespannung um 10% zu — z.B. wenn der Akku frisch aufgeladen ist — hat auch die Ausgangsspannung die Tendenz zu steigen. Durch die Regelung nimmt jedoch der Strom durch die Zusatzlast-Röhren um soviel zu, dass die Spannung 100 V bleibt. Bei einer Eingangsspannung von 110 V würden 10% Zunahme 11 V bedeuten, die über den Widerstand R_2 (62,5 Ohm) abfallen würden, d. h. der Strom durch diesen Widerstand erhöht sich um 176 mA. Dieser zusätzliche Strom müsste von den Zusatzlast-Röhren geliefert werden, die hierfür nicht ausgelegt sind und überlastet würden, so dass die Regelung nicht mehr arbeiten würde.

Bei einer Eingangsspannung von 160 V und einem Widerstand R_2 von 375 Ohm ergibt eine Spannungszunahme von 10% an 375 Ohm einen zusätzlichen Abfall von 16 V; dies entspricht einem zusätzlichen Strom von 43 mA durch die Zusatz-Röhren.

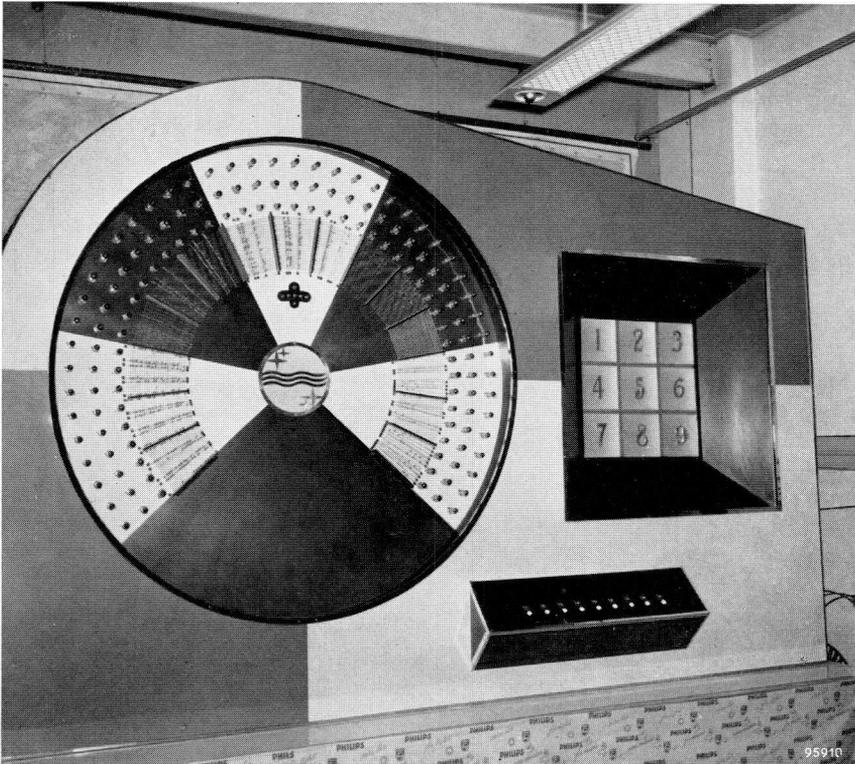
Obwohl dieser Wert noch verhältnismässig hoch ist, bedeutet er doch eine mehr als vierfache Verbesserung gegenüber dem obengenannten. In dieser Beziehung wäre eine höhere Speisespannung und damit ein höherer Wert von R_2 noch günstiger, aber durch die höhere Verlustleistung von R_2 würde der Wirkungsgrad immer schlechter; es ginge damit der Vorteil gegenüber der Schaltung von Abb. 38 verloren. Da wir für die Umkehrstufe eine Spannung von 160 V benötigen, wurde dieser Wert für die Speisespannung gewählt.

Die Akkuspannung darf hierbei maximal um 5% schwanken. Hierin ist nicht nur die allmähliche Abnahme während der Entladung, sondern auch die Schwankung bei einer zeitlichen grossen Belastung einbegriffen, die z. B. bei Ein- bzw. Ausschaltung des Antriebsmotors und/oder der anderen Motoren entsteht, die über Z_1 bzw. Z_3 und M. S. (s. Abb. 39) von demselben Akku gespeist werden (s. auch Abb. 30). Auch hier wird ein Silber-Zink-Akku verwendet, der nicht nur eine konstante Spannung während der ganzen Entladungsperiode hat, sondern auch einen sehr niedrigen Innenwiderstand.

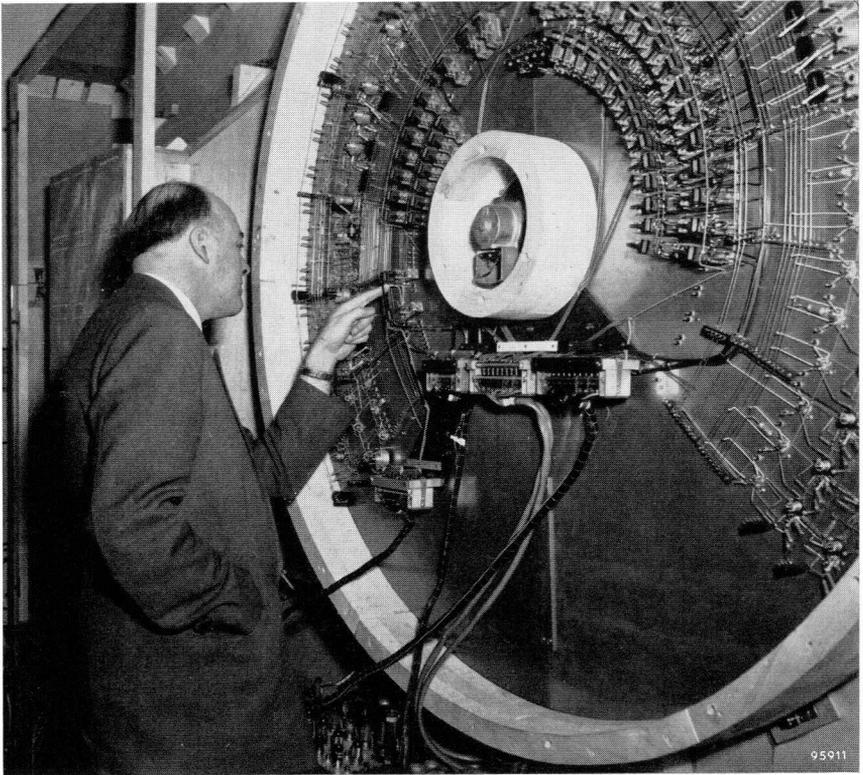
Obwohl die Akkuspannung sich nicht mehr als um die

oben angegebenen 5% ändert, waren vor allem beim Ein- und Ausschalten des Antriebsmotors die Spannungssprünge so gross, dass es nicht empfehlenswert schien, die Heizfäden aus demselben Akku zu speisen. Darum wurde ein getrennter Heizstrom-Akku eingesetzt.

Unmittelbar nach dem Aufladen solcher Akkus liegt die Spannung kurze Zeit über dem Nennwert. Um eine Überlastung zu verhindern, kann man den Widerstand R_2 in gewissen Grenzen umschalten. Mit einem Stufenschalter kann der Strom durch die Zusatzlast-Röhren auf etwa 40 mA eingestellt werden; hierfür liegt in der Katodenleitung dieser Röhren ein Milliampereometer. Dieses Messinstrument kann mit einem hier nicht eingezeichneten Wahlschalter ebenfalls zur Kontrolle einer Anzahl von Speise- und Regelspannungen in der Roboter-Schaltung verwendet werden.



Vorderseite des NK-Spieles. Die Vorderseite des stationären Roboters, der in der Lage ist, das bekannte Null und Kreuze Spiel fehlerlos zu spielen. Links in dem großen Kreis die verschiedenen Röhren und das Dioden-Netzwerk des elektronischen Teiles. In der Mitte des Kreises die Lautsprecheröffnung für die Wiedergabe des Siegesrufes. Darüber die Fehlerschaltung mit den Signallämpchen für die gegebenen taktischen Spielfehler. Rechts sieht man das Viereck mit den neuen Spielfeldern, die durch rotes oder grünes Licht den Stand des Spieles angeben. Darunter befindet sich das Bedienungspult mit den Druckknöpfen für den menschlichen Gegenspieler.



Rückseite des NK-Spiels, Rückseite des stationären Roboters. Man erkennt einen Teil der Verdrahtung des kreisförmigen elektronischen Teiles. Die Verbindungen des Speiseteils (unten im Schrank) mit dem Spielfeld laufen über mehrpolige Stecker, um das Ganze leicht demontierbar zu machen.

KAPITEL V

ELEKTRONISCH DENKEN

V. 1. Einiges über denkende Maschinen

In Kapitel III wurden elektronische Gehirne beschrieben, die bestimmte Reaktionen bei bestimmten Umwelteinflüssen auslösen können. Diese Reaktionen standen von Anfang an fest und waren eigentlich nur mit dem zu vergleichen, dass wir bei Mensch und Tier Reflexbewegung nennen. In diesem Kapitel aber wollen wir uns mit elektronischen Gehirnen befassen, die auf sich ändernde Einflüsse reagieren und bei denen die Reaktion, die aus einer Anzahl von Möglichkeiten eine Auswahl trifft, stets solcher Art ist, dass ein Mensch hierüber eine Zeitlang nachdenken müsste.

Diese elektronischen Gehirne verrichten also Denkarbeit, und die Reaktion verrät ein gewisses Mass von Denkvermögen. Dieses Denkvermögen oder, mit anderen Worten, dieser Intellekt wurde vom Konstrukteur festgelegt, er kann also niemals grösser sein, als im Ermessen des Konstrukteurs liegt. Er gilt auch ausschliesslich für das Gebiet, für welches das Gerät entworfen wurden, d. h. also, er ist im Vergleich zum menschlichen Gehirn sehr einseitig. Auf seinem eigenen Gebiet ist er jedoch ganz und gar spezialisiert. Unbeeinflusst von allen möglichen Umständen, die beim Menschen auf die richtige und schnelle Reaktion ungünstig einwirken können, hat ein solches Gerät stets die richtige Antwort zur Verfügung. Darüber hinaus lässt sich die Reaktionsgeschwindigkeit so sehr erhöhen, dass sie viel grösser ist als bei einem Menschen unter den allergünstigsten Umständen. Es handelt sich also um eine sehr weit durchgeführte Spezialisierung. Auf diesem Prin-

zip beruhen elektronische Rechenmaschinen, welche die schwierigsten algebraische Probleme in einem Bruchteil der Zeit lösen, welche der beste Mathematiker hierfür benötigt. In diese Kategorie lassen sich auch die Sortierungs- und Zählmaschinen einreihen, mit welchen man die komplizierteste Buchhaltung automatisieren kann.

Da ein solches Gerät trotz seiner Einseitigkeit mit sehr vielen Möglichkeiten rechnen muss, ist es meistens sehr kompliziert und daher kostspielig. Um die Möglichkeiten, welche die moderne elektronische Wissenschaft auf diesem Gebiet zu bieten vermag, in übersichtlicher Form vorführen zu können, haben wir ein Demonstrationsgerät entwickelt, welches für ein verhältnismässig einfaches Spiel spezialisiert ist, das in einem grossen Teil Europas und vielleicht auch über Europas Grenzen hinaus fast allgemein bekannt ist. Ausserdem lässt es sich sehr schnell erlernen, so dass man sich nach kurzer Zeit mit dem auf diesem Gebiet spezialisierten Roboter messen kann.

V. 2. Ein einfaches Spiel

Da das kleine Spiel, für welches unser Apparat spezialisiert ist, in den verschiedenen Ländern nicht den gleichen oder überhaupt keinen Namen hat *), wollen wir das Prinzip an Hand von Abb. 40 kurz erklären.

Der eine Spieler setzt ein Kreuz, der andere einen Kreis. Man muss nun versuchen, seine drei Kreuze bzw. drei Kreise in eine Reihe zu bekommen. Diese Reihe kann entweder waagrecht (drei Möglichkeiten), oder senkrecht (drei Möglichkeiten) und auch diagonal (zwei Möglichkeiten) laufen. Nach Beendigung des Spieles gibt es wiederum drei Möglichkeiten: 1. liegen drei Kreuze in einer Reihe, hat der eine Spieler gewonnen (Abb. 40b); 2. liegen drei Kreise in einer Reihe, hat der andere Spieler gewonnen (Abb. 40c); 3. sind alle Felder besetzt, aber nirgends mit

*) In Deutschland dürfte das Prinzip dieses Spieles unter dem Namen "Mühle" allgemein bekannt sein. Jedoch ist das Mühlespiel komplizierter und wird nicht mit Kreuzen und Kreisen, sondern mit schwarzen und weissen Steinen gespielt.

drei Kreuzen oder Kreisen in einer Reihe, so ist das Spiel unentschieden (Abb. 40d).

1	2	3
4	5	6
7	8	9

a

+	0	+
	+	0
+		0

b

0	0	0
	+	
	+	+

c

0	+	0
+	+	0
0	0	+

d

Abb. 40. Das Prinzip des Spieles.

- a. Die neun Felder, auf denen gespielt wird.
- b. Endstand der Partie; der Spieler mit den Kreuzen hat gewonnen.
- c. Endstand der Partie; der Spieler mit den Kreisen hat gewonnen.
- d. Unentschiedener Endstand.

Wenn beide Spieler fehlerlos spielen, läuft das Spiel stets unentschieden aus. Ohne nun alle Möglichkeiten dieses Spieles erschöpfend zu behandeln — hierüber gibt es bereits genügend Literatur — wollen wir kurz einige Grundregeln nennen.

Wenn man gewinnen will, muss man versuchen zwei Reihen vorzubereiten, ohne das der Gegner dies merkt. Es stellt sich heraus, dass der stärkste Anfangszug die Besetzung eines Eckfeldes ist. Damit überstreicht man drei Reihen, nämlich eine waagerechte, eine senkrechte und eine diagonale. Der stärkste Gegenzug hierauf ist die Besetzung eines Feldes in der Mitte, denn man blockiert hierdurch eine Reihe des Gegners und erhält selbst auch drei freie Reihen. Diese Situation ist in Abb. 41 a und b

1	2	0
4	5	6
7	8	9

a

1	2	0
4	+	6
7	8	9

b

1	2	0
4	+	6
7	0	9

c

+	2	0
4	+	6
7	0	9

d

+	2	0
4	+	6
7	0	0

e

Abb. 41. a. Erster Zug
 b. Erster Gegenzug
 c. Zweiter Zug
 d. Zweiter Gegenzug
 e. Dritter Zwangszug, der jedoch den Gewinn herbeiführt.

wiedergegeben. Beim zweiten Zug setzt man am besten auf ein Feld, welches den Gegner nicht unmittelbar zu einem bestimmten Gegenzug zwingt (also nicht 1 - 2 - 6 - 9 - sondern beispielsweise 8). Hierdurch verführt man den Gegner zur Besetzung einer Ecke (Abb. 41d). Der dritte Zug ist stets ein Zwangszug, in diesem Fall (9) jedoch sehr vorteilhaft, weil nun zwei Reihen mit je zwei besetzten Feldern entstehen (3 - 6 - 9 - und 7 - 8 - 9). Als Antwort kann der Gegner mit dem folgenden Zug nur 6 oder 7 besetzen, aber beim vierten Zug hat man dann mit 7 bzw. 6 gewonnen. Der zweite Antwortzug (1) was also falsch und führte zum Verlust. Wenn ein Spieler eine Reihe besetzt hat, so hat er das Spiel gewonnen und braucht keinen weiteren Zug mehr folgen zu lassen, wenn auch der Verlierer seine eigene Reihe noch vervollständigen könnte.

V. 3. Analyse des Spieles

Wenn man das Spiel analysiert, d. h. wenn man alle Möglichkeiten untersucht, die zu einem möglichst günstigen Ergebnis führen, stellt es sich schnell heraus, dass es zwei Arten von Zügen gibt, nämlich freie Züge und Zwangszüge.

Zu Beginn des Spieles handelt es sich naturgemäss um einen freien Zug; man ist noch frei in der Auswahl des Feldes, ohne unmittelbar in Gefahr zu kommen, durch den folgenden Zug des Gegners geschlagen zu werden. Beim folgenden Zug kann es bereits geschehen, dass die Gegenpartei irgendwo schon zwei Felder in einer Reihe besetzt hat. Nun muss man das dritte Feld sofort besetzen, weil man ja sonst das Spiel verliert; dies ist also ein Zwangszug.

Gewöhnlich ist es so, dass man seine Position mit einem Zwangszug nicht verbessert sondern verschlechtert; bedeutet der Zwangszug dennoch eine Verbesserung, so hat der Gegner, der diesen Zwangszug verursacht hat, einen Fehler gemacht, der meistens mit sich bringt, dass er verliert.

Wenn man das Spiel gut spielen will, muss man immer wieder seine Chancen abwägen und seinen Nutzen aus den Möglichkeiten eines freien Zuges ziehen. Weiter darf natürlich ein Zwangszug, ebensowenig wie eine unmittelbare Gewinnmöglichkeit, niemals übersehen werden. Ferner müssen natürlich die Spielregeln genau eingehalten werden, man darf also nur einen Zug machen, wenn man am Spiel ist, und keinen Antwortzug mehr, wenn man das Spiel verloren hat. Ein Roboter, der dieses Spiel fehlerlos spielen soll, ist also gezwungen, gleichfalls nach diesen Regeln zu arbeiten. Nach jedem Zug des menschlichen Gegners muss die neu entstandene Lage untersucht werden und eine richtige Reaktion darauf folgen. Diese Untersuchung kann man nun in vier Punkte unterteilen, die nacheinander geprüft werden müssen. Diese Punkte sind:

1. Nachprüfen, ob der Roboter verloren hat.
2. Untersuchen, ob sich für den Roboter eine unmittelbare Gewinnmöglichkeit bietet, die entsprechend ausgenützt werden muss,
3. Untersuchen, ob der menschliche Gegner bei seinem folgenden Zug eine unmittelbare Gewinnmöglichkeit hat und diese Möglichkeit vereiteln (Zwangszug).
4. Wenn die in den Punkten 1 bis 3 genannten Möglichkeiten nicht vorliegen, muss untersucht werden, welcher freie Zug die besten Gewinnmöglichkeiten liefert.

Das die angegebene Reihenfolge die einzig richtige ist, geht aus folgenden Überlegungen hervor:

Stellt der Roboter fest, dass die Partie verloren ist (1), darf kein Antwortzug folgen, während dies bei den anderen Zügen erforderlich ist. Die Verlustuntersuchung muss also erst abgeschlossen sein, bevor er mit den folgenden Prüfungen beginnen darf.

Punkt 2 muss vor 3 und 4 untersucht werden, weil der gewinnbringende Zug naturgemäss wichtiger und dringender ist als jeder andere Zug.

Die Untersuchung 3 hat Vorrang vor einem freien Zug, damit bei einem gut spielenden Gegner der sichere Verlust vermieden wird.

Da es durchaus vorkommen kann, dass bei einem be-

stimmt Stand des Spieles Antwortzüge möglich sind, die sowohl in die Gruppen 2, 3 und 4 fallen, während nach den Spielregeln nur ein Antwortzug gemacht werden kann, muss das angewendete System die Möglichkeit enthalten, die Untersuchung zu beenden, sobald eine Antwort gegeben ist.

Schliesslich besteht die Möglichkeit zweier gleichwertiger Antworten, die in dieselbe Gruppe fallen. Auch hierbei muss die Untersuchung ausgeschaltet werden, sobald eine Antwort gegeben ist. Es ist also auch in jeder einzelnen Gruppe eine Reihenfolge der Prüfungen erwünscht, die meistens willkürlich sein kann.

Anhand dieser allgemeinen Analyse ergibt sich, dass eine Kettenschaltung von monostabilen Multivibratorstufen im Verein mit einer Sperrstufe alle erforderlichen Elemente enthält.

Die Impulse folgen ja aufeinander in der Kettenschaltung mit den gewünschten Zeitunterschieden, die zwischen den Untersuchungen in den verschiedenen Gruppen und Teilgruppen liegen sollen, und die Sperrstufe ermöglicht es, diese Untersuchungen in jedem gewünschten Augenblick abzubrechen *).

V. 4. Praktische Ausführung des Roboters

Der Stand des Spieles wird durch rote und grüne Lampen angezeigt, die jedes der neun Spielfelder rot und grün aufleuchten lassen können. Grün gibt an, dass das Feld von dem menschlichen Gegner besetzt ist, Rot ist die Farbe des Roboters.

Die farbigen Lampen werden über Relais eingeschaltet. Die zu den grünen Lampen gehörenden Relais werden durch Drucktasten gesteuert, die an dem Roboter angebracht sind, die zu den roten gehörenden durch Thyratrons. Da ein Feld nicht gleichzeitig rot und grün sein darf, werden die entsprechenden Relais untereinander verriegelt, wie in

*) Man vergleiche: Multivibratorschaltungen von A.H. Bruinsma (Kapitel I. 1. 12).

Abb. 43. Übersichtsschema vom elektronischen Teil des spielenden Roboters. Die Röhren B₁ bis B₅₉ (soweit sie eingezeichnet sind) bilden die Kettenschaltung monostabiler Multivibratoren, welche phasenverschobene Impulse liefert, B₆₀ ist die Multivibratorröhre für die Gewinnstufe; B₆₁ bis B₁₀₇ (soweit sie eingezeichnet sind) sind die Torstufenröhren, welche durch die Impulse der Kettenschaltung an der Anode aufgetastet werden. Sind die Steuergitter dieser Röhren bezüglich + 60 Volt positiv oder negativ, entstehen zu den Katodenanschlüssen dieser Röhren (Anschluss 1 bis 9) positive Impulse. Die Anschlüsse 1 bis 9 sind an die Gitterkreise der Thyratrons B₁₁₀ bis B₁₁₈ geführt, welche die Relais R₁ bis R₉ bei einem Impuls auf den betreffenden Leitung zum anziehen bringen.

B₁₀₈ steuert das Verlustrelais V, B₁₀₉ das Gewinnrelais W. Die Katoden aller Thyratrons (ausser B₁₀₉) sind an die Katodenimpulsleitung kp angeschlossen, auf welcher Zünden eines Thyratrons ein positiver Impuls entsteht, der die Sperrstufe mit den Röhren B₁₁₉ und B₁₂₀ steuert und die Kettenschaltung sperrt.

R1 = 2M2	R53 und R54 = 22 K (1 W)
R2 = 1M	R55 = 820 K
R3 = 1M	R56 = 100 K
R4 = 15 Ohm	R57 = 470 K
R5 = 1M2	R58 = 330 K
R6 und R7 = 2K2	R59 bis R62 = 18 K
R8 bis R16 = 22 K (1 W)	R63 bis R66 = 39 K
R17 und R18 = 120 K	R67 bis R70 = 330 K
R19 und R20 = 100 K	R71 bis R74 = Potentiometer 100 K
R21 = ± 75 Ohm (15 W)	R75 bis R78 = 2 K 2
R22 = 120 Ohm	R79 bis R82 = 120 K
R23 = 1 K	R83 bis R86 = 2 K 2
R24 = 1M	R87 bis R90 = 1M
R25 = 135 Ohm	R91 bis R94 = 220 K
R26 = Potentiometer 2 K	R95 und R96 = 15 K
R27 = 68 Ohm	R97 = 47 K
R28 = 100 K	R98 = 330 K
R29 = 22 K	R99 = 120 K
R30 = 2 x 5 K 6 (parallel)	R100 = Potentiometer 20 K
R31 = 1M	
R32 = 120 K	C1 = 100 K
R33 = 135 Ohm	C2 = 68 pF
R34 bis R42 = 180 K	C3 = 820 pF
R43 bis R51 = 1M	C4 = 10 x 50 µF (parallel)
R52 = 1 M 2	C5 und C6 = Trimmer 30 pF
C7 = 56 K	C14 bis C17 = 2 K 7
C8 = 8 µF	C18 bis C21 = 18 K
C9 = 100 µF	C22 bis C25 = 470 K
C10 = 68 pF	C26 bis C29 = 22 K
C11 = 10 K	C30 = 220 pF
C12 = 33 pF	C31 = 100 K
C13 = Trimmer 30 pF	C32 = 10 K
V, W, R ₁ , R ₂ und R ₃ = Relais mit zwei Wechselkontakten; Spulenzwiderstand 15.000 Ohm.	
G1 bis G4 = Germanium-Dioden OA 85.	

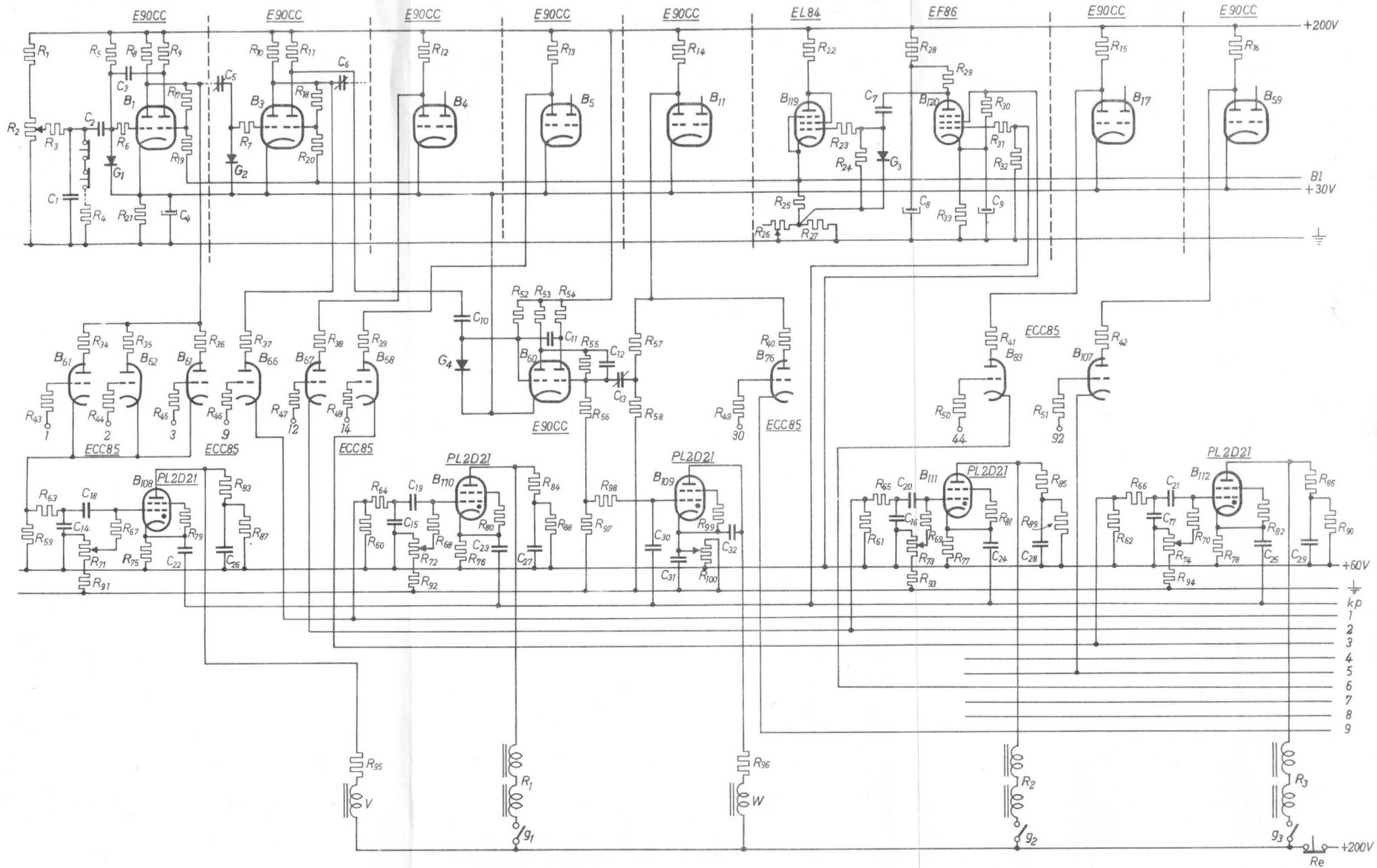


Abb. 42 für eines der neun Fächer angegeben ist. Aus dieser Abb. geht hervor, dass Relais G_1 beim Drücken der Taste 1 nur eingeschaltet wird, wenn das Relais R_1 nicht bereits angezogen ist. Relais G_1 bleibt dann durch den Selbsthaltekontakt (den untersten in der Reihe) angezogen. Mit demselben Kontakt wird gleichzeitig die Anodenspannung für das Thyatron unterbrochen, so dass Relais R_1 nicht mehr anziehen kann.

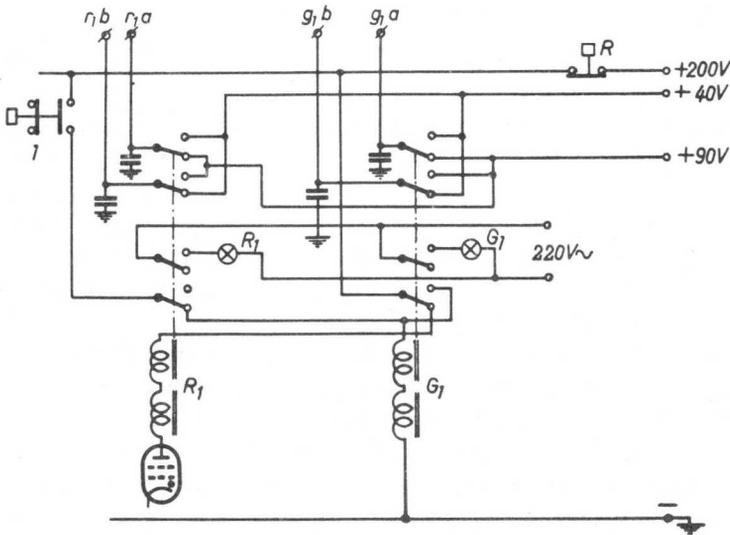


Abb. 42. Schaltung der Relais G_1 und R_1 vor Besetzung des Feldes 1 durch den Spieler bzw. den Roboter. Die Besetzung dieses Feldes wird den Spieler durch Aufleuchten der Lampen R_1 oder G_1 (Rot bzw. Grün) sichtbar gemacht; der Roboter wird hiervon durch das Potential der Anschlüsse g_1a , g_1b , r_1a und r_1b verabsichtigt.

Wenn jedoch die gasgefüllte Röhre noch vor Bedienung der Drucktaste gezündet wird, zieht Relais R_1 an und die rote Lampe R_1 leuchtet auf. Jetzt wird durch den untersten Relaiskontakt die Drucktaste für das Relais G_1 ausgeschaltet, so dass dieses nicht mehr eingeschaltet werden kann. Wenn ein bestimmtes Feld von dem Spieler oder dem

Roboter besetzt ist, so wird dies dem Spieler durch die Lampen G_1 und R_1 angezeigt, und der Roboter wird über die Anschlüsse g_1a , g_1b , r_1a und r_1b benachrichtigt.

Es gibt für jedes Feld drei Möglichkeiten, zu denen folgende Spannungen an diesen Anschlüssen zugeordnet sind:

1. das Feld ist frei (unbeleuchtet):

$g_1a = 90$ V
$g_1b = 40$ V
$r_1a = 90$ V
$r_1b = 40$ V
2. das Feld ist vom Roboter besetzt (rot):

$g_1a = 90$ V
$g_1b = 40$ V
$r_1a = 40$ V
$r_1b = 90$ V
3. das Feld ist vom Spieler besetzt (grün):

$g_1a = 40$ V
$g_1b = 90$ V
$r_1a = 90$ V
$r_1b = 40$ V

Die vierte Möglichkeit, dass ein Feld gleichzeitig rot und grün aufleuchtet, wird durch die gegenseitige Verriegelung der Relais verhindert.

Für alle neun Fächer ist die Schaltung der Relais gleich. Es gibt also neun Drucktasten für die Spieler, die entsprechend den dazu gehörenden neun Feldern von 1 bis 9 nummeriert sind. Es sind auch neun Thyatronen vorhanden, über welche die zugehörigen "roten" Relais eingeschaltet werden können. Für jedes der neun Felder gibt es die vier Anschlüsse, deren Potential den Stand des Spieles für den Roboter angibt.

Mit dem Druckknopf R kann man die Relais ausschalten. Da alle R - und G -Relais hinter diesem Druckknopf angeschlossen sind, kann das Spiel wieder in den Anfangszustand gebracht werden, bei dem kein Feld besetzt ist.

Bevor wir erfahren, wie der Roboter vom Stand des Spieles über die obenerwähnten Anschlüsse benachrichtigt wird und infolgedessen den Gegenzug bestimmen kann, sei zuerst beschrieben, wie ein solcher Gegenzug eigentlich zustande komme. Hierfür ist in der Abb. 32 ein Teil des Gesamtschemas wiedergegeben, in welchem die wichtigsten Elemente aufgenommen sind.

Wie aus der Abb. 42 hervorgeht, hat jede Drucktaste (1) einen Schliesskontakt, welcher das Relais G einschaltet, und einen Unterbrecherkontakt. In der Abb. 43 sehen wir, dass die Unterbrecherkontakte aller neun Drucktasten in Serie geschaltet sind und im Ruhezustand den Kondensator C_1 über R_4 (15 Ohm) kurzschliessen.

Drückt man, um einen Zug auszuführen, eine Taste, wird der zugehörige Kontakt aus der Serienschaltung der neun Kontakte geöffnet, und C_1 kann sich bis an die Spannung aufladen, welche durch das Potentiometer R_2 bestimmt wird. Gibt man den Knopf frei, so wird C_1 plötzlich durch R_4 kurzgeschlossen; hierdurch entsteht ein negativer Spannungssprung, der über C_2 an den ersten monostabilen Multivibrator (Röhre B_1) durchgegeben wird.

Da zwischen den neun Druckknöpfen und C_1 eine längere Leitung mit einer unvermeidlichen Selbstinduktion vorhanden ist, könnte bei der Entladung des Kondensators C_1 ein überschwingen entstehen, wodurch mehrere Impulse entstehen würden. Der Widerstand R_4 bewirkt, dass C_1 aperiodisch entladen und ein überschwingen vermieden wird.

Es sei kurz dargelegt, warum C_1 beim Drücken einer Taste nicht direkt, sondern mit einer verhältnismässig grossen Zeitkonstanten über R_3 aufgeladen wird.

Bekanntlich macht ein mechanischer Schalter selten direkt einen bleibenden Kontakt; es kommt fast immer vor, dass der Schalter einige Male hintereinander schliesst und öffnet, bevor er endgültig im Ruhezustand einen einwandfreien Kontakt macht. Diese "vorläufigen" Schliesszeiten liegen in der Grössenordnung von Millisekunden und spielen für normale Schalter keine Rolle, wenn man davon absieht, dass sich Funken bilden können. Hier ist jedoch dieses wiederholte Schliessen und Öffnen unzulässig, da hierdurch jedes Mal ein negativer Impuls erzeugt werden kann. Dies wird nun durch die Zeitkonstante $R_3 \cdot C_1$ vermieden. Beim ersten Schliessen kann sich C_1 so gut wie ganz entladen und den gewünschten negativen Impuls liefern. In der kurzen Zeit, in der sich der Kontakt aufs neue öffnet, kann sich C_1 infolge der Zeitkonstanten praktisch nicht aufladen. Wenn sich der Schalter, sei es auch mehr-

fach, schliesst, entsteht keine Entladung, und es kann sich kein negativer Impuls bilden.

Mit dieser einfachen Schaltung wurde erreicht, dass man beim Eindrücken *) und dem darauffolgenden Frei-geben des Bedienungsknopfes nur einen einzigen Impuls erzeugt, gleichgültig, ob man den Knopf schnell oder lang-sam bedient.

Besetzt man ein Feld, indem man die Drucktaste ein-drückt, so wird also ein negativer Impuls über C_2 der er-sten Stufe in der Kettenschaltung monostabiler Multivibra-torstufen zugeführt.

Diese Kettenschaltung besteht aus 59 Stufen mit den Röhren B_1 bis B_{59} .

In Abb. 43 ist zur besseren Übersicht nur die Schaltung von B_1 vollständig wiedergegeben, die der anderen Röhren ist entweder symbolisch dargestellt oder weggelassen. Sie sind alle identisch und haben zusätzlich am Gitter die Kom-bination $G_1 - R_6$, die, wie bekannt, verhindern, dass posi-tive Störspitzen am Gitter entstehen und dadurch zusätz-liche Impulse im weiteren Verlauf der Kettenschaltung auf-treten können. Alle 59 Röhren (E 90 CC) sind an ihren Ka-toden verbunden und haben einen gemeinsamen Katoden-widerstand R_{21} . Dieser ist aus zwanzig Widerständen mit je $1,5 \text{ k}\Omega$ (1 Watt) zusammengesetzt, die über die verfü-gbare Montagelänge verteilt sind. Der Glättungskondensator C_4 ist ebenfalls, und zwar aus zehn Kondensatoren von $50 \text{ }\mu\text{F}$, zusammengesetzt. R_{21} ist so gewählt, dass das Katodenpotential 30 V bezüglich Masse beträgt. Im Ruhe-zustand führt die linke Röhrenhälfte Strom; der Anoden-strom beträgt etwa $6,7 \text{ mA}$ je Röhre bei einer Speisespan-nung von 200 V und einem Anodenwiderstand R_8 von $22 \text{ k}\Omega$. Das Potential der linken Anode beträgt dann, bezogen auf Masse, 60 V . Das gleiche Potential haben damit auch die

*) Diese Schaltung hat auch Vorteile beim Eindrücken: Hierbei kann die Rei-henfolge ja sein, kurz öffnen, kurz schliessen, kurz öffnen, kurz schliessen, lang öffnen. Dabei kann also auch kein Impulse entstehen, da C 1 in den kurzen Öffnungszeiten sich nicht aufladen kann.

Anoden der Torstufenröhren B_{61} bis B_{107} . Der Gitterwiderstand R_{19} und die Gitterwiderstände aller folgenden Stufen sind mit der Sperrleitung Bl verbunden, welche durch den Katodenstrom der Sperrröhre B_{119} ein Potential von etwa + 8 V gegenüber Masse hat. Wir kommen hierauf später zurück. Die Impulsdauer jeder Stufe, die durch $R_5 = 1,2 \text{ M}\Omega$ und $C_3 = 820 \text{ pF}$ mitbestimmt wird, beträgt etwa 800 Mikrosekunden.

Da im ganzen 59 Impulse nacheinander entstehen können, beträgt die Zeit, die ein Impuls benötigt, um durch die ganze Schaltung zu laufen, etwa 48.000 Mikrosekunden oder weniger als eine zwanzigstel Sekunde. Eine kürzere Zeit zu wählen, was ohne weiteres möglich gewesen wäre, hätte hier wenig Sinn gehabt, weil stets auch ein Relais anziehen muss, dessen Anzugszeit allein schon in der gleichen Größenordnung liegt.

Wir wollen jetzt erläutern, wie eine gasgefüllte Endröhre von einer Torstufe gesteuert werden kann. Die verschiedenen Torstufenröhren sind über Anodenwiderstände von $180 \text{ k}\Omega$ (R_{34} usw.) mit den Multivibratorröhren entweder in Gruppen oder einzeln verbunden.

Wie bereits erwähnt, beträgt das Anodenpotential im Ruhezustand 60 V. Während eines Impulses steigt sie etwa $800 \mu\text{sek}$ lang auf fast 200 V. Die Katode der Torstufenröhre liegt allein oder mit anderen zusammen über einen Widerstand von $18 \text{ k}\Omega$ (R_{59} in Abb. 43 für die Torstufenröhren B_{61} und B_{62}) an einem Potential von 60 V. Im Ruhezustand beträgt die Anodenspannung der Torstufenröhren also 0 V, und es fließt kein Anodenstrom. Wenn das Steuergitter einer Torstufenröhre positiv ist, könnte jedoch ein Gitterstrom fließen, der am Katodenwiderstand eine positive Spannung erzeugen würde. Darum liegen in den Steuergitterleitungen aller Torstufenröhren Widerstände von $1 \text{ M}\Omega$ (R_{43} bis R_{51}), durch die der Gitterstrom und damit auch der resultierende Katodenstrom sehr niedrig gehalten wird (Katodenpotential $< 0,5 \text{ V}$).

Ist das Steuergitter einer Torstufenröhre positiv gegenüber der Katode, und gelangt zugleich ein Impuls auf die Anode, entsteht ein impulsförmiger Katodenstrom, der am

Katodenwiderstand eine Rechteckspannung von etwa 9 V erzeugt. Über das Filter $R_{63} - C_{14}$ und über C_{18} gelangt dieser Impuls an das Steuergitter des Thyratrons B_{108} , welches zündet und das zugehörige Relais zum Anziehen bringt. Dies bedeutet die Reaktion des Roboters. Da die Thyratrons mit 200 V Gleichspannung gespeist werden, bleibt die Röhre unabhängig von späteren Gitterspannungsänderungen gezündet. Nur wenn man die Speisespannung mit dem Druckknopf Re unterbricht, werden die Thyratrons ausgeschaltet und das Relais wieder in den Ruhezustand zurückgebracht.

Wenn das Steuergitter einer Torstufenröhre bezüglich der Katode so negativ ist, dass die Röhre gesperrt ist, fließt, auch wenn der Impuls an die Anode gelangt, kein Katodenstrom. Es entsteht jedoch dennoch an der Katode eine positive Störspitze. Diese rührt von der zeitlichen Aufladung der Anode-Katoden-Kapazität der Torstufenröhre auf die neue Spannung während des Impulses her. An der Katode der Torstufenröhre entsteht hierdurch zwar, wie im vorigen Fall, kein Rechteckimpuls, wohl aber ein Nadelimpuls. Die Amplitude dieses Nadelimpulses liegt jedoch in der Grössenordnung der Rechteckspannung, und könnte demnach das Thyatron ungewollt zünden. Um dies zu vermeiden, ist nun das Filter $R_{63} - C_{14}$ (und entsprechende Filter bei den anderen Röhren) angebracht. Die Zeitkonstante (etwa 100 μ sek) ist gross genug, um den Nadelimpuls am Gitter abzuschwächen (max. 1 V), während der gewünschte Rechteckimpuls unabgeschwächt, wenn auch abgerundet, durchgelassen wird. Es bleibt noch ein Unterschied von etwa 8 V zwischen dem gewünschten und dem unerwünschten Signal.

Die Gitterspannung des Thyratrons lässt sich mit dem Potentiometer R_{71} einstellen, das mit dem Widerstand R_{91} zwischen + 60 V und Masse angeschlossen ist. Da die Katode des Thyratrons an + 60 V gegenüber Masse liegt, kann die Gitterspannung auf etwa -5 V zur Katode eingestellt werden. Der Schirm ist über R_{79} mit der Katode der Röhre verbunden.

Durch den zugehörigen Impuls der Kettenschaltung kann

also ein Thyatron gezündet werden und eine Reaktion auf einen Zug des Spielers entstehen. Nach den Spielregeln darf aber nur eine Antwort gegeben werden, obwohl mehrere Torstufenröhren positive Gitterspannungen haben können und damit eine Antwort bereithalten.

Da es etwa $1/25$ Sekunde dauert, bis das Relais anzieht, und in dieser Zeit der Impuls beinahe die ganze Kettenschaltung durchlaufen hat, muss, bevor das Relais anzieht, der Hinweis gegeben werden, dass ein bestimmter Impuls eine Antwort eingeleitet hat, die zu einem bestimmten Zeitpunkt bevorsteht. Sonst besteht die Möglichkeit, dass mehrere Antworten gegeben werden.

Der Impuls, welcher den Hinweis auf eine bevorstehende Antwort gibt, wird aus dem positiven Spannungssprung am Katodenwiderstand des Thyatrons (R_{75} in Abb. 43) abgeleitet; dieser Spannungssprung entsteht beim Zünden einer Röhre. Um die Form des Impulses von der Selbstinduktion des Relais in der Anodenleitung unabhängig zu machen, wurde der Kondensator C_{26} in den Anodenkreis geschaltet, der sich beim Zünden der Röhre impulsförmig über R_{83} , den Innenwiderstand der Röhre und R_{75} entlädt. Der Impuls am Katodenwiderstand wird nun über C_{22} an die Katodenimpulsleitung $k\dot{p}$ wiedergegeben, an welche alle 10 Thyatrons angeschlossen sind (ausser B_{109}). Die Katodenimpedanz beträgt 220 Ohm, da R_{75} und die anderen Katodenwiderstände den Wert 2,2 k Ω haben.

Die Impulsamplitude in der Katodenimpulsleitung wird verzugsweise durch R_{83} bzw. die entsprechenden Widerstände der folgenden Stufen bestimmt und beträgt etwa 4 Volt. Diese Widerstände können nicht willkürlich verkleinert werden, da sonst Störschwingungen auftreten.

Die hochohmigen Widerstände R_{87} , R_{88} usf. entladen in den Betriebspausen die zugehörigen Kondensatoren. Wenn nämlich beispielsweise durch Drücken der entsprechenden Taste das Feld 1 vom Spieler besetzt wird, so wird, wie oben beschrieben wurde, die Anodenspannung des zugehörigen Thyatrons (B_{110}) unterbrochen. Infolge der guten Qualität der Kondensatoren würde sich die Spannung (140 V) an C_{27} lange Zeit halten. Bei einem Impuls am Gitter wür-

de dann durch die Entladung von C_{27} ebensogut ein Katodenimpuls entstehen, als wenn der Roboter eine Antwort gegeben hätte. Um dies zu verhindern, entladen die Parallelwiderstände bei Unterbrechung der Anodenleitung rechtzeitig die Kondensatoren.

Ein Impuls in der Katodenimpulsleitung gibt also eindeutig an, dass der Roboter geantwortet hat.

Dieser positive Impuls wird dem Steuergitter der Röhre B_{120} zugeführt, die im Ruhezustand über den Spannungsteiler $R_{30} - R_{33}$ an der Katode gesperrt ist. Der an der Anode dieser Röhre entstehende negative Impuls sperrt die Sperrröhre B_{119} vorübergehend. Die Spannung über dem Katodenwiderstand dieser Röhre bricht zeitlich zusammen; damit wird das Potential an der Sperrleitung B_1 , mit der die Gitter der Kettenschaltung verbunden sind, 0 V. Die resultierende Spannungsherabsetzung um etwa 8 V an dieser Leitung hat zwei Folgen:

1. Die Röhre der Kettenschaltung, die in diesem Augenblick gekippt ist und die Antwort des Roboters abgegeben hat, kippt zurück.
2. Der hierbei an die folgende Stufe abgegebene Impuls kann diese nicht zum Kippen bringen, weil das betreffende Gitter auch etwa um 8 V negativer ist als normal.

Die Kettenschaltung hört also auf zu arbeiten; es können keine neuen Antwortimpulse entstehen, bevor der Spieler einen neuen Zug gemacht hat.

Das Siebfilter $R_{28} - C_8$ verhindert, dass Störimpulse an der 200 V-Leitung die Sperrung in einem unerwünschten Augenblick bewirken können.

Für die Sperrröhre wurde ein leistungsfähiger Endröhrentyp ausgewählt, damit der Strom im Ruhezustand bezüglich der 59 niedrigen Ströme durch die Widerstände $R_8 - R_{17} - R_{19}$ bzw. die entsprechenden Widerstände der folgenden Stufen hoch gewählt werden konnte. Die Sperrspannung kann mit R_{26} auf etwa 8 V eingestellt werden.

V. 5. Germaniumdioden als Relaiskontakte

Im vorigen Paragraphen wurde beschrieben, dass eine

der Torstufenröhren eine Antwort des Roboters auslöst, und zwar diejenige, die zugleich eine positive Steuergitterspannung hat und als erste von der Kettenschaltung einen Impuls erhält. Diese positive Gitterspannung muss durch den Stand des Spieles bestimmt werden. Man kann dies z. B. mit Relais-Kontakten auf die in Abb. 44 angegebene Weise erzielen.

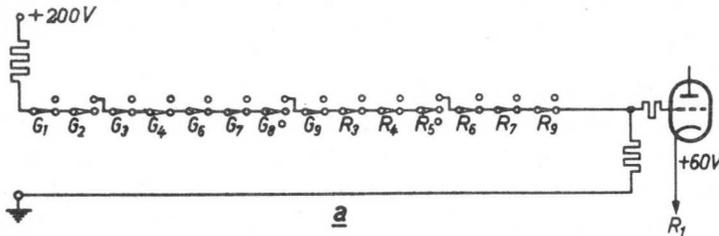


Abb. 44. a. Schaltung des Gitterkreises einer Torstufenröhre für einen Gegenzug des Apparates auf Feld 1. Nur wenn alle Kontakte geschlossen sind, kann die Antwort von dieser Torstufe gegeben werden.

R →

	G	3
4	R	6
7	G	9

b. Der Stand des Spieles für diesen Zug; die Felder 2 und 8 sind vom Spieler besetzt, Feld 5 von dem Roboter. Die anderen Felder dürfen nicht besetzt sein.

b

Die Relaiskontakte in Abb. 44a sind im Ruhezustand gezeichnet. Da das Gitter an Masse liegt, ist es bezüglich der Katode negativ. Es kann nur dann positiv werden, wenn:

1. Feld 1 nicht durch Grün besetzt ist, weil in diesem Falle der Kontakt G₁, wie gezeichnet, geschlossen ist,
2. die Felder 2 und 8 durch Grün besetzt sind (Kontakte G₂ und G₈ sind dann geschlossen),
3. die Felder 3, 4, 6, 7 und 9 nicht durch Grün besetzt sind,
4. die Felder 3, 4, 6, 7 und 9 nicht durch den Roboter besetzt sind,
5. Feld 5 durch den Roboter besetzt ist.

Falls jetzt die Torstufenröhre noch das Thyatron von R₁ aussteuert, wird die Antwort des Roboters das Besetzen

des Feldes 1 sein. Bei jeder Abweichung von den oben erwähnten Bedingungen bleibt das Gitter negativ; über diese Torstufenröhre kann dann keine Antwort gegeben werden.

Wir sehen, dass nicht alle roten und grünen Kontakte eingezeichnet sind. So fehlt z. B. G_5 ; dieser Kontakt ist darum nicht erforderlich, weil dieses Fach durch Rot besetzt sein muss (Kontakt R_5) und der Stand des Spiels bereits festliegt. Aus demselben Grunde fehlen die Kontakte R_2 und R_8 , weil der Stand durch G_2 und G_8 bereits festgelegt ist.

Schliesslich fehlt auch R_1 . Dieser Kontakt kann nur geschlossen sein und sich nach der Antwort öffnen. Es könnte sonst vorkommen, dass ein nachfolgender Impuls aufs neue an das Gitter des R_1 gehörenden Thyratrons gelangen würde. Bei den Thyratrons, die hier verwendet werden, hat dies jedoch keine Bedeutung; darum kann man diesen Kontakt ohne weiteres einsparen.

Der zugehörige Stand des Spiels ist in Abb. 44b wiedergegeben. Wir erkennen ohne Schwierigkeit, dass die Antwort durch Besetzen des Feldes 1 nicht besser oder schlechter ist, als wenn eins der Felder 3, 7 oder 9 besetzt würden. Da jedoch stets danach gestrebt wird, den Roboter bei freier Wahl immer das Feld 1 besetzen zu lassen, ist die Anzahl der in dem Apparat vorzusehenden Möglichkeiten um den Faktor 4 vermindert.

Es bleiben aber immer noch 92 verschiedene Antwortmöglichkeiten übrig! Da jede Möglichkeit eine ganze Reihe von Kontakten erfordert – sei es auch, dass diese nicht stets in einer solchen Anzahl benötigt werden, bzw. auch Kombinationen von Kontaktgruppen für verschiedene Kreise gefunden werden können – wird dennoch die Anzahl der erforderlichen Relaiskontakte viele Hunderte betragen müssen. Da selbst die allerbesten Kontakte auf die Dauer verschmutzen und somit zu Störungen führen können, sind Störungsmöglichkeiten bei einer solchen Anzahl keineswegs ausgeschlossen. Ausserdem würden für so viele Kontakte entsprechend viele oder sehr komplizierte Relais erforderlich sein. Darum verwenden wir hier ein Netzwerk mit sehr kleinen, leichten und zuverlässigen Germaniumdio-

den, die so geschaltet sind, dass jede Diode die Funktion eines Relaiskontakts übernimmt. Damit erklärt sich auch die vielleicht etwas seltsam klingende Überschrift dieses Paragraphes.

Das Netzwerk besteht aus horizontalen und vertikalen Drähten, die an einigen Kreuzpunkten über Dioden miteinander verbunden werden.

Die horizontalen Drähte werden von den 36 Anschlüssen gebildet, die bereits in V. 3 und in Abb. 42 erwähnt wurden. Die vertikalen Drähte sind die Gitterleitungen der verschiedenen Torstufenröhren. Zur Verdeutlichung des Arbeitsprinzips dieses Netzwerks haben wir in Abb. 45 dasselbe Beispiels wiedergegeben wie in Abb. 44. Wir sehen, dass alle Germaniumdioden mit ihren Anoden an die vertikale Gitterleitung angeschlossen sind. Die Katode ist entweder mit einem 90 V-Anschluss oder mit einem 40 V-Anschluss verbunden. Wenn nur eine Katode mit einem 40 V-Anschluss verbunden ist, kann das Potential der Gitterleitung niemals viel über 40 V steigen, weil der Widerstand dieser einen Germaniumdiode in Durchlassrichtung sehr niedrig ist (nur etwa 200 Ohm).

Zwar sind dann die anderen Dioden mit den 90 V-Anschlüssen verbunden, aber diese haben in Sperrichtung ihren sehr hohen Sperrwiderstand (grösser als ein Megohm). Wir können dies leicht in der Abb. 46 erkennen, in der die Schaltung der Abb. 45 etwas anders gezeichnet ist. Die Dioden G_2 , G_3 und R_5 sind in der Durchlassrichtung stromführend, die anderen jedoch gesperrt.

Das Potential der Gitterleitung kann dann nicht über 40 Volt steigen; das Gitter dieser Torstufenröhre ist also um 20 V negativer als die Katode; dies genügt zur völligen Sperrung der Röhre.

Wir wollen jetzt noch den Grenzfall, dass nur eine Diode an 40 V liegt, durchrechnen. Diese eine Diode hat in der Durchlassrichtung einen Widerstand von etwa 200 Ohm. Alle anderen, im ganzen also 13, liegen parallel und sind mit dem 90 V-Anschluss verbunden. Nehmen wir an, dass der Widerstand in der Sperrichtung 500.000 Ohm beträgt. Für 13 parallele Dioden ergibt sich ein Gesamtwiderstand

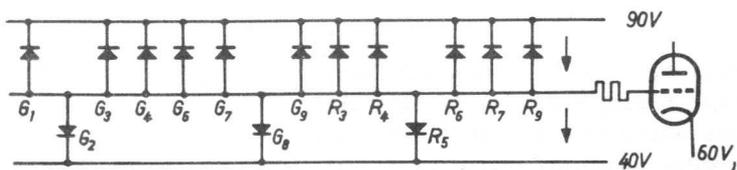


Abb. 46. Die Schaltung der Abb. 45 in anderer Darstellung. Eine der Dioden G_2 , G_8 oder R_5 genügt bereits, um die Spannung an der Gitterleitung auf 40 V zu halten.

von etwa 39.000 Ohm. Wir erhalten also eine Spannung von $\frac{200}{39.000} \cdot 50 = 0,25$ V an der einen Diode. Die Gitterleitung hat in diesem Fall also eine Spannung von 40,25 V. Nur wenn alle Dioden mit 90 V verbunden sind, kann das Gitterpotential in der Nähe von 90 V kommen. In Abb. 45 ist dies der Fall, wenn die Fächer 2 und 8 durch Grün, und Fach 5 durch Rot besetzt werden. Aus Abb. 42 können wir nämlich entnehmen, dass die Spannungen an den Anschlüssen a und b dann wechseln *). In diesem Fall ist die Gitterleitung also positiv genug, dass an der Katode sich ein Impuls bilden kann. Die Spannung am Gitter der Torstufenröhre liegt dann etwa bei 60 V, ist also annähernd gleich der Katodenspannung, weil durch den Gitterstrom eine Spannungsteilung über den Gitterwiderstand von 1 Megohm zusammen mit der Parallelschaltung der Diodensperrwiderstände bezüglich 90 V entsteht. Die Besetzung eines anderen Feldes lässt offensichtlich die Gitterspannung wieder auf 40 V herabsinken.

In V. 3 wurde beschrieben, dass die Untersuchung des Standes des Spieles durch den Roboter in vier aufeinanderfolgenden Intervallen erfolgt. Wir wollen nun ein Beispiel für jedes dieser Intervalle geben.

*) Die Spannungen an G_2b , G_8b und R_5b wechseln also von 40 zu 90 V.

V. 6. Die Verluststufe

Hierbei handelt es sich um die Feststellung, dass der Roboter das Spiel verloren hat, und um die Vermeidung eines weiteren Zuges. Bei dieser Feststellung brauch nur mit den Feldern gerechnet zu werden, die mit Grün (also vom Spieler) besetzt sind und zu dritt in einer Reihe liegen. Es bestehen im ganzen acht Möglichkeiten, nämlich drei horizontale, drei vertikale und zwei diagonale Dreierreihen. Nun ist die Diagonale 1 - 5 - 9 nicht in den Apparat aufgenommen, weil der Roboter so spielt, dass er stets eins dieser drei Felder besetzt, so dass diese Reihe mit Grün niemals ganz besetzt werden kann. Das Diodennetzwerk für eine von den sieben übrigbleibenden Möglichkeiten ist in Abb. 47 wiedergegeben.

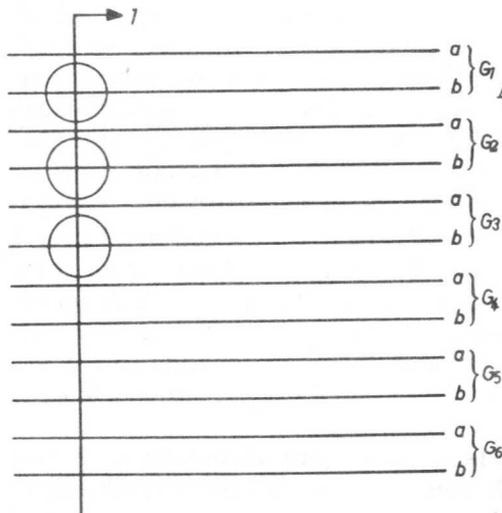


Abb. 47. Schaltung der Germaniumdioden für die Verlustmöglichkeit G_1 , G_2 , G_3 . Die Kreise stellen die Dioden dar. Diese sind wieder so angeschlossen, wie in Abb. 45 angegeben. Nur wenn an den Anschlüssen b von G_1 , G_2 und G_3 90 V liegen, wenn also die Felder 1, 2 und 3 durch Grün besetzt sind, kann an die Gitterleitung 1 eine Spannung von 90 V gelangen und die Torstufenröhre B_{61} (Abb. 43) einen Impuls durchgehen.

Es ist hier die Gitterleitung Nummer 1 dargestellt, die an die Torstufenröhre B_{61} in Abb. 43 angeschlossen ist. Das Netzwerk für die anderen Möglichkeiten arbeitet auf dieselbe Weise. Diese sind an die Gitter 2, 3, usw. bis einschliesslich 7 angeschlossen. Die Torstufenröhren sind

auf zwei monostabile Stufen der Kettenschaltung verteilt. Abb. 43 zeigt auch, dass die Katoden aller dieser Torstufenröhren an das Gitter des Thyratrons B_{108} angeschlossen sind. Im Falle eines Verlustes wird also diese Röhre zünden. Mit dem zugehörigen Verlustrelais V wird jedoch kein Antwortzug gesetzt: Es wird nur ein Teil der Heizspannung auf den im Gerät eingebauten Tonverstärker geschaltet, so dass der Lautsprecher einen Brumnton hören lässt. Auf diese Weise wird also der Verlust der Partie festgestellt. Da die Katode von Röhre B_{108} über C_{22} mit der Katodenimpulsleitung verbunden ist, wird die Kettenschaltung gesperrt, so dass kein Antwortzug mehr gemacht werden kann. Um den Brumnton auszuschalten, muss man den Rückstellknopf Re (Abb. 43) kurz eindrücken, damit alle Relais wieder abfallen und eine neue Partie begonnen werden kann.

V. 7. Die Gewinnstufe

Das zweite Untersuchungsintervall wird von der Gewinnstufe bestritten. Sie beginnt zu arbeiten, wenn in einer der acht Reihen bereits zwei Felder vom Roboter besetzt sind und das dritte Feld noch frei ist. Hierbei kommen allerdings alle acht Reihen in Frage, und jede Reihe bietet wiederum drei Möglichkeiten. Betrachten wir beispielsweise die Reihe 1 - 2 - 3, so kommen 1 - 2, aber auch 2 - 3 und ausserdem noch 1 - 3 in Frage, wobei die Gegenzüge 3 - 1 und 2 lauten müssen. Da es bei Gewinn such **DAUF UM** Felder handelt, die durch Rot besetzt sind, kommen nur die Anschlüsse dieser Gruppe in Frage. In Abb. 48 sehen wir vier Beispiele für das Diodennetzwerk, und zwar für die Gitterleitungen 9, 12, 14 und 30.

Gitterleitung 9 wird positiv, wenn die Felder 5 und 9 durch Rot besetzt werden. Die dazu gehörende Torstufenröhre B_{66} (Abb. 43) gibt dann auf die Katodenleitung Nr. 1 einen Impuls, der das Thyatron B_{110} zum Zünden bringt und auf diese Weise das Gerät auf Feld 1 (Relais R_1) antworten lässt. Die Kettenschaltung wird damit auch ge-

sperrt, so dass es bei dieser Antwort bleibt. Sollte Feld 1 jedoch bereits durch Grün besetzt sein, so erhält Gitter B_{110} zwar einen Impuls, aber da der Anodenkreis durch den Kontakt G_1 unterbrochen ist, wird an der Katode von B_{110} kein Impuls entstehen: die Kettenschaltung wird nicht gesperrt, und der Suchimpuls läuft weiter bis eine andere Antwortmöglichkeit gefunden ist.

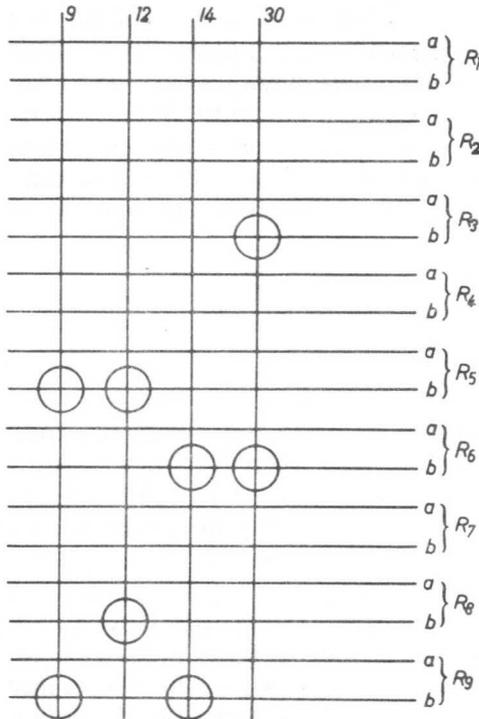


Abb. 48. Schaltung der Germaniumdioden (durch kleine Kreise dargestellt) für vier Gewinnmöglichkeiten. Beschreibung siehe im Text.

Gitterleitung 12 in Abb. 48 wird positiv, wenn die Felder 5 und 8 durch Rot besetzt sind. Die Torstufenröhre B_{67} gibt dann einen Impuls auf den Katodenanschluss 2 durch, so dass Feld 2, falls es frei ist, besetzt wird. Dasselbe gilt für den Gitteranschluss 14 bei den Feldern 6 und 9 (die Antwort wird über B_{68} und R_3 gegeben) und für den Git-

teranschluss 30 bei den Feldern 3 und 6; in diesem Falle erfolgt die Antwort über R_9 (das in Abb. 43 nicht eingezeichnet ist).

Die Torstufenröhren mit insgesamt 24 Möglichkeiten für die Gewinnschaltung sind auf die monostabilen Multivibratoren der Kettenschaltung B_3 bis B_{11} einschliesslich verteilt. Im Vorhergehenden haben wir gesehen, dass der Roboter alle Gewinnmöglichkeiten untersucht und gegebenenfalls benutzt. Nun soll auch noch der Gewinn akustisch mit einem Siegesruf angekündigt werden! Hierfür sind jedoch nicht die Thyratrons für R_1 bis einschliesslich R_9 geeignet, weil sie auch zünden können, wenn die Partie nicht gewonnen ist.. Wir haben darum ausgenützt, dass ein gewinnbringender Impuls in der Katodenimpulsleitung $k\phi$ nur entstehen kann, während die Impulse in der Kettenschaltung die Röhren B_3 bis einschliesslich B_{11} durchlaufen. Dieser Zeitverlauf wird mit einer besonderen monostabilen Multivibratorstufe mit der Röhre B_{60} festgelegt (Abb. 43).

Diese Stufe wird über C_{10} in dem Augenblick angestossen, in dem die Stufe mit der Röhre B_3 kippt. An der zweiten Anode dieser Röhre entsteht ein negativer Impuls, welcher die Röhre B_{60} zum Kippen bringt. Die Zeitkonstante dieser Schaltung ist grösser gewählt als die Summe von neun normalen Impulsdauern der Kettenschaltung ($C_{11} = 10 \mu\text{F}$ im Vergleich zu je 820 pF bei den Stufen der Kettenschaltung). Wenn B_{11} zurückkippt, entsteht an der ersten Anode ein negativer Impuls, der ausser an die folgende Stufe auch über R_{57} und C_{13} dem zweiten Steuergitter von B_{60} zugeführt wird, die dadurch wieder in den Ruhezustand zurückkippt.

Die Spannung an diesem zweiten Steuergitter von B_{60} hat die Form eines positiven Rechteckimpulses, dessen Verlauf über die Zeit bezüglich der Impulse der Kettenschaltung in Abb. 49 wiedergegeben ist. Zur deutlicheren Darstellung sind die Impulse in der Zeichnung ziemlich weit auseinandergezogen. Ein Teil der Rechteckspannung (bestimmt durch $R_{56} - R_{97}$) wird über R_{98} dem Steuergitter des Thyratrons B_{109} zugeleitet. Dieses ist mit dem

Potentiometer R_{100} so negativ vorgespannt, dass die Rechteckspannung allein diese Röhre nicht zum Zünden bringen kann. Über C_{30} ist auch die Katodenimpulsleitung $k\phi$ mit dem Steuergitter des Thyratrons verbunden, aber auch ein Impuls auf dieser Leitung genügt nicht um die Röhre zum Zünden zu bringen.

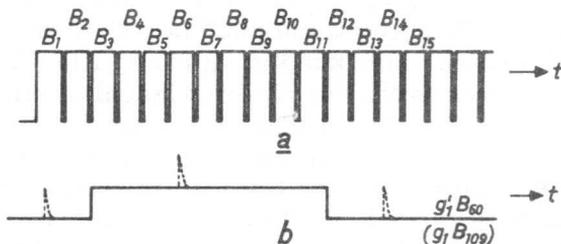


Abb. 49. Zeitverhältnis zwischen den Impulsen der Kettenschaltung (a) und der Torstufenröhre B_{80} für die Gewinnstufe (b). Die Impulse, die an der Katodenimpulsleitung auftreten können, sind gestrichelt dargestellt. Nur während der Dauer des Rechteckimpulses kann ein Katodenimpuls das Thyatron B_{109} (Abb. 43) zum Zünden bringen.

Treffen jedoch beide Impulse zugleich ein, so zündet die Röhre und das Relais W zieht an; dies bedeutet, dass die Maschine infolge einer der Gewinnmöglichkeiten geantwortet hat.

Das Relais W kann jetzt den Siegesruf auf den eingebauten Verstärker schalten und auf diese Weise im Lautsprecher hörbar machen. Auch in diesem Fall wird der Ton erst wieder ausgeschaltet, wenn man den Rückstellknopf Re drückt, und damit ein neues Spiel beginnen kann.

V. 8. Untersuchung der Gewinnmöglichkeit des Spielers

Mit der dritten Untersuchung soll, wie bereits erläutert, vermieden werden, dass der Spieler gewinnen kann.

Dies könnte ja vorkommen, wenn bereits zwei Felder in einer Reihe besetzt sind und das dritte Feld noch frei ist. Dieses Feld muss dann sofort vom Roboter besetzt werden. Eigentlich ist dies ein Zwangszug, der nicht übersehen werden darf. Hierfür kommen wie bei der Verluststufe sieben Reihen in Frage. Reihe 1 - 5 - 9 fehlt auch hier aus denselben Gründen. Für jede der sieben Reihen gibt es, genau wie bei der Gewinnstufe, wieder drei Möglichkeiten, so dass 21 Gitterkreise in Frage kommen, wofür in Abb. 50 ein Beispiel gegeben ist, welches sich auf die Torstufenröhre B_{83} bezieht (Abb. 43). Der Kreis wird positiv, wenn die Felder 4 und 5 durch Grün besetzt sind. Es entsteht dann ein Impuls an dem Katodenanschluss Nr. 6, so dass, wenn dieses Feld frei ist, das Feld 6 durch den Apparat besetzt wird. Die Sperrschaltung verhindert dann auf die übliche Weise einen zweiten Antwortzug. Wenn das Feld bereits besetzt ist, entsteht kein Katodenimpuls in der Leitung kp , und der Suchimpuls läuft weiter durch.

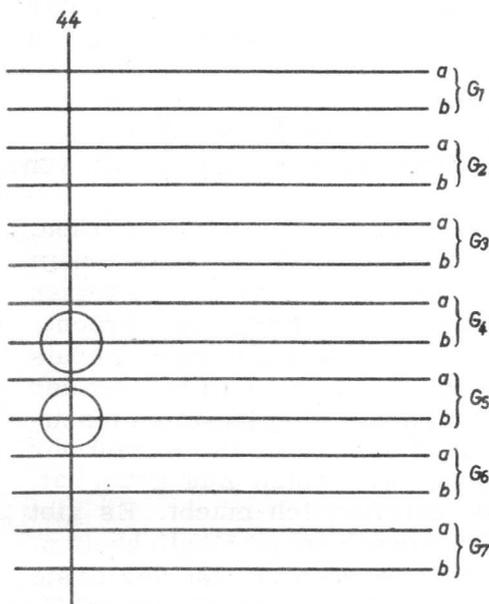


Abb. 50. Schaltung der Germaniumdioden zum Untersuchender Gewinnchancen des Spielers. Wenn die Fächer 4 und 5 durch Grün besetzt sind, wird der Gitterkreis 44 positiv, und der Roboter besetzt Feld 6 (siehe auch Abb. 43).

Wenn es Grün gelungen ist, zwei Reihen vorzubereiten, werden demnach auch zwei Gitterkreise positiv werden.

Um dann zwei Antworten zu vermeiden — dies wäre ja gegen die Spielregeln — dürfen Torstufenröhren mit Gitterkreisen, die gleichzeitig positiv werden können, niemals von derselben Röhre der Kettenschaltung gesteuert werden, denn sonst würde ja die Sperrung einen Doppelzug nicht vermeiden können.

V. 9. Der freie Zug

Wenn sich keine von den Möglichkeiten bietet, die wir in den vorigen drei Paragrafen behandelt haben, muss sich der Roboter naturgemäss die noch freien Felder aussuchen. Er muss hierbei danach streben, einen solchen Gegenzug zu tun, dass seine Stellung auf dem Spielfeld so stark wie möglich wird.

Dieser freie Zug wird demnach durch den Stand der Partie bestimmt. Auf welche Weise dieser Stand in der Diodenschaltung festgelegt werden kann, wurde bereits in V. 5 beschrieben.

In V. 5 haben wir auch bereits gesagt, dass die Maschine — wenn dasselbe Resultat damit erzielt werden kann — am liebsten das Feld 1 zur Einschränkung der Anzahl von Möglichkeiten besetzt.

In diesem Zusammenhang wollen wir noch bemerken, dass in unserem Roboter auch noch mit der Möglichkeit gerechnet wird, dass er selbst den ersten Zug zu setzen hat. Hierfür ist ein besonderer roter Knopf angebracht, der kein grünes Relais bedient, sondern nur einen Impuls in der Kettenschaltung erzeugt. In diesem Fall besetzt der Apparat wieder das Fach 1, um die Möglichkeiten einzuschränken. Es ist wohl offensichtlich, dass die Anzahl der freien Züge, falls der Apparat den ersten Zug getan hat, wieder andere Gitterkreise erforderlich macht. Es gibt im ganzen für freie Züge 40 verschiedene Möglichkeiten.

Ein freier Zug, der häufig vorkommt, ist der erste Gegenzug des Roboters, wenn der Spieler die Partie eröff-

net hat. Falls der Spieler nicht Feld 5, sondern eins der anderen Felder besetzt, beantwortet der Roboter diesen Zug mit der Besetzung von Feld 5. Die dazu gehörende Diodenschaltung bildet den Gitterkreis Nr. 92 der Torstufenröhre B_{107} , die durch die letzte Multivibratorröhre der Kettenschaltung B_{59} gespeist wird. Wie in Abb. 43 dargestellt, ist die Katode dieser Torstufenröhre mit dem Katenodenanschluss 5 verbunden, so dass man die Antwort auf Feld 5 erhält. Wenn also eines der Felder von 1 bis einschliesslich 9 – ausser Feld 5 – zu Anfang des Spieles vom Spieler besetzt wird, lautet die Antwort "5". Hierdurch wird auf einfache Weise gleichzeitig bewiesen, dass der Impuls in der Kettenschaltung bis zur letzten Röhre durchläuft; man hat damit eine einfache Kontrolle für die Arbeit eines grossen Teiles der Schaltung.

Anmerkung: Dem Roboter steht für die freien Antwortzüge eine solche Auswahl zur Verfügung, dass es im Prinzip nicht möglich ist, gegen ihn zu gewinnen. Das günstigste Ergebnis, das ein Spieler erzielen kann, ist "unentschieden"! Wir sind der Meinung, dass wir auf die Wiedergabe einer vollständigen Schaltung aller Diodenkreise und Röhren verzichten können, weil dies nicht nur viel Platz erfordern würde, sondern auch das Prinzip der Wirkung und Arbeitsweise nicht dadurch näher erläutert würde. Wir sind der Ansicht, dass der aufmerksame Leser anhand der gegebenen Beispiele sich diese gegebenenfalls selbst rekonstruieren und die allgemeine Schaltung von Abb. 43 vervollständigen können.

V. 10. Die Fehlerstufe

In dem Vorhergehenden hat es sich gezeigt, dass ein Spieler im Prinzip selbst bei idealem Spiel den Roboter nicht zu schlagen vermag. Darum könnte man die Frage stellen, warum eigentlich eine Verluststufe eingebaut ist? (V.6.) Wir glaubten jedoch, dass neben der Möglichkeit, die Unfehlbarkeit des Roboters beweisen zu können, der Apparat noch anziehender werden würde, wenn es auch

möglich sei, unter bestimmten Umständen gewinnen zu können. Hierfür mussten also Fehler in die Schaltung eingeführt werden, und dies besorgt nun die Fehlerstufe, die mit einem Ein- und Ausschalter betätigt werden kann. Mit dieser Fehlerstufe lassen sich fünf verschiedene Fehler in das Spiel des Roboters einführen — keine groben Irrtümer oder Flüchtigkeitsfehler, sondern taktische Spielfehler, die nicht unmittelbar ins Auge fallen. Die Variationsmöglichkeit liegt darum auch in der Gruppe der freien Züge. In Abb. 51 ist für einen solchen Fehler ein Beispiel gegeben. Die Felder 3 und 7 sind durch Grün, Feld 5 durch Rot

1	2	G
4	R	6
G	8	9

Abb. 51. Stand der Partie; der richtige Gegenzug des Roboters würde die Besetzung des Feldes 2 sein. Infolge der Fehlerstufe wird mit diesem Gegenzug jedoch Feld 9 besetzt, wodurch dem Spieler eine Gewinnmöglichkeit geboten wird.

besetzt. Die Katode der Torstufenröhre, an deren Gitter der dieser Stellung entsprechende Diodenkreis angeschlossen ist, ist normal mit Katodenanschluss 2 verbunden, so dass das Feld 2 normalerweise das richtige Antwortfeld ist. Mit einem Relaiskontakt der Fehlerstufe wird nun die Katode dieser Torstufenröhre anstatt mit Anschluss 2 mit Anschluss 9 verbunden. Die falsche Antwort besteht dann auch in der Besetzung des Feldes 9. Der Spieler muss dann Feld 1 besetzen, womit er zwei Reihen vorbereitet, nämlich 1, 2, 3 und 1, 4, 7. Der Apparat kann dann entweder Feld 2 oder Feld 4 besetzen, aber das nichtbesetzte Feld ermöglicht dem Spieler die Partie zu gewinnen.

Eine Kettenschaltung von fünf bistabilen Multivibratoren *), steuert das Relais und bewirkt damit die Umschaltung der Katode. Diese Kettenschaltung wird mit einem Kontakt angestossen, der durch den Rückstellknopf bedient wird. Nach Beendigung jedes Spieles wird also die Kombination der möglichen Fehler verändert. Am Aufleuchten von Glimmlampen kann man zwar erkennen, wieviele

*) Siehe A. H. Bruinsma, Multivibratorschaltungen, Absatz I. 1. 11. 3.

Fehler in einem bestimmten Augenblick eingeschaltet sind, aber naturgemäss nicht welchen Nutzen man daraus ziehen kann. Obwohl man also nicht damit rechnen darf, dass – wenn man einmal durch eine bestimmte Spielweise gewonnen hat – dies auch bei der folgenden Partie gelingen wird, haben wir diese Chance noch wesentlich dadurch verkleinert, dass wir die Zahlen sich verschieben lassen. Dies wird nur elektrisch durchgeführt; es ist also für das Auge nicht sichtbar, und es geht ausserdem nur dann vor sich, wenn der Roboter gewonnen oder verloren hat. Die Zahlen verschieben sich durch Umschalten der Anschlüsse der grünen und roten Lampen im Spielfeld und bei den Bedienungsknöpfen. Drückt man beispielsweise Knopf 2 ein, dann leuchtet zwar Feld 2 auf, aber für den Roboter bedeutet dies beispielsweise Feld 6, und die Reaktion ist auch entsprechend. Auf diese Weise kann das Spielfeld unsichtbar in vier Zuständen gebracht werden. Der Fehlerschalter dreht sich naturgemäss mit, und auf diese Weise wird es äusserst schwierig und zeitraubend, das System der Fehlerstufe zu ergründen. Die Nummern werden in einen bestimmten Zustand durch ein einziges Relais mit 24 Kontakten gebracht; es gibt also vier solcher Relais. Die Verdrahtung aller dieser Kontakte ist recht kompliziert, aber nicht weiter interessant. Wir sind jedoch der Ansicht, dass die Stufe, welche diese Relais steuert, den Leser interessiert. Sie ist in Abb. 52 wiedergegeben. Zum guten Verständnis sei gesagt, dass stets eines der Hauptrelais A' , B' , C' oder D' angezogen sein muss, und dass die Zustandsänderung nur durch zeitliches Schliessen eines Kontaktes des Gewinn- oder Verlustrelais bewirkt werden kann. Zwei Schliesskontakte dieser Relais sind also parallel geschaltet und bilden den Steuerkontakt Sk in Abb. 52. In dieser Abb. sind alle Relais im Ruhezustand gezeichnet; es ist also anfänglich keins der Hauptrelais angezogen. Dieser Zustand ändert sich jedoch schnell durch folgenden Vorgang: Der Kondensator C_2 lädt sich über R_{16} und zwei Kontakte des Relais E durch die Gleichspannung von 280 V, die man durch einphasige Gleichrichtung des 220 V Netzspannung erhält, auf. Die Spannung an C_2 und

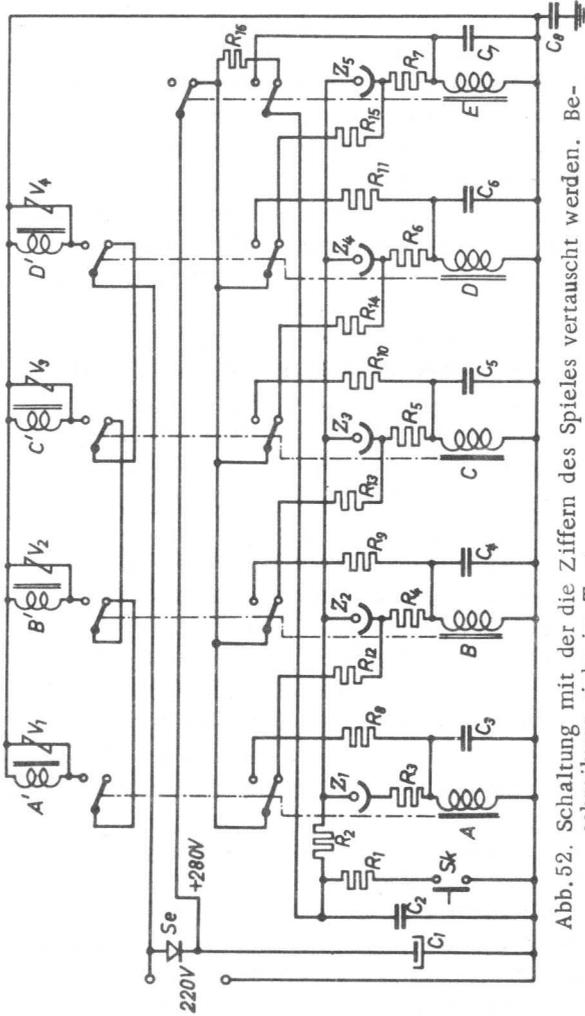


Abb. 52. Schaltung mit der die Ziffern des Spieles vertauscht werden. Beschreibung siehe im Text.

- R1 = 10 K
- R2 = 10 K
- R3 bis R7 = 10 K
- R8 bis R11 = 100 K
- R12 bis R15 = 390 K
- R16 = 68 K (1 W)
- C1 = 50 μ F
- C2 = 2 μ F
- C3 bis C7 = 100 K
- C8 = 100 K
- A' bis D' = 220 V Wechselstromrelais mit 24 Schliesskontakten
- V1 bis V4 = V D R-Widerstände 480 Ω
- Z1 bis Z5 = Glimmröhre mit kalter Katode, Typ Z50 T.
- Se = Selengleichrichter
- Sk = Steuerkontakt (Je ein Relaiskontakt des Verlust- und Gewinnrelais des Roboters parallel).
- A bis E = Gleichstromrelais mit zwei Wechselskontakten. Spulenwiderstand 15.000 Ohm.

demzufolge über R_2 auch am gemeinsamen Anodenanschluss aller fünf Kaltkathoden-Glimmröhren. Diese Röhren sind für diese Schaltung ausgesucht, damit ihre Zündspannung*) annähernd gleich ist, nämlich etwa 210 V.

Haben die Anoden alle dasselbe Potential, so sind dagegen die Potentiale der Katoden verschieden. Die Katode von Z_1 hat über R_3 und über die Spule des Relais A das Potential des unteren gemeinsamen, über C_8 an Masse liegenden Anschlusses. Die Katode von Z_2 hat bezüglich dieses Anschlusses ein positives Potential, weil sie über den oberen Kontakt des Relais E , das unteren Kontakt des Relais A , welches noch nicht angezogen ist, und über R_{12} mit + 280 V verbunden ist. Es fließt also über R_4 und die Spule des Relais B ein Strom, der eine Spannung an der Katode von Z_2 von etwa 17 V erzeugt. Der durch die Relaisspule fließende Strom ist jedoch noch nicht gross genug, um das Relais zum Anziehen zu bringen. Auf dieselbe Weise entsteht an den Katoden der Röhren Z_3 , Z_4 und Z_5 gleichfalls ein positives Potential von 17 V bezüglich des gemeinsamen Anschlusses. Wenn jetzt die Spannung an C_2 infolge der Aufladung auf 210 V gestiegen ist, beträgt die Spannung an Z_1 auch 210 V, aber die an den anderen Röhren Z_2 bis einschliesslich Z_5 nur 193 V. Z_1 zündet also und C_2 entlädt sich über R_2 , Z_1 , R_3 und die Spule A . Infolge des Spannungsabfalls an R_2 sinkt das Potential des gemeinsamen Anodenanschlusses, sodass die anderen Röhren (Z_2 bis Z_5) nicht mehr zünden können.

Infolge des starken Entladungsstroms wird jetzt das Relais A angezogen; über den unteren Kontakt und R_8 wird seine Spule mit + 280 V verbunden, so dass es angezogen

*) Wie bekannt sein dürfte, haben diese Röhren, wenn sie ausgeschaltet sind, oder die Spannung zwischen Anode und Katode niedriger als die Zündspannung ist, einen sehr hohen Widerstand. Steigt die Spannung über diesen Wert hinaus, so zündet die Röhre, wobei der Widerstand sehr niedrig wird und die Spannung zwischen Anode und Katode auf etwa 60 V fällt. Fällt die Spannung aus irgend einem Grund unter diesen Wert, erlischt die Röhre. Die Spannung muss aufs neue über die Zündspannung steigen, wenn eine neue Zündung erfolgen soll.

bleibt, wenn der Entladungsstrom von C_2 kleiner wird. Röhre Z_1 bleibt gezündet, so dass noch ein Teil des Spulenstromes von Z_1 und R_3 geliefert wird (1,8 mA in unserem Fall). Hierdurch stellt sich das Potential an den Anoden aller Röhren auf etwa 138 V ein, also auf einen Wert, der zu niedrig ist, um die anderen Röhren zur Zündung zu bringen. Dies gilt auch für Z_2 , obwohl durch das Anziehen des Relais A die Vorspannung an ihrer Katode weggefallen ist. Über den oberen Kontakt des Relais A wird gleichzeitig das Hauptrelais A' zum Anziehen gebracht. Die Relais sind auf diese Weise in einen stabilen Zustand gekommen.

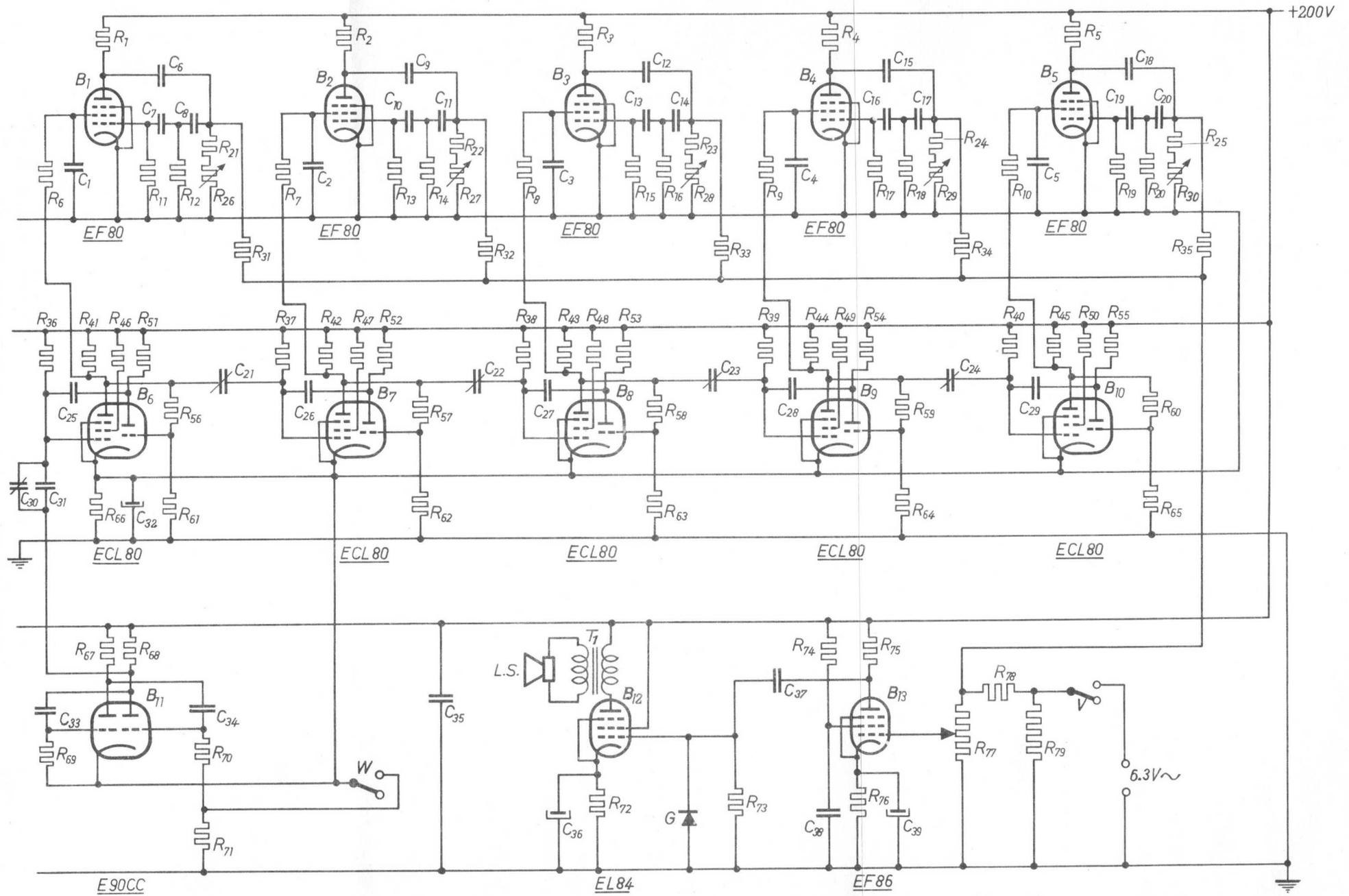
Nun wollen wir einmal untersuchen, was sich ereignet, wenn der Steuerkontakt geschlossen wird. Die Spannung an C_2 fällt dann durch die Parallelschaltung von R_1 wesentlich, und die Röhre Z_1 erlischt. Die Relais A und A' bleiben jedoch angezogen, weil das Relais A über R_8 sich selbst hält. Die Spannung an der Spule A , die etwa 60 V betrug, fällt auf etwa 38 V; dieser Wert ist noch gross genug, damit das Relais angezogen bleibt. Alle Röhren sind nun erloschen.

Wird der Steuerkontakt wieder geöffnet, so steigt die Spannung an C_2 und somit an den Anoden der Röhren Z_1 bis Z_5 . Nur die Katode von Z_2 hat jetzt keine Vorspannung, weil das Relais A angezogen ist; die Katode Z_1 ist dagegen um die obenerwähnten 38 V vorgespannt, während Z_3 bis Z_5 ihre normale Vorspannung von etwa 17 V haben. Z_2 zündet jetzt, und die Relais B und B' ziehen an. Das Relais A bleibt auch angezogen, das Hauptrelais A' dagegen fällt ab, weil die Speisung von A' durch B' unterbrochen wird.

Wird der Steuerkontakt Sk noch einmal geschlossen und geöffnet, so wird dieselbe Weise, wie wir leicht feststellen können, das Relais C anziehen und damit auch C' , während B' abfällt. Ebenso zieht beim nächsten Mal das Relais D und damit auch D' an, und C fällt ab. In diesem Fall sind also die Relais A , B , C , D und D' angezogen. Wird jetzt der Steuerkontakt geschlossen, so löschen wieder alle Röhren, und die Vorspannung von Z_5 fällt weg. Wird der Steuerkontakt wieder geöffnet, zündet Z_5 , und das Relais E

Abb. 53. Tonanlage des Roboters. Obere Reihe: Oszillatoren für die Siegesrufe. Mittelreihe: Kettenschaltung von monostabilen Multivibratoren zum aufeinanderfolgenden Einschalten der Oszillatoren, Untere Reihe links: Oszillierende Multivibratorschaltung zum Anstoßen der Kettenschaltung; untere Reihe rechts: der Niederfrequenzverstärker für die Tonwiedergabe.

R1 bis R5 = 18 K	C1 bis C5 = 22 K
R6 bis R10 = 33 K	C6 bis C8 = 560 pF
R11 bis R20 = 1M	C9 bis C11 = 470 pF
R21 bis R25 = 560 K	C12 bis C14 = 390 pF
R26 bis R30 = Potentiometer 1M	C15 bis C17 = 330 pF
R31 bis R35 = 10 M	C18 bis C20 = 390 pF
R36 bis R38 = 680 K	C21 bis C24 = Trimmer 30 pF
R39 = 1M8	C25 bis C29 = 330 K
R40 = 1M2	C30 = Trimmer 30 pF
R41 bis R45 = 15 K (1 W)	C31 = 33 pF
R46 bis R50 = 8K2	C32 = 3 x 25 μ F parallel
R51 bis R55 = 56 K	C33 = 2 μ F
R56 bis R60 = 1 M	C34 = 10 K
R61 bis R65 = 820 K	C35 = 220 K
R66 = 2 x 2K2 (1 W) parallel	C36 = 50 μ F
R67 und R68 = 22 K (1 W)	C37 = 10 K
R69 = 560 K	C38 = 100 K
R70 = 1 M	C39 = 50 μ F
R71 = 100 K	G = Germaniumdiode OA 85
R72 = 120 Ohm (1 W)	LS = 6W-Lautsprecher
R73 = 1 M	T1 = Lautsprechertransformator
R74 = 390 K	W = Relaiskontakt des Gewinnrelais
R75 = 100 K	V = Relaiskontakt des Verlustrelais
R76 = 1 K	
R77 = Potentiometer 1 M	
R78 = 4M7	
R79 = 1 K	



zieht an. Durch den unteren Kontakt dieses Relais wird dann C_2 parallel zur Relaispule geschaltet, so dass er sich ganz über die Spule entladen kann. Dadurch bleibt dieses Relais etwas länger angezogen, als sonst der Fall sein würde. Ausserdem erlischt die Röhre Z_5 sofort, weil die hierfür zur Aufrechterhaltung des Glimmentladung erforderliche Spannung kurzgeschlossen wird.

Schliesslich unterbricht der obere Kontakt von E die + 280 V-Leitung, so dass die Relais A , B , C und D und damit auch D' abfallen. Wenn die Spannung an C_2 so niedrig geworden ist, dass das Relais E abfällt, ist in diesem Augenblick der Ausgangszustand wiederhergestellt, wie er in Abb. 52 dargestellt ist, in den sich alle Relais im Ruhezustand befinden. Dieser Zustand ist, wie am Anfang dieses Paragraphen erwähnt wurde, nicht stabil; Relais A zieht jetzt wieder an und damit auch das Hauptrelais A' . Es ist also immer eins des Hauptrelais angezogen. Die Zahlen werden also jedesmal vertauscht, wenn der Roboter gewonnen oder verloren hat; damit wird verhindert, dass man zweimal auf dieselbe Weise gewinnen kann.

Die Kondensatoren C_3 bis einschliesslich C_7 , die parallel zu den Relaispulen liegen, verhindern dass die Spannung an den Spulen überschwingt, da sonst die Kaltkathoden-Glimmröhren sogleich nach dem Zünden wieder oder beim Einschalten des Selbsthaltestromes über R_8 bis R_{11} löschen könnten.

Die VDR-Widerstände V_1 bis einschliesslich V_4 löschen die Induktionsspannung, die beim Ausschalten dieses kräftigen Relais entsteht, und schützen dadurch die ausschaltenden Relaiskontakte. Diese Widerstände haben nämlich die Eigenschaft, dass ihr Widerstand umso stärker abnimmt, je höher die angelegte Spannung wird. Hierdurch kann die Induktionsspannung niemals sehr hoch werden, weil sie gewissermassen kurzgeschlossen wird.

V. 11. Die hörbaren Reaktionen des Roboters

Sowohl Gewinn als auch Verlust des Roboters werden

auch akustisch ausgedrückt. Verlust durch ein ärgerliches Brummen, Gewinn durch einen wiederholten Siegesruf. Nur bei einem unentschiedenen Spiel hört man nichts.

Die Schaltung der Tonanlage ist in Abb. 53 wiedergegeben. Der Niederfrequenzverstärker mit den Röhren B_{12} und B_{13} , welcher den eingebauten Lautsprecher LS speist, hat als einzige Abweichung von der normalen Schaltung im Gitterkreis eine Germaniumdiode G . Diese soll die zugeleiteten sinusförmigen Spannungen verzerren, so dass der Ton etwa so klingt, als wenn er von einem Menschen käme. Dem Verstärker können zwei Signale zugeführt werden. Wenn der Roboter eine Partie verloren hat, so zieht das Verlustrelais an und leitet über seinen Kontakt V einen Teil der Heizspannung (6,3 V) dem Verstärker zu. Dies ruft dann das ärgerliche Brummen beim Verlust hervor. Hat der Roboter jedoch gewonnen, so zieht das Gewinnrelais an, und der Kontakt W (Abb. 53) schliesst sich. Dadurch fängt die Stufe mit der Röhre B_{11} zu schwingen da sie durch das Schliessen des Kontaktes zu einer oszillierenden Multivibratorstufe wird. Da die Katode dieser Röhre mit etwa + 30 V bezüglich Erde positiv ist, ist die rechte Röhrenhälfte gesperrt, wenn der Kontakt W geöffnet ist. Die Anodenspannung der rechten Röhre beträgt dann 200 V. Beim Schliessen des Kontaktes W fällt diese Spannung um die Amplitude des entstehenden Rechteckimpulses. Über C_{30}/C_{31} wird also ein negativer Impuls auf das linke Gitter der monostabilen Multivibratorröhre B_6 gegeben. Die Dauer des negativen Rechteckimpulses an die rechte Anode der Röhre B_{11} ist, abhängig von $C_{34} - R_{70}$ sehr kurz, die Dauer des hierauf folgenden positiven Impulses ist, abhängig von $C_{33} R_{69}$, etwa 2 Sekunden. Es wird also nach jeweils 2 Sekunden ein kurzer negativer Impuls an die Kettenschaltung monostabiler Multivibratorstufen mit den Röhren B_6 bis einschliesslich B_{10} durchgegeben.

Nach je 2 Sekunden läuft also durch diese Schaltung ein Impuls. Der an der Anode des Pentodenteils entstehende positive Impuls, wird dem Schirmgitter der Oszillatorröhren B_1 bis einschliesslich B_5 zugeleitet, die hierbei kurz oszillieren. Die Dauer des Schwingzustandes wird

durch die Dauer des zugeleiteten Impulses bestimmt und ist der gewünschten "Melodie" angepasst.

Sie wird durch die Widerstände R_{36} bis R_{40} und die Kondensatoren C_{25} bis C_{29} bestimmt. Es wurde eine Pentode-Triode (ECL80) gewählt, weil die Anodenspannung des Pentodenteils sehr niedrig sein kann, während der Anodenwiderstand ziemlich klein ist. Hierdurch wird es möglich, noch Serien-Widerstände R_6 bis R_{10} in die Schirmgitterleitungen der Oszillatorröhren zu schalten, die zusammen mit den Kondensatoren C_1 bis C_5 die steilen Flanken der Rechteckimpulse vom Tonverstärker fernhalten.

Da die Katoden der Oszillatorröhren und der monostabilen Multivibratorröhren das gleiche Potential besitzen, wird durch die niedrige Anodenspannung des Pentodenteils bewirkt, dass sie im Ruhezustand nicht anfangen können zu schwingen. Sie können darum auch über die Widerstände R_{31} bis R_{35} dauernd am Eingang des Niederfrequenzverstärkers angeschlossen bleiben. Die Höhe des erzeugten Tones wird bei dem ersten Oszillator durch die Kondensatoren C_6 bis C_8 bestimmt. Da die Werte der Widerstände R_{11} , R_{12} , R_{21} bis R_{26} jedoch auch mitbestimmend sind, ist R_{26} variabel, damit man den richtigen Wert einstellen kann.

Es sei kurz auf die Wirkungsweise einer solchen Oszilatorschaltung eingegangen. Es sei angenommen, dass an der Anode der Röhre ein grosse Zahl von Frequenzen vorhanden sind. Diese Annahme ist durchaus gerechtfertigt, weil in dem stets vorhandenen "Rauschen" alle Frequenzen vertreten sind. Nehmen wir nun eine hohe Frequenz, so ist die Impedanz der Kondensatoren bezüglich der Widerstände klein; diese Frequenzen werden also nicht abgeschwächt und in der Phase verschoben und gelangen an das Gitter fast mit gleicher Amplitude und Phase. In der Röhre jedoch wird die Phase gedreht; wir sehen dass diese hohen Frequenzen durch die grosse Gegenkopplung unterdrückt werden.

Bei sehr niedrigen Frequenzen tritt dagegen eine grosse Phasenverschiebung und darüber hinaus gleichzeitig eine Abschwächung auf. Wird die Phasenverschiebung grösser

als etwa 60° je Schaltelement, ist wieder eine Komponente vorhanden, die noch eine Gegenkopplung, also noch eine zusätzliche Abschwächung verursacht.

Offensichtlich kann zwischen diesen beiden Extremen eine Frequenz gefunden werden, bei der eine optimale Verstärkung oder, besser noch, eine minimale Abschwächung bei einer Phasenverschiebung von 180° in dem gesamten Koppellement auftritt. Da Gitterstrom auftritt der eine negative Gitterspannung und demnach eine Herabsetzung der Verstärkung mit sich bringt, wird sich die Frequenz auf diesen günstigen Wert einstellen. Da alle anderen Frequenzen abgeschwächt werden, ist die erzeugte Schwingung ziemlich genau sinusförmig.

Das hier angewandte System zum Ein- und Ausschalten der Oszillatoren, bei dem die Reihenfolge durch die monostabilen Multivibratorstufen bestimmt wird, bringt einen sehr geschmeidigen und unhörbaren Übergang von einem Ton zum anderen zustande. Im Niederfrequenzverstärker werden auch für den Siegesruf die Sinusschwingungen verzerrt, damit die Töne besser klingen.

V. 12. Die Stromversorgung

Hinsichtlich der Stromversorgung können wir uns kurz fassen. Angesichts des experimentellen Charakters haben wir fast alle Speisespannungen, so z. B. die 200 V-Speisespannung für die Röhren stabilisiert. Weiter auch die 90 V-Spannung für das Netzwerk der Germanium-Dioden und die 60 V, an die die Katoden der Torstufenröhren und der Thyatronen angeschlossen sind.

40 V für die Germaniumdiodenkreise werden über einem Spannungsteiler an dem 60 V-Anschlusse abgegriffen.