Zeitschrift: Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen

Herausgeber: Eidg. Verband der Übermittlungstruppen; Vereinigung Schweiz. Feld-Telegraphen-Offiziere und -Unteroffiziere

Band: 41 (1968)

Heft: 11

Rubrik: Funk und Draht

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: 14.07.2025

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

Funk und Draht

Beilage zum «Pionier» zur nichttechnischen Ausbildung der Übermittlungstruppen

Vollelektronische Vermittlungstechnik nach dem Zeitmultiplexverfahren

Von P. G. Fontolliet

Beim vorstehenden Artikel handelt es sich um einen Vortrag, der während des Wintersemesters 1967/68 im Rahmen der Vorlesung «Krieg im Äther» an der Militärwissenschaftlichen Abteilung und der Freifächerabteilung der Eidg. Tech. Hochschule gehalten wurde. Leiter dieser Vorlesung ist der Waffenchef der Uebermittlungstruppen, Oberstdivisionär Ernst Honegger.

Das Zeitmultiplexprinzip

Schon vor 125 Jahren schlug Wheatstone vor, zur besseren Ausnützung eines Übertragungsweges mehrere Telegraphenapparate zyklisch nacheinander an die gleiche Leitung anzuschliessen. Diese Idee einer zeitlichen Bündelung wurde 1874 von Baudot mit 6fachen elektromechanischen Verteilern realisiert.

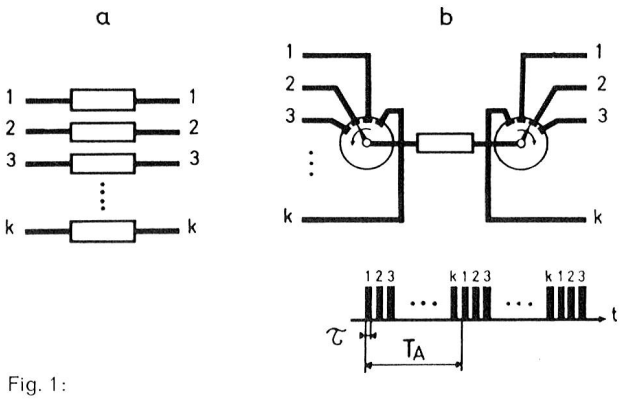

Fig. 1:
a räumliche Verteilung (Raumvielfach)
b zeitliche Verteilung (Zeitmultiplex)

Gerade das Bild von rotierenden Schaltern gibt eine gute Darstellung des Zeitmultiplexprinzips. Anstelle der herkömmlichen räumlichen Verteilung von **k** gleichwertigen Einrichtungen (z. B. Übertragungswege oder nachrichtenverarbeitende Schaltungen) individuell zu **k** verschiedenen Informationskanälen (Fig. 1a) kann man unter gewissen Voraussetzungen nur eine einzige derartige Einrichtung vorsehen und sie der Reihe nach und periodisch jedem Informationskanal zur Verfügung stellen, wie es in der Figur 1b durch die beiden synchron rotierenden Schalter symbolisch dargestellt ist.

Die zeitliche Ineinanderschachtelung von mehreren gleichzeitigen Nachrichten nach einem bestimmten Zyklus nennt man Zeitmultiplexbetrieb. Die einzelnen Informationskanäle werden dann nicht mehr kontinuierlich behandelt, sondern pulsmässig, wobei aber zwei Fragen auftauchen, nämlich:

wie oft und
jeweils wie lange

muss jeder Kanal Zugang zur gemeinsamen Einrichtung haben? Mit anderen Worten: wie muss man die Zyklusperiode T_A einerseits und die Impulsdauer τ andererseits wählen?

Auf die erste Frage gibt die Informationstheorie eine klare Anwort durch das Abtasttheorem. Es besagt folgendes: Liegt die Information im begrenzten Frequenzbereich von 0 bis f_M, so entsteht durch den Pulsbetrieb kein Informationsverlust, wenn die Abtastfrequenz $f_A = \frac{1}{T_A}$ mindestens das Doppelte der höchsten Nachrichtenfrequenz f_M beträgt:

$$f_A = \frac{1}{T_A} \geq 2\, f_M$$

Die zweite Frage, nämlich wie lange die Impulse sein müssen, wird nicht durch die Informationstheorie beantwortet, sie ist technologischer Natur. Die Schnelligkeit der gemeinsamen Einrichtung und der Verteilschalter setzt eine Grenze an die minimale Dauer τ, die für jeden Kanal zur Verfügung steht. Aus der maximalen Abtastperiode T_A und der minimalen Impulsdauer τ, d. h. aus dem Tastverhältnis $\frac{T_A}{\tau}$ ergibt sich die maximale Anzahl Zeitkanäle **k**, auch Pulsphasen genannt, die man in zeitlicher Verteilung bündeln kann.

Anwendung vom Zeitmultiplexprinzip in der Vermittlungstechnik

Ursprünglich hat man das Zeitmultiplexprinzip in gleicher Weise wie das Frequenzmultiplexprinzip zur Mehrfachausnützung kostspieliger Übertragungsmedien (Draht oder Funk) verwendet. Daraus sind die verschiedenen Pulsmodulationsverfahren entstanden.

Die Anwendung des Zeitmultiplexprinzips in der Vermittlungstechnik ist aber weniger naheliegend. Das Ziel ist hier nicht eine Einsparung an Leitungen, sondern vielmehr eine Reduzierung der Anzahl Koppelpunkte in einer Vermittlungsstelle. Die Aufgabe der Vermittlung besteht nämlich in der Herstellung einer Verbindung zwischen zwei von vornherein beliebigen Teilnehmern aus einer grösseren Gruppe, und zwar nur für die Dauer eines Gespräches. Bisher hat man dazu räumlich getrennte Verbindungswege durch ein Koppelnetzwerk aufgebaut. Es ist aber auch denkbar, diese Verbindungswege in der Form von Zeitkanälen zu realisieren und dabei die Anzahl der physikalischen Koppelpunkte beträchtlich zu reduzieren.

In einem Zeitmultiplex-Vermittlungssystem (Fig. 2) sind die Teilnehmer über individuelle Schalter an einer gemeinsamen Zeitmultiplex-Schiene angeschlossen. Die Schalter der beiden Gesprächspartner werden periodisch jeweils während der gleichen Pulsphase kurzzeitig geschlossen (in Fig. 2, z. B. Teilnehmer 1 und 4 bei der Phase 2 P_2, Teilnehmer 3 und N bei der Phase P_1). Die gemeinsame Zeitmultiplex-Schiene überträgt die kurzen Abtastproben der **k** zeitlich ineinandergeschachtelten Kanäle, wie es im rechten Teil der Figur 2 für die Pulsphasen P_2 und P_1 dargestellt ist.

Da die Zeitkanäle nur nach Bedarf den Teilnehmern zugeteilt werden, reichen **k** Pulsphasen für eine grössere Anzahl Teilnehmer **N** aus, die vom Verkehr abhängt und nach den bekannten Methoden der Verkehrsberechnung bestimmt wird. Um eine Grössenordnung zu nennen, könnte man mit 50 Zeitkanälen den Verkehr von etwa 400 Teilnehmern untereinander leicht bewältigen.

Das ganze Koppelnetzwerk umfasst nur **N** Koppelpunkte. Als Vergleich zeigt Figur 3 ein genau gleichwertiges Raumvielfach-Koppelnetzwerk, z. B. eine Relais-Matrix, das aber **k.N** Koppelpunkte braucht. Die extreme Einfachheit des Zeitmultiplex-Koppelnetzwerkes und die beträchtliche Einsparung an Koppelpunkten, die daraus resultiert, machen das Zeit-

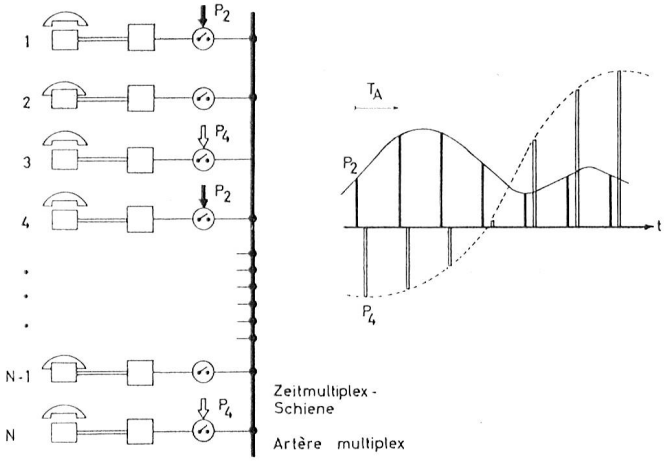

Fig. 2:
Zeitmultiplex-Koppelnetzwerk

multiplexverfahren sehr attraktiv für eine vollelektronische Lösung der Vermittlungsaufgaben.
Die Vermittlungstechnik ist ein sehr umfangreiches Gebiet mit zahlreichen verschiedenen Aspekten. Hier seien aber nur drei Grundfunktionen einer Vermittlungsstelle betrachtet und im Zusammenhang mit dem Zeitmultiplexverfahren behandelt. Dabei geht es in erster Linie um das Zeitmultiplexverfahren mit Pulsamplitudenmodulation (PAM).

Diese drei Grundfunktionen sind:

— Nachrichten-Übertragung. Diese Funktion ist durch den Sprechweg ausgeführt, der jeweils für die gewünschte Verbindung durchgeschaltet wird.

— Informations-Speicherung zum Halten der aufgebauten Verbindungen.

— Informations-Verarbeitung, um die Vermittlung zu steuern.

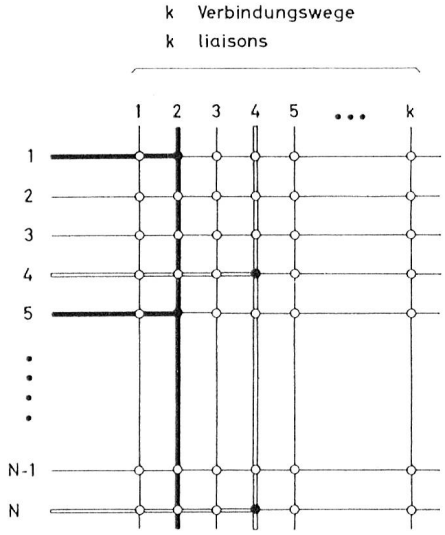

Fig. 3:
Raumvielfach-Koppelnetzwerk

Übertragungsprobleme

In Figur 4 ist der Sprechweg von einem Teilnehmer zu einem anderen durch ein Zeitmultiplex-Koppelnetzwerk schematisch dargestellt.

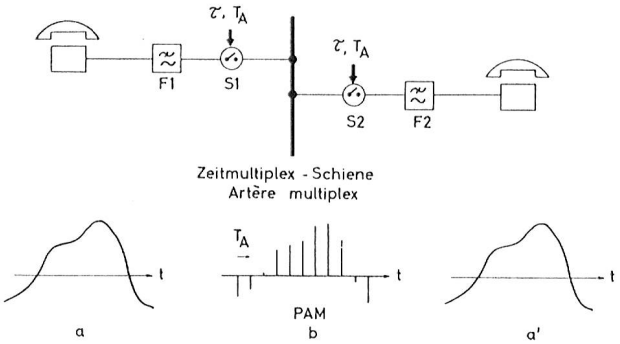

Fig. 4:
Sprechweg durch ein Zeitmultiplex-Koppelnetzwerk

Für die Übertragung von gesprochener Nachricht reicht nach den CCITT-Empfehlungen eine Bandbreite von 300 bis 3400 Hz. Die minimale Abtastfrequenz nach dem schon erwähnten Abtasttheorem wäre etwa 7 kHz. In der Zeitmultiplex-Übertragungstechnik wählt man üblicherweise 8 kHz, in der Vermittlungstechnik jedoch meistens noch mehr, z. B. 10 kHz, und zwar aus folgendem Grund:
Aus dem Gespräch (Fig. 4, Kurvenform a) entnimmt der Abtastschalter S_1 oder S_2 kurze Amplitudenproben, die auf der Zeitmultiplex-Schiene als amplitudenmodulierter Puls erscheinen (PAM, Kurvenform b). Beim anderen Teilnehmer muss der PAM-Puls demoduliert werden, d. h. das ursprüngliche Sprechsignal mit Hilfe eines Tiefpassfilters F_1 oder F_2 aus dem PAM-Spektrum herausgesiebt werden. Die Wahl der Abtastfrequenz bei 10 kHz oder höher ermöglicht es, die Selektivitätsforderungen und damit den Aufwand für den Teilnehmer-Tiefpass bescheiden zu halten.
Die Festlegung der Anzahl Zeitkanäle auf der gleichen Zeitmultiplex-Schiene ist das Ergebnis eines Kompromisses zwischen Verkehrskapazität einerseits und Schnelligkeit der am Koppelnetzwerk beteiligten Elemente andererseits. Die bis jetzt realisierten Zeitmultiplex-Vermittlungssysteme arbeiten mit 20 bis 100 Zeitkanälen. Mit einer Abtastfrequenz von 10 kHz und 100 Zeitkanälen beträgt das Zeitintervall pro Kanal nur 1 µs, wobei die Hälfte davon als Schutzpause wegen der Gefahr des Nebensprechens zwischen zwei benachbarten Kanälen verlorengeht. Die tatsächliche Übertragungszeit ist also nur 0,5 µs und das Tastverhältnis 200 : 1.
Wie steht es aber mit der Energieübertragung? Die Information wird zwar verlustlos übertragen, die Energie jedoch zunächst bei weitem nicht. Bei mehreren Systemen wird dieser Energieverlust mit Verstärkern kompensiert, die aber leider zu einem 4-Draht-Betrieb zwingen. Es ist jedoch auch möglich, ohne Verstärker und deshalb im 2-Draht-Betrieb diese Verluste fast vollständig zu vermeiden, dank dem sehr eleganten Prinzip der Resonanz-Übertragung, das im Jahre 1952 durch die Schweden Svala und Haard zum Patent angemeldet wurde.

Resonanz-Übertragung

Das Prinzip der Resonanz-Übertragung sei anhand der schematischen Darstellung einer Sprechverbindung in der Figur 5 dargelegt.

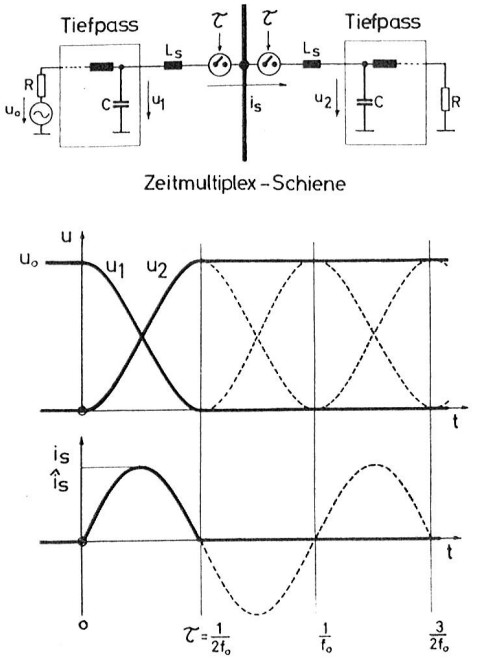

Fig. 5:
Resonanz-Übertragung ohne Verluste

Auf dem Pulsübertragungsweg werden kleine Induktivitäten L_s eingefügt, die mit den letzten Kondensatoren der Tiefpässe einen Reihenschwingkreis bilden. Kurz bevor die Schalter schliessen, liegt am linken Kondensator die Leerlaufspannung des Sprechgenerators u_0. Wenn beide Schalter geschlossen werden (t = o), fängt diese gespeicherte Energie an, zwischen den linken und den rechten Kondensatoren hin und her zu pendeln, und zwar mit der Resonanzfrequenz des Reihenschwingkreises $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_S C}}$

Wenn in geschickter Weise die Schalter nach einer halben Periode $\tau = \frac{1}{2 f_0}$ wieder geöffnet werden, ist gerade die ganze Energie rechts und kann nicht mehr zurückfliessen. Die Ladung des linken Kondensators wurde somit verlustlos zum rechten übertragen. Da die ganze Schaltung vollkommen symmetrisch ist, kann eine doppeltgerichtete Energieübertragung stattfinden: beide Kondensatoren tauschen ihre Ladungen um. Dieses Ergebnis muss jedoch erkauft werden. Der Strom durch die Schalter im Impulsmoment ist nämlich sehr hoch und überträgt in einer halben Sinuswelle die ganze Energie in konzentrierter Form.

In der Praxis liegt aber immer ein Durchlasswiderstand 2r auf dem Übertragungsweg (Fig. 6). Der Reihenschwingkreis wird dadurch gedämpft und die Resonanz-Übertragung ist

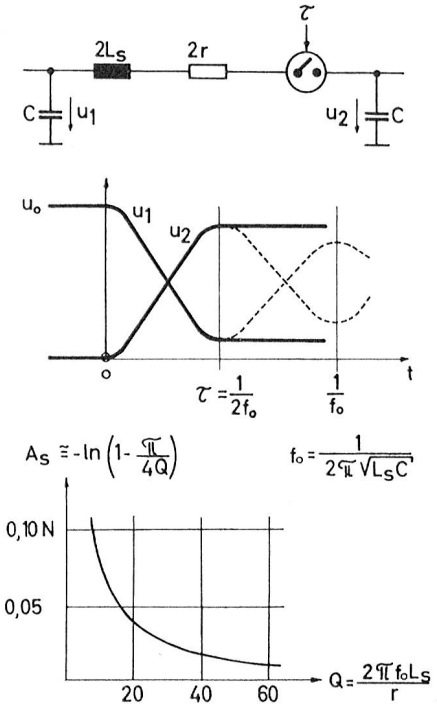

Fig. 6:
Resonanz-Übertragung mit Verlusten

nicht mehr verlustlos, sondern erfährt eine Dämpfung A_s nach einer halben Periode $\tau = \frac{1}{2 f_0}$:

$$A_S \cong -\ln\left(1 - \frac{\pi}{4Q}\right)$$

wobei $Q = \frac{2\pi f_0 \cdot L_S}{r}$ die Güte des Kreises ist. Zum Beispiel: für Q = 10 wird nur 92 % der Ladung eines Kondensators auf den anderen übertragen.

Die Figur 7 zeigt die Zeitvorgänge im Impulsmoment mit einer Impulsdauer von $\tau = 1\ \mu s$ und mit einer niederfrequenten Modulation. Die Wirkung der Verluste im Reihenschwingkreis ($Q \cong 12$) ist deutlich zu erkennen.

Die zweite Oszillographenaufnahme (Fig. 8) zeigt die Zeitvorgänge in den 99 µs langen Pulspausen bei der gleichen

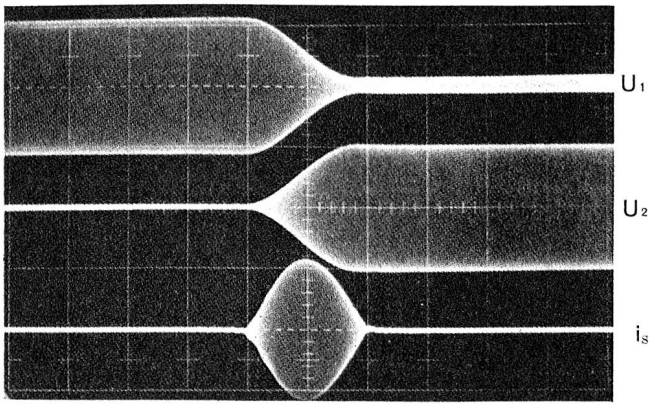

Fig. 7:
Resonanz-Übertragung: Zeitvorgänge im Impulsmoment

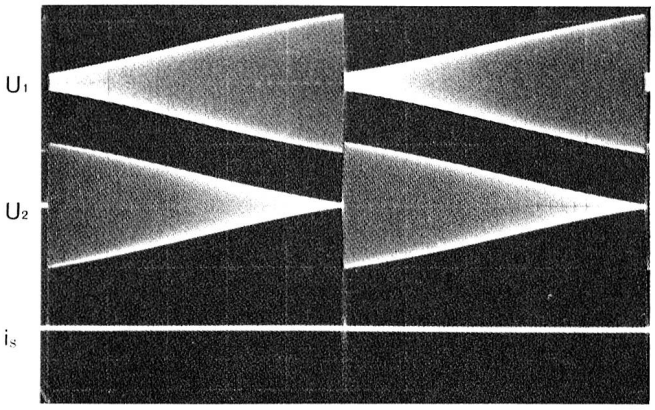

Fig. 8:
Resonanz-Übertragung: Zeitvorgänge in den Pulspausen

Schaltung mit einem anderen Zeitmaßstab. Die integrierte Funktion der Tiefpässe in den Pausen ist wichtig. Verschiedene Theorien haben zur Analyse des Filterverhaltens im Pulsbetrieb beigetragen, ohne jedoch bis jetzt eine praktische Synthese zu ermöglichen.

Verbindungsspeicher

Als zweite Grundfunktion der Vermittlung muss jetzt das Halten der bestehenden Verbindungen betrachtet werden. Die Gedächtnisfunktion, die dazu notwendig ist, wurde bei den elektromechanischen Systemen wenig beachtet, weil sie dort als Selbstverständlichkeit in den Koppelpunkten (Wähler oder Relais) selber enthalten ist. Wenn man aber das Bild eines Zeitmultiplex-Koppelnetzwerkes (Fig. 2) betrachtet, so stellt man fest, dass die elektronischen Schalter keine Gedächtnisfunktion ausüben können, sie müssen periodisch jeweils bei der richtigen Phase paarweise synchron gesteuert werden, und zwar mit Hilfe von Verbindungsspeichern, die sich bei jeder Pulsphase merken, wer mit wem spricht.
Shannon hat sich 1950 theoretisch überlegt, welche minimale Speicherkapazität prinzipiell notwendig ist, um die durchgeschalteten Sprechwege innerhalb einer Vermittlungsanlage mit **N** Teilnehmer und bis **k** gleichzeitig möglichen Verbindungen festzuhalten.
Für jede Verbindung sind $\frac{1}{2}$ [N(N-1)] paarweise Kombinationen der **N** Teilnehmer möglich. Pro Verbindung muss also der Speicher eine Kapazität ^{2}10g $\frac{1}{2}$ [N(N-1)] bit haben. Wenn noch dazu unterschieden werden muss, welcher Teilnehmer der rufende ist, erhöht sich die notwendige Speicherkapazität pro Verbindung auf ^{2}10g [N(N-1)] bit, die totale Speicherkapazität ist dann k. ^{2}10g [N(N-1)] $\cong$ 2k.^{2}10g N bit.
In einem Zeitmultiplex-Vermittlungssystem mit **k** Pulsphasen kann man dieses Minimum erreichen, indem man zwei Adressenspeicher versieht mit je **k** Speicherzellen. Jede Zelle enthält die binär codierte Adresse eines Teilnehmers, d. h. im Minimum ^{2}10g N bit. Die **k** Speicherzellen werden zyklisch nacheinander abgelesen und bestimmen dadurch die Reihenfolge und die Wiederholungsfrequenz der **k** Zeitkanäle.
Dazu eignen sich besonders Umlaufspeicher mit Verzögerungsleitung. Die Figur 9 stellt das Prinzip eines solchen Speichers dar und die Figur 10 die Realisierung mit Ausnützung der Laufzeit akustischer Wellen auf einem Draht als Verzögerung. Hier bewirken magnetostriktive Effekte die Umwandlung der elektrischen Impulse in mechanische Beanspruchungen und umgekehrt. Ein Schreibimpuls erscheint nach der Laufzeit t_v am Ausgang und wird neu eingeschrieben, obwohl kein Impuls am Schreibeingang mehr liegt. Der Impuls ist von nun an gespeichert und erscheint zyklisch mit einer Periode t_v am Ausgang. Der Umlauf kann durch einen koinzidierenden Impuls am Löscheingang unterbrochen werden. Die Anzahl bit, die ein solcher Speicher in Serie speichern kann, ist gegeben durch das Verhältnis zwischen der Umlaufzeit t_v und der Taktperiode T_1. Diese dynamischen Speicher arbeiten ganz im Sinne vom Zeitmultiplex-Prinzip: Es wird jeweils nur ein Impuls abgelesen und verarbeitet, die anderen bit sind unterwegs auf der Verzögerungsleitung.

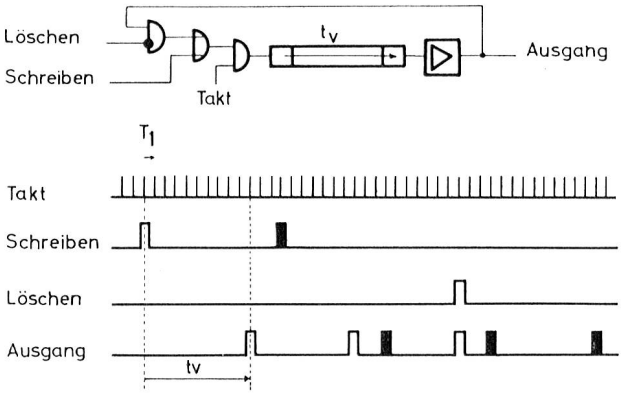

Fig. 9:
Umlaufspeicher mit Verzögerungsleitung

Das Zeitmultiplex-Koppelnetzwerk nach der Figur 2 wird mit Verbindungsspeichern ergänzt (Fig. 11), die aus mehreren Drahtspeichern in parallel bestehen. Ihre Umlaufzeit entspricht genau der Abtastperiode (z. B. 100 µs). Alle Drahtspeicher laufen streng synchron und bieten die gespeicherte Information der **k** Zeitkanäle nacheinander. Der ganze Speicher verhält sich somit genau wie eine allerdings 10 000mal in der Sekunde rotierende Trommel, auf welcher jede Mantellinie einer Pulsphase entspräche und die binär codierten Adressen der beiden Gesprächspartner **A** und **B** enthielte.
Ausser den Teilnehmern werden noch andere Einrichtungen an die Zeitmultiplex-Schiene über elektronische Schalter angeschlossen, wie z. B. Tonfrequenz-Wahlempfänger **WE** (wenn Tastenwahl mit Tonfrequenz vorgesehen ist) und die verschiedenen Hörzeichen-Generatoren, für Wählzeichen **WZ**, Besetzungszeichen **BZ**, Rufzeichen **RZ**. Die dazugehörige Information wird ebenfalls in synchronen Umlaufspeichern pulsphasenmässig festgehalten. Decoder entziffern die in den Umlaufspeichern in codierter Form gespeicherten Adressen und steuern jeweils die entsprechenden Schalter.
Im Beispiel der Figur 11 bestehen bei der ersten und vierten Pulsphase zwei Verbindungen zwischen je zwei Teilnehmern. In der zweiten Phase wählt ein Teilnehmer und in der dritten bekommt ein anderer ein Hörzeichen.

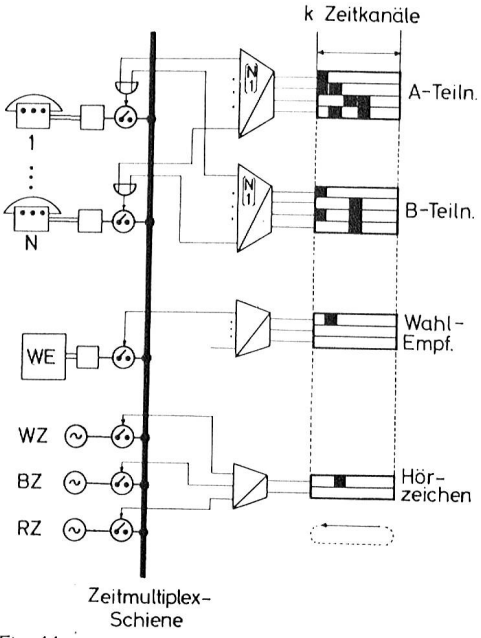

Fig. 11:
ZM-Koppelnetzwerk mit Umlaufspeichern

Steuerung

Die Verbindungsspeicher enthalten in zentralisierter Form die wesentlichsten Informationen über den gesamten Belegungszustand der Anlage sowie über den Vermittlungszustand jeder bestehenden Verbindung. Somit sind sie ideale Mitarbeiter des Zentralsteuerwerks, das die dritte Grundfunktion der Vermittlung übernimmt, nämlich die Nachrichten-Verarbeitung.

Das Grundprinzip des Steuerwerks für eine Zeitmultiplexvermittlung ist sehr einfach: seine Aufgabe besteht hauptsächlich darin, Information in die Umlaufspeicher einzuschreiben oder zu löschen. Diesbezügliche Entscheidungen werden in der zentralen Logik (Fig. 12) getroffen. Die zentrale Logik erhält einerseits über den Informations-Aufnahmeteil Auskunft über äussere Ereignisse, die eine bestimmte Verbindung, d. h. eine bestimmte Pulsphase P_x betreffen. Als äussere Informationsquellen gelten hier in erster Linie die Teilnehmer, die ihre Vermittlungswünsche mit Hilfe ihres Schleifenzustandes an die Zentrale mitteilen. Im Falle von Tonfrequenzwahl ist die Wahlinformation nicht direkt durch Impulszählung aus dem Schleifenzustand erkennbar, sondern wird von den Wahlempfängern in Parallelform dem Steuerwerk geliefert.

Die zentrale Logik liest andererseits den bestehenden Vermittlungszustand dieser gleichen Pulsphasen P_x aus den Umlaufspeichern ab und verknüpft diese Informationen miteinander, d. h. sie überprüft die Situation und zieht logische Konsequenzen daraus, gegebenenfalls in der Form von Schreib- und Löschbefehlen an die Umlaufspeicher zur Einstellung eines neuen Vermittlungszustandes bei der Phase P_x. Für ihre Entscheidungen braucht die zentrale Logik genaue Richtlinien, besser gesagt ein bestimmtes Arbeitsschema, in welchem der ganze Ablauf der klassischen Vermittlungsoperationen und eventuell neuer Dienste festgehalten ist. Dieses Arbeitsschema ist entweder mit einer fest verdrahte-

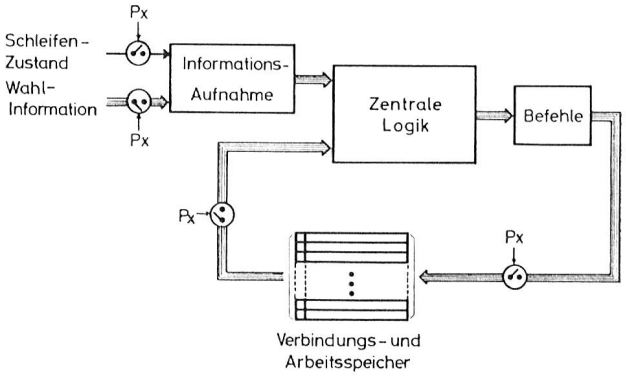

Fig. 12:
Steuerungsprinzip einer Zeitmultiplexvermittlung

ten Logik oder, was flexibler ist, mit einem semi-permanentgespeicherten Programm realisiert.

Beispiel einer Vermittlungsoperation

Bei der Pulsphase P_7 wählt der rufende Teilnehmer die zweite Ziffer, z. B. 8 der Rufnummer. Das System arbeitet mit Tonfrequenz-Tastenwahl und Schleifenstromabsenkung als Begleitsignal, was gestattet, einen Wahlempfänger nur jeweils für die Dauer eines Tastendrucks anzuschalten.

Der Teilnehmer drückt auf die Taste 8. Dabei wird sein Schleifenstrom unterhalb der Erkennungsschwelle abgesenkt und die Informationsaufnahme meldet dem Steuerwerk: «Schleifenunterbruch auf Phase 7.» Die zentrale Logik stellt anhand des Umlaufspeichers fest, dass bei P_7 noch kein Wahlempfänger zugeteilt wurde und gibt den Befehl: «Einen Wahlempfänger bei P_7 einschreiben.» Von nun an ist der Teilnehmer mit einem Wahlempfänger über die Phase 7 verbunden.

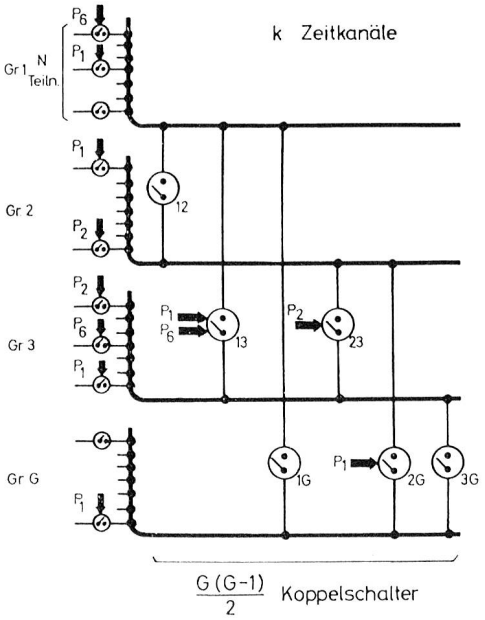

Fig. 13:
Zweistufiges ZM-Koppelnetzwerk

Nach einer gewissen Einschwingzeit meldet der Wahlempfänger über die Informationsaufnahme: «Bei Phase 7 wurde Ziffer 8 gewählt.» Die zentrale Logik schliesst aus dem Vermittlungszustand der Phase 7, dass diese Ziffer die zweite von der Rufnummer ist, und gibt den Befehl: «Diese Ziffer in den Adressen-Speicher für B-Teilnehmer bei P_7 an zweiter Stelle einschreiben.» Der B-Adressenspeicher spielt dabei die Rolle eines Wahlregisters und nimmt die gewählten Ziffern nacheinander auf.

Mehrstufige Systeme

Für grössere Zentralen mit stärkerem Verkehr reicht die Verkehrskapazität einer einzigen Zeitmultiplex-Schiene nicht aus. Die Teilnehmer müssen in mehrere Gruppen aufgeteilt werden, wobei jede Gruppe eine eigene Schiene besitzt.
Im zweistufigen System (Fig. 13) hat jede Gruppenschiene Zugang zu jeder anderen über einen Koppelschalter, der im Zeitmultiplex für mehrere Verbindungen benützt werden kann, Mit G-Gruppen sind ½ [G(G-1)] Koppelschalter nötig.
Für sehr grosse Zentralen mit vielen Teilnehmern und hohem Verkehr denkt man an dreistufige Gruppierung, um die Anzahl Koppelschalter zu reduzieren. Hier nur ein Beispiel (Fig. 14): mehrere Gruppen bilden eine Übergruppe, Zeitmultiplex-Querschienen führen den Verkehr jeweils zwischen zwei Übergruppen, andere dienen zum Verkehr innerhalb einer Übergruppe.

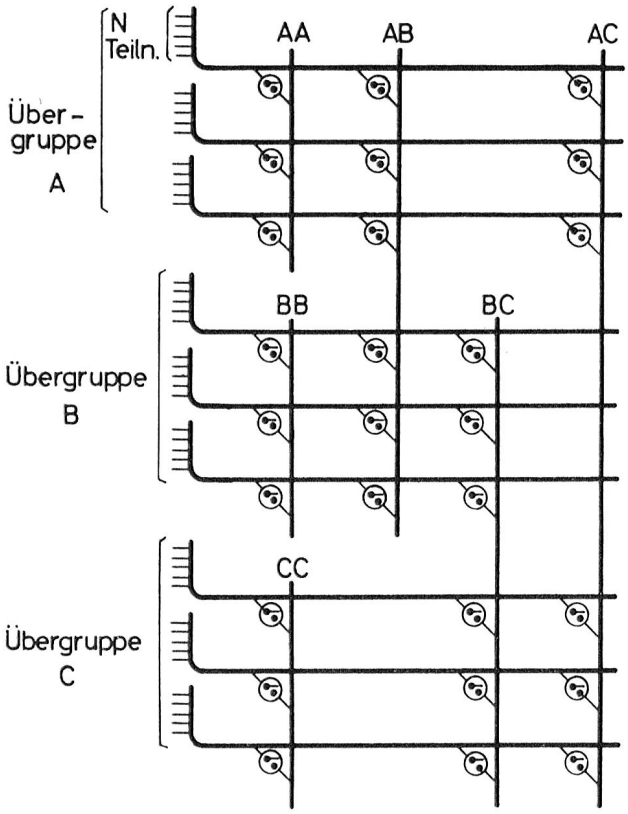

Fig. 14:
Dreistufiges ZM-Koppelnetzwerk

Beim Aufbau einer Verbindung durch ein mehrstufiges System muss eine Pulsphase gefunden werden, die gleichzeitig auf zwei bzw. drei Schienen frei ist. Das ist je nach dem Belegungszustand nicht immer möglich; innere Blockierungen können entstehen, die die Verkehrskapazität des Systems beeinträchtigen.

Aufgebaute Systeme

Seit etwa 15 Jahren wird in verschiedenen Ländern an dem Problem der Zeitmultiplex-Vermittlung gearbeitet. In England haben fünf Firmen unter der Leitung der britischen Post Pionierarbeit auf diesem Gebiet geleistet und ein grosses Ortsamt entwickelt, das 1962 in der Quartierzentrale Highgate Wood in London eingeschaltet wurde, allerdings sicherheitshalber mit Beistand eines elektromechanischen Systems. Es ist etwa zwei Jahre lang teilaufgebaut im öffentlichen Versuchsbetrieb geblieben und erfüllte sämtliche Ortsamtbedingungen, jedoch mit beträchtlichem Aufwand, besonders zur Anpassung an die elektromechanische Umwelt.
Im Jahre 1954 verwendete die Firma Ericsson zum ersten Mal die Resonanz-Übertragung in einem einstufigen Labormodell (EMAX) mit 8 Kanälen.
Dir Firmen North Electric und Stromberg-Carlson lieferten 1962 an die amerikanische Armee und Luftwaffe eine Reihe von Zeitmultiplex-Zentralen für taktische Nachrichtennetze. Entscheidend für die Wahl einer vollelektronischen Lösung nach dem Zeitmultiplexverfahren waren dabei die strengen Raum- und Gewichtseinschränkungen sowie die harten Betriebsbedingungen, die von transportablen Feldzentralen verlangt werden. Stromberg-Carlson hat ausserdem eine Zeitmultiplex-Nebenstellanlage (Dynalogic) entwickelt. Zur Zeit sind angeblich mehrere solche Anlagen in Betrieb und weitere im Bau.
Nachdem die Bell Laboratorien ihre Entwicklung auf dem Gebiet der elektronischen Vermittlungstechnik zuerst mehr in Richtung Raumvielfachsysteme getrieben haben, besitzen sie jetzt ein interessantes System für Nebenstellenanlagen mit Zeitmultiplex-Koppelnetzwerk unter der Bezeichnung No. 101 ESS, das bei der Western Electric Company kommerziell gefertigt wird. Die Originalität des Systems liegt u. a. in der Tatsache, dass zur besseren Ausnützung des Steuerwerks mehrere Nebenstellenanlagen (bis zu 32) von einer gemeinsamen Zentralsteuerung aus ferngesteuert werden. Beim Kunden befindet sich nur eine relativ kleine Schalteinheit, die hauptsächlich das Koppelnetzwerk und die Verbindungsspeicher enthält. Alle Informationen werden über Datenleitungen an die zentrale Steuerung im Ortsamtsgebäude mitgeteilt, und die Steuerbefehle kommen von dort zurück. Im Frühjahr 1966 waren schon 40 Schalteinheiten und 13 Steuereinheiten in Betrieb.
An vielen anderen Orten werden die Möglichkeiten der Zeitmultiplex-Vermittlungstechnik untersucht und Labormodelle aufgebaut. In Deutschland hat sich Siemens intensiv mit diesen Problemen befasst und Laborzentralen in Versuchsbetrieb gesetzt. In der Albiswerk Zürich AG läuft seit Oktober 1966 ein kleines Labormodell mit internem Verkehr. In der Tabelle 1 sind die Merkmale der wichtigsten in der Literatur beschriebenen Systeme zusammengefasst.

Einige aufgebaute Zeitmultiplex-Vermittlungssysteme

Jahr	Firma, System	Type	f_A kHz	k	Reson.-Übertr.	Teiln.-station	Kapazität pro Gr.	Kapazität Total	Lit.
1956—62	British Post Office Highgate Wood	4-Draht, 2stufig Ortsamt	10	100		N (T, R)	800	7200	(4)
1960	Stromberg-Carlson	4-Draht, Militär	12,5	32	×	T, R	28	280	(4)
1961	North Electric	4-Draht, 2stufig Militär	12,5	20	×	T, R	36	504	(8)
1964	Stromberg-Carlson Dynalogic	2-Draht, 1stufig Nebenstelle	10	100	×	N (T, R)	1000	—	(9)
1962	Bell No. 101 ESS 1A	1st. } 2-Draht-Nebenst.	12,5	2×25	×	(N) T	200	—	(10)
	2A	3st. } 2-Draht-Nebenst.		30			64	364	(5)
	3A	3st. } 2-Draht-Nebenst.		60			64	820	
1962	Siemens	2-Draht, 1stufig	10	100	×	(N) T, R	1000	—	(11)
1964	Bell. Tel. Man. Co. 20 J	2-Draht, 1stufig Nebenstelle	10	25	×	N (T, R)	200	—	(5)
1965	SOCOTEL AT 200	4-Draht, 1stufig	7,8	32		N	200	—	(12)
1966	Siemens	2-Draht, 1stufig Nebenstelle	10	100		T, R	900	—	(5)

N: Normale Station
T: Tastenwahl
R: Tonruf

Schlussbetrachtungen

Neben den hier angedeuteten Anwendungen der Pulsamplitudenmodulation (PAM) öffnen sich jetzt neue Perspektiven für die Zeitmultiplex-Vermittlung im Zusammenhang mit integrierten Netzen durch die Anwendung der Pulscodemodulation (PCM) zur Mehrfachausnützung von Ortsleitungen. Die Pulscodemodulation, die in diesem Falle aus bekannten übertragungstechnischen Gründen der PAM vorgezogen wird, ändert zwar nichts an den Grundproblemen der Vermittlungstechnik, sie ermöglicht oder verlangt aber zum Teil andere praktische Lösungen, die im Rahmen des integrierten Netzes studiert werden müssen.

Die vollelektronische Vermittlungstechnik kommt jetzt erst kaum aus dem Laborversuchsstadium heraus. Das Vermittlungssystem der weiteren Zukunft hat sich noch nicht klar herauskristallisiert. Der Kontakt mit der rauhen Wirklichkeit, d. h. die Zusammenarbeit mit hochentwickelten vorhandenen Einrichtungen und die Anpassung an eine bestehende nicht im Hinblick auf Elektronik konzipierte Technik, stellt die vollelektronischen Vermittlungssysteme vor Probleme, die vorläufig noch nicht alle gelöst worden sind, an deren Lösung aber intensiv weitergearbeitet wird.

Bibliographie

(1) Hölzler E. und Holzwarth H.: Theorie und Technik der Pulsmodulation, Berlin (1957), Springer-Verlag, S. 98 ff
(2) Poschenrieder W.: Das Zeitmultiplexverfahren in der Vermittlungstechnik, Siemens-Z. 37 (1963), H. 1, S. 16...19
(3) Poschenrieder W.: Stand der Zeitmultiplex-Vermittlungstechnik. Informationen Fernsprech-Vermittlungstechnik 2—66, S. 61...68 und 4—66, S. 194...199
(4) Conference on Electronic Telephone Exchanges. Proc. IEE, Part B, supplement No. 20, vol. 107 (1960)
(5) Communications du Colloque international de Commutation électronique, Paris mars 1966 (éditions Chiron)
(6) French J. A. T. und Harding D. J.: An Efficient Electronic Switch: the Bothway Gate. Poste Office Electr. Eng. Journ. 52 (1959), p. 37...42
(7) Shannon C. E.: Memory Requirements in a Telephone Exchange. Bell Syst. Tech. Journ. 29 (1950), July, p. 343...349
(8) A Four-Wire Solid-State Switching System. Ericsson technics 19 (1963), No. 2, p. 111...229
(9) Brightman B.: An Electronic 2-Wire Private Branch Exchange. IEEE Transactions on Communication and Electronics 83 (1964), November, p. 680...684
(10) Depp W. A. und Townsend M. A.: An Electronic Private Branch Exchange Telephone Switching System. IEEE Transactions on Communication and Electronics 83 (1964), July, p. 321...345
(11) Darré A., Ptacnik E. und Schlichte M.: Versuchsbetrieb mit einer elektronischen Fernsprech-Vermittlungsanlage in Zeitmultiplextechnik. Siemens-Z. 37 (1963), H. 2, S. 61...67
(12) Revel H., Hollocou E. et le Bellec C.: Autocommutateur temporel à petite capacité AT 200. Commutation et Electronique No 10, octobre 1965, p. 28...51