

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: 63 (1985)

Heft: 9

Artikel: Zürich - Winterthur : erste 565-Mbit/s-Übertragungsanlage in der Schweiz = Zurich - Winterthour : première installation de transmission à 565 Mbit/s en Suisse

Autor: Buijs, Johannes H. / Glanzmann, Peter / Steinlin, W.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-875403>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 30.04.2026

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

Zürich – Winterthur – erste 565-Mbit/s-Übertragungsanlage der Schweiz

Zurich – Winterthour – première installation de transmission à 565 Mbit/s en Suisse

Johannes H. BUIJS, Huizen, Peter GLANZMANN, Zürich, und Walter STEINLIN, Bern

Zusammenfassung. Im August 1984 wurde das Koaxialkabel Zürich/Herdern–Winterthur/Seen mit der ersten 565-Mbit/s-Anlage ausgerüstet. Nebst den üblichen Inbetriebsetzungsmessungen wurden weitergehende Untersuchungen, wie die Summierung des Phasenjäitters und die Störbeeinflussbarkeit, durchgeführt. Die Anlage sowie die Messungen werden beschrieben. Das digitale 565-Mbit/s-Übertragungssystem der AT&T und Philips Telecommunication AG dient der gleichzeitigen Übertragung von vier plesiochronen 139 264-kbit/s-Bitströmen über ein 2,6/9,5-mm-Koaxialkabel. Das System umfasst den Multiplexer und die Übertragungsausrüstung. Das Signal wird alle 1,5 km mit einem Regenerator aufbereitet.

Résumé. Le câble coaxial Zurich/Herdern–Winterthur/Seen a été équipé en août 1984 de la première installation à 565 Mbit/s. A part les mesures usuelles de mise en service, il fut procédé à des analyses plus poussées, telles que l'accumulation de la gigue et la marge d'immunité au bruit. Les auteurs présentent l'installation ainsi que les mesures effectuées. Le système de transmission numérique à 565 Mbit/s de la société AT&T et Philips Télécommunication SA permet la transmission simultanée de quatre flux numériques plesiochrones de 139 264 kbit/s sur un câble coaxial de 2,6/9,5 mm. Ce système comprend le multiplexeur ainsi que l'équipement de transmission. Le signal est traité par un régénérateur tous les 1,5 km.

Zurigo–Winterthur – il primo impianto di trasmissione a 565 Mbit/s della Svizzera

Riassunto. Nell'agosto del 1984 l'impianto a cavi coassiali Zurigo/Herdern–Winterthur/Seen è stato equipaggiato con il primo impianto a 565 Mbit/s. Al momento dell'attivazione, oltre alle ordinarie misurazioni di collaudo, sono stati eseguiti esami più approfonditi, come ad esempio l'addizione dello jitter di fase e la predisposizione ad essere influenzato da guasti (l'influenzabilità ai guasti). Vengono descritti l'impianto e le misurazioni. Il sistema di trasmissione digitale a 565 Mbit/s delle ditte AT&T e Philips Telecommunication SA serve a trasmettere contemporaneamente quattro flussi plesiochroni di 139 264 kbit/s su un cavo coassiale 2,6/9,5 mm e comprende il moltiplessore e l'equipaggiamento di trasmissione. Il segnale viene trattato ogni 1,5 km da rigeneratori.

1 Einleitung

11 Allgemeines

Mit der Einführung der digitalen Vermittlung hat der Bedarf an digitalen Übertragungswegen stark zugenommen. Das beschriebene System wird zur Übertragung von vier 140-Mbit/s-Strömen verwendet. Diese werden normalerweise aus digital codierten Sprachkanälen bzw. Datenkanälen, die auf eine Zeichenrate von 140 Mbit/s multiplexiert wurden, gebildet. Es ist auch möglich, andere digital codierte Signale, etwa Fernsehen in Studioqualität, eine Videokonferenz, schnelle Daten oder eine Mischung aller erwähnten Signale, zu übertragen. Bei unvermischter Übertragung können z. B. 7680 Telefongespräche, vier hochqualitative TV-Kanäle (inklusive mehrerer Stereotonkanäle) oder 256 Videokonferenzkanäle übertragen werden. Die Übermittlung des zusammengeführten Signals geschieht in jeder Richtung über je eine Koaxialtube. Dabei muss das Signal alle 1,5 km mit einem Regenerator aufbereitet werden. Die Regeneratoren werden von den Endstellen aus über das Koaxialkabel ferngespeist und überwacht.

12 Ausnützung der bestehenden Infrastruktur

In der Schweiz werden die neuen Normalkoaxialkabel (12 Tuben 2,6/9,5 mm) hauptsächlich für analoge Übertragung mit 60-MHz-Trägerfrequenzsystem (10 800 Kanäle) verwendet. Der nominelle Zwischenverstärkerabstand beträgt dabei 1,5 km. Um parallel zu diesen

1 Introduction

11 Généralités

L'introduction de la commutation numérique, qui a récemment débuté, nécessite un nombre de voies de transmission numériques accru. Ces dernières sont formées à partir de canaux de parole codés numériquement ou de canaux de données multiplexés à un débit de 140 Mbit/s. Il est également possible de transmettre d'autres signaux codés numériquement, tels que des signaux de télévision en qualité studio, des conférences vidéo, des données à haut débit binaire, de même que toute combinaison de ces signaux. En transmission pure, il est possible de transmettre, par exemple, 7680 conversations téléphoniques, quatre canaux de télévision de haute qualité (y compris plusieurs canaux stéréo) ou 256 canaux de vidéo conférence. La transmission du signal combiné se fait dans chaque sens sur un tube coaxial. Le signal est traité par un régénérateur tous les 1,5 km. Les régénérateurs sont alimentés et surveillés à partir des stations terminales au moyen du câble coaxial.

12 Utilisation de l'infrastructure existante

En Suisse, les nouveaux câbles coaxiaux de diamètre normal (12 tubes de 2,6/9,5 mm) sont utilisés essentiellement pour les transmissions analogiques employant le système à courants porteurs à 60 MHz (10 800 canaux). La distance nominale entre les amplificateurs intermédiaires est de 1,5 km. L'installation de systèmes

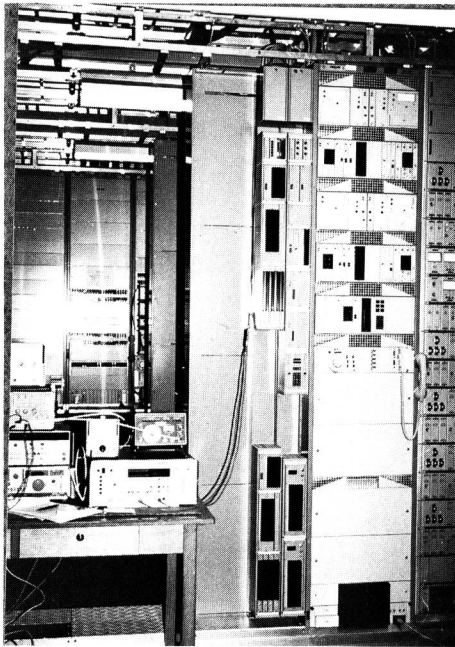


Fig. 1
Terminalausrüstung – Equipement terminal

analogen Systemen auch digitale Systeme installieren zu können, musste das 565-Mbit/s-System auf diese Gegebenheiten ausgelegt werden. Für den Regeneratorabstand sind maximal 1,85 km zulässig.

13 Übertragungscode

Für die Übertragung des Leitungssignales wurde beim 565-Mbit/s-System derselbe ternäre Blockcode (FOMOT 4B3T) wie für das 140-Mbit/s-System des gleichen Lieferanten verwendet. Mit der Wahl dieses Codes als Leitungscode ergeben sich Vorteile für die Regeneratorauslegung. Die hohe Impulsdichte, zusammen mit einer begrenzten Anzahl sich folgender Nullen, verbessern die Taktextraktion und reduzieren den Phasenjitter. Bei der Codierung werden Blöcke von vier binären Zeichen in Blöcke von drei ternären Zeichen übersetzt. Dies ermöglicht eine Reduktion der Zeichenrate um den Faktor 3/4 auf 423 744 k Bd. Die Geschwindigkeitsreduktion ergibt, verglichen mit der vollen Zeichenrate, eine beträchtliche Verminderung der Kabelsektionsdämpfung und der Rauschbandbreite. Ein weiteres Argument für die 4B3T-FOMOT-Codierung ist, dass die zu codierenden vier Zeichen aus den vier 140-Mbit/s-Bitströmen in paralleler Form angeboten werden können. Am empfangsseitigen Decoderausgang ergibt sich nach erfolgter Blocksynchronisierung eine selbsttätige Zuordnung der vier Ausgangskanäle.

2 565-Mbit/s-Übertragungssystem

Das Übertragungssystem besteht im einfachsten Fall aus zwei oberirdisch installierten Terminalausrüstungen (Fig. 1) und aus Regeneratoren, die in unterirdischen Kästen eingebaut sind (Fig. 2 und 3). Die Regeneratoren haben die gleichen Gehäuse wie beim 60-MHz- bzw. 140-Mbit/s-System. Sie können somit problemlos ausgetauscht werden. Die Anwendung neuer Technologien

numeriques, parallèles aux systèmes analogiques, a exigé une adaptation du système à 565 Mbit/s aux conditions existantes. La distance maximale admissible entre régénérateurs est de 1,85 km.

13 Code de transmission

Le code ternaire (FOMOT 4B3T) utilisé par le même fabricant pour le système à 140 Mbit/s a été repris pour la transmission du signal de ligne du système à 565 Mbit/s. Le choix du code FOMOT présente des avantages dans la conception du répéteur. La grande densité d'impulsions et le nombre limité de zéros successifs permettent d'améliorer la récupération du rythme et de réduire la gigue. Lors du codage, des blocs de quatre caractères binaires sont convertis en blocs de trois caractères ternaires. Il est ainsi possible de réduire le débit en ligne d'un facteur 3/4 à 423 744 kbauds. Cette réduction apporte une diminution appréciable de l'atténuation du câble et de la largeur de bande du bruit. Un autre atout du codage 4B3T FOMOT est de fournir les quatre caractères de codage parallèlement aux quatre canaux de 140 Mbit/s. Il en résulte une restitution simple des quatre canaux de sortie, à la sortie du décodeur de réception et après synchronisation des blocs.

2 Système de transmission à 565 Mbit/s

Ce système de transmission comprend, dans sa version la plus simple, deux équipements terminaux (fig. 1) et des régénérateurs installés dans des armoires souterraines (fig. 2 et 3). Les boîtiers utilisés pour ces régénérateurs sont les mêmes que ceux des systèmes à 60 MHz et 140 Mbit/s, ce qui permet un échange facile. L'application de nouvelles technologies a permis aussi l'intégration de circuits complexes et rapides. Des répéteurs de conception relativement simple ont ainsi pu être réalisés. Pour les lignes plus longues des téléalimentations supplémentaires peuvent être ajoutées, à l'aide d'une station principale. La partie située au-dessus du sol est constituée de trois bâtis. Le premier bâti contient l'équipement de multiplexage (DMX) constitué

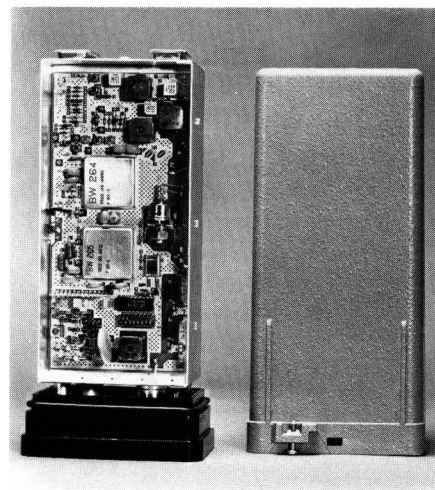


Fig. 2
Unterirdischer Generator – Régénérateur souterrain



Fig. 3
Unterirdischer Zwischenverstärkerkasten – Caisson souterrain contenant des régénérateurs

ermöglichte auch die Integration von komplexen, schnellen Schaltungen. Dies führte zu einer verhältnismässig einfachen Regeneratorauslegung. Bei längeren Strecken mit einer oberirdischen Hauptstation können zusätzliche Fernspeiseeinrichtungen hinzugefügt werden.

Der oberirdische Teil besteht aus drei unterschiedlichen Gestellen in Stangenbauweise. Im ersten Gestell befindet sich die Multiplexausrüstung (DMX), bestehend aus den 140-Mbit/s-Interface-Eingangs- bzw. Ausgangseinheiten, der Multiplex-Codierer-Einheit, der Demultiplex-Decodierer-Einheit und den Speisungseinheiten. Das zweite Gestell enthält die Leitungsausrüstung, die im wesentlichen aus einem oberirdischen Regenerator und der zur Fernspeisung der unterirdischen Ausrüstung notwendigen Apparatur besteht. Die Überwachungs- und Alarmierungseinheiten sind ebenfalls hier untergebracht. Im dritten, dem «Diversgestell», wurden die spezifischen Einheiten untergebracht, die einen Betrieb gemäss der Bauweise 72 bezüglich Speisung, Alarmausgabe und Ersatzleitungsbetrieb ermöglichen.

21 Sendeseite (Fig. 4)

Jeder der vier gemäss CCITT-Empfehlung G.918 CMI-codierten Bitströme ist an eine 140-Mbit/s-Interface-Eingangseinheit angeschlossen. Die Dämpfung des Amtskabels wird mit einem adaptiven Entzerrer kompensiert. Hauptaufgabe der vier Einheiten ist die Plesiochron-zu-synchron-Konversion der 140-Mbit/s-Bitströme. Dazu ist ein freilaufender Masteroszillator notwendig. Mit einem elastischen Speicher (10 Bit) und dem Positivstopfverfahren wird die Asynchron/Synchron-Umwandlung verwirklicht. Mit der gleichen Anordnung wird der Interfacejitter absorbiert.

Der gemeinsame Rahmenmultiplexer ist auf 141-Mbit/s-Basis organisiert. Dies erlaubt die Verwendung von LSI-Schaltungen mit niedriger Verlustleistung. Alle zusätzlichen Bits, wie Stopp-, Kontroll-, Service- und Synchronisationsbits (in Zusammenhang mit dem Scrambler), werden den einzelnen 141-Mbit/s-Strömen zugefügt. Jeder der vier Bitströme hat nun eine Zeichenrate

d'interfaces d'entrée et de sortie à 140 Mbit/s, de l'unité de codage multiplex, de l'unité de décodage multiplex et des unités d'alimentation. Le deuxième bâti abrite l'équipement de ligne comprenant essentiellement un répéteur-régénérateur et la téléalimentation des équipements souterrains. Les unités de surveillance et d'alarme sont également situées dans ce bâti. Le troisième bâti renferme diverses unités, permettant d'assurer un fonctionnement conforme aux normes suisses de construction 72 en ce qui concerne l'alimentation, les alarmes et l'exploitation par ligne de secours.

21 Côté émission (fig. 4)

Chacun des quatre flux binaires conformes à l'avis G.918 du CCITT est transmis à une unité d'interface d'entrée à 140 Mbit/s. L'atténuation du câble de la station est compensé par un égalisateur autocorrecteur. La fonction principale de ces quatre unités est la conversion plésiochrone-synchrone des flux numériques à 140 Mbit/s, commandée par un maître-oscillateur autonome.

La conversion asynchrone-synchrone est réalisée au moyen d'une mémoire-tampon (10 bit) et de la justification positive. Le même dispositif permet d'absorber la gigue de l'interface.

Le multiplexeur de trame commun est réalisé sur la base de 141 Mbit/s, ce qui permet l'utilisation de circuits intégrés LSI avec faible dissipation thermique. Les bits auxiliaires, tels que les bits de justification, de contrôle, de service et de synchronisation (en relation avec l'embrouilleur) sont ajoutés au signal de 141 Mbit/s. Chacun des quatre signaux possède un débit de 141 248 kBd et une trame de 672 bit. Un signal SIA est injecté en ce point, si nécessaire.

Les quatre signaux de données sont ensuite embrouillés dans l'unité de multiplexage de ligne. Les quatre signaux de 141 248 kbauds sont convertis par le codeur FOMOT 4B3T en un signal codé ternaire de 423 744 kbauds. Le codage 4B3T présente en outre l'avantage d'un embrouillage additionnel.

Le signal est ensuite conduit par un câble flexible vers l'unité des filtres d'aiguillage d'alimentation située dans le bâti de ligne. Cette unité assure le couplage du signal numérique avec le courant de téléalimentation, les signaux de télésurveillance et de télémessure. Des lignes artificielles peuvent également être branchées en ce point.

22 Côté réception

L'unité des filtres d'aiguillage d'alimentation est identique à celle du côté émission.

Le dernier régénérateur, alimenté localement, est pratiquement identique aux régénérateurs souterrains décrits au paragraphe 26. Les erreurs de transmission sont détectées par la mesure des débordements de la somme numérique continue (SNC) du signal de ligne. Le signal régénéré est ensuite conduit par un câble flexible vers le décodeur 4B3T, qui se trouve dans le bâti du multiplexeur. En ce point, une boucle en direction de l'inter-

von 141 248-kBd und einen Rahmen von 672 Bit. An dieser Stelle wird bei Bedarf ein AIS-Signal eingespeist.

Die vier Bitströme werden nun auf der Leitungsmultiplexer-Einheit verwürfelt. Im FOMOT-4B3T-Codierer werden die vier parallelen 141 248-kBd-Ströme in ein ternär codiertes 423 744-kBd-Signal überführt. Die 4B3T-Codierung hat zusätzlich den Vorteil einer weiteren Verwürfelung.

Das Signal wird nun über ein flexibles Kabel zur Speisetreppeneinheit im Leitungsgestell geführt. Diese Einheit kombiniert das Leitungssignal mit dem Fernspeisestrom, den Fernspeisungskontrollsignalen und den Telemetriesignalen für die Übertragung über das Koaxialkabel. An dieser Stelle können auch Leitungsverlängerungsnetzwerke eingeschaltet werden.

22 Empfangsseite

Die Speisetreppeneinheit im Leitungsgestell ist identisch mit jener auf der Sendeseite.

Der nachfolgende, örtlich gespeiste oberirdische Regenerator ist im wesentlichen gleich aufgebaut wie der in 26 beschriebene unterirdische. Die Übertragungsfehler werden hier als Überschreitung der maximal erlaubten laufenden digitalen Summe (LDS) des Leitungscodes registriert. Das regenerierte Signal wird über ein flexibles Kabel zum 4B3T-Decoder im Multiplexergestell geführt. An dieser Stelle kann, ohne Zuhilfenahme einer Kunstleitung, zur Fehlereingrenzung eine Schlaufe in Richtung 140-Mbit/s-Trennstelle oder in Richtung Leitung angeschlossen werden. Der 4B3T-Decoder konvertiert Blöcke von vier binären parallelen Zeichen. Im Rahmendemultiplexer werden die Signale, nachdem das

face 140 Mbit/s ou de la ligne peut être réalisée pour la localisation des dérangements sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à une ligne artificielle. Le décodeur 4B3T convertit les blocs de trois caractères ternaires en blocs correspondants de quatre caractères binaires en parallèle. Dans le démultiplexeur de trame les signaux après la détection du mot de synchronisation de trame distribué sont désembrouillés et introduits ensuite dans les quatre flux numériques à 141 248 kBd. La technique d'embrouillage set/reset utilisée et le codage/décodage FOMOT permettent d'obtenir un facteur moyen de multiplication des erreurs de 1,28 seulement.

Chacune des quatre unités d'interface de sortie à 140 Mbit/s suivantes comprend une mémoire-tampon (10 bits) avec circuit de récupération de rythme à bande étroite. Les bits de justification, de contrôle, de service et de synchronisation sont éliminés. La gigue de justification ainsi que la gigue de la ligne de 423 MBd précédente sont pratiquement éliminées grâce au rythme très stable et à la mémoire. Un signal SIA est injecté en ce point en direction de l'interface, si nécessaire.

23 Système d'alarme

Les alarmes sont transmises à un processeur central d'alarme se trouvant dans le bâti de ligne. Les critères exigés par les normes de construction 72 sont dérivés pour l'émission d'alarmes par ce processeur et transmis aux unités d'interfaces d'alarme. Le même bâti contient un moniteur local. Une unité d'interface pour la station centrale ou le centre d'exploitation et de maintenance est prévue.

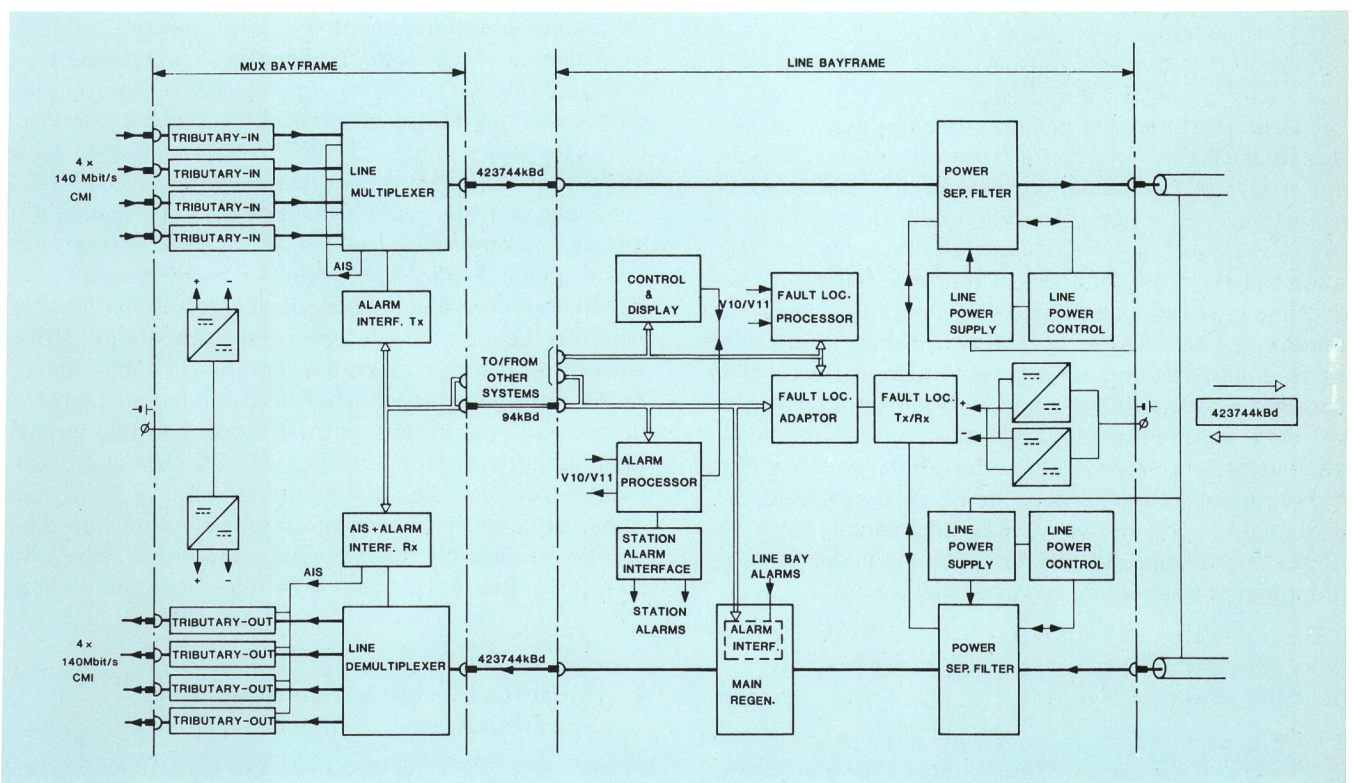


Fig. 4
565-Mbit/s-Terminalausrüstung – Equipement terminal à 565 Mbit/s

verteilte Rahmensynchronisationswort gefunden worden ist, gemeinsam entwürfelt und die vier 141 248-kBd-Ströme weitergeleitet. Die angewandte Set/Reset-Scramblertechnik ergibt zusammen mit der FOMOT-Codierung/Decodierung den niedrigen Fehlermultiplikationsfaktor von 1,28.

Jede der folgenden vier 140-Mbit/s-Interface-Ausgangseinheiten enthält einen elastischen Speicher (10 Bit) mit zugehörigem schmalbandigem Taktextraktionskreis. Die Stopf-, Kontroll-, Service- und Synchronisationsbit werden entfernt. Dabei wird der Stopfjitter wie auch der Jitter der vorangegangenen 423-MBd-Leitung mit dem hochstabilen Takt und dem Speicher weitgehend eliminiert. An dieser Stelle wird, falls erforderlich, ein AIS-Signal in Richtung Trennstelle eingespeist.

23 Alarmsystem

Auftretende Alarmer werden einem zentralen Alarmprozessor im Leitungsgestell zugeführt. Die für die Alarmausgabe gemäss Bauweise 72 nötigen Kriterien werden hier abgeleitet und den Alarminterfaceeinheiten im Diversgestell zugeführt. In diesem befindet sich auch eine Monitoreinheit. Eine Interfaceeinheit zu einer zentralen Station oder einem Betriebs- und Unterhaltszentrum ist vorgesehen.

24 Überwachungssystem für die Regeneratoren

Die unterirdischen Regeneratoren werden während des Betriebes dauernd überwacht. Dazu werden jeweils selbständig Meldungen zu der nächsten oberirdischen Station übermittelt. Die dort gespeicherten Informationen lassen sich von der Monitoreinheit abfragen und anzeigen. Es ist eine Interfaceeinheit wie in 23 vorgesehen.

25 Fernspeisungssystem

Die Regeneratoren werden in Serie, über den Innenleiter des Koaxialkabels, mit Gleichstrom gespeist. Das Fernspeisungssystem weist einen ausserordentlichen Personenschutz auf, der auf den folgenden zwei Grundsätzen beruht: Erstens ist eine Regelung eingebaut, die die Spannung auf einen ungefährlichen Wert begrenzt, falls eine Person gleichzeitig den Innenleiter und den Aussenleiter berührt. Zweitens werden auf den Tuben übertragene Kontrolltöne dauernd auf ihre Amplitude überwacht; dabei wird ein Unterbruch, ein Kurzschluss oder eine zusätzliche serielle Impedanz, die durch Berührung des Innenleiters verursacht wurde, detektiert und die Fernspeisung bei Überschreitung gewisser Werte sofort abgeschaltet. Abhängig von der Leitungslänge, der geforderten Sicherheit und der Redundanz können verschiedene Fernspeiseeinrichtungen gewählt werden.

26 Regenerator

Das Blockdiagramm des unterirdischen Regenerators zeigt *Figur 5*. Neben den Einrichtungen für die Übertragung sind auch Schaltkreise für die Fernspeisung, die Fehlerortung sowie für den Blitzschutz vorgesehen.

24 Système de surveillance des régénérateurs

Les régénérateurs souterrains sont contrôlés pendant l'exploitation. Ils envoient automatiquement des messages à la station centrale la plus proche où ils sont mémorisés. Les messages peuvent être appelés et visualisés par le moniteur. Une interface semblable à celle décrite sous 23 est prévue.

25 Système de téléalimentation

Les régénérateurs sont alimentés en série par un courant continu circulant dans le conducteur central du câble coaxial. Ce système de téléalimentation garantit une protection exceptionnelle des personnes qui repose sur deux principes: Premièrement, un dispositif de réglage incorporé réduit la tension à une valeur inoffensive dans le cas où une personne touche par accident le conducteur interne et externe de la ligne. Deuxièmement, l'amplitude des signaux de contrôle de basse fréquence transmis par les tubes coaxiaux est contrôlée en permanence; tout court-circuit, toute interruption ou impédance ajoutée par contact au conducteur central sont détectés. La téléalimentation est immédiatement coupée lorsque certaines valeurs limites sont dépassées. Différents dispositifs de téléalimentation peuvent être mis en œuvre en fonction de la longueur de la ligne, de la sécurité et de la redondance exigées.

26 Régénérateur

Le diagramme synoptique du régénérateur souterrain est illustré à la *figure 5*. Il comprend les dispositifs de transmission ainsi que les circuits de téléalimentation, de localisation des défauts et de protection contre la foudre. L'égalisateur compense une plage d'atténuation du câble de 41...69 dB à 212 MHz (fréquence de Nyquist).

Le circuit de récupération de rythme consiste en un PLL/VCO avec une largeur de bande relative unilatérale d'environ 0,25 %. Le code en ligne ternaire est régénéré dans un circuit intégré spécifié par le client. L'impulsion de sortie a une amplitude de $3 V_p$ (cycle 100 %) après égalisation complémentaire. Un convertisseur DC/DC a été incorporé afin que la diaphonie locale et les couplages inductifs dans la ligne du signal d'entrée et de sortie soient éliminés. Il assure une isolation entre le conducteur central du câble coaxial et le circuit de régénération. Le point de référence du régénérateur peut ainsi être relié au conducteur externe du câble coaxial. Cette mesure permet d'éviter les impédances gênantes de couplage par la terre entre le signal d'entrée et le signal de sortie. Le convertisseur DC/DC permet en outre d'optimiser la tension d'alimentation interne du régénérateur et la chute de tension primaire. La tension d'alimentation dans chaque sens est inférieure à 500 V pour 86 régénérateurs. Le courant de téléalimentation est de 275 mA.

3 Mesures effectuées sur le système expérimental

Erreurs et gigue d'un système sont des propriétés importantes pour la planification et l'exploitation de réseaux de transmission numériques. Par ailleurs, les pa-

31 Bitfehler

Die aussagekräftigste Messung ist die Registrierung der Bitfehler von Schnittstelle zu Schnittstelle. Weiter kann durch gezielte Messungen an den einzelnen Systemteilen die Reserve gegenüber möglichen Störungen festgestellt werden.

311 Registrierung der Bitfehler

Die acht 140-Mbit/s-Pfade wurden durch Schleifen an den Schnittstellen in Serie geschaltet. Während der totalen Registrierzeit von fünf Monaten (entsprechend ungefähr $10 \cdot 10^{15}$ Bit) wurde kein einziger Bitfehler festgestellt.

312 Signal/Geräusch-Verhältnis der Zwischenverstärker

Das Signal/Geräusch-Verhältnis wird beeinflusst durch die Bemessung der Eingangsstufe des Empfangsteils sowie die Nichtidealitäten der Schaltung, wie fehlerhafte Anpassung und Entzerrung, Variation der Entscheidungsschwelle usw. Für die Messung wurde zusätzlich zum Nutzsignal ein Sinussignal von 10 MHz in die Leitung eingekoppelt und dessen Amplitude erhöht, bis der nachfolgende Empfänger eine bestimmte Bitfehlerquote (10^{07}) aufwies. Daraus konnte das wirkliche Signal/Geräusch-Verhältnis des Empfängers berechnet werden (Fig. 6). Die durch Nichtidealitäten bedingte Einbusse gegenüber dem berechneten theoretischen Wert liegt für alle Zwischenverstärker unter 5,7 dB. Dies ist besonders für einen dreistufigen Code ein guter Wert. Das niedrigste gemessene Signal/Geräusch-Verhältnis beträgt 42,4 dB. Bezogen auf eine mehr anwendungsbezogene Bitfehlerquote von 10^{011} ergibt sich ein Geräuschabstand von 25,8 dB. Dieser Wert ist recht hoch und wird durch die verhältnismässig kurzen Verstärkerfeldlängen ermöglicht. Ein Beitrag des Empfängerrauschens an die Bitfehlerwahrscheinlichkeit ist offensichtlich vernachlässigbar.

313 Störabstand an der Schnittstelle

Der Störabstand bzw. die Güte der Eingangsschaltung an der 140-Mbit/s-Schnittstelle wird messtechnisch ähnlich geprüft. Ein Sinussignal wird zusätzlich zum Datensignal eingekoppelt und seine Amplitude erhöht, bis Fehler auftreten (Fig. 7).

Als Pflichtwert gilt eine Amplitude des Sinussignals von 25 mVp bei der maximalen Schnittstellen-Kabeldämpfung von 12 dB. Diese Forderung ist von den Schweizerischen PTT-Betrieben aufgestellt und nicht international normiert. Sie gewährleistet eine genügende Sicherheit gegen Bitfehler wegen Einstreuung fremder Signale auf der Schnittstellenverbindung, die immerhin bis 125 m lang sein kann.

314 Kopplungsimpedanz des Anschlusskabels

Die stärkste Störbeeinflussung von Übertragungssystemen tritt erfahrungsgemäss im Bereich der Verstärkerämter, auf den Anschlusskabeln zwischen Erdkabel und Terminalausrüstung, auf. Als besonderer Schutz wird für

ligne. Son amplitude a été augmentée jusqu'à ce que le récepteur suivant présente un taux d'erreurs de 10^{-17} . Le rapport signal/bruit effectif du récepteur a ainsi pu être déterminé (fig. 6). Sa différence par rapport à la valeur théorique, due aux conditions de fonctionnement non idéales du circuit, est inférieure à 5,7 dB pour tous les répéteurs. Cette valeur est considérée comme bonne pour un code à trois niveaux. Le rapport signal/bruit le plus faible qui ait été mesuré est de 42,4 dB. Pour un taux d'erreurs de 10^{-11} , plus conforme à la pratique, on obtient un rapport signal/bruit de 25,8 dB. Cette valeur élevée est rendue possible grâce à l'utilisation de sections d'amplification relativement courtes. La contribution du bruit de fond de l'amplificateur à la probabilité d'erreurs est donc négligeable.

313 Marge de protection à l'interface

La marge de protection ou facteur de qualité du circuit d'entrée de l'interface 140 MHz est mesurée de manière similaire. Un signal sinusoïdal est ajouté au signal des données et son amplitude est augmentée jusqu'à l'apparition d'erreurs (fig. 7).

La valeur du cahier des charges pour l'amplitude du signal sinusoïdal est de 25 mVop pour un affaiblissement maximal de 12 dB du câble d'interface. Cette valeur exigée par l'Entreprise des PTT suisses n'est pas normalisée sur le plan international. Elle garantit une sécurité suffisante contre les erreurs dues à l'induction de signaux externes sur la ligne de raccordement des interfaces, qui peut présenter une longueur de 125 m.

314 Impédance de couplage du câble de raccordement

Comme le montre l'expérience, la plus grande source de perturbations pour les systèmes de transmission est située au niveau des centraux d'amplification, sur les câbles de liaison entre le câble enterré et l'équipement terminal de la ligne. Pour assurer une protection supplémentaire du système, un câble triaxial a été utilisé. Le blindage extérieur du câble est relié au boîtier de l'équipement terminal. Son effet d'écran a été mesuré en laboratoire et trouvé supérieur à la précision de mesure (> 140 dB), ce qui correspond à une très faible impé-

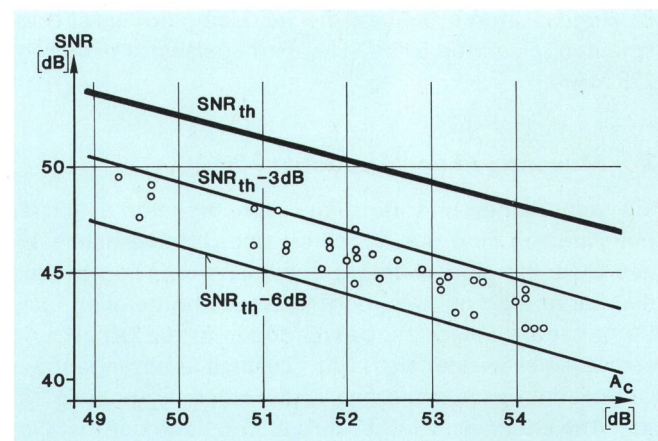


Fig. 6
Signal/Geräusch-Verhältnis der Regeneratoren – Rapport signal/bruit du régénérateur

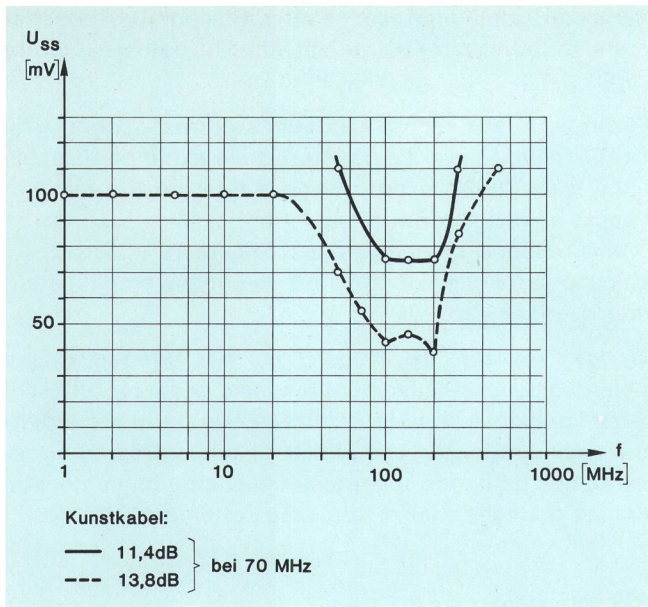


Fig. 7
Zulässiges Störsignal (Sinus) am Eingang der 140-Mbit/s-Schnittstelle
- Signal perturbateur admissible (sinus) à l'entrée de l'interface 140 Mbit/s

das vorliegende System dafür ein Triaxialkabel verwendet, dessen äusserer Schirm konsequent bis auf das Gehäuse der Terminalausrüstung geführt wird. Sein Abschirmwirkungsfaktor wurde im Labor gemessen. Er ist besser als die verfügbare Messgenauigkeit (> 140 dB), was einer sehr kleinen Kopplungsimpedanz (Spannung auf Innenleiter zu Mantelstrom) im Mikroohmbereich entspricht.

32 Jitter

Die Verhältnisse sind bei dieser Hierarchiestufe von besonderer Art. Durch die Integration der Multiplexer/Demultiplexer und der Leitungsausrüstung liegen sehr unterschiedliche Taktschaltungen zwischen den von aussen zugänglichen 140-Mbit/s-Schnittstellen (Fig. 4): Taktextraktion am Schnittstelleneingang, Pufferspeicher mit Taktumsetzung im Multiplexer, Taktextraktion in den Zwischenverstärkern, Pufferspeicher mit Taktextraktion beim Schnittstellenausgang. Für die Jitterplanung des Netzes interessant sind die Jitterakzeptanz an der 140-Mbit/s-Schnittstelle, die Jittertransferfunktion von Schnittstelleneingang zu -ausgang sowie der am Ausgang auftretende Eigenjitter.

321 Jitterakzeptanz

Die Ausrüstung erfüllt die Anforderungen an den 140-Mbit/s-Schnittstellen mit grossen Reserven (Fig. 8). Interessant sind die Einflussbereiche der verschiedenen Taktschaltungen: Der PLL am Ausgang ist sehr schmalbandig und wirkt bereits für Frequenzen oberhalb 500 Hz wie ein starrer Taktgeber. Für hohe Frequenzen (> 50 kHz) begrenzt der (breitbandige) PLL am Schnittstelleneingang die Jitteramplitude. Unter 10...50 kHz begrenzt der Pufferspeicher im Multiplexer, da bei schnellem Jitter grösserer Auslenkung die zulässige Stopfrate momentan überschritten wird. Bei noch tieferen Fre-

dance de couplage (tension du conducteur interne en fonction du courant dans le blindage) de l'ordre de grandeur du micro-ohm.

32 Gigue

Du fait de l'intégration des multiplexeurs/démultiplexeurs et de l'équipement de ligne, il existe différents circuits d'horloge entre les interfaces 140 Mbit/s accessibles de l'extérieur (fig. 4): récupération du rythme à l'interface d'entrée, mémoire-tampon avec récupération du rythme dans le multiplexeur, récupération du rythme dans les amplificateurs intermédiaires et récupération du rythme avec mémoire-tampon à l'interface de sortie. Pour la planification du réseau, il est important de connaître la tolérance de gigue à l'interface 140 Mbit/s, la fonction de transfert de la gigue entre l'entrée et la sortie des interfaces ainsi que la gigue propre de la sortie.

321 Tolérance de gigue

L'équipement remplit les conditions imposées aux interfaces 140 Mbit/s avec une grande marge de sécurité (fig. 8). Les domaines d'influence des différents circuits d'horloge sont à prendre en considération. Le circuit PLL de sortie possède une très petite largeur de bande et agit comme une horloge bloquée, déjà pour des fréquences supérieures à 500 Hz. Aux fréquences élevées (> 50 kHz) le circuit PLL à large bande passante située à l'entrée des interfaces, limite l'amplitude de la gigue. Aux fréquences inférieures (10...50 kHz), la mémoire-tampon du multiplexeur exerce une limitation. Son taux de remplissage admissible est momentanément dépassé pour une gigue rapide avec de grands écarts. Pour les fréquences plus basses, la mémoire-tampon du demultiplexeur limite encore l'écart de phase maximal. Les variations très lentes, inférieures à la fréquence limite du circuit PLL de la sortie, ne sont déterminées que par les caractéristiques de ce dernier.

322 Transfert de la gigue

La fonction de transfert de la gigue d'une interface à l'autre est déterminée principalement par le circuit PLL

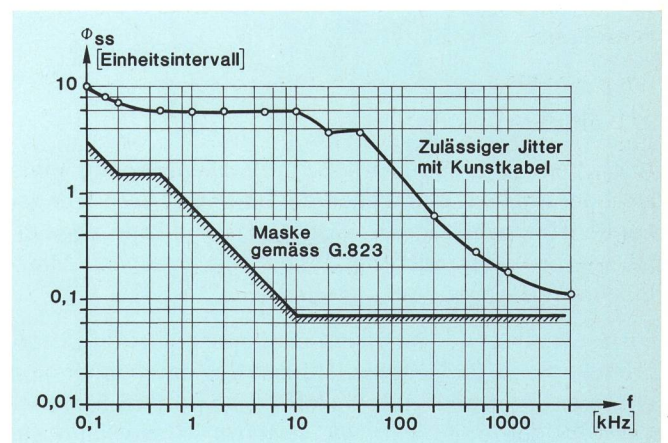


Fig. 8
Zulässiger Jitter (sinusoidal) am Eingang der 140-Mbit/s-Schnittstelle
- Gigue (sinusodale) admissible à l'entrée de l'interface 140 Mbit/s

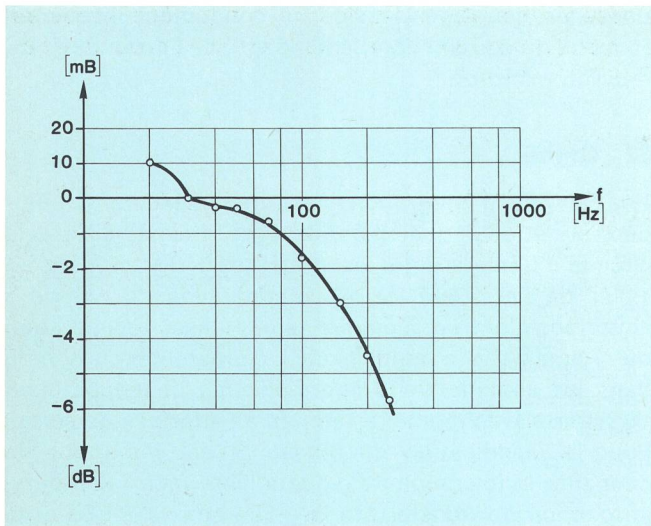


Fig. 9
Jitterübertragungsfunktion von Schnittstelle zu Schnittstelle – Fonction de transfert de la gigue d'une interface à l'autre

quenzen begrenzt noch der Pufferspeicher im Demultiplexer die maximale Phasenauslenkung. Sehr langsame Schwankungen unterhalb der Grenzfrequenz des PLL am Ausgang sind nur noch durch dessen Eigenschaften bestimmt.

322 Jitterübertragung

Die Jitterübertragungsfunktion von Schnittstelle zu Schnittstelle wird vom PLL am Schnittstellenausgang dominiert und entspricht daher im wesentlichen jener eines einzelnen PLL zweiter Ordnung (Fig. 9).

Diese Funktion erfüllt die CCITT-Anforderungen (Überhöhung < 1 dB). Die Jitterübertragung der eigentlichen Leitung ohne Multiplexer kann nur durch Eingreifen an nicht normierten Schnittstellen gemessen werden. Aus einer Messung der ganzen Verstärkerkaskade wurde die Übertragungsfunktion eines einzelnen Regenerators berechnet (Fig. 10).

Die Überhöhung von 1,2 mB ist auch für längere Leitungen unkritisch, da wegen dem sendeseitigen Master-Oszillator nur Eigenjitter der Regeneratoren verstärkt wird. Dieser weist zudem im Bereich der Überhöhung keine Spektrallinien auf, da die Daten multiplexiert und verwürfelt sind.

323 Eigenjitter

Auch beim Eigenjitter am Schnittstellenausgang maskiert der letzte PLL praktisch die Beiträge aller vorangehenden Taktschaltungen (Fig. 11). Daraus kann abgeleitet werden, dass auch der Pflichtwert bezüglich Maxijitter erfüllt ist.

Für die Qualität der Ausrüstung interessant ist die Jitterproduktion der Zwischenverstärker. Der datenabhängige effektive Jitter beträgt lediglich 9,2 ps (= 0,13 Einheitsintervalle, bezogen auf 141 248 kbit/s). Dazu kann ein durch Brumm auf dem Fernspeisestrom erzeugter Anteil kommen. Gemessen wurde unter anderem die Empfindlichkeit bei verschiedenen Frequenzen (Fig. 12).

de la sortie de l'interface, ce qui correspond essentiellement à celle d'un seul circuit PLL du deuxième ordre (fig. 9).

Elle répond aux recommandations correspondantes du CCITT (gain < 1 dB). Le transfert de la gigue par la seule ligne, sans multiplexeur, ne peut être mesuré que par l'accès à des interfaces non normalisées. La mesure d'une cascade complète d'amplificateurs a permis de calculer la fonction de transfert de chaque amplificateur intermédiaire (fig. 10).

Le gain maximal de 1,2 mB n'est pas critique, même pour des lignes relativement longues, car grâce à l'oscillateur principal du côté émetteur, seul la gigue propre des régénérateurs est amplifiée. La gigue propre ne présente pas de lignes spectrales dans le domaine de gain car les données sont multiplexées et embrouillées.

323 Gigue propre

En ce qui concerne la gigue propre à la sortie de l'interface (fig. 11), le dernier circuit PLL masque presque tous les apports des circuits d'horloge précédents. On peut en déduire que la condition concernant la gigue maximale est remplie.

La production de gigue des répéteurs intermédiaires est significative de la qualité de l'équipement. La gigue effective est de 9,2 ps seulement (= 0,13 intervalle unitaire pour 141 248 Kbit/s). Le ronflement du courant de téléalimentation peut, en outre, s'y ajouter. La sensibilité à différentes fréquences a été mesurée (fig. 12).

33 Compatibilité avec les systèmes analogiques

Comme des systèmes à courants porteurs de 60 MHz sont déjà installés sur les câbles coaxiaux à tubes de 2,6/9,5 mm, leur compatibilité avec les systèmes à 565 Mbit/s a été étudiée. Sur la ligne expérimentale, un système à 60 MHz a emprunté le même câble et les mêmes caissons intermédiaires. L'enclenchement et le déclenchement du système numérique n'ont produit aucune variation mesurable du niveau de bruit dans le système analogique. Inversement, aucune influence sur

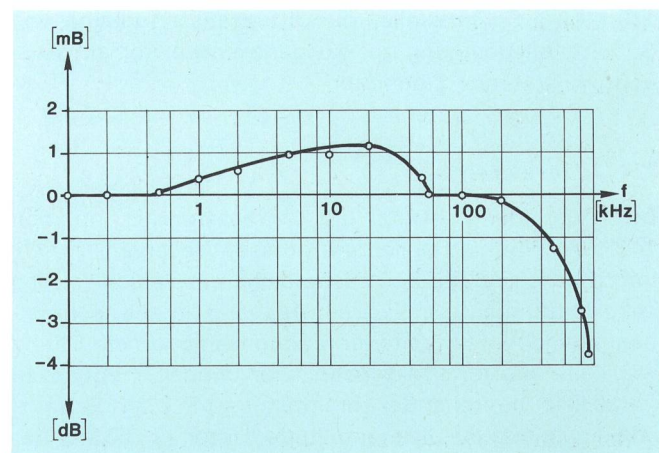


Fig. 10
Jitterübertragungsfunktion eines Regenerators – Fonction de transfert de la gigue d'un régénérateur

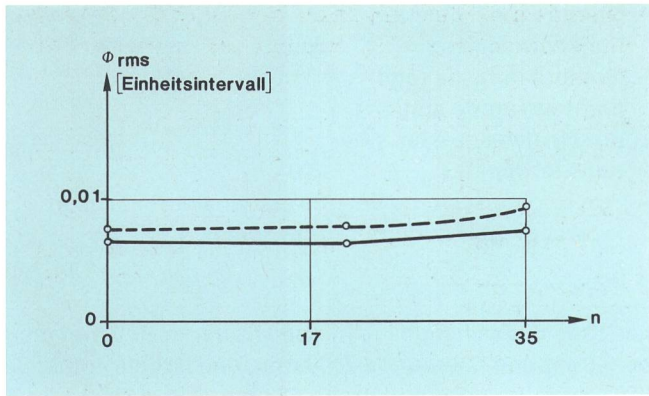


Fig. 11
Eigenjitter am Ausgang einer 140-Mbit/s-Schnittstelle – Gigue propre à la sortie d'une interface 140 Mbit/s

n: Anzahl Zwischenverstärker – Nombre de répéteurs
 --- Gemessen mit 200 Hz Hochpass – Mesuré à 200 Hz, passe-haut
 — Gemessen mit 10 kHz Hochpass – Mesuré à 10 kHz, passe-haut

33 Verträglichkeit mit Analogausrüstungen

Da auf den Koaxialkabeln mit 2,6/9,5-mm-Tuben bisher vor allem 60-MHz-Trägerfrequenzausrüstungen installiert wurden, interessiert deren Verträglichkeit mit der 565-Mbit/s-Ausrüstung. Auf der Versuchsstrecke teilte eine 60-MHz-Ausrüstung das gleiche Kabel und die gleichen Zwischenverstärkerkasten. Das Ein- und Ausschalten des Digitalsystems bewirkte keine messbare Änderung des Geräuschpegels im Analogsystem. Umgekehrt konnte kein Einfluss auf den Jitter des Digitalsystems festgestellt werden, wenn das Analogsystem mit einem 22-dBm-Sinussignal belegt wurde.

34 Weitere Messungen

Weitere Messungen betrafen unter anderem das Verhalten bei Signalunterbruch, bei Variationen der Taktfrequenzen sowie die Fehlerortung. Bestehende Pflichtwerte werden eingehalten.

4 Schlussfolgerungen

Die ersten Messresultate zeigen die Einsatzfähigkeit dieser Koaxialkabelausrüstung der bisher höchsten Bitrate. Die ausgewogene Streckenplanung und ein seriöses und konsequent durchgeführtes Abschirmungskonzept erlauben ein fehlerfreies Funktionieren mit genügender Systemreserve und ein störungsfreies Einfügen in die bestehende Umgebung. Die Ausrüstung wird somit zu einem wertvollen Baustein für den Einsatz auf bestehenden Grosskoaxialkabelanlagen und liefert einen wesentlichen Beitrag zur Digitalisierung des Fernnetzes im Blick auf ein integriertes Digitalnetz (IFS, ISDN).

Anhang: Technische Daten

1 Allgemein

- Das System umfasst alle Funktionen für die Multiplexierung, die Demultiplexierung, das Senden und das Empfangen von vier plesiochronen Signalen zu 139 264 kBit/s \pm 15 ppm über 2 Koaxialtuben

la gigue du système numérique n'a pu être détectée lorsque le système analogique transmet un signal sinusoïdal de 22 dBm.

34 Autres mesures

Les autres mesures ont porté sur le comportement du système en cas d'interruption du signal, de variations de la fréquence d'horloge ainsi que sur la localisation des défauts. Les valeurs du cahier des charges sont toutes remplies par le système.

4 Conclusions

Les premiers résultats de mesure indiquent que cet équipement pour câble coaxial peut être introduit dans le réseau. Une planification et un concept de blindage étudié et réalisé correctement permettent un fonctionnement sans erreurs avec une marge de sécurité suffisante ainsi qu'une intégration sans dérangements dans l'environnement actuel. Cet équipement constitue un élément très valable pour l'exploitation d'importantes installations à câbles coaxiaux et contribue de façon essentielle à la numérisation du réseau en vue d'obtenir un réseau numérique intégré (IFS, RNIS).

Annexe: Caractéristiques techniques

1 Généralités

- Le système comprend toutes les fonctions de multiplexage, de demultiplexage, d'émission et de réception pour quatre signaux plésiochrones de 139 264 kbit/s \pm 15 ppm sur deux tubes coaxiaux
- Le câble coaxial doit correspondre à la recommandation G.623 du CCITT
- Environnement: température ambiante 0...45° C
humidité relative 5...85 %
- Le système correspond aux recommandations du CCITT G.703, G.704, G.721, G.922 et K.17

2 Données d'utilisation

- Distance nominale entre régénérateur: 1,5 km (max. 1,85 km)
- Portée max. de la télé-alimentation: 130 km (avec 86 régénérateurs)
avec système de sécurité réduit: 240 km (avec 150 régénérateurs)

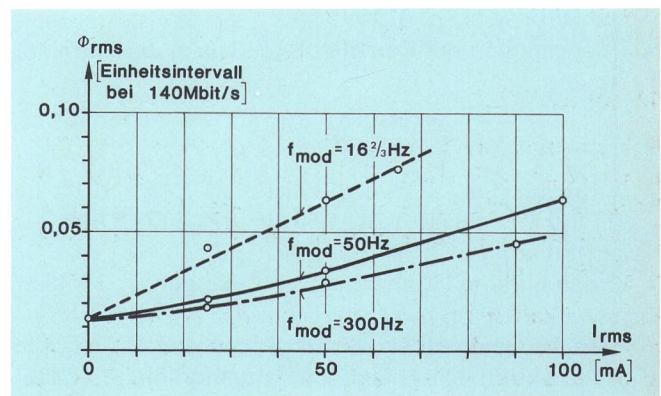


Fig. 12
Durch Brumm auf der Fernspeisung induzierter Jitter (mit 35 Regeneratoren) – Gigue induite par le bruit de la téléalimentation (avec 35 régénérateurs)

- Das Koaxialkabel muss der CCITT-Empfehlung G.623 entsprechen
- Umweltbedingung: Temperatur 0...45° C
Rel. Luftfeuchtigkeit 5...85 %
- Das System entspricht folgenden CCITT-Empfehlungen: G.703, G.704, G.721, G.922 und K.17

2 Anwendungsdaten

- Nomineller Regeneratorabstand: 1,5 km (maximal 1,85 km)
- Maximale Reichweite der Fernspeisung: 130 km (mit 86 Regeneratoren)
mit reduziertem Sicherheitssystem: 240 km (mit 150 Regeneratoren)
- Maximale Anzahl Terminalstationen: unbeschränkt
- Maximale Zahl von Regeneratoren und Hauptstationen zwischen Terminalstationen: 200
- Reichweite eines Fehlerortungssystems: 99 Terminal- und Hauptstationen

3 Mechanischer Aufbau

Die drei Gestelle (je 120 mm breit) sind 2600 mm hoch, zusammen 360 mm breit und 225 mm tief. Bei der Anordnung für ein 2+1-System wird die doppelte Normbreite der Bauweise 72 von 1080 mm erreicht. Es wurden besondere Massnahmen (Schirmung, Erdführung usw.) getroffen, um EMV-Probleme zu vermeiden. Die Regeneratoren (Einweg) sind 250 × 110 × 90 mm gross. Sie sind in unterirdischen Kasten untergebracht.

4 Terminalstation

- Aufbau in 3 Gestellen (DMX, Leitung, Divers)
- Leistungsaufnahme bei Vollast:
DMX-Gestell: 75 W
Leitungsgestell: 415 W (davon Fernspeisung: 305 W)
- Set/Reset-Verwürfler mit 672-bit-Sequenz (je 141-Mbit/s-Strom)
- 4B3T-Leitungscode bei 423 744 kBd
- Einschaltbares Kunstkabel für kurze Anlaufängen
- Überwachung der Regeneratoren während des Betriebes über das Koaxialkabel

5 Hauptstation

- Aufbau in 2 Leitungsgestellen
- Stromverbrauch bei 2 × 86 Regeneratoren: 830 W (davon Fernspeisung: 610 W)
- Überwachung der Regeneratoren wie in der Terminalstation

6 Regeneratoren

- Automatischer Entzerrbereich: 41...69 dB bei 211 842 kHz (etwa 1,26...1,85 km mit 2,6/9,5 mm Koaxialtuben)
- Einschaltbares Kunstkabel am Eingang: 2 × 10 dB (etwa 2 × 290 m)
- Geräuschabstand bei 69 dB Sektionsdämpfung (bei 211 872 kHz) einschliesslich angenommene Kabelunregelmässigkeit:
typisch: 12,5 dB bei BER = 10⁻⁶
8,5 dB bei BER = 10⁻¹¹
- Speisung: 275 mA Gleichstrom bei etwa 10 V Abfall

- Nombre max. de stations terminales: illimité
- Nombre max. de régénérateurs et de stations principales entre les stations terminales: 200
- Portée d'un système de localisation de défauts: 99 stations terminales et principales

3 Construction mécanique

Les trois bâtis chandelles (d'une largeur de 120 mm chacune) ont une hauteur de 2600 mm, une largeur totale de 360 mm et une profondeur de 225 mm. Un système 2+1 occupe 1080 mm à savoir deux largeurs normalisées de la construction 72. Des mesures spéciales (blindages, mises à terre, etc.) ont été prises afin d'éviter les effets des perturbations électromagnétiques. Les régénérateurs (une voie) mesurent 250 × 110 × 90 mm. Ils sont installés dans des armoires souterraines.

4 Station terminale

- Montage dans 3 bâtis (DMX, ligne, divers)
- Consommation à pleine charge environ:
Bâti DMX: 75 W
Bâti de ligne: 415 W (téléalimentation: 305 W)
- Embrouilleur set/reset avec séquence de 672 bits (par flux de 141 Mbit/s)
- Code en ligne 4B3T à 423 744 bauds
- Ligne artificielle commutable pour connexions courtes
- Surveillance des régénérateurs en service par le câble coaxial

5 Station principale

- Montage dans 2 bâtis
- Consommation avec 2 × 86 régénérateurs env.: 830 W (téléalimentation: 610 W)
- Surveillance des régénérateurs comme dans la station terminale

6 Régénérateurs

- Plage d'égalisation automatique: 41...69 dB à 211 842 kHz (environ 1,26...1,85 km avec tube coaxial de 2,6/9,5 mm)
- Ligne artificielle commutable à l'entrée: 2 × 10 dB (environ 2 × 290 m)
- Marge d'immunité au bruit pour un affaiblissement de section de 69 dB (à 211 872 kHz) y compris irrégularité admise du câble:
typique: 12,5 dB pour un BER = 10⁻⁶
8,5 dB pour un BER = 10⁻¹¹
- Alimentation: 275 mA continu pour une chute de tension d'environ 10 V
- Surveillance: émission automatique de rapports de taux d'erreurs dans la plage de 10⁻³...10⁻¹⁰ et d'erreurs isolés
- Signal de sortie: 3 Vp, ternaire, 423 744 kbit/s (100 %)

-
- Überwachung: Selbständige Aussendung von BER-Berichten im Bereich von 10⁻³...10⁻¹⁰ und von Einzel Fehlern
 - Ausgangssignal: 3 Vp, 423 744-kBd-Ternärsignal (100 %)