Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 28 (1950)

Heft: 10

Artikel: Grundlage der Impuls-Rechengeräte

Autor: Laett, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-874394

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

BERN, den 1. X. 1950 № 10 JAHRGANG - ANNÉE - ANNO XXVIII

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

HERAUSGEGEBEN VON DER SCHWEIZERISCHEN POST-, TELEGRAPHEN- UND TELEPHONVERWALTUNG

BULLETIN TECHNIQUE/BOLLETTINO TECNICO

PUBLIÉ PAR L'ADMINISTRATION DES POSTES, TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES SUISSES

PUBBLICATO DALL'AMMINISTRAZIONE DELLE POSTE, DEI TELEGRAFI E DEI TELEFONI SVIZZERI

Grundlagen der Impuls-Rechengeräte

Von *H. Laett*, Bern

518.5

Zusammenfassung. *Nach einem kurzen Hinweis auf das Wesen der Impuls-Rechengeräte werden deren Schaltungselemente eingehend untersucht, wobei die Ein-Aus-Arbeitsweise der Röhren als charakteristisches Merkmal immer wieder angetroffen wird. Auf diese Weise erreicht man die grosse Rechengenauigkeit, welche über eine lange Zeit hin garantiert werden kann. Wesentlich bei diesen Rechengeräten ist ferner die Eigenschaft, Zahlen bzw. Impulsfolgen speichern zu können. Die mathematischen Grundlagen für die Synthese derartiger Schaltungen werden kurz behandelt.*

Résumé. *Après avoir donné quelques détails sur la nature des machines à calculer utilisant des impulsions, l'auteur en étudie de façon approfondie les circuits élémentaires, circuits caractérisés presque toujours par le blocage et le déblocage d'une lampe. Ce mode de fonctionnement permet en effet d'atteindre la grande exactitude de calcul indispensable et que l'on doit pouvoir garantir pendant une longue période d'exploitation. L'auteur s'occupe ensuite d'une autre propriété essentielle des machines mathématiques celle d'emmagasiner des chiffres représentés par des trains d'impulsions. Il termine par un rapide aperçu des bases mathématiques utilisées pour la combinaison des éléments précédemment décrits.*

Die klassische Fernmeldetechnik betrachtet die Verstärkerröhre als lineares Element, das heisst, die Ein- und Ausgangsgrössen sind miteinander durch lineare Gleichungen verknüpft. In den letzten zehn Jahren hat es sich nun aber gezeigt, dass, für eine stetig wachsende Klasse von Anwendungen, die Annahme von linearen Charakteristiken für die Elektronenröhre nicht mehr gerechtfertigt ist: die Impulstechnik. Obgleich eine verhältnismässig junge Technik, gibt es heute schon derart viele Spezialgebiete, dass von einem homogenen Ganzen nicht mehr die Rede sein kann. Eines dieser Spezialgebiete, die elektronischen Impuls-Rechengeräte, hat die theoretisch reine Impulstechnik bis auf den heutigen Tag fast in globo zu ihrer eigenen gemacht, weshalb zugleich behauptet werden kann, dass für das Studium der reinen Impulstechnik das Gebiet der Impuls- oder Ziffern-Rechenmaschinen das dankbarste Studienobjekt darstellt, nicht zuletzt aus dem Grunde, weil die funktionellen Zusammenhänge mathematisch leicht erfassbar sind und eine grosse und weitgehende Verwandtschaft zur Relais-Automatik besteht.

Elektronisch betrachtet, liegt das Hauptmerkmal der Impulsgeräte darin, dass die Röhren weit über ihren linearen Bereich hinaus ausgesteuert werden; es kommen sogar meistens nur zwei Betriebszustände vor, wobei der eine zum Beispiel auf dem normalen Arbeitspunkt liegt, während der andere etwa durch eine extrem negative Gittervorspannung gekennzeichnet ist. Die Röhren wirken somit nur noch als Relais, und es ist in der Tat möglich, sie ohne Veränderung der Funktion durch elektromechanische Relais zu ersetzen. Die konsequente Vermeidung von beweglichen Teilen ermöglicht es aber, Schaltoperationen mit einer Geschwindigkeit bis zu einer Million pro Sekunde auszuführen.

Durch diese extremen Betriebsarten der Röhre (leitend, gesperrt) entsteht eine weitgehende Unabhängigkeit von den Betriebsspannungen und Daten der Röhre selbst.

Ausser den Röhren ist die Zahl der verwendeten Schaltelemente auffallend gering. Dementsprechend sinkt auch der Platzbedarf, und die ausgiebige Verwendung von Doppelröhren wird vorteilhaft.

Charakteristisch für alle Impulsgeräte ist ihr Gedächtnis, das heisst die Fähigkeit, Zahlen auf unbestimmte Zeit zu speichern. Die Grösse dieses Gedächtnisses, in der Fachsprache Register genannt, ist wichtig zur Kennzeichnung der Leistung.

Die Impulsfrequenz bestimmt die ganze Rechengeschwindigkeit der Maschine, und man ist daher bestrebt, diese möglichst hoch zu wählen. Dem stellen sich Einflüsse, wie Streukapazitäten, Streuinduktivitäten, Reflexionen usw., entgegen. Da ein Impuls zu seiner einwandfreien Reproduktion die Übertragung zahlreicher Oberwellen erfordert, ist man in der Wahl

der Frequenz durch die technischen Möglichkeiten ziemlich eingeschränkt.

Bei den ersten elektronischen Impulsgeräten, die gebaut wurden (ENIAC), hatte die Frequenz des gemeinsamen Impulsgenerators keinen direkten Einfluss auf die Funktion, da lediglich Röhren zwischen zwei stabilen Zuständen hin- und hergeschaltet wurden, während sich in der ganzen Maschine keine zeitabhängigen Glieder befanden. Dies bedingt aber einen unnötig hohen Aufwand an Schaltelementen, und es zeigte sich, dass wesentliche Einsparungen erzielt werden können, wenn von synchron zirkulierenden Impulsen Gebrauch gemacht wird. Damit beginnen nun die zeitabhängigen Glieder eine wesentliche Rolle zu spielen. Hand in Hand mit dieser Entwicklung geht die Einführung dynamischer Register, welche ihren Inhalt ebenfalls nur in einem bestimmten Rhythmus abgeben können. Die Impulsfrequenz wird dadurch starr mit der Arbeitsweise des Gerätes verknüpft. In solchen Geräten findet man fast keine der bekannten Zähler (Flip-Flop) mehr; sie spielen dort nur noch eine untergeordnete Rolle.

Wir wollen jetzt daran gehen, die einzelnen Schaltelemente der elektronischen Rechenmaschinen näher zu untersuchen. Das erste Gerät, das wir zum Bau einer Maschine benötigen würden, ist ein Impulsgenerator, dessen Frequenz die Arbeitsgeschwindigkeit unserer Maschine beeinflusst. Leider ist es nicht möglich, mit der Impulsfrequenz zu hoch hinaufzugehen, da die verteilten Kapazitäten und Induktivitäten einen zu grossen Einfluss hätten. Der Aufbau dieser Impulsgeneratoren bringt nichts Neues, da diese Generatoren während des Krieges Hand in Hand mit dem Radar entwickelt wurden; sie sind heute bestens bekannt.

Um nun die Bauelemente eines elektronischen Rechengerätes voll verstehen zu können, ist es unumgänglich, jede arithmetische Operation in logische Grundoperationen umzuformen. In den heutigen Rechenmaschinen wird durchwegs ein Dualsystem verwendet, das heisst, die einzig vorkommenden Ziffern sind 0 und 1. In Worten ausgedrückt, kann man sagen, dass ein gewisses Merkmal entweder da ist oder nicht. Zur Synthese der Schaltungen von Rechenmaschinen hat sich nun eine besondere Algebra eingebürgert, die im angelsächsichen Sprachgebiet als Boolean-Algebra bekannt ist und die, aus dem Logikkalkül heraus entwickelt, ihre Übertragung auf die Schaltungstechnik dem Mathematiker *Shannon* der Bell Laboratories verdankt. In der Schaltungs-Algebra gibt es keine Additionen und Multiplikationen im bekannten Sinne mehr; diese werden durch die sogenannte Disjunktion und Konjunktion ersetzt, was nichts anderes bedeutet als die mathematische Formulierung des «oder» und des «sowohl als auch». Wir wollen zuerst die schaltungstechnische Verwirklichung des «oder», das heisst eine Disjunktion, näher betrachten.

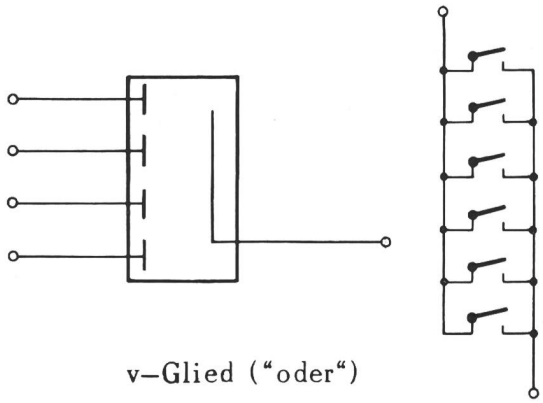

Fig. 1. Disjunktion. Links elektronische, rechts elektromechanische Realisation

An der Kathode der Diode trifft immer dann ein Impuls ein, wenn die eine *oder* die andere Anode einen solchen führt; analog ist der elektromechanische Stromkreis dann geschlossen, wenn mindestens ein Schalter geschlossen ist.

Das nächste Glied, das wir untersuchen wollen, ist die Konjunktion, das heisst die Realisation des «sowohl als auch».

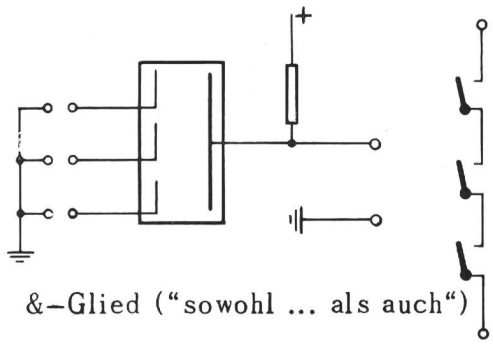

Fig. 2. Konjunktion. Links elektronische, rechts elektromechanische Realisation

Die Spannung an der Anode kann nur dann stark positiv werden, sofern sämtliche, das heisst sowohl die erste als auch die zweite, als auch..., Kathoden geöffnet werden; analog müssen alle Schalter geschlossen sein, damit der Stromkreis geschlossen ist.

Die weitern Bauelemente für eine elektronische Rechenmaschine mit konzentrierter Verstärkung sind Impulsverstärker, Pegeldioden und Klipper, alles Elemente, die aus der Fernseh- und Radartechnik sehr bekannt sind. Einzig der Neuformer bedarf noch einer Erläuterung. Dieses Element übt keine logische Grundoperation aus; seine Notwendigkeit entspringt vielmehr technischen Bedürfnissen. Es zeigt sich nämlich, dass die Impulse beim Durchlaufen der bisher beschriebenen Elemente nicht nur eine Schwächung, sondern auch eine Verformung im Sinne einer Abrundung und Verflachung erfahren. Dies rührt sowohl von den Streukapazitäten und den damit verbundenen Entladungszeiten, als auch von den Anlaufeigenschaften der Dioden her. Es läge nun nahe, diese deformierten Impulse auf einen elektro-

nischen Schalter, das heisst auf ein «Sowohl als auch-Glied» zu geben, dessen zweiter Eingang von Generatorimpulsen gespeist wird. Dies ist jedoch nicht möglich, da zwischen Generatorimpulsen und deformierten Impulsen, selbst nachdem diese verstärkt worden sind, eine Phasenverschiebung besteht. Es ist daher notwendig, die deformierten Impulse durch ein Zeitverzugsglied zu schicken, das die Phase der Impulse um etwas weniger als eine Impulslänge zurückstellt. Erst dann sind sie in der Lage, die Generatorimpulse vollständig zu überlappen und so das einwandfreie Arbeiten zu gewährleisten (synchrone Arbeitsweise).

Die andere Möglichkeit, die Impulse zu regenerieren, besteht in der Verwendung des Prinzips der verteilten Verstärkung; mit andern Worten, jedes logische Glied wird gleichzeitig derart geschaltet, dass mit dem Durchgang eines Impulses dieser so viel verstärkt wird, dass die Verluste in diesem Glied wettgemacht werden. Da heute, vom preislichen Standpunkte aus gesehen, Dioden und Trioden gleichbedeutend sind, lässt sich die Methode der konzentrierten Verstärkung kaum mehr rechtfertigen.

Es geht nun darum, Schaltungen zu finden, die

1. eine logische Operation darstellen und
2. die Impulse ungeschwächt an den Ausgang liefern.

Weiterhin ist es wünschenswert, die Kopplung zwischen den einzelnen Gliedern galvanisch durchzuführen, um der Nichtperiodizität der Impulsfolgen wegen keine Schwierigkeiten mit Gleichspannungspegeln und dergleichen zu haben.

Einige typische Schaltungen dieser Art zeigt folgende Abbildung.

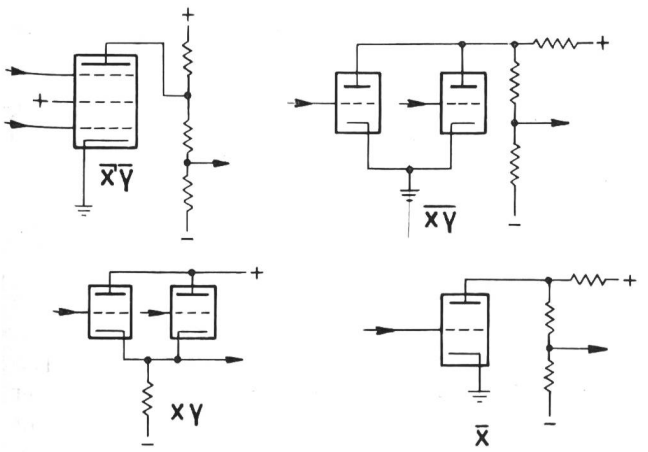

Fig. 3. Kombinationsschaltungen (Prinzip der verteilten Verstärkung)

Die duale Alternative wird hier durch das Potential der Punkte mit Ausgangspfeilen dargestellt.

Das zentrale Organ jeder Rechenmaschine ist das Register. Es gibt eine grosse Vielfalt von Möglichkeiten zur Registrierung von Zahlen, und man steht heute erst am Anfang der Entwicklung. Für die schöpferische Tätigkeit besteht hier ein weites Feld, und es treten fast alle Gebiete der Physik und Chemie in Konkurrenz.

Ein Register wird durch die Eigenschaften der Kapazität, das heisst Aufnahmevermögen, Geschwindigkeit und Latenzzeit, charakterisiert. Die Kapazität bedeutet die Anzahl Ziffern oder Zahlen, welche gespeichert werden können; die Geschwindigkeit bezieht sich auf die Zeit, welche zur Einspeisung oder Abgabe von Operationen benötigt wird.

Man teilt nun die Register im wesentlichen in langsame und schnelle ein; die langsamen haben eine unbegrenzte Kapazität. Hierzu gehören zum Beispiel Lochkarten oder Lochstreifen, in welche Angaben gestanzt werden, die später elektrisch abgelesen werden können. Es können natürlich beliebig viele solcher Karten oder Streifen aufbewahrt werden. Weiterhin verwendet man Tonband, welches magnetisiert wird und das ebenfalls in beliebiger Menge bereitgestellt werden kann.

Aus solchen Registern Zahlen in beliebiger Reihenfolge hervorzusuchen und abzulesen, bedeutet jedoch einen ganz untragbaren Zeitverlust, und es ist daher nötig, auch schnelle Register zu schaffen. Diese weisen naturgemäss eine kleinere Kapazität auf. Die schnellen Register zerfallen in statische und dynamische.

Die statischen Register besitzen eine Anzahl stabiler Zustände, die ineinander übergeführt werden können; es spielen sich in ihnen keinerlei zeitliche Vorgänge ab.

Für die elektromechanische Verwirklichung eines Registers kann beispielsweise eine Kette von zehn Relais in der Weise kombiniert werden, dass stets eines von ihnen magnetisiert ist und dass jeder ankommende Impuls diesen Zustand auf das nächstfolgende verlagert. Wir haben damit zehn stabile Zustände, was für die Speicherung einer einstelligen dekadischen Zahl genügt. Das elektronische Analogon zum Relaisregister stellt der Flip-Flop dar. Mit dem Flip-Flop ist es heute möglich, Frequenzen von der Grössenordnung von einem MHz zu verarbeiten.

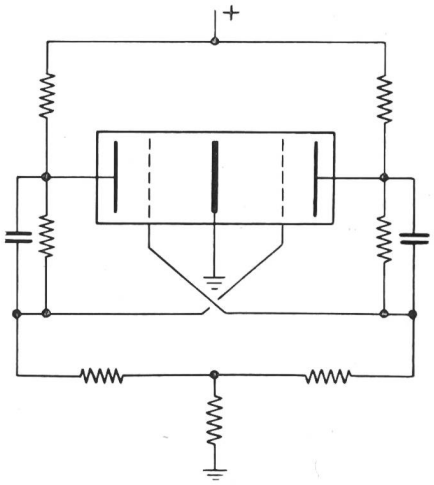

Fig. 4. Flip-Flop. Schaltungsanordnung, die zwei stabile Zustände aufweist (Röhre links leitend oder Röhre rechts leitend)

Diese Flip-Flops sind zuerst im Zusammenhang mit Geiger-Müller-Zählern entwickelt und verwendet worden und eignen sich sowohl für duales als auch dezimales Zahlsystem. Das Prinzip besteht darin, dass eine Zusammenschaltung von n Röhren so vorgenommen wird, dass n stabile Zustände resultieren. Am bekanntesten ist die zweistufige Ausführung, der sogenannte Scale-of-two-counter, welcher aus einem Multivibrator abgeleitet wird.

Für das Dezimalsystem werden mit Vorteil Ringzähler verwendet; das ist eine in sich geschlossene Kaskadenschaltung von einzelnen Flip-Flops.

Die Zähler werden bei den heutigen modernen Maschinen praktisch nur noch im Zusammenhang mit dem äussern Gedächtnis der Maschine oder in Verbindung mit elektrischen Schreibmaschinen verwendet.

Die neuste Art der Speicherung, das elektrostatische Register, besteht in einer Anordnung, die dem Ikonoskop ähnelt: Eine Platte mit fein verteilten leitenden Partikeln kann durch einen Kathodenstrahl nach Wunsch aufgeladen oder nicht aufgeladen werden. Zwei Scharen von orthogonalen Stäben teilen die Platte in eine Anzahl Felder auf, während die Spannung, die diesen Stäben aufgedrückt wird, bestimmt, ob das betreffende dahinterliegende Feld durch den E-Strahl aufgeladen werden soll. Da sich die Ladung nur für eine relativ kurze Zeit halten kann, wird das elektrostatische Register in der Regel in einem dynamischen Kreislaufprozess geschaltet (Selectron, Williams Tube).

Damit kommen wir zu einer prinzipiell andern Art der Speicherung, die sich durch die Verwendung periodischer Vorgänge ergibt. Das zentrale Organ ist stets ein Verzugsglied, das eine Laufzeit von 1000 oder mehr Impulslängen aufweisen soll.

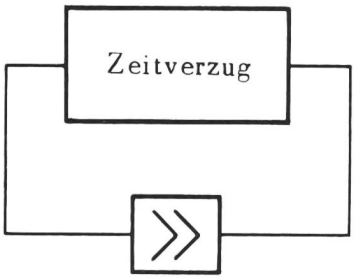

Fig. 5. Prinzip eines dynamischen Registers

Eine erste Möglichkeit zur Erlangung eines Zeitverzuges bildet die Parallel-Drahtleitung. Doch ist leicht einzusehen, dass die so erreichten Laufzeiten viel zu klein sind, um praktisch irgendwelche Bedeutung zu haben. Eine naheliegende Alternative ist die Verwendung der kleinen Schallgeschwindigkeit in irgendeinem Medium. Gestützt auf Erfahrungen mit Radar, wählt man als Schallträger flüssiges Quecksilber, bei dem die Schallgeschwindigkeit ungefähr 2000 m/s beträgt; dieses kann mit Leichtigkeit in Stahlrohre von beispielsweise 2 m Länge eingefüllt werden, und man erreicht auf diese Weise eine Verzögerungszeit von 1 ms. Zur Übertragung des Schalles auf die Flüssigkeit dienen Quarzkristalle, da die Kombination Quarz-Quecksilber von allen Möglichkeiten die beste Anpassung der akustischen Impedanzen bietet. Da ein Kristall gewisse Resonanzfrequenzen aufweist, werden die Impulse nicht direkt in die Rohre eingespeist, sondern es wird zunächst ein hochfrequenter Träger mit ihnen moduliert. Unter dem Verzögerer ist nun die Kombination Modulator-Ultraschalleitungs-Demodulator zu verstehen. Die Herstellung von solchen Ultraschalleitungen erfordert eine hohe mechanische Präzision, damit an den Wandungen keine Reflexionen eintreten.

Eine weitere Möglichkeit, einen Zeitverzug zu erreichen, besteht in einer Anzahl schnell rotierender Scheiben, die an ihrem Umfang einen Magnettonbelag enthalten, auf dem die Impulse eingeschrieben werden. Nach etwas weniger als einem Umgang ist der Abnahmekopf angebracht, welcher den Ausgang des Verzögerers darstellt. Zwischen beiden liegt der Löschkopf; die Impulse werden also bei jedem Umgang eingeschrieben, abgelesen und gelöscht.

Bei allen dynamischen Registern spielt nun die Latenzzeit eine ausschlaggebende Rolle: Es ist leicht einzusehen, dass die Informationen nur dann entnommen werden können, wenn sie die Schaltelemente ausserhalb des Verzögerers passieren. Sind sie jedoch innerhalb, so sind sie nicht zugänglich. Bei einem Verzögerer mit rotierenden Scheiben ist nun diese Latenzzeit besonders lang; so ist sie zum Beispiel bei einer Scheibe, die sich mit 9000 Umdrehungen pro Minute dreht, schon 7 ms, was sehr lang ist. Jedochbesteht die Möglichkeit, den Zyklus des Einschreibens auf den Umfang mehrere Male zu wiederholen. Gleichzeitig wird natürlich auch die Kapazität jeder Abteilung verringert. Für den Antrieb solcher Scheiben, bzw. Trommeln, kommen nur Gleichstrommotoren in Betracht, da die Änderung des Drehmomentes über den Umfang bei Wechselstrommaschinen schon grosse Störungen hervorruft.

Das Problem der Synchronisation des Impulsgenerators ist hier überaus einfach, da die Impulsfrequenz ein bestimmtes Vielfaches der Umlauffrequenz der Räder ist. Man kann sogar ein Rad als Tonrad ausbilden und auf diese Weise direkt als Generator benützen.

Wir wollen nun die Zusammenschaltung der bis jetzt behandelten Elemente zu einer funktionellen Einheit untersuchen.

Das Blockschema eines dynamischen Registers hat die in Fig. 6 dargestellte Form:

Hierin bedeuten τ das Zeitverzugsglied, «&» ein «sowohl-als auch» und «v» ein «oder» Glied. Die Pegeleinstellung dient zur Verhütung der Aufschaukelung von Schwingungen. Der Verstärker ist nötig, um die Verluste, welche im Zeitverzugsglied

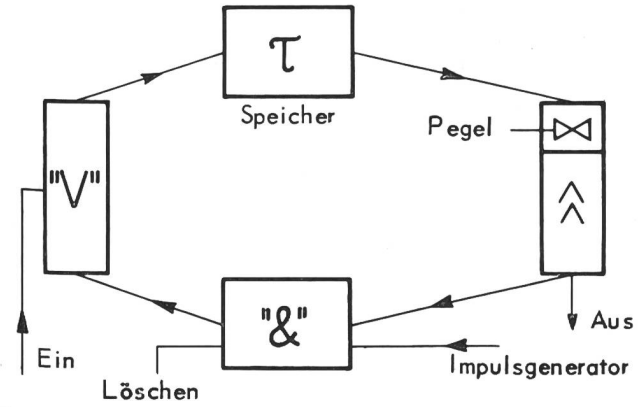

Fig. 6. Blockschema eines dynamischen Registers

entstehen, wettzumachen. Der Eingang «Löschen» dient zur Leerung des Registers, bevor eine neue Zahl eingegeben wird.

Als Beispiel der Synthese einer arithmetischen Einheit wählen wir die Addition. Es geht also hier darum, zwei duale Zahlen, deren Stellen in zeitlicher Hinsicht sich folgen, nach den bekannten Regeln der Summenbildung zu addieren. Im besonderen bemerken wir, dass gelten muss:

$$0 + 0 = 0$$
$$1 + 0 = 1$$
$$0 + 1 = 1$$

Diese Aussagen liessen sich allein schon durch ein «v»-Glied verwirklichen; jedoch gilt auch, da wir im Dualsystem rechnen,

$$1 + 1 = 10$$

wobei die 0 zu schreiben wäre und die 1 als sogenannter Übertrag bis zur Addition der nächsten Stelle zu «behalten» ist. Damit ist ersichtlich, dass ein Addierglied intern gleich drei Eingänge besitzen muss, nämlich deren zwei für die beiden Summanden und einen weiteren für den Übertrag der abgeschlossenen Addition der vorherigen Stelle. Da dieser Übertrag «behalten» werden muss, erfordert also die Addition auch noch ein Zeitverzugsglied für die Dauer einer Stelle.

Den drei Eingängen, die wir mit A, B und C (A und B = Summanden, C = Übertrag) bezeichnen wollen, stehen zwei Ausgänge gegenüber, ein Stellenausgang S und ein Übertragausgang U. Unter diesen fünf Grössen müssen folgende Beziehungen erfüllt sein:

A	B	C	S	U
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
1	0	0	1	0
0	1	1	0	1
1	1	0	0	1
1	0	1	0	1
1	1	1	1	1

Der dazugehörige logische (duale) Ausdruck entsteht, wenn man alle möglichen Bedingungen für «S-richtig» (bzw. «U-richtig») notiert und diese durch v verbindet:

$$S = (A\&B\&C) \vee (\bar{A}\&\bar{B}\&C) \vee (\bar{A}\&B\&\bar{C}) \vee (A\&\bar{B}\&\bar{C})$$
$$U = (A\&B\&C) \vee (\bar{A}\&B\&C) \vee (A\&\bar{B}\&C) \vee (A\&B\&\bar{C})$$

wobei der Querstrich über den Dualvariabeln deren Negation bedeuten soll, das heisst die Überführung des einen Dualzustandes (0 oder 1) in den entgegengesetzten (1 oder 0).

Nun geht es nur noch darum, diese beiden Ausdrücke physikalisch durch die bereits bekannten Elementarschaltungen zu realisieren, um das duale Addierglied aufbauen zu können.

Interessant in diesem Zusammenhang ist ein Vergleich mit der elektromechanischen Verwirklichung der Funktion S. Da die Variabeln A, B, C, zyklisch vertauschbar sind, bedeutet dies nichts anderes, als dass jede Änderung (dual!) der Variabeln eine ebensolche der Funktion mit sich bringt. Dieselbe Eigenschaft weist jedoch die bekannte Schaltung auf, einen Verbraucher von drei Orten aus beliebig ein- und auszuschalten.

Der Übertragausgang U muss für eine Stellenperiode gespeichert werden; er passiert deshalb einen Verzögerer mit entsprechendem Zeitverzug. Damit erhalten wir als Blockschema für das duale Addierglied eine Anordnung nach Fig. 7, wobei die Realisation der vorstehenden Ausdrücke für S und U nur schematisch angedeutet ist.

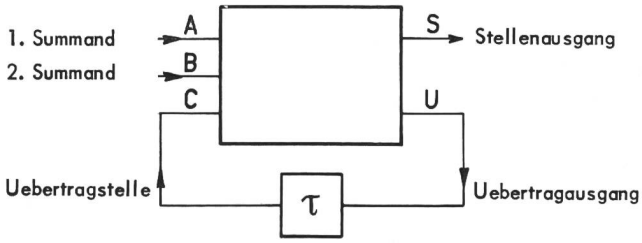

Fig. 7. Ein- und Ausgänge eines Addiergliedes

Auch hier ist wieder die grosse Bedeutung des Synchronismus ersichtlich, muss doch die Laufzeit im Verzögerer eine Konstante sein.

Wir sehen, dass schon bei den einfachsten Klassen von arithmetischen Einheiten die Verzugsglieder eine grosse Rolle spielen. Sie gewinnen noch mehr an Wichtigkeit, wenn man bedenkt, dass bei gewissen Rechenprozessen Speicherzeiten auftreten, die sich über Tausende von Operationen hinaus erstrecken.

Und nun noch einige Bemerkungen zu den arithmetischen Eigenschaften der elektronischen Zifferngeräte. Im Falle der Addition zweier n-stelliger Zahlen ist die Summe selbst wieder eine n- oder höchstens n+1-stellige Zahl. Dagegen ergibt die Multiplikation zweier n-stelliger Zahlen ein 2n-stelliges Produkt. Es ist klar, dass bei elektronischen Rechenmaschinen, welche ja ein endliches Zahlenfassvermögen aufweisen, wiederholte Multiplikationen ein unzulässiges Anwachsen der Stellenzahl mit sich brin-

gen würden. Daher kommen wir nicht darum herum, die Zahlen nach jeder Zwischenrechnung auf die durch die Grösse der Maschine festgelegte Stellenzahl zu reduzieren, das heisst auf- oder abzurunden. Die einfachste Methode des Abrundens besteht darin, alle Stellen grösser als n einfach fallen zu lassen. Dieses prinzipielle Abrunden birgt jedoch eine grosse Gefahr in sich, welche als Ziffernschwund zu bezeichnen ist. Es kann nämlich im Laufe vieler arithmetischer Operationen vorkommen, dass durch diese prinzipiellen Abrundungen immer mehr bedeutsame Ziffern verlorengehen. Man war daher schon früh bestrebt, ein anderes Verfahren des Abrundens zu finden, das nicht oder dann in viel kleinerem Masse dem Ziffernschwund ausgesetzt ist. Das Naheliegendste besteht einfach darin, dass zur (n+1). Stelle eine halbe Einheit addiert wird und von dieser Summe der Übertrag zur n. Stelle geschlagen wird. Die statistische Streuung der auf diese Weise verstümmelten Zahlen würde sich sehr einfach berechnen lassen, wenn es gegeben wäre, für die Fehlerverteilung eine Normalkurve anzunehmen.

In vielen Fällen jedoch sind die mathematischen Voraussetzungen für eine Gauss'sche Fehlerverteilung gar nicht gegeben, und es bedarf längerer theoretischer Untersuchungen, um die Grösse des Ziffernschwundes bei gewissen Operationen festzulegen. Vom Standpunkte des Ingenieurs aus können wir diese Auf- und Abrundungsfehler mit dem Rauschen vergleichen. Damit scheint auf den ersten Blick die Überlegenheit der Zifferngeräte über die Analogiegeräte in Frage gestellt. Dem ist jedoch nicht so, da das Rauschen bei den Analogiegeräten einige Grössenordnungen grösser ist als das Quasi-Ziffernrauschen bei den Impulsgeräten. Weiterhin besteht ein fundamentaler Unterschied zwischen den beiden Arten von Rechengeräten darin, dass bei der Vergrösserung eines schon bestehenden Impulsgerätes diese um so weniger Mühe macht, je grösser das bestehende Gerät schon ist. Umgekehrt liegt der Fall bei den Analogiegeräten, wo eine Vergrösserung der Genauigkeit um so schwieriger wird, je grösser die Maschine schon ist. Für das wissenschaftliche Arbeiten kommen praktisch nur die Zifferngeräte in Frage, währenddem die Analogiegeräte eine Spielerei, wenn auch eine sehr lehrreiche und unterhaltsame, bleiben werden. Man wird nur in Sonderfällen Analogiegeräte verwenden können, nämlich dann, wenn es darum geht, Näherungslösungen eines komplizierten Problemes zu bestimmen. Man findet deshalb heute Analogiegeräte höchstens dort, wo eine grosse Ziffernmaschine Verwendung findet.

Bibliographie

Laett, H. und *A. Speiser.* Dynamisches Impulsregister, Diplomarbeit ETH, Zürich 1948.

Wilkes, M. V. The ENIAC-High-Speed Electronic Calculating Machine. Electronic Engineering **19** (1947), p. 105...108.

Wilkes, M. V. and *W. Renwick.* An Ultrasonic Memory Unit for the EDSAC. Electronic Engineering **20** (1948), p. 208...213.

Page, C. H. Digital Computer Switching Circuits. Electronics 1948, September, p. 110...118.

Durks, A. W. Electronic Computing Circuits of the ENIAC. Proc. Inst. Radio Eng. **35** (1947), p. 756...767.

Shannon, C. E. A Symbolic analysis of Relay and Switching Circuits. Trans. Amer. Inst. Electr. Eng. **57** (1938), p. 713.

Shannon, C. E. The Synthesis of Two-Terminal Switching Circuits. Bell Syst. Tech. J. **28** (1949), p. 59...98.

Booth, A. D. and *K. H. V. Britten.* Principles and Progress in the Construction of High-Speed Digital Computers. Quart. J. Mech. and appl. Math. **2** (1949), p. 182...197.

Essais de bandes magnétiques destinées à la vitesse de défilement de 15"/s

Par *P.-H. Werner*, Berne 621.395.625.3

A. Introduction

Depuis plus d'une année, les studios suisses de radiodiffusion sont dotés d'enregistreurs à bandes magnétiques basés sur les données européennes. La vitesse de la bande de ces machines étant de 30"/s (77 cm/s), la conservation des enregistrements est entravée par le coût élevé des bandes (environ 120 fr. l'heure).

Aux Etats-Unis, on a porté un effort tout particulier sur l'amélioration des bandes; l'emploi de matières à haute force coercitive augmente considérablement leur sensibilité aux aiguës et permet d'en diminuer la vitesse.

Les machines «Motosacoche» en service dans nos studios ont un système d'entraînement de la bande dont la vitesse peut être réduite de moitié sans qu'il soit porté préjudice à la constance de défilement. A part la vitesse, les entrefers des têtes d'enregistrement et de lecture doivent être diminués aux valeurs respectives de 20 et 15 μ. L'utilisation de bandes appropriées permet de maintenir les excellentes caractéristiques obtenues jusqu'ici, tout en diminuant les frais d'exploitation de 50%. Cette réduction de frais est encore accompagnée de nombreux avantages qui résultent du fait qu'une seule bobine sert à un enregistrement d'une durée de 40 à 45 min.

La sélection des bandes appropriées à la vitesse de 15"/s est facilitée par une unification de leurs caractéristiques qui est loin d'être réalisée pour les bandes ordinaires. Cette unification résulte sans doute du grand nombre d'enregistreurs magnétiques en service, dont les correcteurs non réglables obligent les fabricants de bandes à s'adapter aux caractéristiques existantes.

Diverses mesures préliminaires nous ont fait éliminer d'emblée toutes les bandes destinées à la vitesse