

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = 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 Telegrafienbetriebe

Band: 60 (1982)

Heft: 3

Artikel: Synchronisierung digitaler Netze : synchroner Betrieb [Schluss] = Synchronisation des réseaux numériques : fonctionnement synchrone [fin]

Autor: Probst, Pierre-André / Vörös, Paul

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-876150>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.03.2025

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

Synchronisation des réseaux numériques: Fonctionnement synchrone (fin¹)

Pierre-André PROBST et Paul VÖRÖS, Berne

3 Übersicht der üblichen Synchronisierverfahren

Bei der Synchronisierung von Digitalnetzen wird grundsätzlich unterschieden zwischen Bit- und Rahmensynchronisierung. Hier wird nur die Bitsynchronisierung behandelt. Ein Netz wird als *synchron* bezeichnet, wenn alle von den Taktgebern in den Netzknoten abgegebenen Impulsfolgen untereinander eine konstante Phasendifferenz aufweisen. Die Phaseninformation kann beispielsweise mit einer *isochronen*² Impulsfolge übertragen werden. Für die Taktübertragung könnte ein zweckgebundenes Verteilnetz verwendet werden. Häufig wird aber der Takt von normalen, digitalen 2048-kbit/s-Pfaden abgeleitet. Zur Taktgewinnung lassen sich alle oder nur einige der an einen Knotenpunkt ankommenden Verbindungen benützen. Zur Synchronisierung eines Netzknotens wird aus der Phasendifferenz zwischen den ankommenden Takten und dem lokalen Taktgeber eine Regelspannung gebildet, die eine Phasenregelschaltung PLL (*Phase Locked Loop*) nachregelt.

Synchronismus ist der Idealzustand des Taktverteilnetzes, der aber wegen Streckenlaufzeitschwankungen, Jitter usw. nie ganz erreichbar ist. In den meisten Fällen muss man sich mit einem *mesochronen* Netz zufriedengeben, in welchem alle Netzknoten die gleiche mittlere Frequenz aufweisen und die Phasendifferenzen meist begrenzt sind. Diese Aspekte des Synchronisierproblems werden noch im Abschnitt 4 behandelt.

Die Grundgenauigkeit eines PLL hat im Prinzip keinen Einfluss auf die Synchronisierbarkeit, solange die Referenzfrequenz in den Mitziehbereich fällt. Da aber, abhängig von der Synchronisierart, die Grundgenauigkeit der Oszillatoren die Netzfrequenz bestimmt oder der schon früher erwähnte Plesiochronismus beim Teilausfall des Synchronisierersystems akzeptiert werden muss, sind bestimmte Genauigkeitsforderungen an die Oszillatoren zu stellen. Die unterste Genauigkeitsgrenze irgendeines Taktgebers auf einer internationalen Verbindung, die auch für das nationale Netz übernommen wird, wurde in der CCITT-Empfehlung G.811 [5] festgelegt: Der Zeitintervallfehler (TIE) über eine Periode von S kleiner als 5 s darf ($100 \text{ S} + 488/8$) ns nicht überschreiten. Dies entspricht einer äquivalenten Oszillatorgenauigkeit $\left| \frac{\Delta f}{f} \right|$ von etwa 10^{-7} . Da aber für das Synchronnetz langfristig ein $\left| \frac{\Delta f}{f} \right|$ -Wert kleiner als 10^{-11} verlangt ist, müssen solche relativ ungenaue Oszillatoren laufend oder periodisch korrigiert werden.

3 Aperçu des méthodes courantes de synchronisation

Dans la synchronisation des réseaux numériques, on distingue par principe entre la synchronisation des bits et la synchronisation de trame. Les considérations qui suivent se limitent à la synchronisation des bits. Un réseau est dit *synchrone*, lorsque tous les trains d'impulsions délivrés par les générateurs de rythme aux nœuds du réseau présentent une différence de phase constante. L'information de phase peut être transmise, par exemple, à l'aide d'une séquence d'impulsion *isochrone*². Pour la transmission des rythmes, un réseau spécialisé réservé dans ce but pourrait être utilisé.

Souvent, le rythme est dérivé de conduits numériques normaux à 2048 kbit/s. L'extraction du rythme peut être faite sur toutes les liaisons ou seulement une partie d'entre-elles aboutissant à un nœud. On réalise la synchronisation d'un nœud du réseau en pilotant une boucle à verrouillage de phase PLL (*Phase-Locked-Loop*) à l'aide d'une tension de réglage dérivée des différences de phase entre les rythmes entrants et la source de rythme locale.

Le synchronisme est un état idéal du réseau de distribution de rythme qui n'est jamais atteint parfaitement, en raison des fluctuations du temps de propagation des liaisons, de la gigue, etc. Dans la plupart des cas, il faut se contenter d'un réseau *mesochrone*, où tous les nœuds présentent la même fréquence moyenne et où les différences de phase sont limitées. Ces aspects du problème de la synchronisation seront encore traités au paragraphe 4.

La précision intrinsèque d'une boucle à verrouillage de phase n'a en principe aucune influence sur sa synchronisation, aussi longtemps que la fréquence de référence se trouve dans le domaine «d'entraînement» du système.

Il est cependant quand même nécessaire de fixer certaines exigences de précision aux oscillateurs, car selon le type de synchronisation, c'est la précision intrinsèque de ceux-ci qui peut déterminer la fréquence du réseau. De même, lors de défaillances partielles du système de synchronisation, le fonctionnement en mode plésiochrone décrit plus haut doit remplir certaines exigences pour être acceptable. La limite inférieure de précision d'un générateur de rythme quelconque dans une liaison internationale, applicable également au réseau national, a été fixée dans la recommandation du CCITT G.811 [5]:

¹ Der 1. Teil dieses Beitrages ist in den Technischen Mitteilungen PTT Nr. 2/1982, S. 93...101, erschienen.

² Äquidistante Zeitintervalle zwischen den charakteristischen Merkmalen einer Impulsfolge.

¹ La première partie de cet article a paru dans le Bulletin technique PTT N° 2/1982, p. 93...101.

² Les intervalles de temps séparant les instants significatifs des impulsions de la séquence sont équidistants

Zwischen dem plésiochronen Netz mit hochstabilen Taktgebern ($\left|\frac{\Delta f}{f}\right| \leq 10^{-11}$) und dem völlig synchronisierten Netz mit ungenauen Oszillatoren ($\left|\frac{\Delta f}{f}\right| \leq 10^{-7}$) ist die Zahl möglicher Synchronisierungsmethoden sehr gross.

Die Wahl einer Methode ist bestimmt durch die Netztopologie, das Zusammenwirken mit Zeitmultiplexeinrichtungen, die Stabilität der verfügbaren Oszillatoren sowie den Gesamtaufwand an Unterhalt, Steuerungen, Speicher- und Übertragungskapazität, aber auch durch die Art und Weise, wie die Steuerungsinformation abgeleitet und verwendet wird. Neben dem erwähnten plésiochronen Betrieb sind noch weitere Synchronisierungsmethoden üblich.

Trotz der Mannigfaltigkeit der bereits bestehenden oder geplanten, leitergebundenen Synchronisierungssysteme lassen sie sich in folgende zwei Hauptgruppen einreihen:

- gegenseitige Synchronisierungssysteme
- Master-Slave-Synchronisierungssysteme

31 Gegenseitige Synchronisierung der Taktgeber (Fig. 5)

Mit dieser Synchronisierungsart wird erreicht, dass die Frequenz des Amts-Taktgebers zwischen den Extremwerten aller ankommenden Streckentakte liegt.

Beim Single Ended System (SES) [10] wird die algebraische Summe der Phasendifferenzen zwischen dem lokalen Oszillatortakt und allen ankommenden Streckentakten gebildet. Daraus leitet man eine Regelspannung für einen PLL ab. Mit dieser Regelungsstrategie wird erreicht, dass sich alle Taktgeber im Netz einer gemeinsamen «Netzfrequenz» nähern (Fig. 5b).

Der Regelkreis des Double Ended System (DES) [11] ist ähnlich aufgebaut. Zusätzlich wird noch jede Phasen-

l'erreur sur la durée (TIE) sur une période de S inférieure à 5 s ne doit pas dépasser $(100 S + 488/8)$ ns.

Cela correspond à une précision équivalente des oscillateurs $\left|\frac{\Delta f}{f}\right|$ d'environ 10^{-7} . Comme pour le réseau synchrone une valeur de $\left|\frac{\Delta f}{f}\right|$ inférieure à 10^{-11} est exigée à long terme, de tels oscillateurs relativement imprécis doivent être corrigés continuellement ou périodiquement.

Entre le réseau plésiochrone piloté par des sources de rythme de précision ($\left|\frac{\Delta f}{f}\right| \leq 10^{-11}$) et le réseau entièrement synchrone basé sur des oscillateurs imprécis ($\left|\frac{\Delta f}{f}\right| \leq 10^{-7}$), il existe un grand nombre de méthodes de synchronisation.

Le choix d'une méthode est fonction de la topologie du réseau, des relations entre les dispositifs de multiplexage dans le temps, de la stabilité des oscillateurs disponibles ainsi que des investissements relatifs à la maintenance, à la commande, aux capacités des mémoires et de transmission, de même que de la façon dont les informations de contrôle sont dérivées et traitées. Mis à part le fonctionnement en mode plésiochrone, il existe encore d'autres méthodes de synchronisation connues. Malgré la diversité des systèmes de synchronisation existants ou futurs, on peut les classer dans deux catégories principales

- systèmes de synchronisation mutuels
- systèmes de synchronisation maître-esclave

31 Synchronisation mutuelle des générateurs de rythme (fig. 5)

Dans ce type de synchronisation, la fréquence du générateur de rythme du central se situe entre les valeurs extrêmes de tous les rythmes des liaisons entrantes.

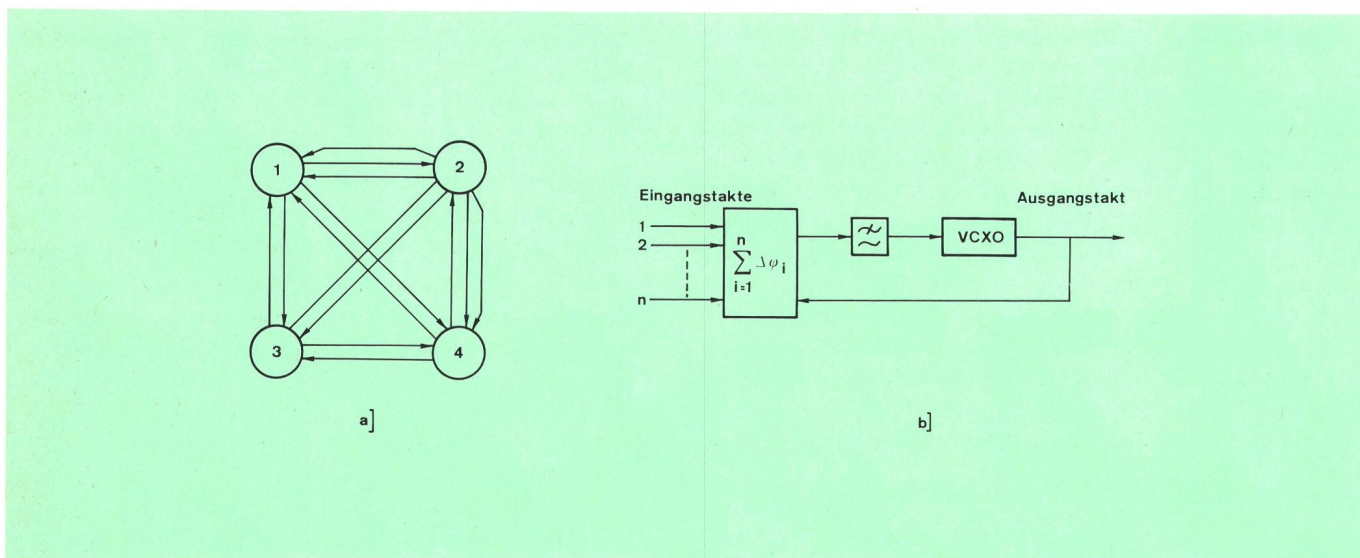


Fig. 5

Die gegenseitige Synchronisierung - Synchronisation mutuelle

- a) Netz sich gegenseitig synchronisierender Knoten 1...4 - Réseau dont les nœuds 1...4 se synchronisent mutuellement
- b) Prinzipschema des Regelkreises mit Phasemittelung - Schéma de principe du circuit de réglage avec une valeur moyenne des phases
- VCXO Spannungsgesteuerter Quarzoszillator - Oscillateur à quartz contrôlé par une tension

$\Delta\varphi_i$ Taktphasendifferenz zwischen i-tem Eingangstakt und VCXO-Taktphase - Différence de phase entre le i^{ème} rythme d'entrée et le signal du VCXO

Eingangstakte - Rythmes d'entrée
Ausgangstakt - Rythme de sortie

differenz an das entsprechende Gegenamt übermittelt. Dadurch lassen sich Laufzeitschwankungseffekte so weit ausgleichen, als die Laufzeitschwankungen in beiden Richtungen gleich sind. Für den Austausch der Phaseninformation kann beispielsweise die freie Übertragungskapazität des PCM-Zeitschlitzes 0 der Multiplexer gemäss G.732 [1] und G.758 [3] verwendet werden.

Die gegenseitigen Synchronisierungsmethoden bieten viele interessante Vorteile

- Eine grosse Zahl verhältnismässig ungenauer $\left(\left|\frac{\Delta f}{f}\right| \sim 10^{-7}\right)$ Oszillatoren genügt, um einen «Netztakt» hoher Verfügbarkeit und Qualität zu synthetisieren.
- Das Mitteilungsverfahren sorgt für einen möglichst breiten Steuerungsbereich und das Ausfiltrieren nichtkorrelierter Phasenstörungen und Oszillatordriften.
- Wegen des hohen Redundanzgrades sind einzelne Streckenausfälle ohne grosse Folgen für den Taktgeber. Diese Methode ist für Netze mit hohem Vermaschungsgrad besonders gut geeignet.

Das komplizierte dynamische Verhalten der gegenseitigen Taktnetze hat auch einige Nachteile

- wegen Taktschleifen im Netz besteht eine Instabilitätsgefahr bei der Verwendung von Integralreglern ($\Delta\varphi = 0$)
- bei Proportionalreglern entstehen jedoch stationäre Phasenfehler
- systematische Frequenzschwankungen (etwa Alterung) der Oszillatoren gleichen Typs verursachen eine langzeitige Systemfrequenzabwanderung
- für Überwachung und Steuerung des Systems ist zudem ein bestimmter Aufwand unvermeidlich

Für den internationalen plesiochronen Betrieb muss jedoch der «Netztakt» gleich dem internationalen Normaltakt sein; deswegen sind gegenseitige Synchronisierungsmethoden in reiner Form nicht praktisch anwendbar. Zu diesem Zweck wird das nationale Netz in mehrere Gruppen von Netzknoten (3..4) gleicher Ordnung aufgeteilt. Während in den einzelnen Gruppen die gegenseitige Synchronisierart vorherrscht, sind die Gruppen von oben mit einem Atomfrequenznormal nach unten durch unilaterale Steuerung synchronisiert. Diese Hybridmethode hat unter anderem in Grossbritannien [12] und im *Nordic Public Data Network* (Skandinavien) [13] Einsatz gefunden.

32 Master-Slave-Synchronisierverfahren (MSS)

Ein zentraler Taktgeber (Master) versorgt alle Netzknoten mit Taktsignalen über ein Verteilnetz ohne Schleifen.

Beim *einfachen* MSS (Fig. 6a) werden alle anderen Taktgeber (Slaves) mit einer einzelnen Taktverbindung direkt vom Master aus oder über andere Slave-Ämter synchronisiert. Beim Taktleitungsausfall entsteht eine autonome «Taktinsel». Um die Folgen eines Taktleitungsausfalles zu mildern, können einerseits stabile PLL mit digitalem Gedächtnis eingesetzt werden, die ohne Referenzfrequenz bei der letzten gespeicherten Frequenz

Dans le système unilatéral («Single-Ended-System» = SES) [10], on forme la somme *algébrique* des différences de phase entre le rythme de l'oscillateur local et le rythme de toutes les liaisons entrantes. De cette différence de phase est dérivée une tension de réglage pour une boucle à verrouillage de phase. Cette stratégie d'asservissement conduit à ce que tous les générateurs de rythme du réseau se rapprochent d'une «fréquence de réseau» commune (fig. 5b).

Le circuit de réglage du système bilatéral («Double-Ended-System» = DES) [11] est construit de manière similaire. En plus, chaque différence de phase est encore transmise au central opposé correspondant. Les effets des fluctuations de temps de propagation peuvent être ainsi éliminés, dans la mesure où ces fluctuations sont identiques dans les deux sens. L'échange de l'information de phase peut être effectué en utilisant la capacité libre de l'intervalle de temps 0 des multiplexeurs selon G.732 [1] et G.758 [3].

Les méthodes de synchronisation mutuelles offrent beaucoup d'avantages intéressants

- Il suffit d'un grand nombre d'oscillateurs relativement imprécis $\left(\left|\frac{\Delta f}{f}\right| \sim 10^{-7}\right)$ pour réaliser un réseau de rythme à haute disponibilité et qualité.
- Le procédé utilisant la moyenne des phases permet un large domaine de réglage et opère un filtrage des perturbations de phase et des dérivées d'oscillateurs non-corrélées.
- Grâce au haut degré de redondance, la panne de liaisons individuelles reste sans grande conséquence pour les générateurs de rythme. Cette méthode est bien adaptée aux réseaux caractérisés par un haut degré d'interconnexion entre les nœuds (réseau maillé).

Les réseaux mutuels présentent également quelques inconvénients dus à leur comportement dynamique compliqué

- lors de l'utilisation d'un circuit de réglage intégral ($\Delta\varphi = 0$), il existe certains dangers d'instabilité à cause des boucles de rythme dans le réseau
- toutefois, pour les circuits de réglage proportionnel, des erreurs de phase stationnaires se produisent
- les fluctuations systématiques de fréquences (par exemple vieillissement) d'oscillateurs de même type provoquent une dérive lente de la fréquence
- une certaine capacité de transmission est nécessaire pour la supervision et le contrôle du système

Pour l'exploitation plesiochrone internationale, le «rythme du réseau» doit être identique au rythme de référence international. C'est pourquoi les méthodes de synchronisation mutuelles ne sont pas applicables sans autre en pratique dans leur forme originale. Le réseau national est alors divisé en plusieurs groupes de nœuds de réseau (3..4) de même ordre. Tandis que, dans les groupes individuels, la synchronisation mutuelle est réalisée, les groupes sont synchronisés entre eux de «haut en bas» par un étalon de fréquence au césium, à l'aide de liaisons de commande unilatérales.

Cette méthode hybride est appliquée, entre autres, en Grande-Bretagne [12] et dans le réseau scandinave «*Nordic Public Data Network*» [13].

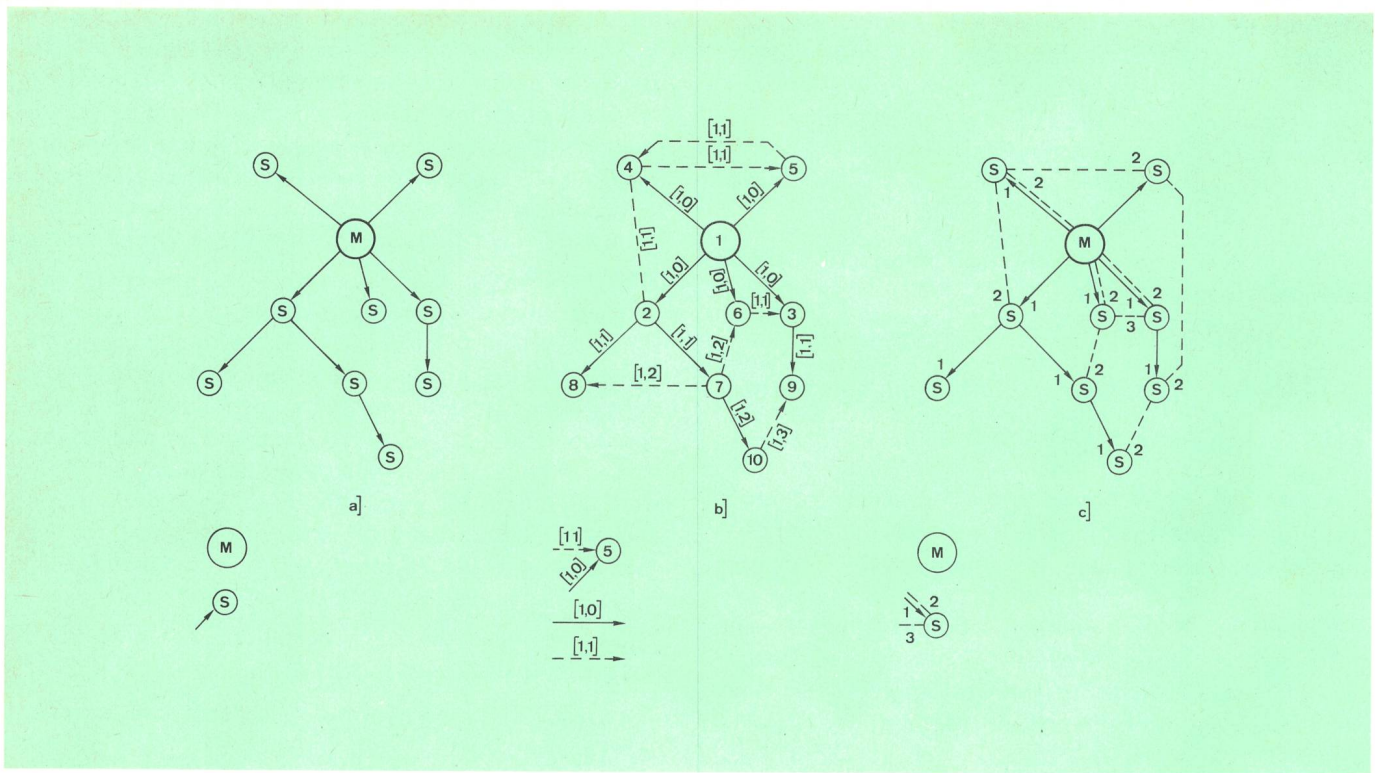


Fig. 6
Master-Slave-Synchronisierverfahren (MSS) — Méthode de synchronisation maître-esclave (MSS)

a) Einfaches MSS — Synchronisation maître-esclave simple:

- (M) Master-Knoten — Nøud maître
 - (S) Slave-Knoten mit Taktzuführung — Nøud esclave avec entrée de rythme de référence
- b) Hierarchisches MSS — Synchronisation maître-esclave hiérarchique:
- (5) Netzknoten mit zugewielem Rang 5 — Nøud du réseau de rang 5
 - [1,1] — [1,0] — [1,1] — [1,2] — [1,3] Ausgewählte Taktleitungen mit Kennzahl, wenn alle Knoten

intakt sind — Liaison de rythme choisie avec nombre caractéristique, lorsque tous les nœuds sont intacts

[1,1] — [1,0] — [1,1] — [1,2] — [1,3] Alternative Taktleitungen mit übertragener Kennzahl — Liaisons de rythme de rechange avec nombre caractéristique

c) Vorgewähltes MSS — Synchronisation maître-esclave avec présélection:

- (M) Master-Knoten — Nøud maître
- (S) Slave-Knoten mit Prioritätsordnung 1→2→3 — Nøud esclave avec ordre de priorité 1→2→3

mit Eigenstabilität von zum Beispiel $\left| \frac{\Delta f}{f} \right| < 10^{-10} / \text{Tag}$ unbeschränkt weiterschwingen können. Andererseits lässt sich die Zuverlässigkeit des Taktverteilnetzes durch den Ausbau von Ersatzwegen erhöhen. Die Neugestaltung des Verteilnetzes nach einem Taktleitungsausfall oder einer Netzerweiterung geschieht beim *hierarchischen MSS* (Fig. 6b) automatisch. Zu diesem Zweck übermittelt jeder Amts-Taktgeber über alle Taktleitungen eine Kennzahl, die den zugewielem Rang der Urtaktquelle (Master) und die «Distanz» (ausgedrückt in Anzahl Strecken) vom Master angibt. Die Wahl der Taktleitung mit der kleinsten Kennzahl führt zu einer optimalen Netzkonfiguration. Das *hierarchische MSS*, ähnlich dem Double Ended System benötigt zusätzliche Kanalkapazität und etwas komplexere Terminalausrüstungen als das einfache MSS. Die Einführung dieser Methode im italienischen Netz ist geplant [14].

Das *vorgewählte MSS* vereinigt viele Vorteile beider erwähnten MSS-Typen. Hier wird jedem Amt eine Anzahl (2...3) Taktleitungen durch Vorselektion zugeordnet (Fig. 6c). Die Umschaltung auf eine Ersatzleitung geschieht nach einer für jedes Amt festgesetzten Prioritätsregel. Diese MSS-Variante hat schon in mehreren Ländern — vor allem in Nordamerika (DDS) [15], Japan (DDX-2, DDN) [16, 17] Frankreich (TRANSMIC) [18] usw. — Einsatz gefunden und sich als zuverlässige und wirtschaftliche Lösung erwiesen. Die Synchronisierung des schweizerischen Netzes ist nach dieser Methode geplant.

32 Procédé de synchronisation maître-esclave «master-slave-synchronisation» (MSS)

Un générateur de rythme centralisé (maître) alimente en signal de rythme tous les nœuds de réseau par un réseau de distribution sans boucles.

Dans la méthode MSS *simple* (fig. 6a), tous les générateurs de rythme «esclave» sont synchronisés par une seule liaison de rythme directement à partir du maître ou par l'intermédiaire d'autres centraux «esclave». Lors d'une panne de la liaison de rythme, il se crée une «île» de rythme autonome. Pour réduire les conséquences d'une défaillance de la liaison de rythme, des oscillateurs stables avec mémoire numérique peuvent être utilisés. Ils continuent d'osciller sur la dernière fréquence mémorisée avant la disparition de la référence avec leur propre stabilité, par exemple, $\left| \frac{\Delta f}{f} \right| < 10^{-10} / \text{jour}$. D'autre

part, on peut également améliorer la fiabilité du réseau de distribution de rythme en prévoyant des liaisons de secours. La reconfiguration du réseau de distribution de rythme s'opère automatiquement lors d'une panne de liaison de rythme ou d'une extension du réseau dans la méthode de synchronisation maître-esclave *hiérarchique* (fig. 6b). A cet effet, chaque générateur de rythme transmet sur toutes les liaisons un nombre caractéristique, qui indique le rang attribué de la source de rythme d'origine (maître) et la «distance» (exprimée en nombre de liaisons) jusqu'au maître. La sélection de la liaison de rythme avec le plus petit nombre caractéristique conduit

33 Netzgestaltung mit MSS

Ein Digitalnetz kann als eine Menge von Netzknotenpunkten betrachtet werden, die untereinander mit Laufzeitgliedern verbunden sind. Ein optimales Taktverteilnetz und die Regel für die Netzgestaltung lassen sich mit Hilfe eines stochastischen Netzmodells gewinnen. Eine quantitative Auswertung des Taktverteilnetzes kann folgendermassen geschehen:

- Es wird jedem Netzelement eine Ausfallwahrscheinlichkeit zugeordnet; P_{ij} für eine Strecke zwischen Knoten i und j und P_i für den Knoten i .
- Man sucht in einem Netz von n Knoten einen zusammenhängenden, kreislosen Graphen (in graphtheoretischem Sinne ein «Baum») grösster Verfügbarkeit A_{syn}

$$A_{syn} = 1 - \sum_{i=1}^n P_{i \rightarrow M} \quad (8)$$

$P_{i \rightarrow M}$ ist die Ausfallwahrscheinlichkeit der Taktverbindung vom Knoten i zum Masterknoten, die in erster Annäherung der Summe aller in der Taktverbindung enthaltenen Strecken- und Knotenausfallwahrscheinlichkeiten gleichkommt. Gleichung (8) muss für alle möglichen Selektionen des Masterknotens berechnet werden.

Ein Ersatzverteilnetz kann analog bestimmt werden:

- für alle zum normalen Taktverteilnetz gehörenden Strecken wird $P_{ij}(S_1)$ durch $P_{ij}(S_2|S_1)$ ersetzt; $P_{ij}(S_2|S_1)$ ist die bedingte Wahrscheinlichkeit, dass auch das System Nr. 2 ausfällt, wenn System Nr. 1 mit einer Ausfallwahrscheinlichkeit von $P_{ij}(S_1)$ im gleichen Kabel schon ausgefallen ist
- der Schritt b) wird wiederholt

Den Berechnungen liegen die in *Tabelle I* angegebenen P-Werte zugrunde. Die mittlere Leitungsunterbrechungsdauer (MTTR) im Fernnetz beträgt etwa 0,5 Stunden (einschliesslich aller Ausfallursachen).

Tabelle I. Typische Ausfallwahrscheinlichkeiten basierend auf Erfahrungswerten
Tableau I. Probabilités typiques de pannes reposant sur des valeurs d'expérience

Kabelart — Genre de câble	Ausfallwahrscheinlichkeit $P \approx \frac{MTTR}{MTBF}$ Probabilité de panne	
	$P(S_1)$	$P(S_2 S_1)$
Koaxialkabel — Câble coaxial (2,6/9,5 mm)	$6 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-2}$
Koaxialkabel (1,2/4,4 mm) und paarsymmetrische Trägerkabelanlagen — Câble coaxial (1,2/4,4 mm) et installations à courants porteurs sur paires symétriques	$4 \cdot 10^{-5}$	10^{-2}

MTTR *Mean Time To Repair* — Minimale Zeit für die Störungsbehebung = 0,5 Stunden (für alle Ausfallursachen berechnet) — Temps minimum de réparation des dérangements = 0,5 heure (calculé pour toutes les causes de dérangement)

MTBF *Mean Time Between Failures* — Minimale Zeit zwischen zwei Störungen — Temps minimum entre deux dérangements

$P(S_1)$ Ausfallwahrscheinlichkeit einer Leitung in einem mehrtrubigen/adrigen Kabel für 100 km berechnet — Probabilité de dérangement d'une ligne dans un câble à plusieurs paires ou tubes, calculée pour 100 km

à une configuration de réseau optimale. La méthode maître-esclave *hiérarchique* nécessite, comme pour la synchronisation mutuelle bilatérale (DES), une capacité de transmission supplémentaire et des terminaux un peu plus complexes que la méthode maître-esclave *simple*. L'introduction de cette méthode est prévue dans le réseau italien [14].

La méthode maître-esclave avec *présélection* réunit beaucoup d'avantages des deux types de synchronisation mentionnés ci-dessus. Dans cette méthode, un certain nombre (2...3) de liaisons de rythme est attribué par présélection à chaque central (*fig. 6c*). La commutation sur une liaison de secours s'effectue selon une règle de priorité déterminée dans chaque central. Cette variante est déjà appliquée dans plusieurs pays — en particulier en Amérique du Nord (DDS) [15], au Japon (DDX-2, DDN) [16, 17], en France (TRANSMIC) [18] — où cette solution s'est révélée fiable et économique. La synchronisation du réseau numérique suisse est prévue selon cette méthode.

33 Configuration du réseau avec la synchronisation maître-esclave

Un réseau numérique peut être considéré comme un ensemble de nœuds reliés entre eux par des éléments introduisant un certain retard. Un réseau optimal de distribution de rythme et des règles pour la configuration du réseau peuvent être déterminés à l'aide d'un modèle stochastique de réseau. Une évaluation quantitative du réseau de distribution de rythme peut être faite de la façon suivante:

- A chaque élément du réseau est attribuée une probabilité de panne: P_{ij} pour une liaison entre les nœuds i et j , P_i pour le nœud i .
- Dans un réseau à n nœuds, on cherche un graphe continu et sans boucles (un «arbre») dont la disponibilité A_{syn} est maximum

$$A_{syn} = 1 - \sum_{i=1}^n P_{i \rightarrow M} \quad (8)$$

$P_{i \rightarrow M}$ est la probabilité de défaillance de la liaison de rythme du nœud i au nœud-maître, qui est équivalente, en première approximation, à la somme des probabilités de pannes de tous les nœuds et de toutes les liaisons de rythme. L'équation (8) doit être calculée pour toutes les sélections possibles du nœud-maître.

Un réseau de secours de distribution de rythme peut être déterminé de manière analogue

- pour toutes les liaisons appartenant au réseau de distribution normal, $P_{ij}(S_1)$ est remplacée par $P_{ij}(S_2|S_1)$; $P_{ij}(S_2|S_1)$ est la probabilité conditionnelle que le système N° 2 tombe en panne, lorsque le système N° 1 est affecté d'une défaillance avec une probabilité $P_{ij}(S_1)$ dans le même câble
- la procédure b) décrite plus haut est répétée

Pour ces calculs, on peut se baser sur les valeurs de P indiquées dans le *tableau I*. La durée d'interruption moyenne des liaisons (MTTR) est d'environ 0,5 heure dans le réseau interurbain (pour toutes les sources de défaillance).

Die folgenden Regeln zur Netzgestaltung gewährleisten im allgemeinen den grössten Verfügbarkeitswert in Gleichung (8):

- Der Master belegt jenen Netzknoten, der zur grössten Anzahl anderer Netzknoten eine direkte Verbindung aufweist.
- Der Normalweg zum Slave-Amt enthält die minimale Knotenzahl und Streckenmenge minimaler Länge.
- Ersatzwege werden mit denselben Kriterien unter Beachtung optimaler Kabeldiversität ausgewählt.

Um Rückkopplungsschleifen zu vermeiden, müssen Anzahl und Richtung der Ersatzwege beschränkt werden. Zur Taktübertragung werden nur normale digitale Pfade verwendet; beim Ausfall dieser Systeme brauchen isolierte Netzteile nicht von aussen synchronisiert zu werden.

Das Endziel der Synchronisierung ist, die Schlupfrate möglichst klein zu halten. Wenn ein Netzknoten ausfällt, ist die Schlupfrate R_s der «Zeitinsel» einfach die Summe der Schlupfrate aller durchgeschalteten beziehungsweise vermittelten Kanäle der abgehenden und ankommenden Systeme. Der Erwartungswert der Schlupfrate $E(R_{s,i})$ für den Knoten i beträgt:

$$E(R_{s,i}) = R_{s,i} \cdot (P_{ij} + P_i) \quad (9)$$

wobei $R_{s,i}$ die Schlupfrate der «Zeitinsel» beim ausgefallenen Knoten i ist.

Die Aufgabe besteht nun darin, die Erwartungswerte unter Berücksichtigung praktischer Aspekte, das heisst $0 < E(R_s) \leq \varepsilon^3$, möglichst klein zu halten.

Man kann zeigen, dass die Lösung, für die die Werte von $E(R_s)$ für alle Knoten des Taktverteilsnetzes gleich sind, auch eine optimale Lösung, das heisst ein möglichst homogenes Taktverteilsnetz darstellt. Dieselben Grundsätze gelten auch für die Taktverteilung innerhalb einer Zentrale. Deshalb muss für Knoten mit hohem R_s -Wert (Leitungs- beziehungsweise Kapazitätskonzentration) der Faktor $(P_{ij} + P_i)$ reduziert werden.

Dies lässt sich durch eine genügende Anzahl Reserveleitungen und die Qualität des Amts-Taktgebers (Redundanz, MTBF, MTTR, Eigenstabilität, vorbeugende Wartung usw.) verwirklichen. In Zentren niedriger Ordnung, wie zum Beispiel Knoten- und Ortszentren, genügen einfachere Oszillatoren (zum Beispiel PLL ohne digitales Gedächtnis, aber mit automatischer Umschaltung auf Reserveleitungen) oder sogar nur Taktschlaufung.

4 Einfluss der Übertragungssysteme und Terminalausrüstungen auf die Synchronisation

Wegen Streckenlaufzeitschwankungen, Jitter usw. sind die Taktgeber untereinander nicht phasenstarr eingeregelt. Diese Phasenschwankungen können an den Eingängen von Vermittlungsstellen und Multiplexern in elastischen Zwischenspeichern vollständig aufgefangen werden. Die im Abschnitt 222 erwähnten Jitterquellen werden hier von den Systemeigenschaften hinsichtlich der Bedürfnisse des Synchronnetzes erörtert.

³ Erste provisorische Werte befinden sich in der neuen CCITT-Empfehlung G.822 [3].

En général, les règles de configuration suivantes garantissent la plus grande valeur de A_{syn} dans l'équation (8):

- Le maître occupe le nœud de réseau qui présente le plus grand nombre de liaisons directes avec les autres nœuds.
- La liaison normale du maître à l'esclave contient un nombre minimal de nœuds et une quantité de sections à longueur minimale.
- Les liaisons de secours sont choisies selon les mêmes critères, compte tenu d'une diversité optimale des câbles.

Le nombre et la direction des liaisons de secours doivent être limités pour éviter des boucles de contre-réaction. La transmission de rythme s'effectue seulement sur des conduits numériques normaux; en cas de panne de ces systèmes, il n'est plus nécessaire de synchroniser de l'extérieur des parties de réseau isolées.

Le but final de la synchronisation est d'arriver à maintenir le taux de glissement le plus faible possible. Lorsqu'un nœud du réseau tombe en panne, le taux de glissement R_s de «l'île» est simplement la somme des taux de glissement de tous les canaux transférés ou commutés des systèmes arrivants et sortants de ce nœud. La valeur probable du taux de glissement $E(R_{s,i})$ pour le nœud i est définie comme il suit:

$$E(R_{s,i}) = R_{s,i} \cdot (P_{ij} + P_i) \quad (9)$$

où $R_{s,i}$ est le taux de glissement de «l'île» du nœud i tombé en panne.

Le problème consiste à maintenir les valeurs probables du taux de glissement $E(R_{s,i})$ aussi petites que possible, compte tenu des aspects pratiques, c'est-à-dire $0 < E(R_s) \leq \varepsilon^3$.

On peut montrer que la solution pour laquelle les valeurs de $E(R_s)$ de tous les nœuds sont égales, correspond également à une solution optimale, c'est-à-dire à un réseau de distribution de rythme aussi homogène que possible. Les mêmes principes sont également valables pour la distribution de rythme à l'intérieur d'un central. Pour cette raison, le facteur $(P_{ij} + P_i)$ doit être réduit aux nœuds où la valeur de R_s est élevée (concentration de ligne ou de capacité).

Cela est réalisable en ayant recours à un nombre suffisant de liaisons de secours et à une bonne qualité du générateur de rythme du central (redondance, MTBF, MTTR, stabilité intrinsèque, maintenance préventive, etc.). Dans les centres d'ordre inférieur (centraux locaux et locaux), des oscillateurs plus simples suffisent (boucle à verrouillage de phase sans mémoire numérique, mais avec commutation automatique sur liaison de réserve) ou même un simple bouclage du signal de rythme.

4 Influence des systèmes de transmission et des équipements terminaux sur la synchronisation

Les générateurs de rythme ne sont pas synchronisés en phase de manière fixe, en raison des fluctuations du

³ Des valeurs provisoires se trouvent dans la nouvelle recommandation du CCITT G.822 [3].

41 Jitterquellen

- Auf digitalen Leitungssystemen hängt der Jitterbetrag unter anderem ab von
 - dem Signalinhalt
 - der Anzahl und Q (Gütefaktor des Taktkreises) der Zwischenverstärker

Auf einer 2048-kbit/s-Leitung mit 50 Verstärkern von $Q=80$ beträgt der Effektivwert des Jitters 5,75 ns bei Frequenzen unterhalb von 160 Hz und nimmt um 20 dB/Dekade oberhalb von 160 Hz ab (pseudozufällige Zahlenfolge PRBS $2^{20}-1$). Bei alternierend übertragenen Bitmustern ist schlimmstenfalls mit einem maximalen Jitter von $1 \mu\text{s}_{\text{ss}}$ zu rechnen [19]. Auf Leitungen mit höheren Bitraten ändert sich der auf der Bitzeit normierte Jitterbetrag nur wenig.

- Ein mit Stopftechnik arbeitender Multiplexer 2048 kbit/s \leftrightarrow 8448 kbit/s dämpft den Eingangsjitter oberhalb von 30 Hz mit 20 dB/Dekade, erzeugt aber einen Eigenjitter von maximal 70 ns_{ss} am 2048-kbit/s-Ausgang (waiting time jitter) bei $f < 30$ Hz. Bei der Demultiplexierung von 139 264 kbit/s auf 2048 kbit/s entsteht im ungünstigsten Fall ein Jitterbetrag von 92 ns_{ss}.
- Die Vermittlungsstellen beseitigen den Eingangsjitter vollständig. Ein Amts-Taktgeber darf aber bei $f < 0,1$ Hz einen Jitter bis zu ± 250 ns aufweisen (Empfehlung G. 811). Solche Phasenzeitschwankungen können zum Beispiel bei Umschaltung von Normal- auf Reservetaktquellen entstehen, kommen aber nur selten vor.

Auch bei verjitterten Referenzsignalen müssen die kurzzeitigen Schwankungen des Ausgangssignals eines PLL in gewissen Grenzen (etwa $x [10^{-4} < \tau < 10^{-2}] \leq 3 \cdot 10^{-11}$) gehalten werden (Abschnitt 51). Für eine optimale Dimensionierung des Regelkreises können die notwendigen Integrationszeiten von auf 2048-kbit/s-Leitungssystemen durchgeführten Allan-Varianz-Messungen ermittelt werden (Fig. 7). Die $\sigma_y(\tau)$ -Kurven zeigen eine ($\sigma_y \sim \tau^{-1}$)-Charakteristik, was einem weissen Phasenrauschen entspricht. Aus Figur 7 ergibt sich für ein «alles 1»-Signalmuster eine Streuung der Phasenzeitabweichung von $\sigma_x = 12$ ns und für die statistisch alternierenden Signalmuster 11111111... und 10001000... ein Wert von $\sigma_x = 750$ ns. Im letzteren Fall wird der TIE-Wert von $3,3 \sigma_x = 2,5 \mu\text{s}$ nur in 0,1 % der Zeit überschritten (vgl. [19] für 200 Streckengeneratoren).

42 Langsame Laufzeitschwankungen: «Wander»

Für Schwankungen, die von Slave-PLL ohne wesentliche Dämpfung übertragen werden (zum Beispiel 3-dB-Punkt des PLL, wenn der bei $\sim 10^{-5}$ Hz liegt), wird der Ausdruck Wander eingeführt.

Langsame Laufzeitvariationen entstehen hauptsächlich wegen Temperaturänderungen in Kabelsystemen. In der Schweiz beträgt der langjährige Mittelwert der Temperaturschwankungen in 70 cm Tiefe etwa 14°C ($+4,5 \dots 18,5^\circ \text{C}$). Die Laufzeitschwankung wurde auf einer 1,5 mm papierisolierten paarsymmetrischen 2048-kbit/s-Kabelanlage zwischen April und August 1979 gemessen. Die Laufzeitkurve in Funktion der Jahreszeit ist

temps de propagation, de la gigue, etc. Ces variations de phase peuvent être complètement absorbées à l'entrée des autocommutateurs et des multiplexeurs dans des mémoires élastiques. En partant des propriétés des systèmes, les sources de gigue mentionnées au paragraphe 222 sont examinées, en relation avec les exigences du réseau synchrone.

41 Sources de gigue

- La valeur de la gigue sur des systèmes de lignes numériques dépend, en particulier:
 - du contenu binaire du signal transmis
 - du nombre et du facteur Q (coefficient de surtension du circuit de récupération de rythme) des régénérateurs

Sur une ligne à 2048 kbit/s équipée de 50 amplificateurs intermédiaires avec $Q=80$, la valeur efficace de la gigue est de 5,75 ns pour des fréquences inférieures

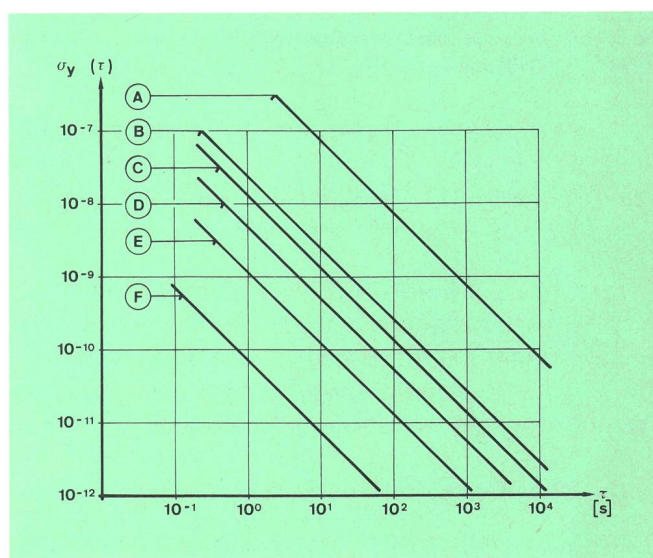


Fig. 7
 $\sigma_y(\tau)$ -Werte auf einem 2048-kbit/s-Leitungssystem — Valeur de $\sigma_y(\tau)$ mesurée sur un système de ligne à 2048 kbit/s
Messbedingungen — Conditions de mesure:

Anzahl Messungen je $\sigma_y(\tau)$ -Punkt $N = 20$ — Nombre de mesures par valeur $\sigma_y(\tau)$ $N = 20$
Bandbreite des Messsystems $B = 270$ Hz — Largeur de bande du système de mesure $B = 270$ Hz
Referenzquelle: Cs-stabilsierter Oszillator (5 MHz) — Source de référence: Oscillateur au Cs (5 MHz)
Leitungssystem: 2048 kbit/s, 200 Streckengeneratoren von $Q = 80$ — Système de ligne: 2048 kbit/s, 200 régénérateurs avec un facteur de surtension $Q = 80$

- (A) Alternierende ..11111111.. — und ..10001000.. Muster^{1,2} — Séquence de ..11111111.. — et ..10001000.. alternée
- (B) «Alles-1»-Signal¹ — Signal «tout 1»¹
- (C) (PRBS $2^{20}-1$)-Muster — Echantillon PRBS $2^{20}-1$
- (D) (PRBS $2^{15}-1$)-Muster — Echantillon PRBS $2^{15}-1$
- (E) «Alles-1»-Signal — Signal «tout 1»
- (F) Grundgeräusch des Messsystems — Bruit de fond du système de mesure

¹ Digitaler Multiplexer 8448 kbit/s mit der Strecke in Serie geschaltet; Stopfverhältnis $\rho \approx \frac{3}{7}$ — Un multiplexeur numérique 8448 kbit/s est connecté en série avec la ligne; taux de justification $\rho \approx \frac{3}{7}$

² Statistische Umschaltung zwischen den zwei Mustern (mit Geräuschquelle); mittlere Umschaltfrequenz ≈ 50 Hz — Commutation statistique entre deux séquences binaires (avec source de bruit); fréquence moyenne de commutation ≈ 50 Hz

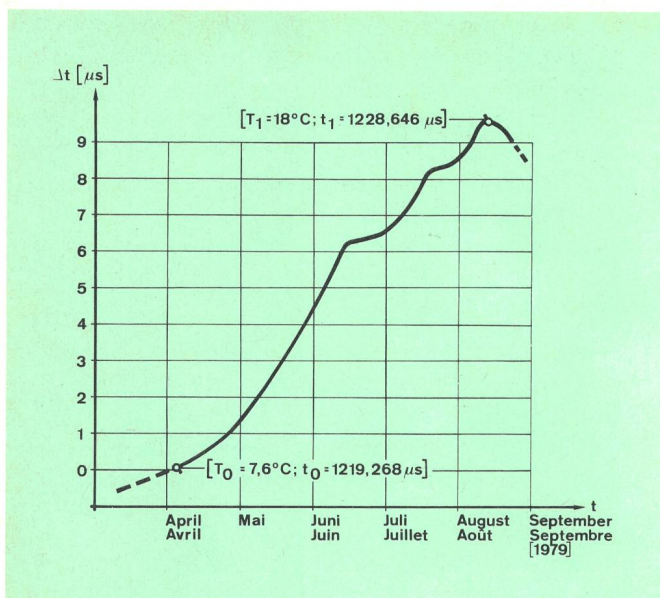


Fig. 8 Laufzeitschwankung Δt auf einer 269 km langen, 1,5 mm papierisolierten paarsymmetrischen 2048-kbit/s-Kabelanlage in Funktion der Jahreszeit — Fluctuations du temps de propagation Δt d'un système de ligne 2048 kbit/s sur paires symétriques 1,5 mm d'une longueur de 269 km en fonction de la saison

in *Figur 8* dargestellt. Der berechnete Temperaturkoeffizient beträgt $3,35 \text{ ns}/^\circ\text{C}/\text{km}$, und eine maximale tägliche Laufzeitschwankung von $1,8 \text{ ns}/\text{km}$ wurde beobachtet, was einer Temperaturschwankung von $0,55^\circ\text{C}$ entspricht.

Die für die anderen Kabelarten (Leistungsverstärker inbegriffen) geltenden, meist unveröffentlichten Temperaturkoeffizienten, sind in *Tabelle II* zusammengefasst.

Auch ein langsamer Masteroszillatordrift kann als «Wander» betrachtet werden; er bleibt aber für das syn-

Tabelle II. Temperaturkoeffizienten der Laufzeit auf Übertragungssystemen
Tableau II. Coefficient de température du temps de propagation dans les systèmes de transmission

Kabelart — Genre de câble		Temperaturkoeffizient — Coefficient de température [ns/°C/km]
Paarsymmetrische Kabelanlagen — Installations de câbles à paires symétriques	Papierisoliert — Isolé au papier 0,8...1,5 mm	2,7...5
	Vollpolyäthylen isoliert — Isolé entièrement au polyéthylène 0,8 mm	0,21...0,78
Koaxialkabelanlagen — Installations de câbles coaxiaux	0,7/2,9 mm	0,16...0,26
	1,2/4,4 mm	0,03...0,072
	2,6/9,5 mm	0,03...0,065
Optische Faser — Fibre optique [20]	SiO ₂ -Kern, mono- und multimode — Ame SiO ₂ , monomode et multimode	0,032
	B ₂ O ₃ -SiO ₂ -Kern, monomode — Ame B ₂ O ₃ -SiO ₂ , monomode	0,064

à 160 Hz et diminue de 20 dB par décade en dessus de 160 Hz (séquence pseudoaléatoire PRBS $2^{20}-1$). Pour des séquences à contenu binaire alterné, il faut compter avec une valeur maximale de gigue égale à $1 \mu\text{s}_{cc}$ [19]. Sur des systèmes de ligne à plus haut débit binaire, les valeurs de gigue normalisées par rapport à l'intervalle unitaire sont approximativement les mêmes.

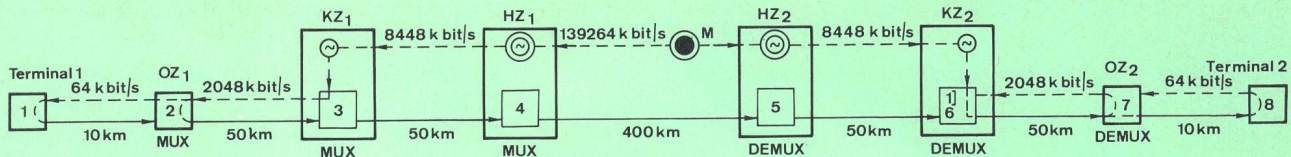
- Un multiplexeur 2048 kbit/s ↔ 8448 kbit/s, fonctionnant selon le principe de la justification, atténue la gigue d'entrée en dessus de 30 Hz avec 20 dB par décade, mais produit lui-même une gigue intrinsèque de 70 ns_{cc} à la sortie 2048 kbit/s (gigue de temps d'attente) pour une fréquence f inférieure à 30 Hz. Au démultiplexage de 139 264 à 2048 kbit/s, la gigue produite est dans le cas le plus défavorable de 92 ns_{cc} .
- Les autocommutateurs éliminent complètement la gigue d'entrée. Cependant, un générateur de rythme d'un central peut présenter une gigue allant jusqu'à $\pm 250 \text{ ns}$ pour une fréquence inférieure à 0,1 Hz (G.811). De telles différences de phase peuvent apparaître lors de la commutation d'une source de rythme normale à une source de secours et se produisent très rarement.

Les variations à court terme du signal de sortie d'une boucle à verrouillage de phase doivent également respecter certaines limites (par exemple $x (10^{-4} < \tau < 10^{-2}) \leq 3 \cdot 10^{-11}$ en présence d'un signal de référence affecté de gigue (paragraphe 51). Les temps d'intégration nécessaire à un dimensionnement optimal du circuit de réglage peuvent être dérivés des mesures de la variance d'Allan exécutées sur des systèmes de ligne numériques à 2048 kbit/s (*fig. 7*). Les fonctions $\sigma_y(\tau)$ présentent une caractéristique $\sigma_y \sim \tau^{-1}$, correspondant à un bruit blanc de phase. D'après la figure 7, il résulte une dispersion de la déviation du temps de phase pour un signal «tout 1» de $\sigma_x = 12 \text{ ns}$ et pour une séquence alternée 11111111... et 10001000... de $\sigma_x = 750 \text{ ns}$. Dans ce dernier cas, la valeur de l'erreur sur la durée (TIE) de $3,3 \sigma_x = 2,5 \mu\text{s}$ n'est dépassée que pour le 0,1 % du temps (voir [19] pour une ligne de 200 régénérateurs).

42 Fluctuations lentes du temps de propagation «dérépage»

Pour des variations du temps de propagation, transmises sans atténuation par les boucles à verrouillage de phase esclaves (par exemple, point 3 dB des PLL à $\sim 10^{-5} \text{ Hz}$), on utilise le terme de dérèpage.

Des variations lentes du temps de propagation sont principalement dues au changement de température dans les systèmes sur câble. La valeur moyenne, sur plusieurs années, des fluctuations de température du sol en Suisse, à une profondeur de 70 cm, est d'environ 14°C ($+4,5^\circ\text{C} \dots +18,5^\circ\text{C}$). Les variations du temps de propagation sur une installation 2048 kbit/s à paires symétriques 1,5 mm isolées au papier ont été mesurées entre avril et août 1979. Le temps de propagation en fonction de la température est représenté à la *figure 8*. Le coefficient de température calculé est de $3,35 \text{ ns}/^\circ\text{C}/\text{km}$ et une variation journalière du temps de propagation de $1,8 \text{ ns}/\text{km}$ a été observée, ce qui correspond à une fluctuation de température de $0,55^\circ\text{C}$.



Leitungsabschnitt bzw. Ausrüstung – Tronçon de ligne ou équipement	1→2	M→OZ1	2	2→3	3→4	4→5	5	5→6	6
Jitter – Gigue (J) [μs]	±12	±0,5 ³		±0,25	±0,06	±0,125	±0,01	±0,06	±0,285 ³
Σ Jitter – Gigue (J) [μs]			±0,5				±0,945		±1,29
«Wander» – «Dérapage» (W) [μs]	±0,7	±2,025		±1,75	±0,09	±0,18			
Σ «Wander» – «Dérapage» (W) [μs]			±2,025				±4,045		±4,045
Σ (J+W) [μs]	±1,6		±2,525				±4,99		±5,335

1 64-kbits/s-Durchschaltung wie in Figur 2 (1. Teil) – Transfert 64 kbit/s, figure 2 (1^{re} partie)

2 Der Jitterbeitrag in dieser Kolonne wird in Einheit 2 völlig absorbiert – La gigue indiquée dans cette colonne est absorbée totalement dans l'unité 2

3 Leitungsjitter KZ1→ OZ1 plus Jitter nach G.811 (Abschnitt 41) – Gigue de ligne KZ1→ OZ1 et gigue selon G.811 (paragraphe 41)

Fig. 9
Jitter und «Wander» an einer 500 km langen Verbindung im Synchronbetrieb mit 64-kbit/s-Durchschaltung in KZ₂ für ΔT = 14 °C – Gigue et dérapage sur une liaison de 500 km de longueur en fonctionnement synchrone avec un transfert 64 kbit/s au central nodal KZ₂ et une variation de température ΔT = 14 °C

→ Informationspfad – Trajectoire de l'information

→ Taktpfad – Trajectoire du rythme

↻ Taktschleifung – Bouclage du rythme

HZ Hauptzentrale – Central principal

KZ Knotenzentrale – Central nodal

OZ Ortszentrale – Central local

M ● Netzmaster – Maître du réseau

⊙ Zentralisierte Amtstaktgeber – Générateur de rythme centralisé

MUX Multiplexierstufen – Etages de multiplexage

DEMUX Demultiplexierstufen – Etages de démultiplexage

chrone Netz ohne Folgen, da er von allen PLL-Einheiten restlos befolgt wird. Seine Bedeutung im internationalen pliesiochronen Betrieb wurde im Abschnitt 24 erörtert.

43 Beispiel für die Bemessung von Pufferspeichern für eine 500 km lange Verbindung im Synchronbetrieb

Eine Verbindung, die für die schweizerischen Verhältnisse noch als realistisch betrachtet werden kann, ist in *Figur 9* gezeigt. Die Teilnehmerausrüstungen Nrn. 1 und 8 sind von den Multiplexern 2 beziehungsweise 7 her getaktet. Für die Distanz zwischen den zwei direkt vom Master gesteuerten Hauptzentren wird 400 km angenommen (Master befindet sich in nächster Nähe von HZ₂).

Die Summe vom Jitter und «Wander» am Eingang der Einheit 6 beträgt ±5,33 μs (im Knotenzentrum 2 wurde eine 64-kbit/s-Durchschaltung angenommen).

Um Schlüpfen zu vermeiden, müssen diese Phasenschwankungen bei der Einheit 6 in einem Speicher aufgefangen werden. In Synchronnetzen sind Speicher zuerst für Zufallsprozesse gedacht, die einen Mittelwert von Null aufweisen, zum Beispiel Jitter, temperaturabhängiger Wander mit einer Periode von einem Tag, einem Jahr usw.

Wenn eine Taktleitung vom Master zum Slave-Amt ausfällt – vom Master zum Hauptzentrum 1 in *Figur 9*

Pour les autres types de câbles (amplificateurs de ligne compris), le *tableau II* donne les coefficients de température correspondants (pour la plupart pas publiés).

La dérive lente de l'oscillateur maître peut également être considérée comme dérapage; dans un réseau synchrone il reste cependant sans conséquence, car toutes les unités de boucles à verrouillage de phase sans exception vont le suivre. L'importance d'un tel dérapage dans le fonctionnement pliesiochrone à l'échelon international a déjà été examinée au paragraphe 24.

43 Exemple de dimensionnement des mémoires élastiques pour une liaison de 500 km en fonctionnement synchrone

La *figure 9* représente une liaison qui peut encore être considérée comme réaliste, à l'échelle suisse. Les équipements d'abonné N^{os} 1 et 8 sont alimentés en rythme à partir des multiplexeurs 2 et 7 respectivement. Une distance de 400 km entre deux centres principaux (HZ) pilotés directement par l'oscillateur maître a été admise (le maître se trouvant à proximité du centre principal HZ₂). La somme de la gigue et du dérapage à l'entrée de l'unité N^o 6 est de ±5,33 μs (un transfert à 64 kbit/s est supposé dans le centre nodal KZ₂).

Pour que des glissements soient évités, ces variations doivent être absorbées dans la mémoire de l'unité 6.

—, kann dieser Taktgeber ohne Verletzung der in G.811 festgelegten Anforderungen während 1,5 Tagen freilaufen (hierbei wurde ein kommerziell verfügbarer 5-MHz-Quarzoszillator mit folgenden Eigenschaften angenommen: Alterungsrate $a = 3 \cdot 10^{-11}$ /Tag; Nachregelungsgenauigkeit $\sigma_{v_0} = 10^{-11}$). Die Phasenzeitabweichung nach 1,5 Tagen beträgt $\pm 3,8 \mu\text{s}$. In Anbetracht der relativ hohen Taktleitungszuverlässigkeit kann man auf Speicherkapazität für längere Freilaufdauer (der Oszillator darf in einem Zeitintervall von 70 Tagen mehrere nichtzusammenhängende Freilaufperioden haben) verzichten. Im nationalen Netz bietet eine Speicherkapazität von $\pm 9 \mu\text{s}$ also genügend Sicherheit.

5 Synchronisierung des schweizerischen Digitalnetzes

Die Studien, die zurzeit bei den Schweizerischen PTT-Betrieben im Bereich der Synchronisation und Taktverteilung laufen, haben ein Taktverteilnetz zum Ziel, das sowohl den Bedürfnissen der Datenübertragung als auch den Anforderungen des Integrierten Fernmeldesystems IFS [21] zu entsprechen vermag.

Nach einer Untersuchung der üblichen Synchronisierungsmethoden [22] ist der Entscheid für die weitere Studie zugunsten des im Abschnitt 32 erwähnten *vorgewählten Master-Slave-Verfahrens* gefallen. Die detaillierten Spezifikationen werden zurzeit noch ausgearbeitet. Die folgenden Abschnitte sollen einen ersten Einblick in die gewählte Struktur des Synchronisiernetzes geben und enthalten eine kurze Beschreibung der geplanten Taktverteilausrüstungen.

51 Grundvoraussetzungen

Bei der Taktverteilnetzgestaltung werden folgende Randbedingungen festgelegt:

- Die im Digitalnetz verwendeten Übertragungsausrüstungen entsprechen den CCITT-Empfehlungen der Serie G.700. Die synchrone Multiplexierung wird sowohl von 64 kbit/s auf 2048 kbit/s als auch für Datenmultiplexer (zum Beispiel von 9,6 kbit/s auf 64 kbit/s) angewendet. Von 2048 kbit/s aufwärts werden die Digitalsignale höherer Hierarchiestufen von den in den CCITT-Empfehlungen G.742, G.751 und G.922 genormten Digital-Multiplexergeräten (mit Positivstopfverfahren) verarbeitet.
- Das System übernimmt nur die Bitsynchronisation; die Multiplex- und Vermittlungsstellen gewähren die Rahmensynchronisation.
- Es soll möglich sein, das Taktverteilnetz gegebenenfalls entsprechend dem internationalen Referenztakt nachzuregulieren. Bis zur Einführung des internationalen Synchronbetriebes muss das Netz die Empfehlung G.811 für internationalen plesiochronen Betrieb einhalten.
- Das Taktverteilnetz soll ausschliesslich aus digitalen Übertragungssystemen bestehen. Die Taktsignale werden allgemein über 2048-kbit/s-Pfade übertragen. Die Einführung der Synchronisierung verläuft immer parallel mit der Erweiterung des Digitalnetzes, ohne dabei bestehende FDM-Koaxialkabelsysteme einzubeziehen. Ausnahmefälle sind Trägersysteme (zum

Dans les réseaux synchrones, les mémoires sont destinées, en premier lieu, à absorber des phénomènes aléatoires, dont la valeur moyenne est zéro, comme par exemple la gigue, le dérapage en fonction de la température avec une période d'un jour, d'une année, etc.

Lorsqu'une liaison de rythme du centre maître au centre esclave tombe en panne — du maître au centre principal HZ_1 dans la figure 9 — ce générateur de rythme peut continuer à fonctionner librement sans violer les exigences de l'avis G.811 pendant 1,5 jour (on suppose ici, un oscillateur 5 MHz commercialisé avec les caractéristiques suivantes: taux de vieillissement $a = 3 \cdot 10^{-11}$ /jour; précision du réglage $\sigma_{v_0} = 10^{-11}$). La déviation du temps de phase est de $\pm 3,8 \mu\text{s}$ après 1,5 jour. En considérant la fiabilité relativement élevée du rythme, on peut renoncer à une capacité de mémoire correspondant à de plus longues périodes de fonctionnement libre (pendant un intervalle de 70 jours, plusieurs périodes non consécutives de fonctionnement libre sont admises). Dans le réseau national, une capacité d'absorption de mémoire de $\pm 9 \mu\text{s}$ présente donc une sécurité suffisante.

5 Synchronisation du réseau numérique suisse

Les études en cours aux PTT suisses dans le domaine de la synchronisation et de la distribution d'horloge ont pour but la réalisation d'un réseau de distribution de rythme dont les caractéristiques répondent aussi bien aux exigences de la transmission de données qu'à celles du système de télécommunication intégré IFS [21].

Après une comparaison des méthodes de synchronisation usuelles [22], il a été décidé de poursuivre les études en se basant sur le *procédé de synchronisation maître-esclave avec présélection* (voir 32). Les spécifications détaillées sont en cours d'élaboration. Les paragraphes suivants donnent un premier aperçu de la structure du réseau de synchronisation et contiennent une brève description des équipements de distribution de rythme prévus.

51 Hypothèses de base

Les hypothèses suivantes ont servi de base à l'élaboration du réseau de distribution de rythme:

- Les équipements de transmissions numériques du réseau sont conformes aux recommandations du CCITT de la série G.700. Le multiplexage synchrone est appliqué aussi bien de 64 kbit/s à 2048 kbit/s que pour les multiplexeurs de données (par exemple 9,6 kbit/s à 64 kbit/s). A partir de 2048 kbit/s, les signaux numériques des niveaux hiérarchiques plus élevés sont traités par les équipements de multiplexage numériques normalisés par les avis G.742, G.751 et G.922 du CCITT (procédé de justification positive).
- Le système réalise seulement la synchronisation des bits, la synchronisation des trames est assurée par les multiplexeurs et les autocommutateurs numériques.
- Il doit être possible, le cas échéant, de piloter le réseau de distribution de rythme par un signal de référence international. Jusqu'à l'introduction du fonctionnement synchrone international, le réseau

Beispiel 12 MHz) mit Data Over Voice System (DOV), wenn diese wirtschaftliche Vorteile bieten.

- e) In Zentren 1. und 2. Ordnung (Abschnitt 52) wird möglichst die gleiche Grundfrequenzversorgungs-ausrüstung für die Taktversorgung digitaler Systeme und für die Trägerversorgung von FDM-Systemen eingesetzt. Der Taktgeber muss deshalb sowohl den Kriterien der Langzeitstabilität (digitale Systeme) als auch der spektralen Reinheit (FDM-Systeme) entsprechen, dies auch bei einem vom 2048-kbit/s-Datenstrom abgeleiteten, mit Phasenjitter behafteten Referenztakt.

52 Struktur des Taktverteilnetzes

Ausgehend von der Struktur des gegenwärtigen schweizerischen Telefonnetzes und im Blick auf die Einführung der digitalen Vermittlung [21] wurden, den hierarchischen Niveaus entsprechend, für die Taktverteilung vier verschiedene Zentrentypen definiert (Fig. 10)

- **Zentren 1. Ordnung:** Diese gehören zur höchsten Ebene im nationalen Netz. Jedes Zentrum 1. Ordnung wird mit einem Cäsiumfrequenznormal ausgerüstet. Zwecks Phasenvergleichen und Erhöhung der Zuverlässigkeit werden, geographisch getrennt, drei Cäsiumfrequenznormale eingesetzt (Abschnitt 53).
- **Zentren 2. Ordnung:** Mit den drei Zentren 1. Ordnung gehören auch die Zentren 2. Ordnung zum Fernnetz, das eine Maschenstruktur aufweist. Als Übertragungsmittel dienen die Koaxialkabelanlagen 2,6/9,5 mm und 1,2/4,4 mm ($\geq 139\,264$ kbit/s) sowie voraussichtlich optische Faser- und digitale Richtstrahl-anlagen.

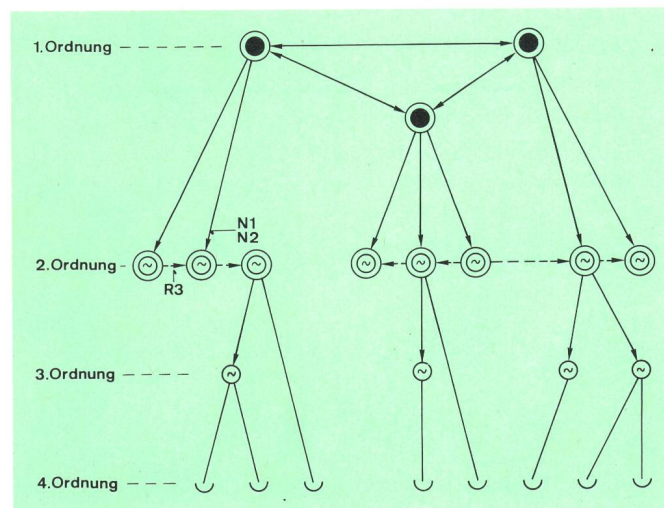


Fig. 10
Topologie des Synchronisiernetzes — Topologie du réseau de synchronisation

- Zentrum 1. Ordnung; Cs-stabiler Oszillator — Centre de 1^{er} ordre; oscillateur piloté par Cs
- ⊗ Zentrum 2. Ordnung; hochstabile PLL mit digitalem Gedächtnis — Centre de 2^e ordre; boucle à verrouillage de phase très stable avec mémoire numérique
- ⊙ Zentrum 3. Ordnung; einfache PLL mit automatischer Umschaltung — Centre de 3^e ordre; boucle à verrouillage de phase simple avec commutation automatique
- ⌋ Zentrum 4. Ordnung; Taktschlaufung — Centre de 4^e ordre; bouclage du rythme
- N1, N2, Taktquellen mit Prioritätsordnung 1→2→3 — Sources de rythme avec ordre de priorité 1→2→3
- R3 Normales Taktverteilnetz — Réseau normal de distribution de rythme
- Reserveleitungen — Liaisons de réserve
- 1...4. Ordnung — Ordre 1...4

doit remplir les exigences relatives au fonctionnement plésiochrone international de l'avis G.811.

- d) Le réseau de distribution de rythme doit être composé exclusivement de systèmes de transmission numériques. Les signaux de rythme empruntent des conduits numériques normaux à 2048 kbit/s. L'introduction de la synchronisation s'effectue toujours parallèlement à l'extension du réseau numérique, sans qu'il soit fait appel aux systèmes coaxiaux MRF existants; avec une exception cependant pour la transmission en supravocal DOV (Data Over Voice) sur lignes coaxiales (par exemple 12 MHz), lorsque celles-ci présentent des avantages économiques.
- e) Dans les centres de 1^{er} et 2^e ordre (paragraphe 52), on utilisera, si possible, le même équipement de génération de fréquence de base pour l'alimentation en rythme des équipements numériques et en fréquences porteuses des systèmes MRF. Par conséquent, le générateur de rythme doit répondre aussi bien aux critères de stabilité à long terme (systèmes numériques) qu'aux exigences de pureté spectrale (systèmes MRF), et cela en présence d'un rythme de référence extrait d'un conduit numérique à 2048 kbit/s et affecté de gigue de phase.

52 Structure du réseau de distribution de rythme

En partant de la structure du réseau téléphonique suisse actuel, et en tenant compte de l'introduction de la commutation numérique [21], quatre types de centres ont été définis, correspondant aux niveaux hiérarchiques (fig. 10)

- **Centres de 1^{er} ordre:** Ces centres correspondent au plus haut niveau du réseau national. Chaque centre de 1^{er} ordre est équipé d'un normal de fréquence au césium. Pour pouvoir comparer les phases et pour améliorer la fiabilité, trois oscillateurs au césium sont installés à trois endroits géographiquement séparés (paragraphe 53).
- **Centres de 2^e ordre:** Avec les trois centres de 1^{er} ordre, ces centres font partie du réseau interurbain, caractérisé par une structure maillée. Comme moyens de transmission, on trouve des installations à câble coaxial du type 2,6/9,5 mm et 1,2/4,4 mm ($\geq 139\,264$ kbit/s), ainsi que des faisceaux hertziens et des installations à fibres optiques en technique numérique.
- **Centres de 3^e ordre:** Chaque centre de 2^e ordre est relié à un certain nombre de centres de 3^e ordre (réseau en étoile). Cette partie du réseau correspond au réseau rural, dans lequel les moyens de transmission se composent d'installations de câbles à paires symétriques (2048 kbit/s) et à paires coaxiales 0,7/2,9 mm (8448 et 34 368 kbit/s), ainsi que de faisceaux hertziens et de systèmes de transmission sur fibre optique.
- **Centres de 4^e ordre:** Il n'y a pas d'équipement de génération de rythme centralisé au niveau le plus bas de la hiérarchie. Les équipements terminaux, tels que les multiplexeurs synchrones (30×64 kbit/s) et les multiplexeurs MIC avec accès de données à 64 kbit/s utilisent comme rythme d'émission le signal d'horloge extrait du flux de données 2048 kbit/s à la réception (fonctionnement en esclave).

- **Zentren 3. Ordnung:** Jedes Zentrum 2. Ordnung ist mit einer Anzahl Zentralen 3. Ordnung verbunden (Sternnetz). Dieser Netzteil entspricht dem Bezirksnetz, bei dem die Übertragungsmittel aus paarsymmetrischen Kabeln (2048 kbit/s), Koaxialkabelanlagen 0,7/2,9 mm (8448 kbit/s und 34 368 kbit/s), Richtstrahl- und optischen Übertragungssystemen bestehen.
- **Zentren 4. Ordnung:** Auf der niedrigsten Hierarchiestufe gibt es keine zentralisierte Taktversorgung. Terminalausrüstungen, wie synchrone Multiplexer (30 × 64 kbit/s) und mit 64-kbit/s-Zugang ausgerüstete PCM-Multiplexergeräte, verwenden zum Senden den vom empfangenen 2048-kbit/s-Datenstrom abgeleiteten Takt (Slave-Betrieb).

53 Synchronisierung der Zentren 1. Ordnung

Das schweizerische Netz wird in drei «Taktgebiete» unterteilt. Als Master-Knoten dient für jedes Gebiet ein Cäsium-Oszillator-bestücktes Zentrum 1. Ordnung. Die übrigen Zentren 2., 3. und 4. Ordnung eines Taktgebietes sind durch das Taktverteilnetz nach dem *vorgewählten* Master/Slave-Verfahren mit dem Zentrum 1. Ordnung verbunden.

In einer ersten Phase gestatten die drei Taktgebiete einen plesiochronen Betrieb nach G.811. Erste Studien für ihre spätere Synchronisierung sind im Gange.

Der zentralisierte Amts-Taktgeber in den Zentren 1. Ordnung besteht aus drei mit digitalem Gedächtnis versehenen, ofenstabilisierten Quarzoszillatoren, die von einer Cäsiumquelle gesteuert sind. Diese Quarzoszillatoren speisen zwei 5-MHz-Sammelschienen. Von diesen werden mehrere 5-MHz/2048-kHz-Frequenzwandler angesteuert, die über die Verteiler die mit Vermittlungsstellen und digitalen Endausrüstungen (beispielsweise PCM-Multiplexern) bestückten Gestelle des Zentrums speisen.

54 Synchronisierung und Taktverteilung in den Zentren 2. Ordnung (Fig. 11)

In jedem Zentrum 2. Ordnung wird der Takt aus drei ankommenden 2048-kbit/s-Bitströmen, N1, N2 und R3, abgeleitet. N1 und N2 stammen vom Master-Taktgeber im zugeordneten Zentrum 1. Ordnung; in normalem Betrieb wird der Takt aus einem dieser beiden Bitströme zur Nachregelung des Amts-Taktgebers verwendet. Das Signal R3, das aus einem anderen Zentrum 2. Ordnung stammt, liefert den Takt, wenn die beiden anderen Taktquellen ausfallen.

Anhand der Einrichtung für Majoritätsentscheid kann eine untaugliche Taktquelle identifiziert werden. Bei Mehrfachdefekt läuft der Taktgeber mit eigener Stabilität ($\left| \frac{\Delta f}{f} \right| \leq 3 \cdot 10^{-11} / \text{Tag}$) autonom. Dieser zentralisierte Taktgeber ist mit der in den Zentren 1. Ordnung verwendeten Ausrüstung identisch.

55 Synchronisierung und Taktverteilung in den Zentren 3. Ordnung (Fig. 12)

In den Zentren 3. Ordnung erhält der Taktgeber den Takt des ihm direkt übergeordneten Zentrums 2. Ord-

53 Synchronisation des centres de 1^{er} ordre

Le réseau suisse est subdivisé, en ce qui concerne le rythme, en trois régions. Pour chaque région, un centre de 1^{er} ordre équipé d'un oscillateur au césium joue le rôle de «nœud maître». Les autres centres de 2^e, 3^e, et 4^e ordre sont reliés au centre de 1^{er} ordre par un réseau de distribution de rythme selon la méthode maître-esclave avec *présélection*.

Dans une première phase, les trois régions permettent un fonctionnement plésiochrone selon G.811. Cependant des premières études en vue d'une synchronisation future des trois régions sont en cours.

Les générateurs de rythme centralisés des centres de 1^{er} ordre se composent de trois oscillateurs à quartz thermostatés, équipés d'une mémoire numérique, pilotés par un étalon de fréquence au césium. Ces oscillateurs alimentent deux barres collectrices à 5 MHz. Des convertisseurs de fréquence 5 MHz/2048 kHz connectés sur ces barres alimentent, par l'intermédiaire d'un répartiteur, les bâtis équipés d'autocommutateurs et de terminaux numériques du centre (par exemple multiplexeurs MIC).

54 Synchronisation et distribution de rythme dans les centres de 2^e ordre (fig. 11)

Dans chaque centre de 2^e ordre, le rythme est dérivé de trois trains numériques à 2048 kbit/s, N1, N2 et R3. N1 et N2 sont issus du générateur de rythme «maître» du centre de 1^{er} ordre auquel il est subordonné. En exploitation normale, le rythme de l'un de ces deux trains numériques est utilisé pour la synchronisation du générateur de rythme. Le signal R3, issu d'un autre centre de 2^e ordre, détermine le rythme, dans le cas où les deux autres sources de rythme sont en panne.

Une source de rythme défaillante peut être identifiée à l'aide d'un dispositif de décision majoritaire. Lors de défauts multiples, le générateur de rythme fonctionne de manière autonome avec sa stabilité intrinsèque

$$\left(\left| \frac{\Delta f}{f} \right| \leq 3 \cdot 10^{-11} / \text{jour} \right)$$

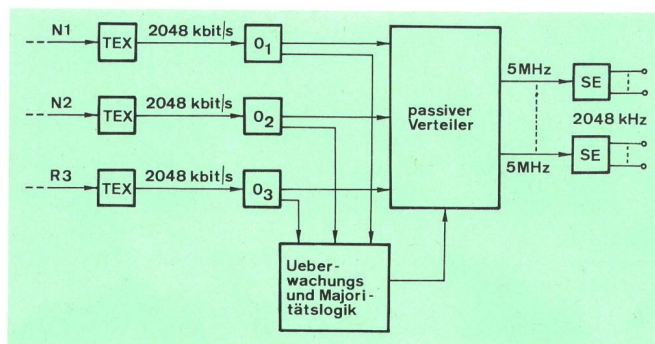


Fig. 11 Synchronisierausrüstung in Zentralen 2. Ordnung — Equipement de synchronisation dans les centres de 2^e ordre

- TEX Taktextraktionseinheit — Unité d'extraction de rythme
- O₁...O₃ Hochstabile Quarzoszillatoren — Oscillateurs à quartz très stables
- SE Syntheseeinheit (5-MHz/2048-kHz-Frequenzwandler) — Unité de synthèse (convertisseur 5 MHz/2048 kHz)
- N1, N2, R3 Referenzakte — Rythmes de référence
- Passiver Verteiler — Répartiteur passif
- Überwachungs- und Majoritätslogik — Logique de surveillance et de majorité

nung über zwei 2048-kbit/s-Bitströme. Einer der beiden Leitungstakte regelt zwei temperaturkompensierte Quarzoszillatoren (PLL) nach. Die zwei PLL-Ausgangssignale bilden zwei unabhängige 2048-kHz-Sammelschienen, die über einen entkoppelten Verteiler den Takt für die externe Anspeisung der digitalen Endausrüstungen liefern.

6 Schlussbetrachtungen

Die Eigenschaften des plesiochronen Betriebes wurden beschrieben, wobei der Einfluss der Taktquellen und der Übertragungssysteme auf die Schlupfhäufigkeit besonders betrachtet wurde. Bei geeigneter Wahl des Oszillatortyps bietet der plesiochrone Betrieb eine verhältnismässig gute Qualität der durchgeschalteten oder vermittelten Verbindungen. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen eignet sich aber diese Betriebsart nicht für alle Netzebenen; die Synchronisierung stellt für bestimmte Netzteile eine optimale Lösung dar. Die wichtigsten Eigenschaften der bekanntesten Synchronisierverfahren wurden erläutert.

Für das schweizerische digitale Telefonienetz ist das sogenannte vorgewählte Master-Slave-Verfahren als Basis für die weiteren Arbeiten festgelegt worden. Spezifische Probleme der Oszillatorsteuerung befinden sich zurzeit noch im Studium, anschliessend werden die Spezifikationen der benötigten Ausrüstungen ausgearbeitet. Während des plesiochronen Betriebes, dessen Einführung in einer ersten Phase vorgesehen ist, werden Erfahrungen in bezug auf Schlupfhäufigkeit und Verfügbarkeit der Taktverteilung gesammelt. Der Vergleich dieser Parameter mit den übrigen Qualitätsbeeinflussungen des digitalen Netzes, wie Fehler und Störungen, wird zeigen, ob in einer zweiten Phase die Einführung der Synchronisierung der drei Taktgebiete miteinander notwendig ist. Ebenfalls zu berücksichtigen sind bei dieser Entscheidung die internationale Tendenz sowie allfällige neue Normen oder Empfehlungen.

Bibliographie

- [1] Modulation par impulsions et codage (MIC) des fréquences vocales. CCITT, Livre Orange, tome III, Avis G.711, Genève 1977.
- [2] Probst P.-A. Les équipements de multiplexage numériques pour le service téléphonique. Berne, Bull. techn. PTT 55 (1977) 12, p. 544.
- [3] CCITT, Document AP VII, N° 103, Genève, septembre 1980.
- [4] Kartaschoff P. Frequency and Time. London, Academic Press, 1978.
- [5] CCITT, Document AP VII, N° 102, Genève, septembre 1980.
- [6] Byrne C. J., Karafin B. J. and Robinson D. B. Systematic Jitter in a Chain of Digital Regenerators. Murray Hill, Bell System Technical Journal 42 (1963) 6, p. 2679.
- [7] Madec, Avenneau, Barbier et Maymat. Equipement de multiplexage-démultiplexage numérique asynchrone du second ordre, fonctionnant à 8,448 Mbit/s et utilisant le principe de la justification positive. Paris, Câbles et Transmission 29 (1975) 2, p. 150.
- [8] Kartaschoff P. Reference Clock Parameters for Digital Communications Systems Applications. Greenbeld, Maryland (USA), 12th Annual Precise Time and Time Interval (PTTI), Applications and Planning Meeting, December 2.-4. 1980.

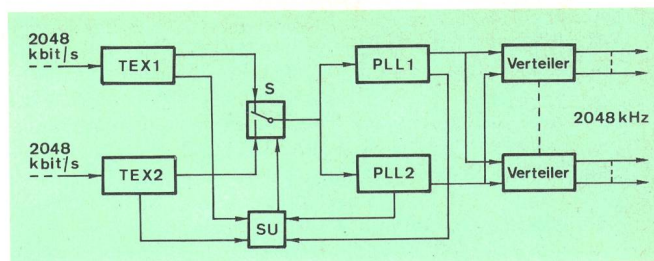


Fig. 12
Synchronisierausüstung in Zentralen 3. Ordnung — Equipement de synchronisation dans les centres de 3^e ordre

TEX Taktextraktionseinheit — Unité d'extraction de rythme
PLL Phasenregelschaltung — Boucle à verrouillage de phase
S Umschalter — Commutateur
SU Steuerung und Überwachung — Commande et surveillance
Verteiler — Répartiteur

Cet équipement de génération de rythme centralisé est identique à celui utilisé dans les centres de 1^{er} ordre.

55 Synchronisation et distribution de rythme dans les centres de 3^e ordre (fig. 12)

Le générateur de rythme dans les centres de 3^e ordre reçoit le rythme directement du centre de 2^e ordre auquel il est subordonné par deux trains numériques à 2048 kbit/s. Un des deux rythmes pilote deux oscillateurs à quartz compensés en température (boucle à verrouillage de phase). Les deux signaux de sortie des boucles sont combinés pour fournir deux sources indépendantes à 2048 kHz, qui délivrent le rythme pour l'alimentation externe des équipements numériques par l'intermédiaire d'un répartiteur.

6 Conclusions

Les propriétés du fonctionnement plésiochrone ont été décrites et en particulier l'influence des sources de rythme et des systèmes de transmission sur la fréquence des glissements. Un choix judicieux du type d'oscillateur permet, en fonctionnement plésiochrone, d'atteindre une qualité des liaisons transférées ou commutées relativement bonne. Pour des raisons économiques, ce type d'exploitation n'est cependant pas adapté à tous les niveaux du réseau. La synchronisation représente, pour certaines parties du réseau, une solution optimale. Les principales caractéristiques des procédés de synchronisation les plus connus ont été examinées.

Pour le réseau téléphonique numérique suisse, le procédé de synchronisation maître-esclave avec présélection a été retenu comme base pour les études futures. Certains problèmes spécifiques au réglage des oscillateurs doivent encore être étudiés avant que l'on élabore des spécifications pour le développement des équipements. Pendant le fonctionnement plésiochrone, dont l'introduction est prévue dans une première phase, il sera possible de recueillir de précieuses informations quant au taux de glissement et à la disponibilité de la distribution de rythme. Une comparaison de ces paramètres avec les autres influences sur la qualité du réseau numérique, comme les erreurs et les perturbations, montrera si, éventuellement dans une deuxième phase, l'introduction de la synchronisation des trois régions

- [9] *Kartaschoff P.* Computer Simulation of the Conventional Clock Model. New York, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, IM-28 (1979) 3, p. 193.
- [10] *Hartmann H. L.* Synchronisierung integrierter PCM-Netze durch digital gesteuerte Phasenmittelung. Berlin, Nachrichtentechn. Zeitschrift 21 (1968) 9. s. 533.
- [11] *Yamamoto T. et al.* Synchronization of a PCM Integrated Telephone Network. New York, IEEE Transactions on Communication Techniques, COM-16 (1968) 2, p. 1.
- [12] *Boulter R. A. and Bunn W.* Network Synchronization. London, Post Office Electrical Engineers Journal 70 (1977) 1, p. 21.
- [13] *Allonen B. et al.* Technical Description of the Nordic Public Data Network. Farsta, TELE 28 (1976) 1, p. 13.
- [14] *Décina A. et al.* Development of Network Synchronization Techniques in Italy. Philadelphia, International Conference on Communications, Vol. II (1976), p. 25/21.
- [15] *Saltzberg B. R. and Zydney H. M.* DDS: Network Synchronization. Murray Hill, Bell System Technical Journal 54 (1975), p. 879.
- [16] *Egawa T. et al.* Network Synchronization System for DDX-2. Tokio, Review of the Electrical Communication Laboratories 25 (1977) 7, p. 717.

entre elles est nécessaire. Cette décision devra aussi tenir compte des tendances internationales et d'éventuelles normes ou recommandations nouvelles.

-
- [17] *Okimi K. et al.* Evolution Toward Synchronizing Digital Network in Japan. Tokio, Japan Telecommunications Review (1980) 7, p. 223.
- [18] *Texier A. et al.* Système TRANSMIC. Paris, Câbles et Transmission 32 (1978) 4, p. 452.
- [19] *Käser A.* Quelques mesures de taux d'erreur et de gigue en ligne sur les systèmes à 2 Mbit/s sur câbles. Berne, Bull. techn. PTT 55 (1976) 11, p. 428.
- [20] *Cohen L. G. and Fleming J. W.* Effect of Temperature on Transmission in Lightguides. Murray Hill, Bell System Technical Journal 58 (1979) 4, p. 945.
- [21] *Suter W.* Principes fondamentaux du système de télécommunication intégré (IFS). Berne, Bull. techn. PTT 55 (1977) 9, p. 398.
- [22] *Vörös P.* Taktverteilung und Synchronisation in Digitalnetzen nach dem Master/Slave-Verfahren. Bern, Generaldirektion PTT, Abt. Forschung und Entwicklung, Bericht VL 22.452A, 9.7.1979.