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

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 64 (1986)

Heft: 9

Artikel: Leitungsausrüstungen für 34 Mbit/s-Signale auf Koaxialkabeln und Lichtwellenleitern

Autor: Aepli, Thomas / Fluhr, Josef / Marending, Peter

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-875043

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: 23.07.2025

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

Leitungsausrüstungen für 34-Mbit/s-Signale auf Koaxialkabeln und Lichtwellenleitern

Thomas AEPLI, Josef FLUHR und Peter MARENDING, Zürich

Zusammenfassung. *Die hier vorgestellten Leitungsausrüstungen für die Übertragung von 34-Mbit/s-Digitalsignalen auf Koaxialkabeln und Lichtwellenleitern ermöglichen die gleichzeitige Übertragung von 480 Gesprächen mit je 64 kbit/s. Da die elektrischen 34-Mbit/s-Schnittstellen der Leitungsabschlusseinrichtungen der CCITT-Empfehlung G.703 entsprechen, können sie ebenso für die Daten-, Ton- und Fernseh-Übertragung genützt werden. Die wesentlichen Systemteile der Kupfer- und der Lichtwellenleiterausrüstungen werden beschrieben, die an der 34-Mbit/s-Mini-Koaxialkabel-Betriebsanlage Zürich/Herdern-Küsnacht vorgenommenen Messungen und die dabei erreichten Ergebnisse aufgezeigt. Obwohl die Digitalsignalübertragung mit Lichtwellenleiter immer mehr an Bedeutung gewinnt, ist doch damit zu rechnen, dass auch die 34-Mbit/s-Koaxialleitungs-Ausrüstung der Siemens-Albis AG einen wesentlichen Beitrag bei der Digitalisierung des schweizerischen Fernmelde-Bezirksnetzes leisten wird.*

Equipements de lignes pour la transmission de signaux à 34 Mbit/s sur câbles coaxiaux et guides d'ondes optiques

Résumé. *Les équipements de lignes présentés ici pour la transmission de signaux numériques à 34 Mbit/s sur câbles coaxiaux et guides d'ondes optiques permettent l'acheminement simultané de 480 conversations d'un débit de 64 kbit/s. Les interfaces électriques à 34 Mbit/s des équipements de terminaison de ligne répondant à la Recommandation G. 703 du CCITT, elles peuvent aussi être utilisées pour la transmission de données, de sons et d'images. Les auteurs décrivent les principaux sous-systèmes des équipements de lignes pour conducteurs de cuivre et fibres optiques, les mesures entreprises sur le câble minicoaxial à 34 Mbit/s reliant Zurich/Herdern à Küsnacht ainsi que les résultats obtenus. Bien que les transmissions numériques sur guides d'ondes optiques gagnent en importance, on peut s'attendre que l'équipement de lignes à 34 Mbit/s pour câbles coaxiaux de Siemens-Albis SA jouera un rôle déterminant lors de la numérisation du réseau rural suisse.*

Equipaggiamenti di linea per la trasmissione di segnali a 34 Mbit/s su cavi coassiali e conduttori a onde luminose

Riassunto. *Gli equipaggiamenti di linea per la trasmissione di segnali digitali a 34 Mbit/s su cavi coassiali e conduttori a onde luminose descritti nell'articolo permettono di trasmettere contemporaneamente 480 conversazioni di 64 kbit/s ciascuna. Le interfacce elettriche a 34 Mbit/s degli equipaggiamenti di terminazione di linea sono conformi alla raccomandazione CCITT G.703 e possono pertanto essere utilizzate anche per la trasmissione di dati, suoni e TV. Gli autori descrivono i componenti essenziali degli equipaggiamenti a conduttori di rame e a onde luminose, le misure effettuate all'impianto in cavo minicoassiale a 34 Mbit/s Zurigo/Herdern-Küsnacht, e i risultati ottenuti. Sebbene l'importanza della trasmissione di segnali digitali mediante conduttori a onde luminose continui ad aumentare, si può lo stesso prevedere che anche l'equipaggiamento di linea coassiale a 34 Mbit/s della Siemens-Albis AG contribuirà in misura rilevante alla numerizzazione della rete rurale svizzera di telecomunicazione.*

1 Streckenaufbau der Koaxial- und Lichtwellenleiter-Kabelanlagen

11 Streckenaufbau der Koaxialkabelverbindung

Figur 1 zeigt einen Streckenaufbau mit den Leitungsabschlusseinrichtungen (LA), den Zweiweg-Zwischenverstärkern (ZV) und den Fehlerortungseinrichtungen. In den Ämtern I und II sind sowohl die Leitungsabschlussausrüstungen und die Fehlerortungsbedienungseinheit bzw. die Abschlusseinheit wie die Fernspeisegeräte untergebracht. Längs der Koaxialkabelstrecke, in regelmässigen Abständen von etwa 1,8 km, befinden sich im Kabeltrassee Zwischenverstärker. Bis 16 solche Zwischenregeneratoren sind in von der PTT normierten Unterflurbehältern untergebracht. Die Gleichstrom-Reihenspeisung der Zwischenverstärker entlang der Übertragungsstrecke geschieht über die Innenleiter des dem System zugeordneten Koaxialpaares. In jedem der Unterflurbehälter ist eine Fehlerortungseinheit eingebaut, an die die Fehlerortungsabgriffe von 16 Zwischenverstärkern angeschlossen werden können.

Die Fehlerortungseinheiten werden von den Ämtern aus über ein eigenes Kupfer-Aderpaar ferngespeist. Über diese Fehlerortungs-Fernspeiseleitung können während des Betriebes sowohl die einzelnen Unterflurbehälter angewählt als auch die Fehlerquoten der einzelnen Regeneratoren abgefragt werden.

12 Streckenaufbau der Lichtwellenleiterverbindung

Ihr Aufbau unterscheidet sich gegenüber der in Figur 1 gezeigten PCM-Anlage für Kupfer-Systeme lediglich dadurch, dass wegen der beim LWL-System erreichbaren grossen Regeneratorfeldlängen keine Zwischenverstärker benötigt werden, wodurch die aufwendigen Strekkenfehlerortungs- und Fernspeiseeinrichtungen entfallen.

2 Leitungsabschlusseinrichtung

Die Leitungsabschlusseinrichtungen *(Fig. 2)* haben die Aufgabe, in *Senderichtung* das an der Trennstelle F34an vorhandene HDB3-codierte Signal in ein für die Übertragungsstrecke geeignetes Leitungssignal umzusetzen und *empfangsseitig* den umgekehrten Vorgang vorzunehmen, d. h., das von der Übertragungsstrecke ankommende Leitungssignal in das geräteseitige HDB3-Trennstellensignal F34ab umzusetzen.

21 Gemeinsamer Schaltungsteil der 34-Mbit/s-Kupfer- und der 34-Mbit/s-LWL-Leitungsabschlusseinrichtung

In *Senderichtung* wird das an der HDB3-Trennstelle F34an ankommende, durch die Amtskablage um bis zu

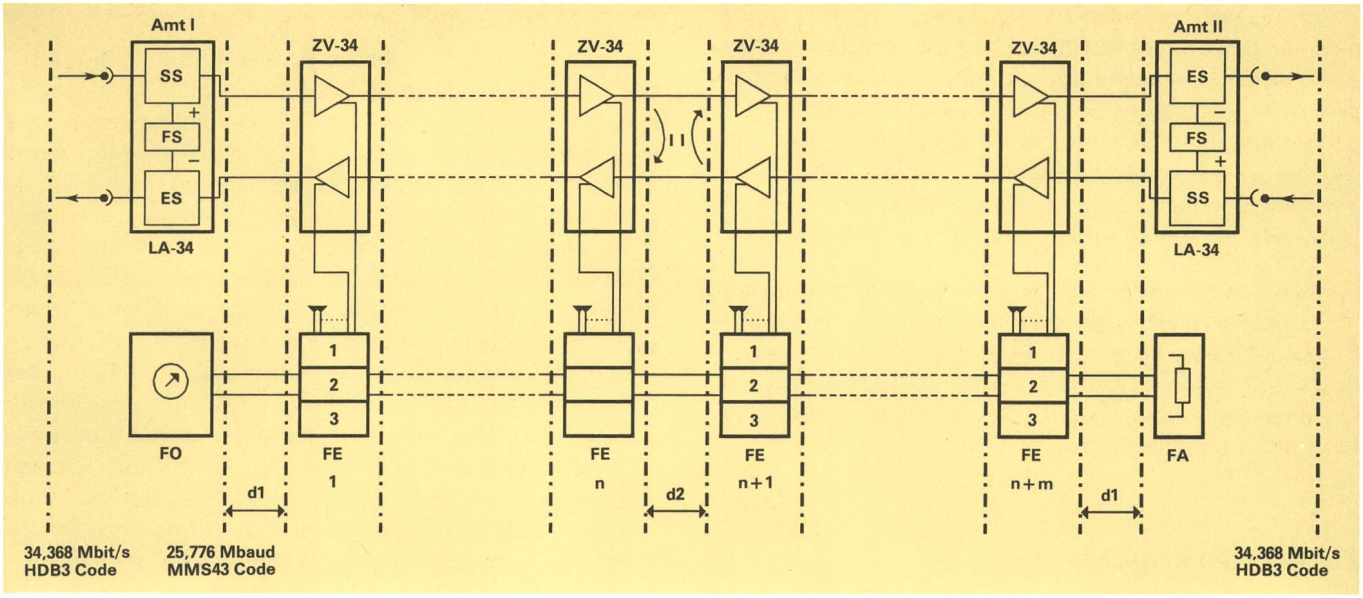

Fig. 1
34-Mbit/s-Koaxialkabel-Streckenaufbau

LA-34 Leitungsabschlussausrüstung 34 Mbit/s
ZV-34 Zwischenverstärker 34 Mbit/s (Zweiweg)
FS Fernspeiseeinheit
d1 Anlauffeldlänge
d2 Regeneratorfeldlänge
SS Sendeseite
ES Empfangsseite
FO Fehlerortungs-Bedienungseinheit
FE Fehlerortungseinheit
FA Fehlerortungsabschlusseinheit
1 ZV-Adresse
2 ZV-Kasten Adresse
3 Fehlerauswertung
N,m ≤14

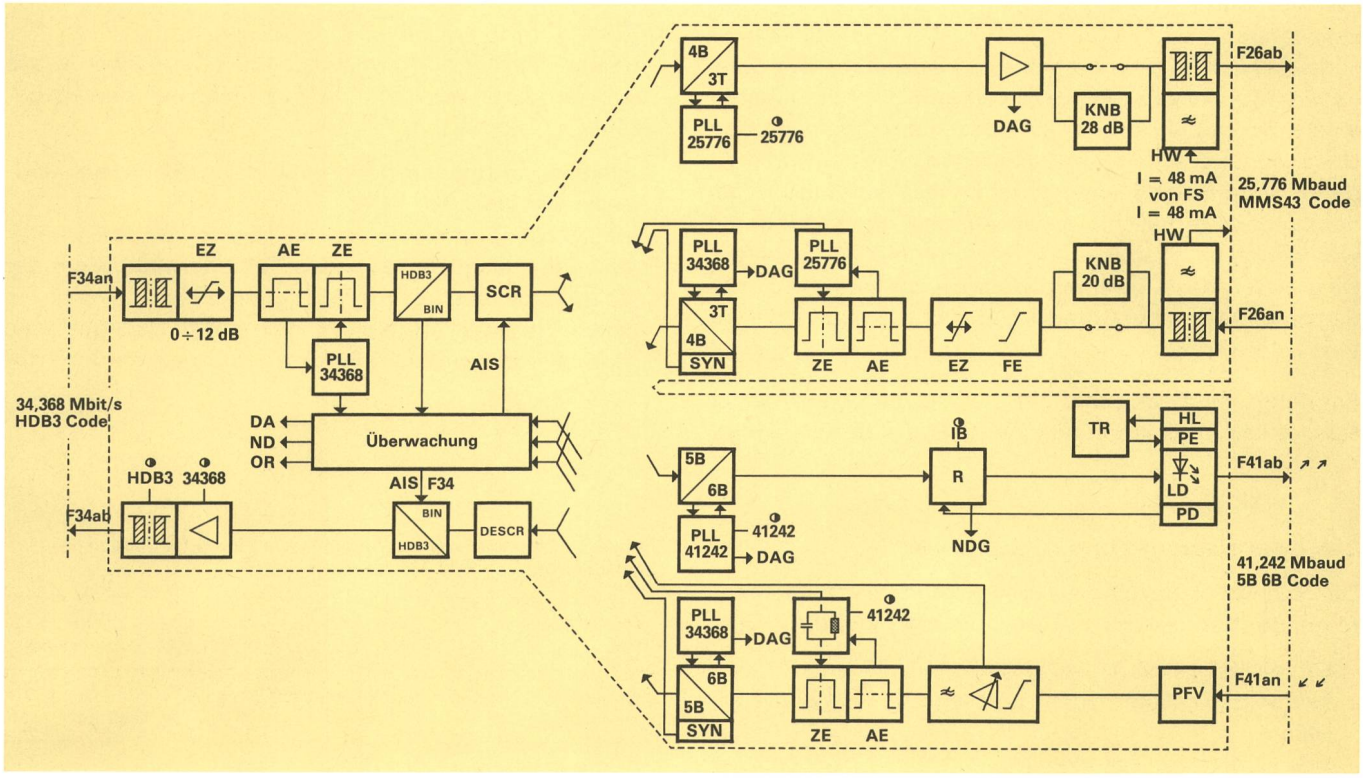

Fig. 2
Übersichtsschaltplan der Leitungsausrüstungen LA-34-KX und LA-34-F

AE Amplitudenentscheider
ZE Zeitentscheider
R Regler
TR Temperaturregler
AIS Alarmindikationssignal
PFV Optischer PIN-FET-Verstärker
HL Heissleiter
PE Peltierelement
LD Laserdiode
PD Fotodiode
OR Hinweis (orange)
DAG Dringender Gerätealarm
NDG Nichtdringender Gerätealarm
DA Dringender Alarm
ND Nichtdringender Alarm
SCR Scrambler
DESCR Descrambler
PLL Phase-locked-loop
KNB Kabelnachbildung
HW Fernspeise-Halbweiche
SYN Wort-Synchronisierung
FS Fernspeiseeinheit
EZ Entzerrer, automatisch
FE Festentzerrer

12 dB gedämpfte 34-Mbit/s-Signal entzerrt und regeneriert. Anschliessend durchläuft es die Reihenschaltung der zwei Codeumsetzungen-HDB3/Binär und Scrambler. Wie in Figur 2 dargestellt, kann das am Scrambler-Ausgang verwürfelte 34-Mbit/s-Binärsignal entweder für die weitere Leitungssignalaufbereitung in der LA-Koaxialausrüstung oder für die Weiterverarbeitung in der LA-Lichtwellenleiterausrüstung herangezogen werden.

Das auf der Empfangsseite von der Codeumsetzung 3T → 4B bzw. 6B → 5B dem Descrambler zugeführte Signal wird von diesem in das ursprüngliche Binärsignal entwürfelt. Anschliessend erfolgt im HDB3-Codierer die Umsetzung in das vom CCITT in G.703 empfohlene HDB3-Schnittstellensignal.

211 Scrambler/Descrambler

Um beim 4B3T- bzw. beim 5B6B-Decoder ein sicheres Wiedergewinnen der Wortsynchronisation zu garantieren, ist eine Verwürfelung des sendeseitigen Binärsignals vor der Umcodierung erforderlich. Ein Scrambler gemäss der CCITT-Empfehlung V.27bis mit der Periode 2^7-1 verwürfelt das zu übertragende Signal so, dass periodische Signalfolgen weitgehend vermieden werden. In gewissen Fällen kann ein Scrambler jedoch den Signalfluss blockieren, d. h. er gibt an seinem Ausgang anstelle des verwürfelten Nutzsignals periodische Bitfolgen ab. Bei Verwendung eines Scramblers mit einer sehr langen Periodendauer, z. B. $2^{29}-1$, ist die Wahrscheinlichkeit für ein «Blockieren» äusserst klein. Eine andere Möglichkeit, dieses zu verhindern, besteht darin, einem Scrambler mit relativ kurzer Periodendauer eine Überwachungsschaltung beizufügen, die auftretende periodische Folgen erkennt und diese verhindert. Bei dem in der hier beschriebenen Ausrüstung verwendeten überwachten Scrambler mit der Periode 2^7-1 ist gewährleistet, dass Scrambler-Ausgangsfolgen der Periodendauer von einem Bit, von 2, 3, 4, 6, 8, 9 und 12 Bit unterdrückt werden.

Empfangsseitig erzeugt ein selbstsynchronisierender Descrambler das ursprüngliche Binärsignal.

212 Überwachung und Alarmierung

Der Schaltungsteil Überwachung erhält im wesentlichen folgende Alarmkriterien zur Weiterverarbeitung:

- Fehlen des HDB3-Trennstellensignals F34an
- Fehlen des ankommenden Leitungssignals F26an bzw. F41an
- Ausfall diverser Taktsignale
- Codefehlerquote des empfangsseitigen Leitungssignals, abgeleitet von der Überwachung der laufenden digitalen Summe (LDS) des Blockcode-Signals.

Eine Codefehlerquote von $\varepsilon \geq 10^{-3}$ wird als Dringend-Alarm (DA), eine von $\varepsilon \geq 10^{-6}$ als Nichtdringend-Alarm (ND) bewertet.

Ein Dringend-Alarm blendet anstelle des Nutzsignals eine Dauer-Eins-Folge (AIS) in Richtung Fernleitung oder in Richtung F34ab ein.

22 Leitungsabschlusseinrichtung LA-34-KX

Dem sendeseitigen Schaltungsteil fällt die Aufgabe zu, das vom Scrambler gelieferte Binärsignal so umzusetzen, dass die bei einer Verstärkerfeldlänge kleiner als oder gleich 2 km auftretende Leitungsdämpfung eines Minikoaxialkabels überbrückt werden kann. Um dies zu erreichen, muss die Schrittgeschwindigkeit des Leitungssignals reduziert werden. Durch Anwendung der 4B3T-Blockcode-Umsetzung, bei der jeweils aus vier Binärelementen drei Ternärelemente gebildet werden, ergibt sich auf der Leitung eine Schrittgeschwindigkeit von 25 776 kBaud. Dies bedeutet eine Reduktion der Schrittgeschwindigkeit um 25 % und damit eine Verringerung der kilometrischen Kabeldämpfung um etwa 13 % bei der Schwerpunktfrequenz 12 888 kHz. Für den Ausgleich kurzer Anfangsfeldlängen lässt sich eine Leitungsverlängerung (Kabelnachbildung) mit einer Dämpfung von 28 dB (bezogen auf 12 888 kHz) zuschalten.

Auf der Empfangsseite (F26an → F34ab) werden nach vorangegangener Entzerrung und Regenerierung des von der Fernleitung ankommenden Leitungssignals im 4B3T-Decoder jeweils aus 3-Bit-Ternärwörtern 4-Bit-Binärgruppen nach den Umcodierungsregeln gemäss *Tabelle III* erzeugt. Das am Decoder-Ausgang vorhandene, aber noch verwürfelte 34-Mbit/s-Binärsignal gelangt anschliessend zur Entwürfelung zum Descrambler.

221 Leitungscode MMS43

(Tab. I)

Aus der Vielzahl der möglichen 4B3T-Codes wurde aus folgenden Gründen dem MMS43-Code der Vorzug gegeben:

- gleichstromfrei und geringe Leistungsdichte bei niedrigen Frequenzen
- im Ternär-Bitstrom folgen höchstens vier Nullen aufeinander, womit eine grosse Taktinformation bei der Taktrückgewinnung zur Verfügung steht
- seine Struktur ermöglicht dem 4B3T-Decoder eine schnelle und einfache Blocksynchronisation durchzuführen
- vertretbarer Realisierungsaufwand

Tabelle I. Planungswerte der Leitungsausrüstung für 34-Mbit/s-Signalübertragung über Minikoaxialkabel

Koaxialtube		0,65/2,8 mm (Minikoaxialkabel)
Leitungsdämpfung bei 12 888 kHz und 10 °C (Nennwert)		34,15 dB/km
Regeneratorfelddämpfung (12 888 kHz, 10 °C) und Regeneratorfeldlänge		
Minimal	LA 34↔ZV 34	0 dB/0 m
	ZV 34↔ZV 34	27,2 dB/797 m
Nominell	LA 34↔ZV 34	31,3 dB/915 m
	ZV 34↔ZV 34	62,5 dB/1830 m
Maximal	LA 34↔ZV 34	41,6 dB/1218 m
	ZV 34↔ZV 34	69,3 dB/2030 m
Fernspeisedistanz bei ±340-V-Speisespannung und 48 mA ± 1 mA Speisestrom		≤50 km

Tabelle II. Planungswerte der Leitungsausrüstung LA-34-LWL

Faser	Gradientenfaser
3-dB-Feldbandbreite	≥ 50 MHz
Wellenlänge	1300 nm
Optischer Sender	Laser
Minimale Sendeleistung bei 20 °C (nach Baugruppenstecker)	−1,5 dBm
Garantierte Empfängerempfindlichkeit $\varepsilon = 10^{-10}$; T = 20 °C (vor Baugruppenstecker)	−47 dBm
Theoretische Systemdämpfung	45,5 dB
Temperatureffekte, Rückwirkungen, Dispersion	4 dB
Systemreserven für Geräte (vor allem Alterung, Toleranzen)	3 dB
Maximale Felddämpfung	38,5 dB
Steckerdämpfungen am Kabelkopf	1,6 dB
OH-Absorption	–
Verfügbare Faserdämpfung	36,9 dB
Kilometrische Faserdämpfung	0,6 ÷ 0,9 dB/km
Spleissdämpfung bei 1 km Einziehlänge	0,1 ÷ 0,2 dB
Dämpfung für Reservespleisse	0 ÷ 0,3 dB
Kilometrische Kabeldämpfung	0,7 ÷ 1,4 dB/km
Feldlängen	26 ÷ 52,5 km

- die Coderedundanz ermöglicht Bitfehler-Überwachung
- kleine Fehlervervielfachung auf der Empfangsseite.

222 4B3T-Coder/Decoder

Der 4B3T-Coder gruppiert das verwürfelte Binärsignal in 4-Bit-Worte und erzeugt von jeder Gruppe, dem Codealphabet MMS43 folgend, das zugehörige 3-Bit-Ternärwort. Wie in *Tabelle III* gezeigt, ist das Codealphabet in vier Moden unterteilt. Nach welchem Mode ein 4-Bit-Binärwort umcodiert wird, hängt vom «Gleichspannungsanteil» der vorangegangenen Umcodierungen ab. Die Überwachung der «laufenden digitalen Summe» steuert die Modenzuordnung so, dass kein Gleichspannungsanteil mehr vorhanden ist. Empfangsseitig erzeugt der 4B3T-Decoder aus jeweils 3-Bit-Ternärwörtern 4-Bit-Binärgruppen gemäss dem Codealphabet. Um das ursprüngliche Binärsignal wieder herzustellen, muss der Decoder die ankommende Bitfolge synchron zur Gegenstelle in 3-Bit-Blöcke segmentieren (Blocksynchronisation).

Die Gewinnung der für die Codeumsetzung erforderlichen Takte (sendeseitig 25 776 kHz aus 34 368 kHz, empfangsseitig 34 368 kHz aus 25 776 kHz) erfolgt mit Quarzoszillator-PLL-Schaltungen hoher Güte. Zusammen mit den Pufferspeichern bei der 4B → 3T-, bzw. 3T → 4B-Umsetzung erhält man beidseitig eine Jitterreduktion. Durch dieses Dejitterizer-Verhalten resultiert eine Verminderung der Phasenschwankungen (Jitter) sowohl im sendeseitigen 25,776-Mbit-Leitungssignal wie im empfangsseitigen 34,368-Mbit/s-Trennstellensignal.

23 Leitungsabschlusseinrichtung LA-34-LWL

Im Gegensatz zur Übertragung mit dem Ternär-Leitungscode 4B3T über Koaxialverbindungen kommt bei der Übertragung der Bitrate 34 Mbit/s über Lichtwellenleiter der Binär-Blockcode 5B6B als Leitungscode zur Anwendung.

Die Aufgabe des 34-Mbit/s-LA-LWL-Schaltungsteils besteht darin, sendeseitig dem am Ausgang des Scramblers verwürfelten 34-Mbit/s-Binärnutzsignal Redundanz zuzuführen. Dies geschieht im 5B6B-Coder. Dabei wird die Bitrate lediglich um den Faktor 1,2 erhöht, somit hat das vom optischen Sender in die Glasfaser eingeführte Lichtsignal eine Schrittgeschwindigkeit von 41,2 MBaud.

Das empfangsseitig an F41an von der Faser in den PIN-FET-Empfänger eingekoppelte Lichtsignal wird in diesem optisch-elektrischen Wandler in ein entsprechendes elektrisches Signal umgesetzt. Das anschliessend entzerrte und verstärkte 41,2-MBit/s-Signal gelangt nach der Regenerierung zum 5B6B-Decoder. In diesem werden die 6-Bit-Wörter in 5-Bit-Wörter zurück-umgesetzt. Der nachgeschaltete Descrambler entwürfelt das redundanzfreie Nutzsignal, so dass am Descrambler-Ausgang wieder das ursprüngliche 34-Mbit/s-Binärsignal vorhanden ist.

231 Leitungscode 5B6B

Für eine LWL-Anlage ist ein zweiwertiger Leitungscode vorzuziehen, weil binäre Signale bei der optischen Übertragung sehr einfach durch die beiden Zustände «Max. Licht» und «Kein Licht» dargestellt werden können. Für Systeme der höheren Hierarchiestufen kommen vorwiegend Blockcodes mit hinreichender Redundanz zur Anwendung.

Für die LWL-Übertragung im Bezirksnetz hatten die PTT den bezüglich Übertragungsbandbreite ökonomischen

Tabelle III. Codetabelle MMS43

Binärwort	Codealphabet MMS43 (Ternär)			
	Mode S1	Mode S2	Mode S3	Mode S4
0001	0 − +	0 − +	0 − +	0 − +
0111	− 0 +	− 0 +	− 0 +	− 0 +
0100	− + 0	− + 0	− + 0	− + 0
0010	+ − 0	+ − 0	+ − 0	+ − 0
1011	+ 0 −	+ 0 −	+ 0 −	+ 0 −
1110	0 + −	0 + −	0 + −	0 + −
1001	+ − +	+ − +	+ − +	− − −
0011	0 0 +	0 0 +	0 0 +	− − 0
1101	0 + 0	0 + 0	0 + 0	− 0 −
1000	+ 0 0	+ 0 0	+ 0 0	0 − −
0110	− + +	− + +	− − +	− − +
1010	+ + −	+ + −	+ − −	+ − −
1111	+ + 0	0 0 −	0 0 −	0 0 −
0000	+ 0 +	0 − 0	0 − 0	0 − 0
0101	0 + +	− 0 0	− 0 0	− 0 0
1100	+ + +	− + −	− + −	− + −

5B6B-Blockcode als Standard eingeführt. In [1] ist dessen Leistungsdichtespektrum im Vergleich zu verschiedenen anderen Codes dargestellt. Die Leitungscodierung geschieht, indem man das verwürfelte Binärsignal in Worte zu 5 Bit unterteilt und jedem der 5-Bit-Worte ein Wort mit sechs Binärzeichen zuordnet. Es stehen den 2^5 möglichen Kombinationen des 5B-Eingangswortes 2^6 mögliche 6B-Ausgangswortkombinationen zur Verfügung.

Die infolge der Leitungscodierung um den Faktor 1,2 auf 41,2 MBaud erhöhte Schrittgeschwindigkeit ist für die Übertragung auf der vorgesehenen genügend breitbandigen Glasfaser nur von unbedeutendem Nachteil.

Die Vorteile der Umcodierung aber sind:

- geringe Leistungsdichte bei tiefen Frequenzen
- genügend Taktinformation für die Taktrückgewinnung
- ausreichende Redundanz zur Erkennung von Übertragungs-Bitfehlern.

232 Der optische Sender

Für dieses längenoptimierte System wird hauptsächlich eine Laserdiode als elektrooptischer Wandler eingesetzt. Die Laserdiode ist zusammen mit einem Peltierelement, einem Thermistor und einer Monitorfotodiode in einem hermetisch dichten Modul untergebracht. Laserdioden für den Wellenlängenbereich von 1300 nm werden vorwiegend aus GaInAsP (Gallium-Indium-Arsenid-Phosphid) hergestellt. Moderne BH-Strukturen (buried-hetero) erlauben kleine Schwellströme in der Grössenordnung von 20 mA. Zur Reduzierung des Modenrauschens ist für die Übertragung auf Gradientenfasern ein mehrmodiges Emissionsspektrum erwünscht.

Obwohl die Eigenerwärmung des Lasers durch die heutigen kleinen Schwellströme bedeutend geringer geworden ist, kann eine Kühlung wesentlich zu einer grösseren Lebensdauer beitragen.

Der optische Sender enthält alle für den Betrieb der Laserdiode notwendigen Schaltungsteile. Das ankommende 5B6B-codierte Binärsignal liefert den Modulationsstrom für die Laserdiode. Zusätzlich wird der Laserdiode ein knapp unterhalb der Laserschwelle liegender Vorstrom zugeführt und damit ein verzögerter Anstieg des Lichtimpulses gegenüber dem ansteuernden Stromimpuls vermieden. Mit der im Modul eingebauten Fotodiode kann die mittlere Ausgangsleistung am rückwärtigen Laserspiegel gemessen werden. Ein Pilotsignal übernimmt die Nachführung von Vorstrom und Modulationsstrom. Dadurch kann auch eine alterungsbedingte Änderung der Neigung der Laserkennlinie ausgeglichen werden [2].

Eine Temperaturregelung verhindert das Ansteigen der Lasertemperatur über 25 °C. Dabei dient das Peltierelement zur Kühlung, der eingebaute Thermistor zur Messung der Temperatur.

Weitere Schaltungsteile schützen den sehr empfindlichen Laser vor Überbelastung durch kurzzeitige Stromspitzen beim Einstecken der Baugruppe, bei Ausfall einer Speisespannung oder bei einem Eingangssignal mit extremem Puls/Pause-Verhältnis. Eine Einschaltverzögerung bewirkt, dass vor der Ansteuerung des Lasers zuerst eine Kühlung auf 25 °C erfolgt.

233 Der optische Empfänger

Die optoelektrische Wandlung geschieht in einem hybridintegrierten PIN-FET-Modul von *Siemens AG*. Zur Detektion der Lichtimpulse bei der Wellenlänge 1300 nm sind z. Z. lediglich Ge-Avalanche- und PIN-Fotodioden aus InGaAsP verfügbar. Gegenüber den Ge-Avalanche-Dioden, die hohe, temperaturabhängige Leckströme aufweisen, erreicht man mit PIN-Dioden eine höhere Empfangsempfindlichkeit über einen weiten Temperaturbereich [3]. Der Fotodiode ist ein Hochimpedanz-FET-Verstärker nachgeschaltet. Um die Eingangskapazität, welche die Empfängerempfindlichkeit wesentlich bestimmt, klein zu halten, wurde die Fotodiode und der Hochimpedanz-FET-Verstärker in einem Modul integriert.

Am Ausgang des Moduls erfolgt eine für den Hochimpedanzverstärker notwendige Entzerrung. Dann wird das Signal in einem breitbandigen regelbaren Verstärker weiter verstärkt. Ein elektrischer Verstärkungsregelbereich von etwa 52 dB ergibt einen Dynamikbereich des optischen Signals von etwa 26 dB. Zur Rauschbegrenzung durchläuft das Signal ein Nyquistfilter, danach ist das sog. Augensignal mit einer Signalamplitude von ungefähr 0,8 V vorhanden.

3 Zweiweg-Zwischenverstärker für Koaxialkabelanlagen

31 Schaltungskonzept

Für jede der beiden Übertragungsrichtungen enthalten die Zweiweg-Zwischenverstärker einen Regenerator, die zugehörigen Stromversorgungsweichen und Schaltelemente für die Gleichstromfehlerortung. Das Funktionsschaltbild eines Zweiweg-Zwischenverstärkers zeigt *Figur 3*. An den Ein- und Ausgängen schützen Überspannungsableiter (Grobschutz) zusammen mit Dioden (Feinschutz) die Schaltelemente vor Überspannungen infolge Starkstrombeeinflussung und Blitzeinwirkung. In Signalflussrichtung gesehen ist nach der Fernspeiseweiche, die die Trennung von Fernspeisestrom und Leitungssignal vornimmt, ein Entzerrer-Verstärker geschaltet, der die frequenzabhängige Streckenleitungsdämpfung aufhebt. Aus dem nun am Ausgang des Entzerrers vorhandenen ternären Digitalsignal (Augensignal), wird der 25 776-kHz-Bittakt wiedergewonnen. Nach der Amplitudenentscheidung geschieht, vom Bittakt gesteuert, in einem Zeit-Entscheider, die vollständige Regeneration des Nutzsignals. Ein Pulsformer liefert über die nachgeschaltete ausgangsseitige Fernspeiseweiche, mit der der Fernspeisesstrom wieder eingefügt wird, den richtigen Sendepegel (2,5 Vos) an den Wellenwiderstand 75 Ohm der abgehenden Koaxialleitung. An einem zweiten Pulsformer-Ausgang steht das Messsignal mit einer Signalamplitude von 100 mVos für die dynamische Fehlerortung zur Verfügung. Im weiteren ist für die statische Fehlerortung zwischen Innenleiter und Aussenleiter der Koaxialtube ein Gleichstrompfad vorhanden, bestehend aus einer Diode und einem Seriewiderstand. In Abschnitt 35 wird noch näher auf die Fehlerortung eingegangen.

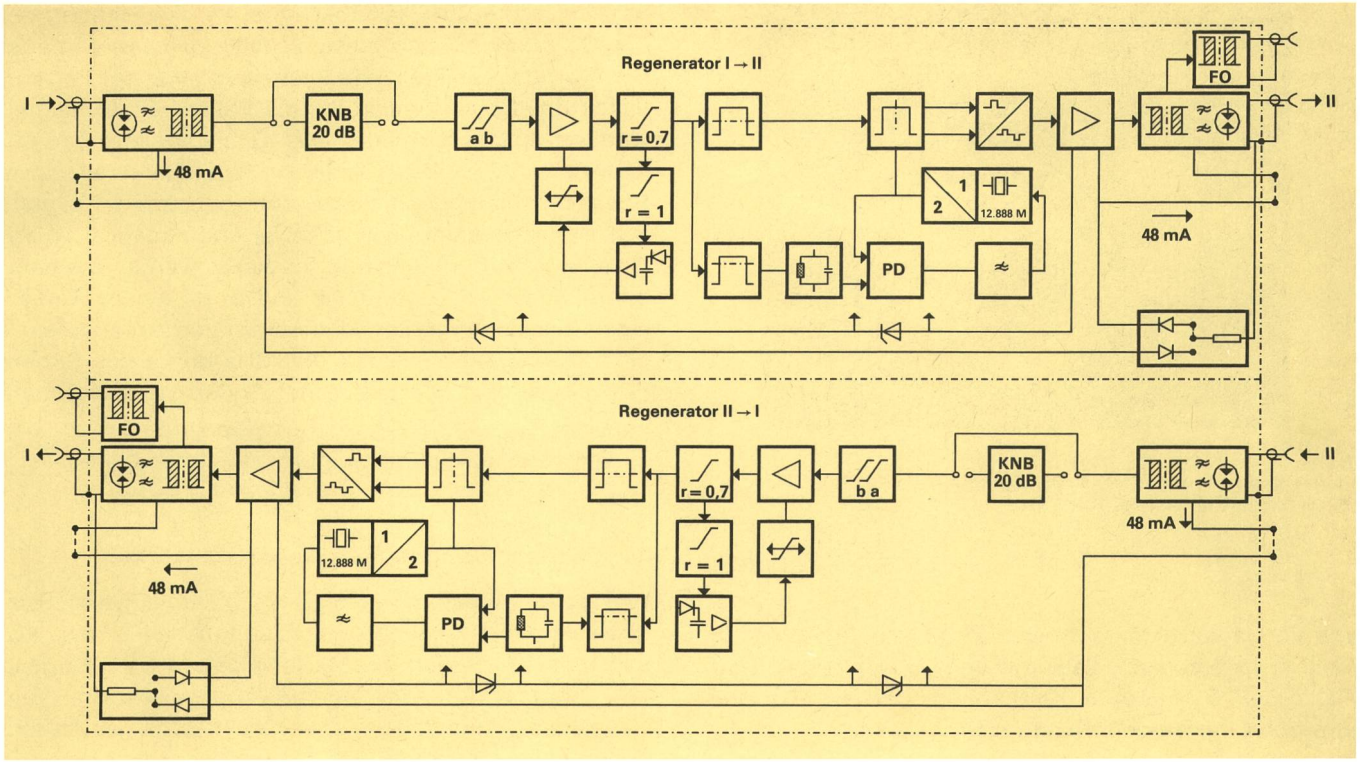

Fig. 3
Übersichtsschaltplan des 34-Mbit/s-Zwischenverstärkers
FO Fehlerortungsausgang
KNB Kabelnachbildung
PD Phasendiskriminator

32 Entzerrung

Wie in der Leitungsabschlusseinrichtung LA-34-KX, übernimmt auch beim Zwischenverstärker ein sich selber nachstellender Entzererverstärker den Ausgleich der frequenzabhängigen Kabeldämpfung für verschiedene Kabellängen und Kabeltemperaturen. Der automatische Verstärkungsregelbereich beträgt bei der Nyquistfrequenz f_N = 12 888 kHz 30 dB. Als Regelkriterium dient die Signalamplitude am Ausgang des Entzererverstärkers. Der Dämpfungsbereichausgleich beträgt bei der Nyquistfrequenz 45 dB...75 dB. Bei kurzen Streckenanauflängen kann dieser durch Zuschalten einer 20-dB-Leitungsnachbildung in den Kabeldämpfungsbereich 25 dB...55 dB verschoben werden.

Die Funktionsweise der automatischen Entzerrung und Verstärkung ist im wesentlichen folgende:

Nach Durchlaufen der Fernspeiseweiche gelangt das ternäre Signal über ein Hochpassnetzwerk und ein Allpass-A-Glied an den Eingang einer frequenzabhängigen, rauscharmen Verstärkervorstufe. Das Hochpassnetzwerk verhindert die Übersteuerung der Verstärkerstufe durch niederfrequente Leitungssignalanteile, die gegenüber der Nyquistfrequenz nur wenig gedämpft sind. Der Allpass bewirkt eine Phasenkorrektur, so dass der Phasenfehler nach dem Entzerrer klein gehalten werden kann.

Nach der ungeregelten Verstärkervorstufe folgt ein verstellbarer Bodeentzerrer mit zwei in Serie geschalteten T-Gliedern. Die Dimensionierung dieser Entzererrernetzwerke wurde unter Berücksichtigung verschiedener Tubenlängen mit einem Optimierungsprogramm auf einem Grossrechner vorgenommen. Die Beeinflussung des Bodeentzerrer-Übertragungsverhaltens geschieht durch Verändern seines Lastwiderstandes, wobei der Lastwiderstand von spannungssteuerbaren Dioden gebildet ist. Der Regelbereich des automatischen Entzerrers, bezogen auf einen festen Pegelsockel, beträgt ± 15 dB. Dabei bedeutet der Wert + 15 dB eine verstärkende Entzerrung, jener von −15 dB eine dämpfende künstliche Kabelverlängerung. Bei einer mittleren Einstellung des Bodenentzerrers erfolgt in einer weiteren Verstärkerstufe ein Kabeldämpfungsausgleich von 60 dB. Berücksichtigt ist dabei eine Frequenzbandbegrenzung gemäss dem ersten Nyquistkriterium mit einem Roll-off-Faktor von etwa 0,7. Die *Figuren 4* und *5* zeigen das entzerrte und bandbegrenzte Entzererausgangssignal für

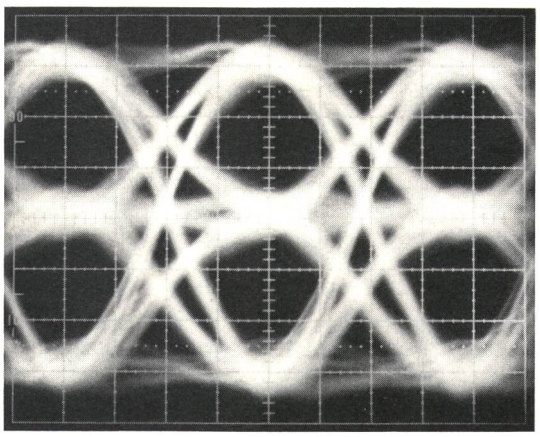

Fig. 4
Augendiagramm am Entscheidereingang
25 dB Kabeldämpfung bei 12 888 kHz

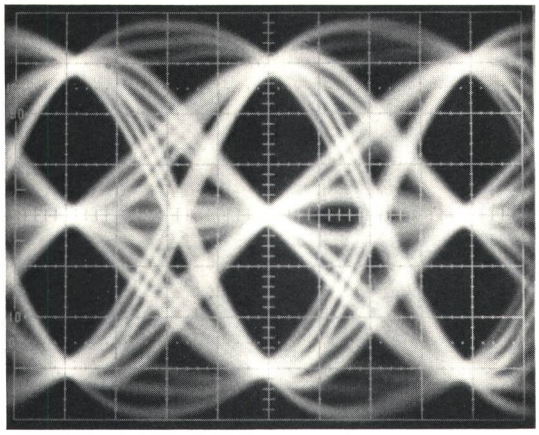

Fig. 5
Augendiagramm am Entscheidereingang
75 dB Kabeldämpfung bei 12 888 kHz

die Verstärkerfelddämpfungen 25 dB und 75 dB. Auf ihnen ist zu erkennen, dass mit dem gewählten Roll-off-Faktor von 0,7 ein guter Kompromiss zwischen Bandbegrenzung und Augenöffnung erreicht wird.

Nach dem PTT-Pflichtenheftentwurf VL26.002P muss ein Regenerator auch unverwürfelte Festpattern fehlerfrei verarbeiten. Nach einer Signalfilterung mit einem Roll-off-Faktor kleiner als eins treten Überschwinger zwischen zwei aufeinanderfolgenden positiven oder negativen Pulsen auf. Im MMS43-Code können solche Bitkombinationen je nach Pattern auftreten. Somit ist der Spitzenwert des Augensignals bei einem Roll-off-Faktor 0,7 patternabhängig; eine richtige Entzerrereinstellung wäre nur für die Verarbeitung von Zufallssignalen möglich. Um diesen Nachteil zu beseitigen, ist eine zusätzliche, als Roll-off-Wandler dimensionierte Verstärkerstufe vorgesehen, die das Signal auf den Roll-off-Faktor eins umformt. Aus dem Spitzenwert dieses Signals wird das Regelkriterium für eine weitgehend konstante Augenamplitude gebildet, wodurch der Regenerator in der Lage ist, auch unverwürfelte Festpattern zu verkraften.

33 Regeneration

Das über einen Übertrager vom Entzerrer an die Regeneration abgegebene Augensignal wird an die beiden Amplitudenentscheider der zwei parallelen Signalpfade geführt. Dadurch ist eine eigene Einstellung der Amplitudenentscheiderschwelle sowohl für die Regeneration des digitalen Nutzsignals als auch für die Erzeugung des Taktkreis-Anstosssignals möglich. Infolge der getrennten Einstellungen erhält man optimalen Signal/Geräusch-Abstand beim digitalen Nutzsignal und minimale Phasenschwankungen (Jitter) im Bittaktsignal.

Die Rückgewinnung der Taktinformation aus dem digitalen Nutzsignal geschieht in einer phase-locked-loop-(PLL)-Schaltung dritter Ordnung mit einer Güte von 1000. Wegen des grossen Dämpfungsfaktors von $\varphi = 50$ ist keine Überhöhung der Phasenübertragungsfunktion mehr messbar. Eine Überhöhung würde die Anzahl in Kette schaltbarer Zwischenverstärker wegen der Jitter-Akkumulation begrenzen. Ein dem Phasendiskriminator vorgeschalteter Schwingkreis kleiner Güte ($Q \approx 20$) liefert ein kontinuierliches Taktsignal an den Eingang der PLL-Schaltung. Durch diese Schaltungsmassnahme ist der Wert der Taktkreisgüte unabhängig von der Patterndichte des Digitalsignals. Für die Phasenregelschaltung wird ein spannungsgesteuerter Quarzoszillator (VCXO) verwendet. Der Zeitentscheider, bestehend aus zwei Speicherschaltungen, liefert das regenerierte digitale Nutzsignal getrennt nach positiver und negativer Polarität an eine Differentialstufe. In dieser werden die halbbitbreiten PCM$^+$- und PCM$^-$-Pulse zu einem Ternärsignal zusammengefügt. Eine lineare Verstärkerstufe mit einer Bandbreite von etwa 150 MHz bringt das ternäre PCM-Signal auf die benötigte ZV-Ausgangsamplitude von 2,5 Vos. Der ZV-Ausgangswiderstand ist an den 75-Ohm-Wellenwiderstand der Koaxialtube angepasst.

34 Fernspeisung der Zwischenverstärker

Wie schon erwähnt, erfolgt die Zwischenverstärker-Speisestromversorgung über die Innenleiter der Koaxialtuben. Mit einer Fernspeiseweiche wird am Eingang des Regenerators der 48-mA-Fernspeisestrom vom Nutzsignal getrennt, dann über zwei in Serie geschaltete Zenerdioden geführt und regeneratorausgangsseitig über eine zweite Fernspeiseweiche wieder an den Tubeninnenleiter geschaltet. Die über den beiden Zenerdioden abgegriffenen Zenerspannungen werden als Zwischenverstärker-Versorgungsspannungen verwendet.

Über den Speisepfad erhält man eine Verbindung vom Ausgang zum Eingang eines Regenerators. Eine besonders sorgfältige Dimensionierung des Tiefpassfilters in diesem Pfad verhindert die Rückkopplung des um 75 dB verstärkten Ausgangssignals auf den Eingang. *Figur 6* zeigt die gemessene Umlaufdämpfung. Den grösseren Teil der Umlaufdämpfung übernimmt das Eingangsfilter. Dazu ist ein erster Filterteil in einem separaten Abschirmgehäuse untergebracht. Dieses Gehäuse ist mit dem Aussenleiter der Koaxialtube verbunden. Das Gehäuse des nachfolgenden Entzerrers liegt jedoch auf Schaltungsmasse und bildet zusammen mit einer Isolierfolie und dem auch auf Aussenleiterpotential liegen-

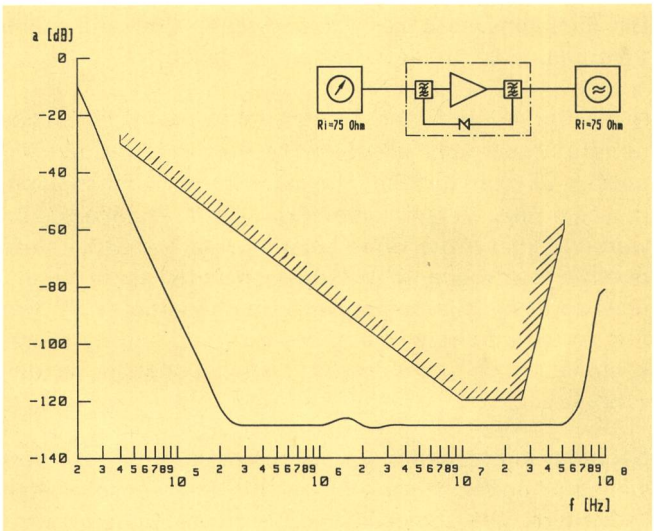

Fig. 6
Gemessene Umlaufdämpfung eines Regenerators

den Trägerblech einen grossflächigen, spannungsfesten und zum Tiefpassfilter gehörenden Plattenkondensator.

Im Blockschaltbild des Zwischenverstärkers (Fig. 3) ist die am meisten auftretende Fernspeise-Betriebsart dargestellt, die Durchschaltung des Fernspeisestromes vom Eingang auf den Ausgang des gleichen Regenerators. Bei einer Kettenschaltung von mehr als 14 Zwischenverstärkern geschieht die Speisung der Verstärker von beiden Ämtern aus, da die zulässige Fernspeisespannung der Minikoaxialkabelanlage auf maximal 700 V begrenzt ist. In diesem Fall kann durch Lötbrücken der Fernspeisestrom vom Eingang des einen Regenerators auf den Ausgang des Regenerators der Gegenrichtung geschaltet und somit der Fernspeisekreis geschlossen werden.

35 Fehlerortung

Die PTT haben aus Gründen der Einheitlichkeit für die statische- und dynamische Fehlerortung das Verfahren und die Ausrüstungen der *Philips AG* normiert.

Die statische Fehlerortung erlaubt den Ort eines Kabelunterbruches festzustellen. Dazu wird das Fernspeisegerät als Spannungsquelle geschaltet und mit umgepolter Spannung zwischen dem Aussen- und dem Innenleiter der Koaxialtube angelegt. Für diese Polung ist in jedem Regenerator ein Gleichstrompfad vorhanden, und eine Strommessung erlaubt die Anzahl parallelgeschalteter Pfade zu bestimmen und somit einen Kabelunterbruch zu orten.

Die Einrichtungen des dynamischen Fehlerortungssystems sind in Figur 1 gezeigt. Sie setzen sich zusammen aus den Unterflurbehälter-Fehlerortungseinheiten, der Fehlerortungsabschlusseinheit und der Fehlerortungs-Bedienungseinheit, wobei die beiden letztgenannten in einem LA-Gestell untergebracht sind. Sowohl die Fernspeisung der Fehlerortungseinheiten in den Unterflurbehältern wie auch die Ansteuerung der Unterflurbehälter und die der Einzelregeneratoren geschieht von einem Amt aus über ein Kupfer-Aderpaar. Über dieses erfolgt auch die Kontrolle aller längs einer Kabelanlage betriebenen Regeneratoren auf ihre richtige Funktionsweise während des Betriebes (in service monitoring). Dazu wird das Ausgangssignal eines angewählten Regenerators in der Fehlerortungseinheit auf Codefehler untersucht. Aus den laufend an die Bedienungseinheit im Amt gemeldeten Fehlern wird eine Codefehlerquote bestimmt und angezeigt.

4 Gerätetechnik und verwendete Technologie

41 Leitungsabschlussausrüstung LA-34-KX

Auf fünf Baugruppen der Höhe 88 Module (1 Modul = 2,54 mm) sind die Schaltkreise einer LA-34-KX aufgebaut. In einem Baugruppenträger (BGT) der BW72 befinden sich die Baugruppen von zwei Systemen. *Figur 7* zeigt die Baugruppenanordnung in einem BGT der Breite 180 Module, und zwar von links nach rechts:

- Systemüberwachung
- 34-Mbit/s-HDB3-Interface
- 4B3T-Codec

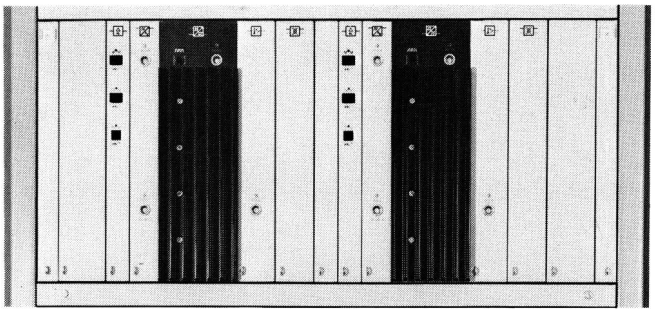

Fig. 7
Baugruppenträgerbestückung LA-34-KX (2 Systeme)

- 26-Mbit/s-Empfangseinheit
- Fernspeiseweiche

Getrennt durch eine Leereinschub-Frontabdeckung sind danach die Baugruppen des zweiten Systems plaziert.

Für die komplexen Umcodierungsschaltkreise wurden von Siemens vier verschiedene LSI-Masterslice-Gate Arrays in ECL-Technologie entwickelt. In einem Gehäuse befindet sich jeweils:

- der HDB3-Codec
- der Scrambler/Descrambler nach CCITT V.27bis
- der 4B3T-Coder
- der 4B3T-Decoder

Je ein Baustein 4B3T-Coder, 4B3T-Decoder, Scrambler und Descrambler befinden sich auf der Baugruppe 4B3T-Codec. Um auf dieser kompakt bestückten Baugruppe die Kristalltemperaturen der IC möglichst klein zu halten, sind auf den Gate-Arrays spezielle Kühlstege angebracht, die die Wärmeverlustleistung an das mit Kühlrippen versehene Frontblech abgeben. *Figur 8* zeigt die Baugruppe 4B3T-Codec mit den angebrachten Kühlstegen.

Bei der Baugruppe «Fernspeiseweiche» sind zur Erreichung der erforderlichen grossen Nebensprechdämpfung bis zu einer Frequenz von 100 MHz zwischen dem Sendesignal und dem stark gedämpften Empfangssignal die beiden Signalpfade in einem zweikammerigen HF-dichten Gehäuse voneinander getrennt. Auch die empfindlichen Entzerrer- und Regeneratorschaltkreise der 26-Mbit/s-Empfangseinheit sind in einem HF-dichten Gehäuse untergebracht.

42 Zweiwegzwischenverstärker ZV-34-KX

Der Zweiweg-ZV-34-KX wurde für den Einsatz in bestehenden Minikoaxial-Kabelanlagen der PTT entwickelt. Er muss gemäss PTT-Forderung in den dort verwendeten Philips-Unterflurbehältern untergebracht werden können, ohne dass mechanische oder Verdrahtungsänderungen vorzunehmen sind. Für einen Zweiweg-ZV steht in einem solchen Unterflurbehälter lediglich ein Brutto-Einbauvolumen von 1,9 Liter zur Verfügung.

Der in *Figur 9* gezeigte Zweiwegzwischenverstärker besteht aus zwei identischen Regeneratoren, die in einem mit Kunststoff beschichteten Metallgehäuse unterge-

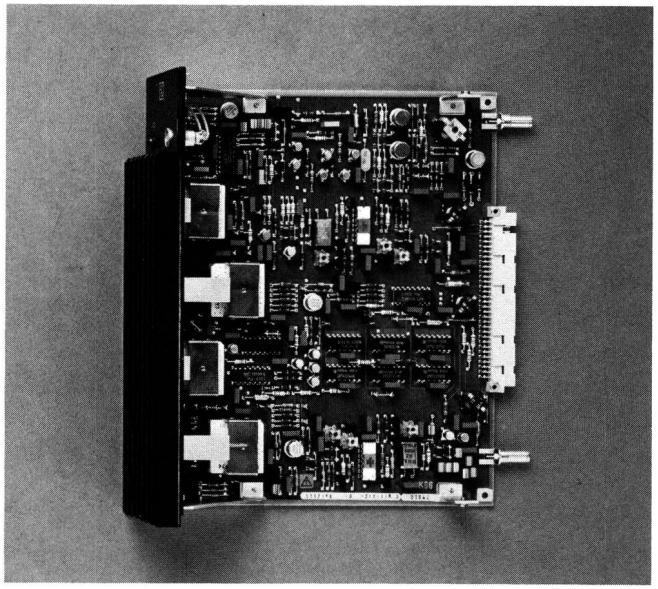

Fig. 8
Baugruppe 4B3T-Codec

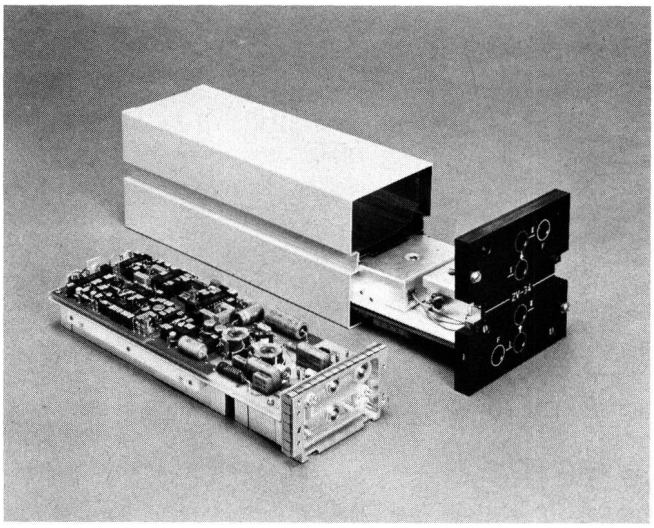

Fig. 9
Zweiweg-Zwischenverstärker

bracht sind. Durch die Wahl eines solchen Gehäuses erreicht man einerseits die erforderliche elektrische Abschirmung, anderseits aber auch einen zuverlässigen Berührungsschutz für das Montage- und Prüfpersonal. Bei der geforderten Anschlusstechnik sind die Aussenleiter der Koaxialtuben gegen Erdkabelmetallmantel und Unterflurbehälter isoliert. Dadurch werden die infolge Blitzeinwirkung und Starkstrombeeinflussung auf dem Erdkabel auftretenden Querspannungen vor dem Eindringen auf die Koaxialtuben weitgehend abgeschwächt. Der sorgfältige Aufbau der Kabelanlage, gekennzeichnet durch zweilagige Schirmung der starren Minikoaxialtuben in den Erdkabeln und durch dreilagige Schirmung der flexiblen Koaxialanschlusskabel in den unterirdischen ZV-Behältern, gewährleistet Verdrahtungsnebensprechdämpfungen grösser als 130 dB im Frequenzbereich 10 MHz...26 MHz. Dies sowohl zwischen den Systemen im selben Erdkabel als auch für die Hin- und Rückrichtung desselben Systems. Aufgabe der konstruktiven Gestaltung wie auch des Schaltungsaufbaues war es nun, diese elektrische Dichtigkeit auch für den Zwischenverstärker zu gewährleisten. Dazu waren folgende wesentlichen Massnahmen erforderlich:

- für das Aussengehäuse wird verhältnismässig dickes, veredeltes Stahlblech verwendet
- längs des ganzen Umfangs der Regeneratorfrontabdeckung ist ein federndes Kontaktblech angebracht (in Fig. 9 deutlich zu erkennen)
- die kritischen Schaltungsteile sind von zusätzlichen Abschirmungsschachteln umgeben
- um Potentialschleifen zu vermeiden, ist die Regeneratormasse nur an einer Stelle mit dem Tubenaussenleiter kontaktiert
- die frontseitigen Koaxialsteckbuchsen sind so angeordnet, dass zwischen Anschlüssen, die verschiedene Signalpegel aufweisen, ein möglichst grosser Abstand besteht.

Figur 10 zeigt einen Ausschnitt des ZV-Unterflurbehälters mit zwei eingebauten Zweiweg-ZV und die Behältervorverdrahtung mit flexiblen Koaxialanschlusskabeln.

43 Leitungsabschlussausrüstung LA-34-F

Der Aufbau der LA-34-F-Ausrüstung ist ähnlich der unter 41 beschriebenen LA-34-KX-Ausrüstung. Wie *Figur 11* veranschaulicht, sind auch hier in einem BGT der BW72 zwei Systeme untergebracht. Ein System umfasst vier Baugruppen der Höhe 88 Module, deren Anordnung im 180-Modul-breiten BGT ist (von links beginnend):

- Systemüberwachung
- 34-Mbit/s-HDB3-Interface
- 5B6B-Codec
- optische Sende- und Empfangseinheit

Getrennt durch eine Leereinschub-Frontabdeckung sind anschliessend die Baugruppen des zweiten Systems untergebracht.

Fig. 10
Ausschnitt des ZV-Unterflurbehälters

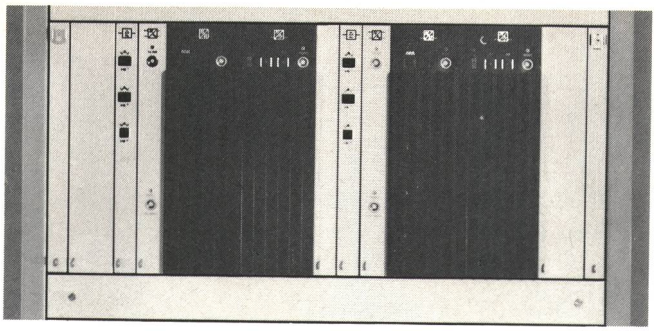

Fig. 11
Baugruppenträgerbestückung LA-34-F (2 Systeme)

Bei der Baugruppe «5B6B-Codec» werden sowohl für die Codierung wie auch für die Decodierung die von Siemens entwickelten LSI-Masterslice-Gate-Arrays in ECL-Technologie verwendet. Um eine möglichst niedrige Kristalltemperatur der Laserdiode zu erreichen, ist auf der Baugruppe «optische Sende- und Empfangseinheit» das Lasermodul auf der mit Kühlrippen versehenen Frontplatte angebracht. *Figur 12* zeigt diese Baugruppe mit dem frontseitig montierten Lasermodul und das separate Abschirmgehäuse für den sehr empfindlichen optischen Empfänger.

44 Gestelle der LA-34-KX- und LA-34-F-Ausrüstungen

Es stehen zwei Gestellgrössen zur Verfügung, die sich nur in der Höhe unterscheiden. Das Normalgestell hat eine Höhe von 2736 mm, das für niedrige Räume vorgesehene Kleingestell 2196 mm. Als Verbindungen zwischen den elektronischen Baugruppen und der Amtskablage dienen Steckverbinder. Auch die Fasern des Lichtwellenleiterkabels enden gestellseitig an optischen Steckern, womit beim Einstecken der optischen Sende- und Empfangseinheit auch die optischen Verbindungen hergestellt sind.

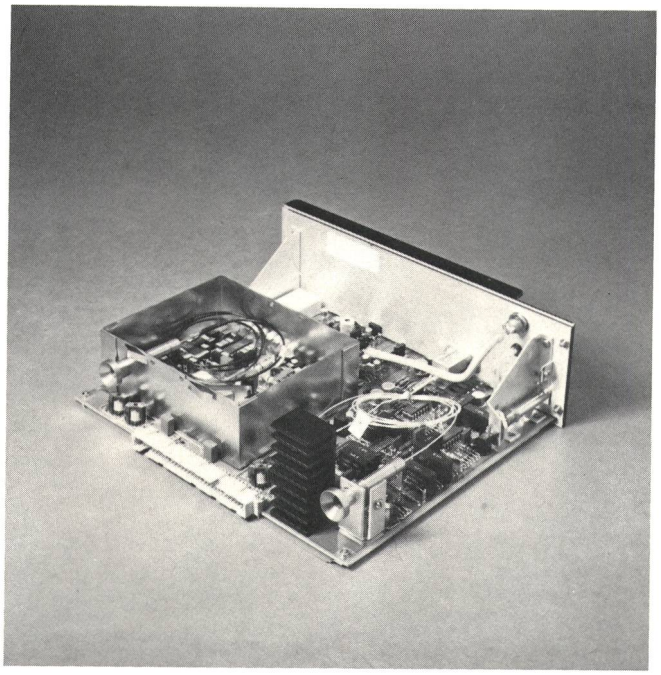

Fig. 12
Optische Sende- und Empfangseinheit

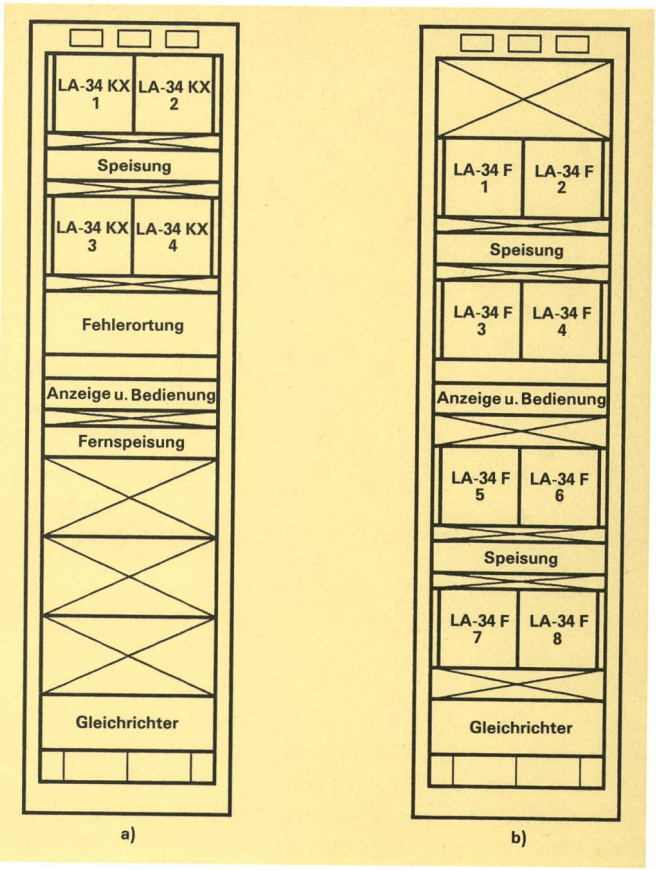

Fig. 13
Leitungsabschlussgestelle
a) mit 4 LA-34-KX-Ausrüstungen b) mit 8 LA-34-F-Ausrüstungen

Figur 13 zeigt die Bestückung der beiden Kleingestelle. Sie ist beim LA-34-KX-Gestell von oben nach unten (Fig. 13a):

- ein Baugruppenträger mit zwei Leitungsabschlusseinrichtungen LA-34-KX
- ein Baugruppenträger mit den Speisegeräten für die redundante Speisung von vier Leitungsabschlusseinrichtungen
- ein Baugruppenträger mit zwei Leitungsabschlusseinrichtungen LA-34-KX
- ein Baugruppenträger mit den Fehlerortungsgeräten
- das «Zentrale Anzeige- und Bedienungsfeld»
- ein Baugruppenträger mit den Fernspeisegeräten
- die Gestellstromversorgung, bestehend aus Netzgleichrichter und Sicherungseinheit

Beim LA-34-F-Gestell (Fig. 13b) ist die Plazierung von oben nach unten:

- ein Baugruppenträger mit zwei Leitungsabschlusseinrichtungen LA-34-F
- ein Baugruppenträger mit den Speisegeräten für die redundante Speisung von vier Leitungsabschlussausrüstungen (Baugruppenträger und Speisegeräte sind gleich wie beim LA-34-KX)
- ein Baugruppenträger mit zwei Leitungsabschlusseinrichtungen LA-34-F

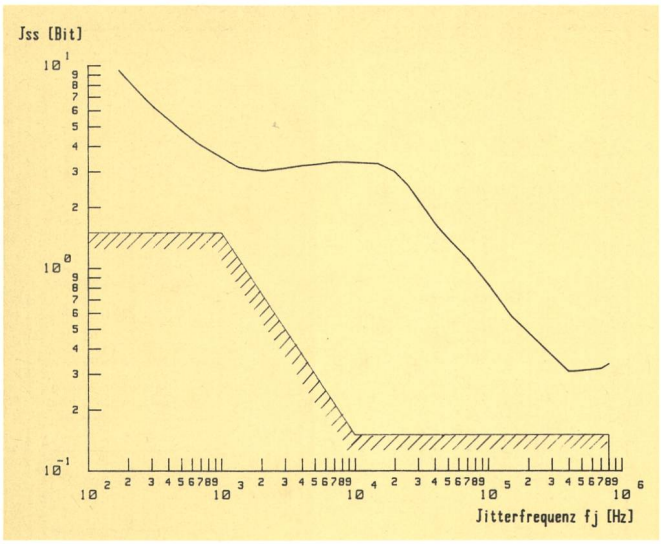

Fig. 14
Jitterverträglichkeit F34an

- das «Zentrale Anzeige- und Bedienungsfeld»
- ein weiterer «Geräte-Viererblock», bestehend aus vier LA-34-F und den Speisegeräten
- die Gestellstromversorgung, bestehend aus Netzgleichrichter und Sicherungseinheit.

5 Technische Daten

Die Hinweise G. beziehen sich auf die entsprechenden CCITT-Empfehlungen des Rotbuches III.3.

51 Elektrische Eigenschaften der F34-Schnittstelle

Übertragungsbitrate	34 368 kbit/s ± 20 ppm
Übertragungscode	HDB3
Impedanz	75 Ohm, asymmetrisch
Impulsform an F34ab	Rechteck, gemäss CCITT G. 703. (Fig. 1)
Nominelle Spannung Uos an F34ab	±1,0 V
Reflexionsdämpfung an F34an	1,7 MHz < f < 34,4 MHz: ≥ 20 dB 34,4 MHz < f < 51 MHz: ≥ 15 dB
Automatische Amtskabelentzerrung an F34an	≤ 12 dB bei 17,184 MHz
Jitterverträglichkeit an F34an	Die gemessene Jitterverträglichkeit ist in *Figur 14* dargestellt. Die Forderungen der CCITT-Empfehlung G.823, Tabelle I, sind hinreichend erfüllt.
Störfestigkeit an F34an	*Figur 15* zeigt die gemessene Störfestigkeit bei der Amtskabeldämpfung 12 dB/17,184 MHz. Die Schweizer PTT-Forderung mit 100 mVss wird mit genügender Reserve erfüllt.
Maximaler Ausgangsjitter an F34ab	Gemäss CCITT G.823 (Tab. II)
Spannungsfestigkeit an F34an und F34ab	100 Vp Normstoss 1,2/50 µs

52 Elektrische Eigenschaften der F26-Schnittstelle

Übertragungsbitrate	34 368 kbit/s ± 20 ppm
Übertragungscode	Blockcode MMS43 (4B3T)
Schrittgeschwindigkeit	25 776 kBaud ± 20 ppm
Impedanz an F26ab und F26an	75 Ohm, asymmetrisch
Nominelle Spannung Uos an F26ab	± 2,5 V
Impulsform an F26ab	Rechteck
Reflexionsdämpfung an F26an	1,3 MHz < f < 25,8 MHz: ≥ 20 dB 25,8 MHz < f < 39 MHz: ≥ 15 dB
Leitungsentzerrung an F26an:	
– Bereich 1	0 dB...27 dB, bezogen auf 12,888 MHz
– Bereich 2 (Bereichsumschaltung mit Lötbrücken)	17 dB ...45 dB, bezogen auf 12,888 MHz
Störfestigkeit an F26an: (Messung mit breitbandigem weissem Rauschen 10 kHz...40 MHz, gemäss PTT-Pflichtenheft)	S/N ≤ 7 dB, für den Leitungsdämpfungsbereich 0 dB...45 dB/12,888 MHz

53 Daten für die optische Übertragung an der F41-Schnittstelle

Optischer Sender mit Laserdiode:	
– Sendediode	Buried-Hetero-Diode aus GaInAsP

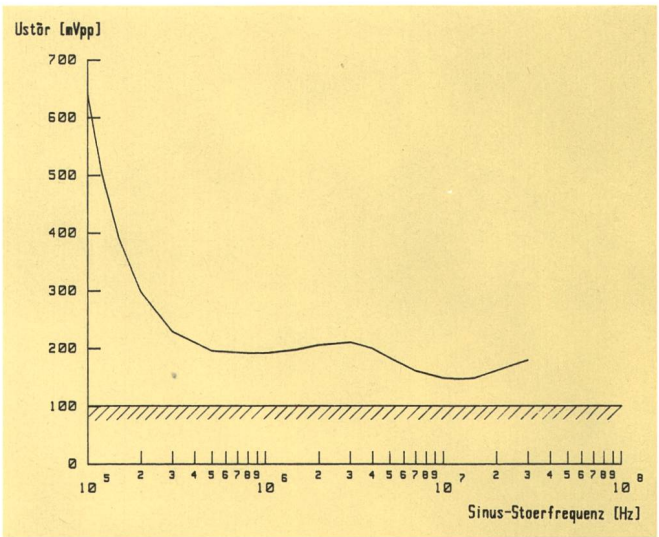

Fig. 15
Störfestigkeit F34an

– Mittlere optische Sendeleistung (nach Baugruppenstecker, ohne Mantellicht)	$-1{,}5\ \text{dBm} < P < 1{,}0\ \text{dBm}$
Optischer Empfänger:	Fotodiode mit Hochimpedanz-FET-Verstärker
– Empfängerdiode	PIN-Fotodiode aus GaInAsP
– Faser-Dämpfungsausgleich	Automatisch
– Zulässiges optisches Eingangssignal (bei $p_E > -23$ dBm ist eine optische Dämpfung erforderlich)	≤ -23 dBm
– Bitfehlerquote je Regeneratorfeld bei einer optischen Empfangsleistung von −47 dBm (vor dem Baugruppenstecker)	$\leq 10^{-10}$

54 Blockcode-Synchronisationsverhalten

	4B3T	5B6B
Typische Synchronisierzeit	40 µs	65 µs
Maximale Synchronisierzeit	80 µs	130 µs
Wahrscheinlichkeit für eine Neusynchronisation innerhalb der Synchronisierzeit	99,9 %	99,9 %
Mittlerer Abstand unerwünschter Synchronisierverluste bei der Fehlerrate $\varepsilon_3 = 10^{-3}$	10 Jahre	10 Jahre
Maximale Fehlerburstlänge, die keinen Synchronisationsverlust bewirkt	39,6 µs	26 µs

55 Überwachung und Alarmierung

Dringende Alarme	– Fehlen des Eingangssignals an F34an – Verlust der Blocksynchronismus an F26an bzw. F41an – Ausfall eines Fernspeisegerätes (LA-34-KX) – Ausfall des Sendesignals an F26ab bzw. F41ab – Bitfehlerrate 10^{-3}
Nichtdringende Alarme	– Bitfehlerrate 10^{-6} – Ausfall eines Speisegerätes – Unzulässiger Anstieg des Schwellenstromes der Laserdiode (LA-34-F)

56 Stromversorgung

Eingangsspannung der Speisegeräte	−38,5 V ... −60 V
Ausgangsspannungen der Speisegeräte	+ 5 V, − 5 V
Leistungsaufnahme	
LA-34-KX	< 22 W
LA-34-F	< 24 W
Wirkungsgrad der Speisegeräte	75 %
Fernspeisestrom für Zwischenverstärker	48 mA ± 1 mA
Maximale Fernspeisespannung	± 340 V
Leistungsaufnahme Zwischenverstärker (Einweg)	48 mA/18,6 V
Maximale Fernspeiseleistung	< 32,5 W
Wirkungsgrad der Fernspeisegeräte	> 75 %

6 Streckenmessungen an Minikoaxialkabel- und Lichtwellenleiter-Anlagen der PTT

61 Minikoaxialkabelanlage 34-KX Zürich/Herdern—Küsnacht

Die Jitterakkumulation von mehreren in Kette geschalteten 34-Mbit/s-Regeneratoren konnte erstmals an einer PTT-Pilotanlage zwischen Zürich/Herdern und Küsnacht ermittelt werden. Obwohl bei der Entwicklung des 34-Mbit/s-Zwischenverstärkers neben Kabelnachbildungsnetzwerken auch echte Minikoaxialpaare zur Verfügung standen, beschränkten sich die Messungen im Labor hauptsächlich auf das Prüfen eines einzelnen Zwischenverstärkers.

Längs der mit zwei Systemen beschalteten Pilotanlage befinden sich sieben Zwischenverstärkerstellen. Für den Kettenschaltungsaufbau wurden die beiden Leitungsabschlusseinrichtungen in Küsnacht durch Überbrückung von der Kette weggeschaltet und anstelle einer Leitungsabschlusseinrichtung in Zürich ein Zwischenverstärker zugeschaltet. Die dadurch erreichte Serieschaltung der beiden installierten Systeme ergab eine Kettenschaltung von 30 Regeneratoren ohne Zwischenschaltung einer jitterreduzierenden Leitungsabschlusseinrichtung. Mit dieser Streckenbeschaltung konnte nun die im Nutzbetriebsfall maximal auftretende Jitterakkumulation ermittelt werden, da die höchste Anzahl Regeneratoren zweier Fernspeiseabschnitte durch die Fernspeisespannung von ± 340 V auf 28 begrenzt ist.

Bei der Jittermessung bestand das Sendesignal an F34an aus zwei mit der Jitterfrequenz fj umgeschalteten Festpattern. Wählt man als Umschaltfrequenz fj = 100 Hz, so erreicht man bei abgeschaltetem Scrambler an F26ab des letzten Regenerators einen Jitterwert von 84 % Bit_{pp}, bei eingeschaltetem Scrambler dagegen beträgt der Jitterwert lediglich 9 % Bit_{pp}.

Figur 16 zeigt die nach 30 Regeneratoren gemessene Jitterakkumulation in Funktion der Jitterfrequenz fj bei ausgeschaltetem Scrambler. Die Bestätigung der richtigen Dimensionierung der Taktrückgewinnungsschaltung ist dadurch gegeben, dass auch nach 30 Regeneratoren keine Jitterüberhöhung feststellbar ist. Das Jitterverhalten wurde bis zu einer unteren Umschaltfrequenz von fj = 1 Hz untersucht. Ebenfalls ist in Figur 16 die gute Übereinstimmung mit der Theorie von [4] zu erkennen.

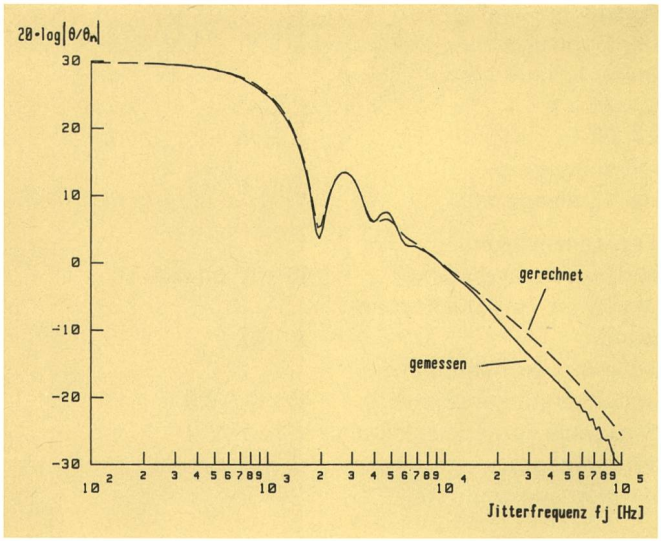

Fig. 16
Jitterakkumulation einer Kettenschaltung von 30 Regeneratoren
Θ Jitter eines einzelnen Regenerators
Θ_n Jitter von n Regeneratoren

Zur Ermittlung der Bitfehlerquote wurde an der 34-Mbit/s-Trennstelle der Leitungsabschlusseinrichtung ein Bit-für-Bit-Vergleich zwischen dem Sendesignal und dem Empfangssignal vorgenommen. Während mehr als zwei Monaten Fehlerregistrierung konnte kein einziger Bitfehler festgestellt werden.

62 Lichtwellenleiterkabelanlage 34-F St. Gallen—Gossau

An einer optischen Leitungsausrüstung können im Gegensatz zu der Koaxialkabelausrüstung weitgehend alle Übertragungseigenschaften im Labor gemessen werden. Dennoch erschien ein Feldversuch auf der LWL-Kabelanlage St. Gallen—Gossau bedeutungsvoll.

Geplant war die Aufstellung von je einer Laborprototypanlage in St. Gallen und Gossau mit jeweils zwei Leitungsabschlusseinrichtungen mit einem Lasersender.

Obwohl die Streckenlänge 9,8 km beträgt, ist der Faserdämpfungs-Mittelwert von 0,68 dB/km weit geringer als bei der Planung angenommen. Infolge der kleinen Faserdämpfung war es möglich, das Lasersystem nur in St. Gallen zu installieren und die Faserenden in Gossau ohne LA zusammenzuschalten.

Mit dem Lasersystem konnten problemlos vier Strekkenabschnitte hintereinander betrieben werden (39,2 km). Bei der Bit-zu-Bit-Fehlerregistrierung trat bei beiden Feldversuchsaufbauten während eines Monats kein Übertragungsfehler auf.

Bibliographie

[1] *Fluhr J., Marending P.* und *Trimmel H.* Ein Lichtwellenleitersystem für die Übertragung von 8-Mbit/s-Signalen. Telecom report 6 (1983). Beiheft «Nachrichtenübertragung mit Licht», S. 127—132.

[2] *Fluhr J., Marending P.* und *Wildhaber A.* 8-Mbit/s-Digitalsignalübertragung über Lichtwellenleiter im Bezirksnetz der Schweizerischen PTT-Betriebe. Siemens-Albis Berichte, 36. Jahrgang, April 1984, Nr. 1, S. 3–11.

[3] *Plihal M., Späth W.* und *Trommer R.* Fotodioden als optische Empfänger für Lichtwellenleiter. Telecom report 6 (1983). Beiheft «Nachrichtenübertragung mit Licht», S. 97—101.

[4] *Byrne C.J., Karatin A.* und *Robinson D.B.* Systematic Jitter in a Chain of Digital Regenerators. BSTJ, November 1983, S. 2679–2714.