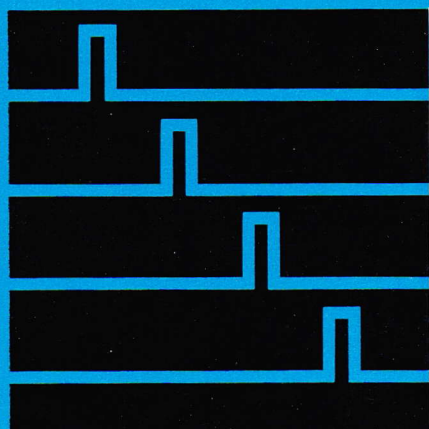




Ein Beitrag zum Problem
der Verflechtung von Vermittlungs-
und Übertragungssystemen

VON KARL-LUDWIG PLANK UND JOHANNES-GEORG SCHOSNIG

Ein Beitrag zum Problem der Verflechtung von Vermittlungs- und Übertragungssystemen

Von Karl-Ludwig Plank und Johannes-Georg Schosnig

DK 621.395.345 : 621.395.12

Mitteilung aus dem Entwicklungslaboratorium der Firma Telefonbau und Normalzeit GmbH, Frankfurt am Main

Vorbemerkung

Die Untersuchungen an vollelektronischen Vermittlungseinrichtungen haben einen Stand erreicht, der die Planung solcher Anlagen in großem Umfange als technisch und wirtschaftlich vertretbar erscheinen läßt. Insbesondere eröffnet die Technik der zeitmultiplexen Sprechwegedurchschaltung völlig neue Aspekte, die in der Verflechtung von Vermittlungs- und Übertragungstechnik gipfeln.

Sollen alle Vorteile dieser Technik genutzt werden, so müssen sehr frühzeitig zwischen Übertragungs- und Vermittlungstechnik die oft unterschiedlichen Vorstellungen koordiniert werden. Der vorliegende Aufsatz versucht aus der Sicht der Vermittlungstechnik charakteristische Größen für ein solches System der Zukunft festzulegen.

Ein daraus resultierender Vorschlag zur Koordinierung des Impulsrahmens und der elektrischen Eigenschaften des Sprechpfades wird zur Diskussion gestellt.

1. Einführung

Ein Vermittlungssystem mit zeitmultiplexer Sprechwegedurchschaltung wird bei sorgfältiger Vorbereitung und Planung eine Vielzahl von Merkmalen und Vorteilen bringen, die bei einem räumlichen Sprechwegevielfach — gleichgültig, ob mit Reedkontakten oder mit elektronischen Mitteln — nicht zur Diskussion stehen. Mit Einführung der zeitmultiplexen Sprechwegedurchschaltung wird mit der herkömmlichen Art des Verbindungsaufbaues gebrochen. Bei diesem Verfahren sind alle Teilnehmer über elektronische Schalter an eine zentrale Leitung — die sogenannte „Sammelschiene“ — anschaltbar. Die beiden Teilnehmer, deren Schalter von der Steuerung her gleichzeitig erregt werden, sind miteinander verbunden.

Für Fernsprechzwecke reicht es dabei völlig aus, wenn eine solche Verbindung in der Sekunde acht- bis zehntausendmal aktiviert wird. Da die Übertragungsqualität nicht leidet, wenn die Abtastdauer verkürzt wird, können über eine Sammelschiene zur Zeit größenordnungsmäßig hundert Gespräche abgewickelt werden. Eine solche Sammelschiene für hundert Gespräche ersetzt eine klassisch konventionelle Wählervermittlung mit 142 Verbindungssätzen, wenn als Vergleichsbasis eine Erreichbarkeit von $k = 10$ und ein Verlust von 1 % [1] ($\gamma = 83,18$ Erl) angenommen wird. Der herausragende Vorteil einer solchen Anordnung besteht darin, daß alle an die Sammelschiene angeschlossenen Teilnehmer untereinander bei Einsatz nur eines Koppelpunktes je Teilnehmer und je Sammelschiene eine vollkommene Erreichbarkeit bei hohen Verkehrswerten haben. Bei Erweiterungen können Sammelschienen parallel oder gruppiert betrieben werden. Somit lassen sich in einfacher Weise auch große Verkehrswerte realisieren.

Ein weiterer entscheidender Vorteil der zeitmultiplexen Sprechwegedurchschaltung ist die hieraus resultierende Möglichkeit der „Verflechtung“ von Vermittlungs- und Übertragungseinrichtungen innerhalb der Fernmeldenetze. In der Übertragungstechnik findet das Verfahren der Puls-Code-Modulation (PCM) in ständig steigendem Umfange Einsatz. Es hat den Vorzug sehr großer Störsicherheit bei gleichzeitiger Unempfindlichkeit gegen Dämpfungsschwankungen. Die PCM-Signale werden bekanntlich durch digitale Codierung von Amplitudenproben aus PAM-Signalen gewonnen.

PAM-Signale sind aber auch die Signalelemente der zeitmultiplexen Sprechwegedurchschaltung in Vermittlungssystemen. Außerdem würde ein Vermittlungssystem mit zeitmultiplexer Sprechwegedurchschaltung ebenfalls sehr leicht die Realisierung zahlreicher Sonderdienste gestatten, wie z. B. Konferenzschaltungen, Tastenwahl usw.

Ein Vermittlungssystem mit zeitlichem Sprechwegevielfach bietet bei Anlagen mit mehr als 100 Teilnehmern wirtschaftliche und technische Vorteile, die erst in der Zukunft vollständig genutzt werden können.

2. Theoretische Grundlagen für ein zeitliches Sprechwegevielfach

2.1. Das Abtasttheorem

Ein periodischer Vorgang kann durch Amplitudenproben vollständig beschrieben werden, sofern diese Proben in bestimmten, genau definierten Abständen dem Signalgemisch entnommen werden.

H. Raabe [2] hat bereits 1939 gezeigt, daß zur vollständigen Beschreibung eines Nachrichtensignals der zeitliche Abstand zwischen zwei Proben höchstens halb so groß sein darf wie die Periodendauer der höchsten in dem zu übertragenden Nachrichtensignal enthaltenen Frequenz. Es gilt also:

$$T_p \leq \frac{1}{2 f_{\max}} \quad (1)$$

Dabei ist T_p die Periodendauer der Abtastimpulse und $f_{\max}$ die höchste zu übertragende Frequenz.

Die Folge der Amplitudenproben ergibt eine pulsamplituden-modulierte Signalfolge, aus der die Ursprungsfunktion dadurch wiedergewonnen werden kann, daß man die Signalfolge einem Tiefpaßfilter zuführt, dessen Durchlaßfrequenz größer als $f_{\max}$ und dessen Sperrfrequenz

$$f_p \leq \frac{1}{T_p} \quad (2)$$

sein soll. Am Ausgang dieses Tiefpaßfilters steht dann die Ursprungsfunktion mit einem Pegel, der vom Tastverhältnis entscheidend bestimmt wird, sofern keine verstärkenden Elemente vorhanden sind.

2.2. Die wechselzeitige Mehrfachausnutzung (Zeitmultiplex)

Wird die Impulsdauer klein gegenüber T_p gehalten, so können eine Vielzahl sendeseitiger Abtastorgane gangsseitig an eine Sammelschiene geschaltet werden. Die Abtastorgane werden dann zeitlich nacheinander aktiviert, wobei der Zustand zwischen zwei Abtastimpulsen für das gleiche Abtastorgan gleich der Periodendauer ist. Auf diese Weise können im Grenzfall und ohne Berücksichtigung von anderen Bedingungen, die die Sammelschienenkapazität einschränken,

$$n' = \frac{T_p}{t_I} \quad (3)$$

Abtastorgane innerhalb einer Abtastperiode aktiviert werden. Dabei ist t_I die Dauer eines Abtastimpulses. Praktisch ist dieser Grenzwert ohne Bedeutung, da er durch die erzielbare Bandbreite des Sammelschienen-systems und die für Vermittlungssysteme geforderten Nebensprechbedingungen drastisch eingeschränkt wird. Die Impulsbreite wird primär derzeit vom Schaltverhalten der Abtastorgane bestimmt. Als technisch realisierbare Werte gelten etwa 1 μ s bis 0,1 μ s. Unter der Voraussetzung ideal schaltender Abtastorgane wird das Nebensprechen im wesentlichen von der Bandbreite des Sammelschienen-systems bestimmt, da bei Beginn eines Abtastimpulses der vorhergehende Impuls soweit abgeklungen sein muß, daß dessen Amplitudenanteil entsprechend der Nebensprechbedingungen hinreichend klein ist gegenüber der Amplitude des gerade betrachteten Abtastimpulses. Eine näherungsweise Bestimmung der minimal erforderlichen Pausendauer ergibt sich aus der Küpfmüller-Gleichung [3] für das Ausschwingverhalten von Systemen mit begrenzter Bandbreite unter Annahme eines reflektionsfreien Abschlusses des Sammelschienen-systems:

$$\tau = \frac{1}{2B} \quad (4a)$$

τ ist die Ausschwingzeitkonstante und B die Bandbreite des betrachteten Systems.

Mit

$$U_t = U_0 \exp(-t_p/\tau) \quad (4b)$$

(U_0 Spannung bei Beginn des Ausschwingvorganges, U_t Spannung zum Zeitpunkt t_p , t_p minimale Pausenzeit) folgt durch Auflösen nach t :

$$t_p = \tau \ln(U_0/U_t) \quad (4c)$$

und mit

$$\ln(U_0/U_t) = a_N \quad (4d)$$

(a_N Nebensprechdämpfung) ergibt sich

$$t_p = \tau a_N \quad (4e)$$

Daraus folgt schließlich die Beziehung zwischen Bandbreite und Pausenzeit durch Einsetzen von (4a) in (4e):

$$t_p = a_N/2B \quad (4f)$$

Da jedoch bei einem Sammelschienen-system die Abtastorgane selbst die Abschlußbedingungen beeinträchtigen, ist die Voraussetzung eines reflexionsfreien Abschlusses der Sammelschiene nicht exakt erfüllbar und hängt stark von der Art der Abtastorgane und ihrer geometrischen Anordnung im Verhältnis zur

Sammelschiene ab. Praktische Untersuchungen haben ergeben, daß Gl. (4f) um einen Korrekturfaktor K zu erweitern ist ($3 \leq K \leq 10$):

$$t_p \leq K a_N/2B \quad (4g)$$

Der günstigere Wert wird erreicht, wenn ein günstiges Verhältnis von Impulsdauer zu Impulspause eingestellt wird und die geometrische Anordnung der Abtastorgane optimal ist.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich die Zahl der während einer Abtastperiode aktivierten Abtastorgane zu maximal

$$n = T_p/(t_I + t_p) \quad (3a)$$

2.3. Auswahl des Modulationsverfahrens im Hinblick auf vermittlungstechnische Anforderungen

Nach dem Abtastverfahren gewonnene Amplitudenproben (PAM) sind die Grundlage für eine Vielzahl von Pulsmodulationsverfahren. Bedeutung haben für die Übertragungstechnik die Pulslängenmodulation (PLM), Pulsphasenmodulation (PPM) und insbesondere die Pulsmodulation (PCM) erlangt. Sie zeichnen sich durch große Störsicherheit aus. Diese Störsicherheit ist aber nur dann erforderlich, wenn mit dem Eindringen von Störspannungen zwischen der sendenden und der empfangenden Stelle des Systems gerechnet werden muß.

Beim Aufbau von Vermittlungen mit zeitmultiplexer Sprechwegedurchschaltung ist zwischen dem sendenden und dem empfangenden Abtastorgan im ungünstigsten Falle nur eine Entfernung von einigen Metern zu überbrücken. Hinzu kommt, daß je nach konstruktiver Lösung häufig sendende und empfangende Abtastorgane abwechselnd an die Sammelschiene angeschlossen sind, so daß die wirksame Sammelschienenlänge zwischen wenigen Zentimetern und einigen Metern schwanken kann. Der Gewinn an Störsicherheit, den ein zusätzliches Modulationsverfahren gegenüber der PAM bringen würde, ist damit überaus gering und wird durch die mit dem Modulationsvorgang gekoppelte zusätzliche Verzerrung ausgeglichen. Daraus resultiert, daß für die Abwicklung des Internverkehrs eine einfache Abtastung nach dem PAM-Prinzip das optimale Verfahren ist, sofern an den Eingang niederfrequente Signale gelangen.

Der Externverkehr, bei dem mehr als eine Vermittlungsstelle am Zustandekommen einer Nachrichtenverbindung beteiligt ist, sollte dagegen im Rahmen eines Übertragungs- und Vermittlungssystems von der PAM-Sammelschiene der Ausgangs-Vermittlungsstelle ausgehend mit einer hochwertig störschutzgeschützten Modulationsart — der PCM — betrieben werden. Um einfache Umsetzer zwischen PAM und PCM — d.h. Einrichtungen, die ohne zusätzliche Zwischen-Demodulation betrieben werden — zu erhalten, ist dabei die Wahl einer optimalen Periodendauer für die Abtastfolge von überragender Bedeutung.

2.4. Gedanken zur Auswahl der Periodendauer für die Abtastfolge

Die maximal zulässige Dauer zwischen zwei Abtastimpulsen ist gemäß Gl. (1) auf $T_{pmax} = 1/2f_{max}$ begrenzt. Für die maximale Frequenz von 3,4 kHz ergibt sich $T_{pmax} = 147,06 \mu$ s. Dieser Maximalwert kann jedoch praktisch nicht erreicht werden, da die Trennung

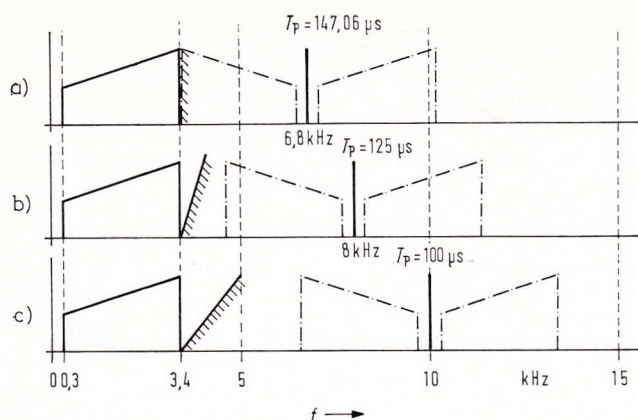


Bild 1. Zur Spezifikation der Forderungen an den Demodulator-Tiefpaß.

- a) Periodendauer $T_p = 147,06 \mu s \triangleq f_p = 6,8 \text{ kHz}$,
- b) Periodendauer $T_p = 125 \mu s \triangleq f_p = 8,0 \text{ kHz}$,
- c) Periodendauer $T_p = 100 \mu s \triangleq f_p = 10 \text{ kHz}$.

von Modulationsprodukten der Grundform $\Omega - \omega$ von der Ursprungsfunktion ω ein Filter mit unendlicher Flankensteilheit fordern würde (Bild 1a). Von CCITT wird derzeit für Übertragungszwecke eine Abtastfolge von $125 \mu s$ vorgeschlagen (Bild 1b). Dieser Wert ist für Übertragungsaufgaben durchaus praktikabel, bedingt aber ein Filter für die Demodulation, das bei $3,4 \text{ kHz}$ noch im Durchlaßbereich arbeitet und bei 4 kHz bereits eine Sperrdämpfung haben sollte, die nur mit LC-Filtern erzielbar ist, um Modulationsprodukte der Grundform $\Omega - \omega$ hinreichend klein zu halten. Ein derartiges Filter ist jedoch für Vermittlungsaufgaben zu aufwendig, da es in diesem Falle je Teilnehmer und nicht je Endeinrichtung des Übertragungskanal zu installieren ist.

In Vermittlungssystemen würde eine Abtastfolge von $100 \mu s$ (Bild 1c) dagegen bezüglich des Filteraufwandes sehr günstig sein. Bei dieser Voraussetzung könnten die Filter sogar als Mikroschaltungen in Filmtechnik in Verbindung mit Verstärkerelementen fertigungstechnisch einfach und auf kleinem Raum gebaut werden. Damit bietet sich ein technischer Lösungsweg für eine ökonomische vollelektronische Vermittlungstechnik an.

Der Einsatz unterschiedlicher Abtastzeiten für Zwecke der Vermittlungs- und Übertragungstechnik, wie er sich aus den derzeit diskutierten Festlegungen ergeben könnte [4], erscheint jedoch mit Rücksicht auf die zukünftig mögliche und anzustrebende aufeinander abgestimmte Vermittlungs- und Übertragungstechnik nicht sinnvoll. Ein solches Vorgehen würde nämlich zur Folge haben, daß bei jedem Übergang eine Gewinnung der Ursprungsfunktion mit nachfolgender erneuter Verschlüsselung erforderlich ist. Die Einführung einer Abtastperiodendauer von $100 \mu s$ scheint auch auf dem Gebiet der Übertragungstechnik im Hinblick auf die Vorteile in der Vermittlungstechnik gerechtfertigt. Dies dürfte durch die Fortschritte der Impuls- und Richtfunktechnik auch wirtschaftlich tragbar sein, da schnelle PCM-Systeme unter Einbeziehung des TASI-Prinzips einen höheren Konzentrationsgrad und moderne Richtfunkssysteme eine erhöhte Bandbreite bieten, so daß die Kanalkosten hierdurch nicht zwangsläufig erhöht werden. Als Kompromißlösung ergibt sich noch die Möglichkeit, nur die pulsmodulierten Übertragungswege der Ortsnetze und der unteren Fernwahlebenen mit $100 \mu s$ Abtastfolge auszustatten,

die Weitverkehrsnetze jedoch mit $125 \mu s$ Folgedauer der Impulse zu betreiben [5].

2.5. Gedanken zur Auswahl von Impulsbreite und Impulspause

Nach (3a) bestimmen bei gegebener Abtastfolge Impulsbreite und Impulspause die Kapazität einer Sammelschiene. Um diese Kapazität weitgehend zu nutzen, sollten beide Größen so klein wie möglich gehalten werden. Die kürzestmögliche Impulspause wird durch die Nebensprechforderung und durch die Bandbreite des Sammelschienen-systems bestimmt. Dabei ist unter dem Begriff „Sammelschienen-system“ die Sammelschiene mit allen angeschlossenen Abtastorganen zu verstehen. Die Bandbreite wird daher von der geometrischen Anordnung und den komplexen Ein- und Ausgangswiderständen der Abtastorgane wesentlich begrenzt.

Die Impulsbreite wird hauptsächlich von der realisierbaren Arbeitsgeschwindigkeit der Steuerung des Vermittlungssystems und von der erzielbaren Schaltgeschwindigkeit der Schalter in den Abtastorganen bestimmt. Legt man innerhalb der Steuerung einen Speicher mit einer Zykluszeit von $0,5$ bis $1 \mu s$ zugrunde und wird — mit Rücksicht auf ein optimales Zusammenspiel von Vermittlungs- und Übertragungseinrichtungen — ein Vierdraht-Sprechweg auf der Sammelschiene angenommen, so erhält man derzeit Impulsbreiten im Bereich $0,1 \mu s$ bis $0,25 \mu s$. Diese Zeiten sind auch im Hinblick auf die Schalter in den Abtastorganen beherrschbar.

Es liegt nahe, die Impulspausen etwa gleich der Impulsbreite zu wählen. Aus (4g) ergibt sich dann eine erforderliche Bandbreite für das Sammelschienen-system im Bereich $50 \text{ MHz} \leq B \leq 400 \text{ MHz}$.

Neben den primären physikalisch bedingten Grenzen in der Wahl der Impulspause sind auch in diesem Falle wiederum die Forderungen zu berücksichtigen, die sich aus den Bestrebungen ergeben, Vermittlungs- und Übertragungssysteme an ihren Stoßstellen zu verzahnen. Es ist zu berücksichtigen, daß beim Einsatz von PCM-Übertragungseinrichtungen die codierte Information in Form von zumindest sieben zeitlich aufeinander folgenden Schritten und einem Startschritt übermittelt wird. Eine Basis von acht Schritten je Verbindung und je Richtung muß also zugrunde gelegt werden. Um die Umsetzung von PAM in PCM auf einfache Weise realisieren zu können, ist auch eine allgemeine Festlegung der Zeiteinheit je Zeichenschritt bei PCM mit der Abtastzeit und der Folge der Abtastschritte unerlässlich. Diese Festlegung muß die technischen Möglichkeiten des Augenblicks ebenso berücksichtigen wie die zukünftige Entwicklung.

Unter diesen Gesichtspunkten erscheint derzeit eine Feinstruktur des Impulsrahmens von $100 \mu s$ Impulsfolge je Kanal in folgender Form günstig:

- a) Die Zeiteinheit je Schritt beträgt $t_s = 2^m \cdot 10^{-6} \text{ s}$ mit $m = \dots - 3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$.
- b) In PAM-Systemen ist die Pausendauer gleich der Signaldauer.
- c) In PAM-Systemen wird mit Rücksicht auf eine nachfolgende PCM-Übertragung der Sprechpfad vierdrähtig durchgeschaltet, alle geradzahlgigen Impulse sind — bezogen auf ein angeschaltetes PCM-System — gehend, alle ungeradzahlgigen Impulse sind kommend gerichtet oder umgekehrt.

Unter diesen Randbedingungen erscheint derzeit ein System mit 250 ns Schrittlänge technisch sinnvoll. Die Zahl der amplitudenmodulierten Impulse ergibt sich damit zu

$$n = \frac{T_p}{t_I + t_p} = 200, \quad (3a)$$

und damit die Zahl der wechselseitig gerichteten vierdrähtigen Sprechbeziehungen zu

$$N = \frac{n}{2} = 100. \quad (3c)$$

Die zukünftig absehbare Halbleiterentwicklung läßt während der nächsten Jahre durch weitere Miniaturisierung eine Verbesserung der Sammelschieneausnutzung bis $N = 400$ bei 62,5 ns Impulsdauer erwarten.

3. Gestaltungsmöglichkeiten für ein integriertes Vermittlungs- und Übertragungssystem

3.1. Kennzeichnende elektrische Eigenschaften eines PAM-Sprechwegevielfachs

Eine Vermittlungseinrichtung soll eine Verbindung zwischen zwei oder mehr Teilnehmern herstellen, die miteinander Nachrichten austauschen wollen. Dabei baut einer der an die Vermittlung angeschlossenen Teilnehmer durch Betätigen der in seiner Teilnehmerstation installierten Wähleinrichtung die Verbindung auf. Durch diese Wahl werden der oder die gerufenen Teilnehmer aus der Vielzahl der an die Vermittlung angeschlossenen Teilnehmer ausgewählt.

Wird der Sprechweg entsprechend der Forderung c) nach Abschnitt 2.5 vierdrähtig nach dem Zeitmultiplex-Prinzip durchgeschaltet, so ist — im Gegensatz zum Raumvielfach — bei Internverkehr nur je Zugang ein sendeseitiger Abtastpunkt M' und ein empfangsseitiger Abtastpunkt D' zu durchlaufen. Daraus resultiert, daß die Durchgangsdämpfung eines „zeitmultiplexen Koppelpunktes“, der einem Teilnehmer zugeordnet ist, bezüglich der Frequenzabhängigkeit einen anderen Verlauf haben darf, als es bei den bisher üblichen „räumlichen Koppelpunkten“ der Fall ist. Alle übrigen elektrischen Eigenschaften sollten die Forderungen erfüllen, die auch von einem herkömmlichen Koppelvielfach erfüllt werden müssen. Dementsprechend sollte folgende Zusammenstellung elektrischer Eigenschaften zur Diskussion gestellt werden:

- Verlauf der Durchgangsdämpfung bei teilnehmerseitigen Koppelpunkten entsprechend Bild 2, Kurve II, oder besser
- Verlauf der Durchgangsdämpfung bei abgehenden oder ankommenden Übertragungen entsprechend Bild 2, Kurve III, oder besser
- Durchlaßfrequenzbereich für Sprache 300 bis 3400 Hz, für Pulse — z. B. Rechteckpulse — beim Wählen Übertragungsfähigkeit im Bereich 0 bis 50 Baud.
- Nebensprechdämpfung zwischen zwei beliebigen Sprechbeziehungen so groß wie möglich ($a_N > 8,5$ N, bei 800 Hz $> 9,5$ N).
- Unsymmetriedämpfung jedes Leitungspaares der Teilnehmeranschlüsse gegen Erde so groß wie möglich ($a_U > 5,3$ N; bei 500 bis 2000 Hz $> 6,0$ N).
- Geräuschspannung einer Sprechbeziehung so klein wie möglich ($U_R < 300 \mu V$ bewertet, von einer diskreten Rauschquelle $U_R < 170 \mu V$).
- Linearität zwischen Ein- und Ausgangssignal so gut wie möglich (Linearitätsfehler kleiner 10 % im effektiven Spannungsbereich 500 μV bis 2 V).

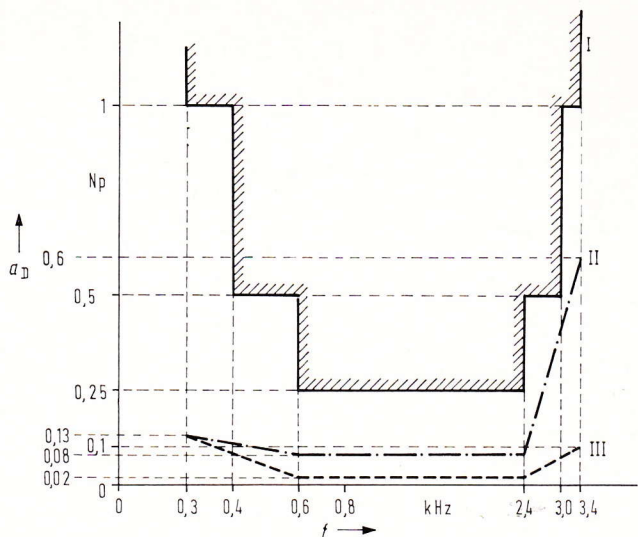


Bild 2. Angestrebter Verlauf der Durchgangsdämpfung als Funktion der Frequenz.

- Zulässige Maximaldämpfung nach CCITT,
- Angestrebte Maximaldämpfung für vollelektronische Koppelpunkte innerhalb eines vollelektronischen Systems,
- Angestrebte Maximaldämpfung für vollelektronische Koppelpunkte bei Übergang in herkömmliche Vermittlungs- und Übertragungssysteme.

- Klirrfaktor so klein wie möglich, besser als 3 % bei 0 N, besser als 15 % bei 1 N (gemessen an 600 Ω).
- Eingangs- und Ausgangswiderstand: 600 $\Omega \pm 10$ % im Bereich 300 bis 3400 Hz.
- Fremdspannungsfestigkeit der Ein- und Ausgänge so groß wie möglich ($U_{IF} > 65$ V). Bei Fremdspannungen über 500 V darf der betroffene Koppelpunkt zerstört werden, es darf jedoch keine Brandgefahr entstehen und die übrigen Koppelpunkte dürfen nicht in Mitleidenschaft gezogen werden.

Unter Zugrundelegung dieser elektrischen Eigenschaften und des Impulsrahmens nach Abschnitt 2.5 können mit den gegenwärtig verfügbaren Halbleitertechnologien Koppelpunkte für die zeitmultiplexe Sprechwegedurchschaltung realisiert werden, die in integrierter monolithischer Halbleitertechnik aufgebaut und so stabil sind, daß auch ein jahrelanger Betrieb unter schweren Umweltbedingungen keine Änderung der Eigenschaften bewirkt [6]. Koppelpunkte dieser Art gewährleisten damit die problemfreie Sprechwegedurchschaltung als Ersatz für herkömmliche räumliche Koppelanordnungen. Darüber hinaus können Koppelpunkte für die zeitmultiplexe Sprechwegedurchschaltung zugleich als Eingangsstufe eines PCM-Übertragungssystems angesehen werden, so daß Vermittlungs- und Übertragungstechnik miteinander verzahnen. — Diese Verzahnung von Vermittlungs- und Übertragungstechnik an ihren Stoßstellen wird im Schrifttum vielfach mit dem Begriff „Integration“ verbunden, der im deutschen Sprachgebrauch jedoch leicht zu Verwirrungen führen kann und deshalb in diesem Aufsatz vermieden wird.

3.2. PCM-Übertragungssysteme für Fernsprechzwecke in der Nahverkehrsebene

Seit einigen Jahren werden PCM-Übertragungssysteme gefertigt und eingesetzt, bei denen die Sprache in eine Folge von digitalen Impulsen umgewandelt und dann übertragen wird. Dabei werden die

Für den Fall, daß an einer Verbindung mehr als eine Vermittlungsstelle beteiligt ist, können die Verhältnisse noch undurchsichtiger und umständlicher werden. Das gewählte Beispiel führt nicht nur zu einer unnötigen Beeinträchtigung der Übertragungsqualität infolge der häufigen Umsetzung der Signalform, es benötigt darüber hinaus einen erheblichen technischen Aufwand.

Weiterhin muß berücksichtigt werden, daß PCM-Systeme im allgemeinen einen überaus guten zeitlichen Gleichlauf der beiden Taktgeber in den End-einrichtungen benötigen. Bei den aus der Weit-verkehrstechnik bekannten PCM-Übertragungs-systemen liegt der zulässige Gleichlauffehler häufig bei

$$\Delta T_{\text{Sy}} = T_p / 2 K M. \quad (5)$$

Dabei ist ΔT_{Sy} der zulässige Gleichlauffehler, T_p wiederum die Periodendauer der Abtastimpulse, K die Anzahl der Niederfrequenzkanäle, die von der Über-tragungseinrichtung erfaßt werden und M die Anzahl der Bits je Codewort. Für den Fall einer Übertragungs-einrichtung für 24 Fernsprechanäle ergibt sich ein maximal zulässiger Gleichlauffehler von $0,37 \mu\text{s}$, wenn die aus der Weitverkehrstechnik üblichen Werte $T_p = 125 \mu\text{s}$, $M = 7$ eingesetzt werden.

Berücksichtigt man die Struktur eines Fernmelde-netzes in der Nahverkehrsebene mit ihren vielfältigen Beziehungen, Vermaschungen und Verknotungen untereinander, so ist die Problematik sehr leicht zu erkennen, wenn nun noch die Kabelllaufzeiten berück-sichtigt werden. Solange in einem solchen Netz alle Übertragungs- und alle Vermittlungseinrichtungen völlig unabhängig voneinander betrieben werden, kann zwar das Gleichlaufproblem beherrscht werden, dafür ist aber an jeder Verbindungsstelle zwischen zwei Einrichtungen die Rückgewinnung des Original-Bandes erforderlich. Darunter aber leidet die Über-tragungsqualität.

Im Zuge einer beginnenden Verflechtung von Vermitt-lungs- und Übertragungstechnik könnten zunächst die an einem Ort befindlichen Übertragungs- und Vermitt-lungseinrichtungen einen gemeinsamen Taktgeber er-halten. Alle Taktgeber eines solchen Netzes werden über eigene, von den PCM-Übertragungssystemen unabhängige Synchronisationseinrichtungen im Gleich-lauf gehalten. Man erhält auf diese Weise sogenannte „synchrone Netze“, in denen alle Taktgeber in einer definierten zeitlichen Abhängigkeit voneinander ge-halten sind. Ein solches Konzept gestattet sehr wohl den Übergang in ein vollverzahntes Übertragungs- und Vermittlungssystem, jedoch bleiben zwei betrieb-lich schwer lösbare Probleme:

- a) Die Gefahr des Ausfalls des ganzen Netzes bei ge-ringfügigen Störungen im Gleichlauf.
- b) Die automatische Kompensation von Laufzeitdiffe-renzen bei der Umwegführung von Gesprächen im Zuge einer Leitweglenkung.

Zwar könnte die Kompensation von Laufzeitdifferen-zen grundsätzlich vom Leitwegrechner her mit ge-steuert werden, jedoch werden die Lösungen verhält-nismäßig aufwendig, da ja der Regelweg meist die kürzeste Laufzeit hat und hier eine solche künstliche Laufzeit zugefügt werden müßte, daß die Laufzeit des Regelweges gleich der Laufzeit des längsten Umweges wird.

Viel schwieriger dürfte die Sicherstellung des Gleich-

laufs auch bei Störungen einzelner Glieder oder Kno-ten des Gesamtnetzes sein. Eine voll befriedigende Lösung für dieses Problem bei synchronen Netzen ist bisher noch nicht bekannt geworden.

Ein System, dessen Konzept auf einer Anordnung ähnlich Bild 3 basiert, hat neben dem Vorteil der Un-abhängigkeit von Übertragungs- und Vermittlungs-technik im konventionellen Sinne eine Reihe von Nachteilen, die nochmals zusammengestellt seien:

- a) Erhöhter Aufwand an Signalumformungen ver-schiedenster Art.
- b) Erhöhter Aufwand an Taktgebern.
- c) Verringerung der Übertragungsqualität.
- d) Schwierigkeiten bezüglich der Synchronisation bei PCM-Übertragungssystemen — besonders wenn „synchrone Netze“ betrieben werden sollen.
- e) Probleme der Laufzeitkompensation in „syn-chronen Netzen“.

Werden die Forderungen nach einheitlichen Impuls-rahmen, Impulsbreiten, Periodendauern usw. im Sinne des Abschnittes 2 dieser Betrachtung erfüllt und ein-gehalten, so können diese Probleme und Schwierig-keiten jedoch mit entsprechendem Materialaufwand sicher gelöst werden. Eine enge Zusammenarbeit der Übertragungs- und Vermittlungstechniker bereits im Stadium der Systemvorplanung kann jedoch darüber hinaus durch die systematische Suche nach grundsätz-lich andersartigen Lösungswegen für derartige Pro-bleme zu neuen Anordnungen führen. Bild 4 gibt ein Beispiel für ein voll verzahntes Vermittlungs- und Übertragungssystem für den gleichen Einsatzzweck wie die Anordnung in Bild 3.

Bild 4 zeigt zwei Vermittlungsstellen an den Orten a und b, die über eine PCM-Übertragungseinrichtung miteinander verbunden sind. Vermittlungsstellen und Endgeräte für die Übertragung sind soweit mitein-ander verwachsen, daß eine Trennung beider Bau-gruppen nicht mehr möglich ist. Die Leitungen L1 bis Lx in Bild 3 sind hier zu den Abtastpunkten M' und D' je Leitung zusammengeschrumpft, die mit den Ein-gängen 1 bis x der Codiereinrichtung Cod bzw. den Ausgängen der Decodiereinrichtung Dec verbunden sind. Je Ort ist nur ein Taktgeber (TG-a bzw. TG-b) vorgesehen, der sowohl die Vermittlung als auch alle angeschalteten PCM-Übertragungen steuert.

Eine besonders einfache und elegante Lösung läßt sich — wie in Bild 4 angedeutet — dadurch erzielen, daß in den Abtastpunkten D' der von der Sammelschiene SA übernommene Amplitudenwert in einem Kondensator für die Dauer eines Abtastzyklus als Kondensator-ladung zwischengespeichert und während des nächsten Abtastvorganges korrigiert wird. Ein solcher Abtast-punkt kann als Teil eines demodulatorseitigen Abtast-punktes D' nach [7] aufgefaßt werden, dessen Block-schaltbild in Bild 5 wiedergegeben ist.

Wird von der Möglichkeit der Zwischenspeicherung des Amplitudenwertes Gebrauch gemacht, so erhält man eine weitgehende Freizügigkeit in der Zuordnung der Feinstruktur der Impulsrahmen von Vermittlungs-teil und Übertragungsteil eines solchen Systems. So kann beispielsweise die Reihenfolge, mit der Ampli-tudenproben bei den Zugängen der Vermittlung ge-wonnen werden, völlig unabhängig von der Folge ge-halten werden, mit der der Codierer die Amplituden-proben verschlüsselt, sofern die Periodendauern bei-der Folgen gleich sind. Beispielsweise können die Ab-

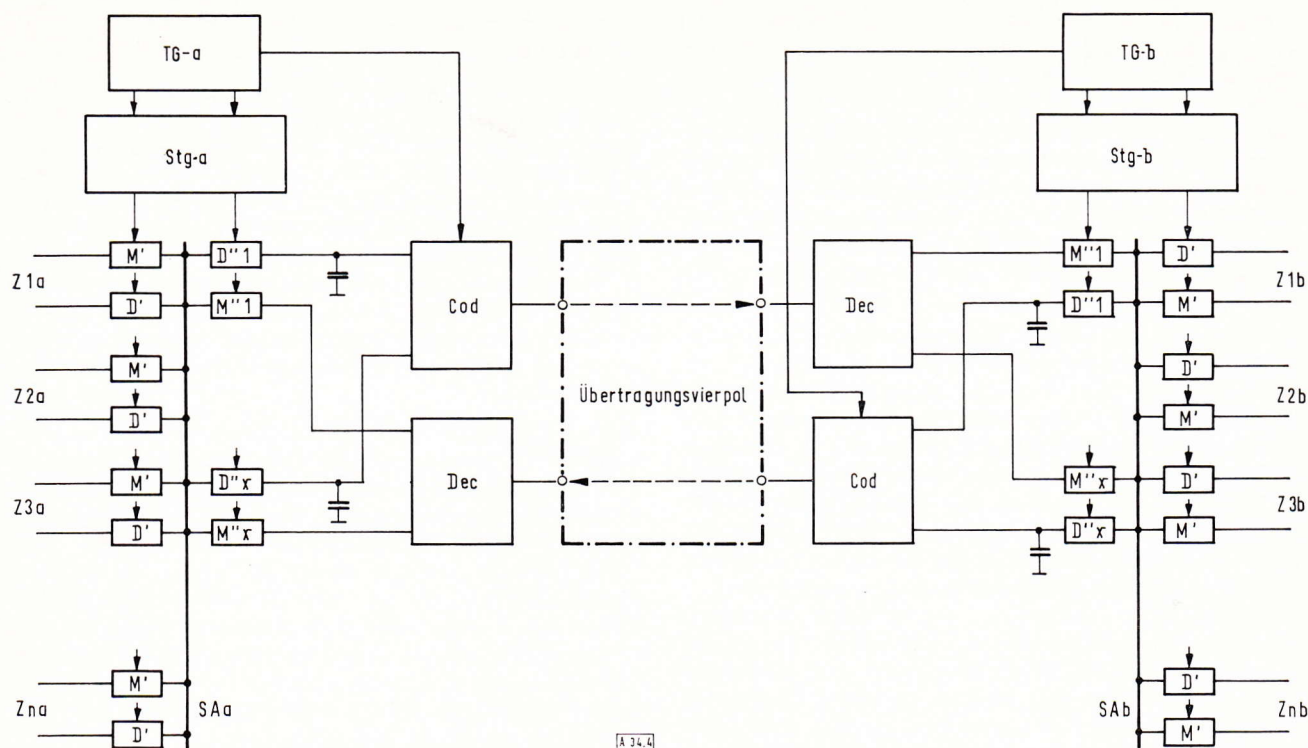


Bild 4. Beispiel für die Gestaltung eines verflochtenen Vermittlungs- und Übertragungssystems in zeitmultiplexer Technik.

tastpunkte $D''1$, $D''2$ usw. bis $D''x$ im Abstand von einer Mikrosekunde nacheinander aktiviert werden, dagegen kann aber das Codewort für die Kondensatorladung von $D''1$ innerhalb von vier Mikrosekunden übertragen werden. Danach erst wird dann das Codewort für die Kondensatorladung von $D''2$ usw. übertragen. Die hierdurch gewonnene partielle Freizügigkeit in der Zuordnung von „Zeitschlitten“ für die Sprechwegedurchschaltung im Vermittlungsteil und die PCM-Übertragung im Übertragungsteil des Systems gibt nicht nur eine Vereinfachung für die Steuerung des Vermittlungsteils, sondern kann darüber hinaus zur Lösung der Gleichlaufprobleme im Übertragungsteil ausgenutzt werden.

In PCM-Systemen ist der Amplitudenwert einer Probe in einem Codewort enthalten, das für Fernspreckzwecke üblicherweise aus 7 bit besteht. Während der Periodendauer T_p eines Abtastzyklus können nun K derartige Codewörter nacheinander übertragen werden. Für den — in Nahverkehrsnetzen häufig interessierenden — Fall $K = 24$ ergibt sich damit für eine Periodendauer von $125 \mu s$ eine resultierende Zeit von $1000/1344 \mu s \approx 0,745 \mu s$ je bit. Diese Zeiteinheit ist aber nur sehr schwer in Übereinstimmung mit den Taktgeberanforderungen für den Impulsrahmen nach Vorschlag a) in Abschnitt 2.5 zu bringen.

Stattdessen könnte den Informationen für die Amplitudenwerte der Proben ein Signal für die Gleichlaufhaltung derart zugefügt werden, daß hierdurch einerseits eine Zusatzeinrichtung für die Synchronisation des Übertragungssystems entfällt und andererseits die resultierende Zeit je bit einen Wert erhält, der auch in dem vermittlungstechnischen Teil des Systems benötigt wird. Die Zeit je bit sollte ein binäres ganzzahliges Vielfach der Zeiteinheit je Schritt nach Vorschlag a) in Abschnitt 2.5 betragen:

$$\frac{T_p}{KM} = t_B = a t_s = a 2^m 10^{-6} s. \quad (6)$$

Dabei ist t_B die Zeit je bit und a ein binäres Vielfaches.

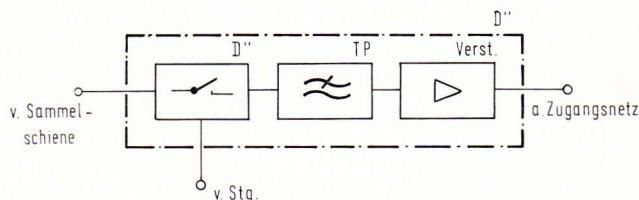


Bild 5. Prinzipschaltbild des demodulatorseitigen Abtastpunktes.

Mit $T_p = 100 \mu s$ und $KM > 24 \cdot 7$ wird die Bedingung der Ganzzahligkeit erstmalig erfüllt für das Wertepaar $K = 25$ und $M = 8$ mit $t_B = 0,5 \mu s$. (Diese Kanalzahl entspricht auch internationalen Gegebenheiten.) Außer den geforderten 24 Übertragungskanälen steht damit also ein 25. Kanal und für jedes Codewort ein zusätzliches bit im Impulsrahmen zur Verfügung, wenn eine ähnliche Feinstruktur der Impulsrahmen für Vermittlungs- und Übertragungsteil angestrebt wird. Der 25. Kanal könnte für Synchronisationszwecke benutzt werden, wobei sein Informationsinhalt nur besagt: „Beginn einer neuen Abtastperiode“. Zusätzlich erhält jedes Codewort einen „Startschritt“ als achttes bit. Damit ist zugleich das Gleichlaufproblem als gelöst anzusehen, da Störungen stets auf eine Übertragungseinrichtung beschränkt bleiben und die Synchronisationssysteme nunmehr nach dem millionenfach in der Fernschreib- und Fernsehtechnik bewährten Prinzipien aufgebaut werden können. Unter diesen Umständen könnte hier die aus der Trägerfrequenztechnik bekannte Forderung

$$f = f_0 (1 \pm 1 \cdot 10^{-6}) \pm 2 \text{ Hz} \quad (7)$$

als zulässige Frequenzdrift der Oszillatoren in den Taktgeneratoren angesetzt werden. Diese Forderung ist aber technisch ohne Schwierigkeiten erfüllbar.

Solange die Taktgeber der beiden Endeinrichtungen

— z. B. TG-a und TG-b in Bild 4 — völlig unabhängig voneinander betrieben werden, kann unter diesen Umständen lediglich eine durch den Gleichlauffehler bedingte Dämpfungsschwankung auftreten. Die Frequenz dieser Schwankung entspricht der Differenz der Frequenzen beider Oszillatoren. Im Bereich 300 bis 3400 Hz ist bei einer Abtastperiodendauer von 100 μ s die Schwankungsbreite der Durchlaßdämpfung nach derzeit vorliegenden Messungen so gering, daß eine Lautstärkeschwankung bei Sprache noch nicht hörbar ist.

Um auch diesen Einfluß auszuschalten, wird vorgeschlagen, die Folge der empfangenen PCM-Gleichlaufsignale mit der Frequenz des eigenen Taktgebers zu vergleichen und daraus eine Stellgröße abzuleiten. Sobald mehrere Übertragungssysteme vorhanden sind, wird aus allen Stellgrößen ein Mittelwert gebildet, der als Resultierende die Frequenz des Oszillators in der eigenen Stelle nachzieht. In diesem Falle erhält man mit steigender Vermaschung des gesamten Netzes ein System, in dem im normalen Betriebszustand die Oszillatoren aller Taktgeber auf gleicher Frequenz schwingen. Möglicherweise auftretende Frequenzfehler der Oszillatoren werden durch die Nachzieheinrichtung ausgeregelt. Sollte in einer Stelle die Nachzieheinrichtung ausfallen, so werden die angeschlossenen PCM-Übertragungssysteme in ihrer Übertragungsqualität beeinträchtigt, jedoch bleibt das System betriebsbereit. Die Qualitätsbeeinflussung in Form der vorhergehend beschriebenen Dämpfungsschwankungen kann aber für den Störfall wesentlich leichter in Kauf genommen werden als ein Totalausfall des Systems oder gar das Auftreten von Fehlverbindungen, wie es bei vielen PCM-Systemen theoretisch möglich ist.

4. Schlußbetrachtung

Die Durchschaltung von Sprechwegen in der Fernsprechvermittlungstechnik mit elektronischen Schaltern darf als physikalisch gelöst betrachtet werden. Die Ausnutzung der hohen Schaltgeschwindigkeit elektronischer Schaltmittel führt besonders unter Einbeziehung der Vorstellung der wechselzeitigen Mehrfachausnutzung zentraler Einrichtungen zu sehr wirtschaftlichen Lösungen mit PAM in der Basisbandvermittlungstechnik und PCM in der Übertragungstechnik einschließlich der Durchgangsvermittlungen.

Der Einsatzschwerpunkt der PAM ist in den unteren Netzebenen eines Fernmeldenetzes zu suchen.

Die durch die Verflechtung von Vermittlungs- und Übertragungstechnik erzielbaren Vereinheitlichungen können jedoch nur dann voll ausgeschöpft werden, wenn zu einem sehr frühen Zeitpunkt und vor Übernahme der ersten Einrichtungen in den Fernmeldebetrieb die technischen Voraussetzungen für eine derartige Verzahnung geschaffen werden. Die historisch gewachsene und bisher berechnete Trennung von Vermittlungs- und Übertragungstechnik darf auf diesem Gebiet der Fernmeldetechnik nicht fortgesetzt werden, wenn ein alle Teile befriedigendes System geschaffen werden soll.

Die in dieser Betrachtung unterbreiteten Vorschläge und Vorstellungen sollen nicht als allein mögliche Lösungswege angesehen werden, sondern sind gedacht, um eine Diskussion über die zukünftige Gestaltung eines zeitmultiplexen Vermittlungs- und Übertragungssystems zu eröffnen, bevor wesentliche Entscheidungen oder gar Investitionen an irgend einer Stelle den Rahmen des Diskutierbaren mehr als unumgänglich einengen. Zugleich sollen die vorgelegten Betrachtungen dem nicht unmittelbar mit dem Sachgebiet vertrauten Leser einen Überblick über den erreichten Stand der Technik geben.

Schrifttum

- [1] Knoblich, G.: Berechnungsunterlagen für die Planung von Fernmeldeanlagen. Telefonbau und Normalzeit, Frankfurt (M), 1966.
- [2] Raabe, H.: Untersuchungen an der wechselzeitigen Mehrfachübertragung (Multiplexübertragung). Elektr. Nachrichtentechnik 16 (1939) H. 8.
- [3] Küpfmüller, K.: Systemtheorie der elektrischen Nachrichtenübertragung. Stuttgart: Hirzel-Verlag, 1949.
- [4] Böhringer, M.: Integriertes digitales Nachrichtensystem — das Fernmeldenetz der Zukunft. Nachrichtentechnik 17 (1967) H. 5, S. 173 bis 176.
- [5] Irmer, Th.: Mehrfachausnutzung von Ortskabeln durch PCM. Z. Post u. Fernmeldewes. 19 (1967) H. 15, S. 580 bis 582.
- [6] Plank, K.-L.: Schaltungsanordnung zur Erzeugung impuls-amplitudenmodulierter Signale. DP 1 169 992 v. 10. 7. 1962.
- [7] Nezik, D.; Plank, K.-L.; Schosnig, J.-G.: Schaltungsanordnung zur Steuerung des zur Zwischenspeicherung des Zeitwertes eines Signals verwendeten Kondensators eines Demodulators einer zeitmultiplexanlage. DAS 1 244 852 vom 15. 7. 1965.
- [8] Mayer, H. F.: Prinzipien der Puls-Code-Modulation. München: R. Oldenbourg Verlag, 1954.
- [9] Fuliz, K. E.; Penick, D. B.: The T1 Carrier System. Bell System Technical Journal 44 (1965) H. 7, S. 1405 bis 1451.

(Eingangsdatum: 25. September 1967)

