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: 57 (1979)

Heft: 7

Artikel: Digitales Lichtwellenleiter-Versuchssystem für 8,448 Mbit/s [Schluss] = Système d'essai de transmission numérique par fibre optique à 8,448 Mbit/s [fin]

Autor: Béguin, Claude

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-875562

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: 08.01.2026

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

Digitales Lichtwellenleiter-Versuchssystem für 8,448 Mbit/s (Schluss)[1]

Système d'essai de transmission numérique par fibre optique à 8,448 Mbit/s (fin)[1]

Claude BÉGUIN, Bern

621.376.5:621.383.52:621.391.63.037.37:681.7.068

35 Übertragungskapazität optischer Digitalsysteme

Die bestimmenden Parameter digitaler Glasfaserstrecken sind

- die Bitrate
- die maximale, ohne Zwischenverstärker überbrückbare Distanz

Beide Faktoren dienen als Mass zur Beurteilung der Übertragungskapazität optischer Systeme. Die maximal mögliche Bitrate wird einerseits durch die «langsamste» Halbleiterkomponente im System (Photodiode, Eingangsverstärker, LED, Laserdiode usw.) und anderseits durch die Impulsdispersion der Faser bestimmt. Der maximalen verstärkerlosen Übertragungsdistanz sind Grenzen gesetzt durch die verfügbare Leistung im Sender, die Empfängerempfindlichkeit und die Verluste auf der Faserstrecke.

Das stark unterschiedliche Leistungsvermögen der Halbleiterkomponenten und der Lichtwellenleiter ergibt grössere oder kleinere Übertragungskapazitäten. Um hier Einblick zu erhalten und einen Vergleich zwischen den verschiedenen Kombinationen zu ermöglichen, wurden einige davon berechnet und in *Figur 28* dargestellt [11]. Diesen Berechnungen liegen folgende Annahmen zugrunde:

- als Kabeldämpfung wurden 10 dB/km in Rechnung gestellt. In diesem Wert sind die anfallenden Spleiss- und Steckerverluste mitberücksichtigt wie auch eine für allfällige Reparaturen nötige Dämpfungsreserve
- für alle dargestellten Kombinationen dient als Empfangselement eine Photoavalanchediode
- die Laserdiode ist bis zur Bitrate von 1,3 Gbit/s modulierbar

Die Figur 28 lässt deutlich erkennen, dass für Bitraten bis ungefähr 250 Mbit/s mit der Kombination Laserdiode—Gradientenprofilfaser die grösste Distanz überbrückt werden kann. Oberhalb dieser Bitraten ist die Kombination Laserdiode—Monomodefaser im Vorteil.

Stufenprofilfasern sind nur dann anwendbar, wenn das Bitrate-Distanz-Produkt unter dem Wert von 20 $Mbit \cdot s^{-1}$ km liegt. Eine Kombination LED—Monomodefaser ist nicht sinnvoll, weil damit zu wenig optische Leistung in einen so dünnen Faserkern eingekoppelt werden kann.

[1] Der erste Teil dieses Artikels ist in den Techn. Mitt. PTT Nr. 6/79, S. 195...212, erschienen.

35 Capacité de transmission des systèmes optiques numériques

Les paramètres déterminants des circuits numériques à fibres optiques sont les suivants:

- le débit binaire
- la distance maximale pouvant être franchie sans amplificateurs intermédiaires

Ces deux facteurs caractérisent la capacité de transmission des systèmes optiques. Le débit binaire maximal est limité, d'une part, par le composant le plus «lent» du système (photodiode, amplificateur d'entrée, LED, diodes laser, etc.) et, d'autre part, par la dispersion des impulsions dans la fibre. La distance maximale pouvant être franchie d'un bond, sans amplificateurs, est limitée par la puissance délivrée par l'émetteur, la sensibilité du détecteur et les pertes dans la fibre.

Les capacités de transmission plus ou moins grandes des systèmes résultent donc des performances très différentes des composants et des guides d'ondes optiques. Pour obtenir un aperçu comparatif des diverses combinaisons, on en a calculé quelques-unes et on les a représentées à la *figure 28* [11]. Ces calculs sont fondés sur les hypothèses suivantes:

- une atténuation due à la fibre de 10 dB/km, étant entendu que les pertes par épissures et pertes dans les connecteurs sont prises en considération, de même qu'une certaine réserve d'atténuation pour d'éventuelles réparations
- une photodiode à avalanche en tant que détecteur pour toutes les combinaisons représentées
- une diode laser pouvant être modulée jusqu'à un débit binaire de 1,3 Gbit/s

Sur la figure 28, on reconnaît clairement que la combinaison diode laser-fibre à gradient d'indice permet de franchir les plus grandes distances jusqu'à des débits binaires d'environ 250 Mbit/s. Au-delà, la combinaison diode laser-fibre monomode donne de meilleurs résultats.

Les fibres à saut d'indice ne sont utilisables que lorsque le produit débit binaire-distance est inférieur à 20 $Mbit \cdot s^{-1} \cdot km$. Une combinaison LED-fibre monomode est peu judicieuse, étant donné qu'il est impossible d'injecter une puissance optique suffisante dans un cœur de fibre aussi mince.

[1] La première partie de cet article a paru dans le Bull. techn. PTT N° 6/79, p. 195...212.

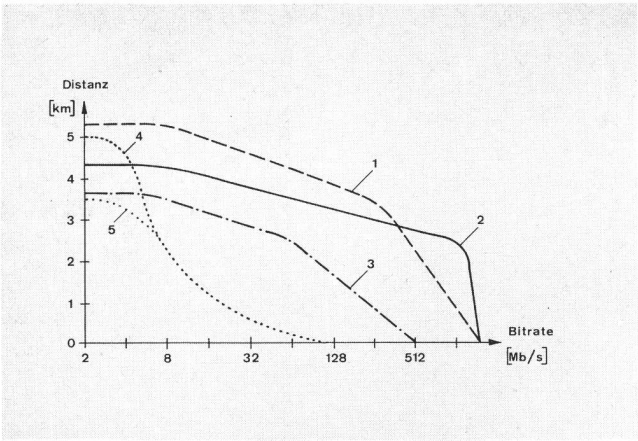

Fig. 28
Übertragungsdistanz (ohne Zwischenverstärker) in Funktion der Bitrate (Kabeldämpfung: 10 dB/km; Detektor: Photoavalanche-Diode) — Distance de transmission (sans amplificateur intermédiaire), en fonction du débit binaire (atténuation du câble: 10 dB/km; détecteur: photodiode à avalanche)
Lichtquelle-Fasertypenkombination — Combinaison source lumineuse-type de fibres:
1 Laserdiode-Gradientenprofilfaser — Diode laser-fibre à gradient d'indice
2 Laserdiode-Monomodefaser — Diode laser-fibre monomode
3 LED-Gradientenprofilfaser — LED-fibre à gradient d'indice
4 Laserdiode-Stufenprofilfaser — Diode laser-fibre à saut d'indice
5 LED-Stufenprofilfaser — LED-fibre à saut d'indice
Bitrate — Débit binaire
Distanz — Distance

Um optimale Übertragungskapazitäten zu erreichen, sind bei Systemauslegungen hauptsächlich folgende Punkte zu beachten:

- Der *Lichtsender* muss eine möglichst *grosse* und *konstante optische Leistung* abstrahlen. Da besonders Laserdioden eine starke Temperaturabhängigkeit bezüglich ihrer Abstrahlleistung aufweisen, ist der Eigenerwärmung des Laserkristalls mit Temperaturstabilisiervorrichtungen und Wärmesenken entgegenzuwirken.
- Die *Einkopplung* des Lichtes in die Faser beziehungsweise der damit verknüpfte Kopplungswirkungsgrad sollte möglichst *gross* sein. Die direkte Ankopplung einer Gradientenfaser eng an einen Kantenemitter-Laser ergibt beispielsweise einen Wirkungsgrad in der Grössenordnung von 10...25 %. Dazwischen eingefügte Linsen oder Fasereingänge mit Sammellinsenwirkung verbessern den Kopplungswirkungsgrad auf 50 % oder mehr [12].
- Die *Glasfaser* muss eine *kleine Dämpfung* und eine *geringe Impulsdispersion* aufweisen.
- Der *Lichtempfänger* muss empfindlich und rauscharm sein und zudem eine der Bitrate angepasste Bandbreite aufweisen.
- Mit Photoavalanchedioden ausgerüstete Detektoren weisen grundsätzlich eine um 5...20 dB tiefere (bessere) Empfangsgrenze als PIN-Dioden-Empfänger auf.

4 Übertragungscodes für optische PCM-Systeme

41 Anforderungen an die Codes

Bei der Wahl eines Übertragungscodes muss stets ein Kompromiss getroffen werden zwischen einem einfach zu generierenden Code und einem Code, der einen möglichst grossen Verstärkerabstand ermöglicht. Ausser-

Souhaite-t-on réaliser une capacité de transmission optimale, il est nécessaire d'attacher de l'importance aux points suivants, au stade de la planification du système:

- La *source lumineuse* doit émettre une *puissance optique aussi grande et aussi constante* que possible. Vu que la puissance délivrée par les sources optiques, tout particulièrement par les diodes laser, dépend fortement de la température, il importe de parer à cet inconvénient en les équipant de dispositifs stabilisateurs de la température et d'ailettes de refroidissement susceptibles d'évacuer l'excédent de chaleur produit par l'agitation thermique du réseau cristallin.
- *L'injection* de la lumière dans la fibre devrait se faire avec un rendement aussi *grand* que possible. Ainsi le couplage direct et serré d'une diode laser avec une fibre à gradient d'indice ne donne qu'un rendement de l'ordre de 10...25 %. Si l'on insère des lentilles entre la source et l'entrée de la fibre ou que l'on utilise un embout focalisateur, il est possible d'améliorer le rendement du couplage de 50 % ou plus [12].
- La *fibre optique* doit présenter une *faible atténuation* et *peu de dispersion des impulsions.*
- Le *détecteur* doit être sensible, produire peu de bruit intrinsèque et posséder une largeur de bande adaptée au débit binaire.
- En principe, la sensibilité des détecteurs du type photodiode à avalanche est de 5...20 dB supérieure à celle des récepteurs à diodes PIN.

4 Codes de transmission adaptés aux systèmes optiques en mode MIC

41 Exigences posées aux codes

Le choix d'un code de transmission aboutit toujours à un compromis entre un code pouvant être facilement généré et un code autorisant une distance aussi grande que possible entre les amplificateurs intermédiaires. Dans les systèmes MIC, le code doit, en outre, permettre la mesure du taux d'erreurs de bits pendant l'exploitation.

Il y a de nombreuses années déjà qu'on a développé et utilisé dans des systèmes de transmission traditionnels des codes qui satisfaisaient à ces exigences. De là à utiliser ces mêmes codes ou des codes légèrement modifiés pour des systèmes de transmission opto-numériques, il n'y avait qu'un pas. Toutefois, pour le choix du code, il importait de tenir compte des différences entre la technique de transmission traditionnelle et la technique optique. On se rend facilement compte que, dans les systèmes classiques, la transmission des états positifs, nuls et négatifs ne pose aucun problème. Tel n'est cependant pas sans autre le cas dans la transmission des signaux lumineux, où l'on ne distingue que deux états: présence ou absence de lumière, une «lumière négative» n'existant pas.

Malgré cela, on parvient à transmettre des codes à plus de deux niveaux sur des trajets optiques. Il suffit d'envoyer sur la fibre un flux lumineux constant, dont l'intensité est, par exemple, 50 % de l'intensité maximale, ce qui permet l'utilisation d'un code ternaire.

dem muss es der Code in PCM-Systemen gestatten, die Bitfehlerrate während des Betriebes zu messen.

Schon vor Jahren wurden Codes entwickelt und in konventionellen Übertragungssystemen eingesetzt, die diese Forderungen erfüllen. Es scheint deshalb naheliegend, für optische digitale Lichtleitersysteme dieselben oder etwas modifizierte Codes zu verwenden. Bei deren Wahl gilt es allerdings, die Unterschiede zwischen der konventionellen und der optischen Übertragungstechnik zu berücksichtigen. So ist zum Beispiel bei konventionellen Systemen das Übertragen von «Positiv-, Null- und Negativsignalen» möglich. Bei der Übertragung von Licht dagegen bestehen nur zwei Zustände: Licht vorhanden oder nicht. «Negatives Licht» existiert nicht.

Trotz dieser Tatsache gelingt es, auch auf optischen Strecken Codes mit mehr als zwei Pegeln zu übertragen. Das Aufprägen eines konstanten Lichtstromes — beispielsweise der Hälfte der maximalen Intensität — erlaubt, ternäre Codes zu verwenden.

Folgende Punkte sind bei der Codewahl zu berücksichtigen:

- Der Code sollte wenn möglich eine Verminderung der Impulsbelastung beziehungsweise der Verlustleistung im Lichtsender bewirken.
- Übertragungscodes, die eine Erhöhung der oberen Grenzfrequenz zur Folge haben, weisen den Nachteil auf, dass mit steigender Bandbreite auch der Rauschpegel im Empfänger nachteilig erhöht wird.
- Codes mit hoher Taktinformation ergeben einfache und stabile Taktaufbereitungsschaltungen.
- Eine genügend grosse Code-Redundanz muss eine kontinuierliche Bitfehler-Erkennung ermöglichen, ohne dass dabei die Datenübertragung unterbrochen werden muss (Code-Redundanz: Mehrinformation, die über das für ein richtiges Erkennen Notwendige hinausgeht).
- Der Code muss transparent sein. Beliebige Signale vor der Codierung und nach ihrer Decodierung müssen gleiches Aussehen haben. Mehrdeutigkeiten dürfen bei der Decodierung nicht entstehen.
- Der Code sollte ein Leistungsspektrum aufweisen, das keinen hohen Anteil tiefer Frequenzen enthält. Der Vorteil solcher Codes zeigt sich besonders in wechselstromgekoppelten Empfängern (keine Pegelabwanderung der Bezugslinie).
- Die Codewandler sollten mit möglichst geringem Schaltungsaufwand verwirklicht werden können.
- Die Unlinearitäten der optischen Quelle und der Empfangselemente müssen bei der Codewahl mitberücksichtigt werden. Codes mit mehr als 2 Pegeln stellen hohe Anforderungen an die Linearisierschaltung im Sender und an die Betriebskonstanz der Lichtquellen und Empfänger.

Eine Übersicht wichtiger Eigenschaften von einigen einfachen Codes liefert die *Tabelle I*.

Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, dass für digitale Lichtleiterübertragung vier Codes von besonderem Interesse sind:

- bei den binären Codes: der CMI-, der Kurzplus-CMI- und der «2-Pegel-HDB3-Code» (HDB = High Density Bipolar)
- als ternärer Code: der HDB3-Code

Les points suivants sont à considérer lors du choix du code:

- La densité des impulsions du code ne devrait pas charger exagérément la source lumineuse, ce qui conduirait à une puissance dissipée trop élevée.
- Les codes pour la transmission desquels il faut recourir à une fréquence limite supérieure plus élevée ont pour conséquence d'entraîner une augmentation gênante du niveau de bruit à la réception, en raison de l'accroissement de la largeur de bande.
- Les codes contenant une information d'horloge très dense permettent l'emploi de circuits de synchronisation simples et stables.
- Le code doit être suffisamment redondant pour permettre une reconnaissance continuelle des erreurs de bits, sans qu'il faille pour cela interrompre la transmission de données (un code est dit redondant lorsqu'il contient plus d'information que nécessaire pour reconnaître correctement l'information).
- Le code doit être «transparent», ce qui signifie que des signaux quelconques codés ne doivent pas être altérés après le décodage. Aucune équivoque ne doit surgir après le décodage.
- Le code ne devrait pas présenter une haute concentration des fréquences basses dans le spectre transmis. L'avantage de tels codes se manifeste surtout dans les détecteurs travaillant avec des signaux alternatifs (pas de dérive de niveau par rapport à la ligne de référence).
- Les circuits des convertisseurs de codes devraient être aussi peu sophistiqués que possible.
- Lorsqu'on choisit le code, il faut tenir compte du fait que les caractéristiques de la source optique et des éléments détecteurs ne sont pas absolument linéaires. Les codes ayant plus de deux niveaux posent de hautes exigences au circuit correcteur de linéarité de l'émetteur et à la stabilité de la source lumineuse du détecteur.

Le *tableau I* donne un aperçu des caractéristiques essentielles de quelques codes simples.

On s'aperçoit que quatre codes sont particulièrement intéressants pour la transmission de signaux numériques sur des fibres optiques:

- parmi les codes binaires: le code CMI, le code CMI à impulsions brèves et le code «HDB3 à 2 niveaux» (HDB = Haute densité bipolaire)
- parmi les codes ternaires: le code HDB3

Etant donné que la transmission de codes à 3 niveaux impose de hautes exigences aux sources et aux détecteurs et qu'elle implique des équipements sophistiqués, on préfère aujourd'hui les codes à 2 niveaux plus simples dans les systèmes optiques, raison pour laquelle nous nous bornerons à traiter ces derniers:

42 Code CMI

Pour représenter «l'état binaire zéro», ce code utilise une combinaison de demi-bits «zéro-un» et convertit alternativement «l'état binaire un» en une combinaison de demi-bits «un-un» et «zéro-zéro» (d'où son nom: Coded

Tabelle I. Verschiedene Codes und deren Eigenschaften
Tableau I. Codes divers et leurs propriétés

	Eigenschaften / Caractéristiques / Code	Impulsform / Forme des impulsions	Mittlere Impulsbelastung bei 50 % «1» / Charge moyenne de la source par les impulsions pour 50 % de «1»	Bandbreitenbedarf = X × Bitrate / Largeur de bande nécessaire = X × débit binaire	Taktregeneration / Régénération du rythme	Bitfehlererkennung / Reconnaissance des erreurs de bits	Codetransparenz / Transparence du code	Spektrum ohne Anteil tiefer Frequenzen / Spectre sans composante «fréquences basses»
2-Pegel-Codes (binäre Codes) / Codes à 2 niveaux (codes binaires)	Binär (rein) NRZ Binaire (pur) NRZ		0,5	0,7	Nein Non	Nein Non	Ja Oui	Nein Non
	Bi-Phasen Biphasé		0,5	1,4	Ja Oui	Ja Oui	Nein[1] Non[1]	Ja Oui
	Miller		0,5	1,4	Ja Oui	Ja Oui	Nein[1] Non[1]	Ja Oui
	CMI		0,5	1,4	Ja Oui	Ja Oui	Ja Oui	Ja Oui
	Kurzpuls-CMI CMI à impulsions brèves		0,25	2,8	Ja Oui	Ja Oui	Ja Oui	Ja Oui
	«2-Pegel HDB3» «HDB3 à 2 niveaux»		0,5	1,4	Ja Oui	Ja Oui	Ja Oui	Ja Oui
3-Pegel-Codes (ternäre Codes) / Codes à 3 niveaux (codes ternaires)	AMI		0,25	0,7	Nein Non	Ja Oui	Ja Oui	Ja Oui
	HDB3		0,25	0,7	Ja Oui	Ja Oui	Ja Oui	Ja Oui

[1] Zusätzliche Massnahmen sind für die Synchronisation erforderlich – La synchronisation nécessite des moyens supplémentaires

Weil das Übertragen von 3-Pegel-Codes hohe Anforderungen an die Sende- und Empfangseinheiten stellt und sich daraus ein hoher Aufwand ergibt, werden in optischen Systemen zurzeit meistens die einfacheren 2-Pegel-Codes bevorzugt, weshalb hier nur diese behandelt werden.

42 CMI-Code

Zur Darstellung des binären «Nullzustandes» benützt dieser Code die Bithälftenkombination «Null-Eins» und wandelt den binären «Einszustand» abwechselnd in die Bithälftenkombination «Eins-Eins» und «Null-Null» (daher der Name: Coded Mark Inversion, CMI). Das Bildungsgesetz geht aus *Figur 29* hervor.

Die Vorteile des CMI-Codes sind: hohe Taktinformation, Fehlererkennungsmöglichkeit, Codetransparenz, Leistungsspektrum ohne Anteil tiefer Frequenzen, einfache Codewandler. Als Nachteil ist der erhöhte Bandbreitenbedarf zu erwähnen.

Der CMI-Code stammt aus der Gruppe der sogenannten 1b-2b-Codes (1 bit wird in 2 bit umgewandelt). In der Literatur [13, 14] ist er auch unter dem Namen «2-Pegel-AMI-Code» aufgeführt, da er durch geeignetes Verarbeiten aus dem ternären AMI-Code gewonnen werden kann *(Fig. 30)*.

43 Kurzpulscodes

Steht bei einem Übertragungssystem die Forderung nach einem möglichst geringen Leistungsbedarf des Zwischenverstärkers im Vordergrund, so bieten Codes mit kurzen Tastzeiten interessante Möglichkeiten. Ein Codierverfahren, das am Ausgang nur kurze Impulse lie-

Mark Inversion = CMI). La loi de formation de ce code ressort de la *figure 29*.

Les avantages du code CMI sont: haute teneur en informations d'horloge, possibilité de reconnaissance d'erreurs, transparence, absence de fréquences basses dans le spectre transmis, transcodeurs simples. En tant qu'inconvénient, il faut relever la grande largeur de bande nécessaire.

Le code CMI appartient au groupe des codes 1B–B (1 bit est converti en 2 bits). Dans les ouvrages cités en bibliographie [13, 14], il figure aussi sous le nom de «code AMI à 2 niveaux», vu qu'il peut aussi être tiré du code AMI ternaire par un traitement convenable *(fig. 30)*.

43 Codes à impulsions brèves

Si, dans un système de transmission, on désire que les amplificateurs intermédiaires consomment peu, les codes à temps de modulation très bref offrent des possibilités intéressantes. Le procédé de codage représenté

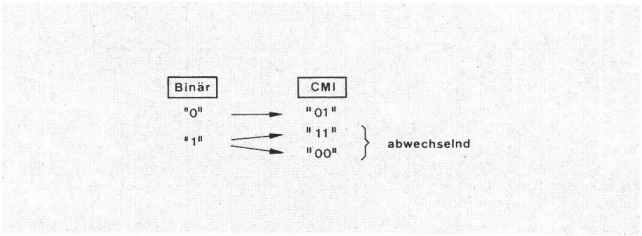

Fig. 29
Bildungsgesetz des CMI-Codes — Loi de formation du code CMI
Abwechselnd — Alternativement
Binär — Binaire

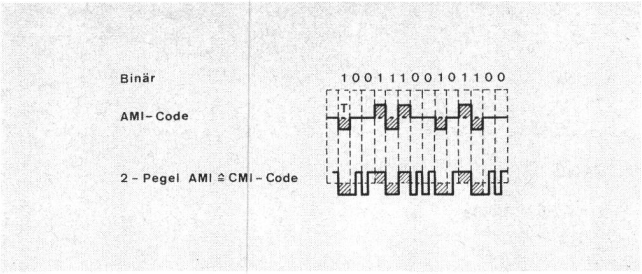

Fig. 30
Impulsdiagramm des ternären AMI-Codes und des «2-Pegel AMI-Codes» beziehungsweise CMI-Codes — Diagramme des impulsions du code AMI ternaire et du «code AMI à 2 niveaux» ou du code CMI
Binär — Binaire
AMI-Code — Code AMI
«2-Pegel AMI» ≙ CMI-Code — «Code AMI à 2 niveaux» ≙ code CMI

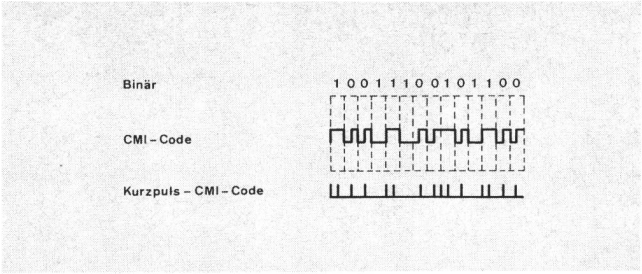

Fig. 31
Impulsdiagramm des CMI-Codes und des Kurzpuls-CMI-Codes — Diagramme des impulsions du code CMI et du code CMI à impulsions brèves
Binär — Binaire
CMI-Code — Code CMI
Kurzpuls-CMI-Code — Code CMI à impulsions brèves

fert, wandelt zum Beispiel einen CMI-Code in einen Kurzpuls-CMI-Code, wie dies in *Figur 31* dargestellt ist.

Vorteilhaft ist auch, dass Kurzpulscodes geringere Dispersionsprobleme bieten als solche mit einem mittleren Tastverhältnis von 0,5. Nachteilig wirkt sich dagegen bei Kurzpulscodes der erhöhte Bandbreitenbedarf aus.

44 «2-Pegel-HDB3-Code»

In ähnlicher Art wie der AMI-Code lässt sich auch der vorwiegend in Europa verbreitete HDB3-Code umwandeln, womit der «2-Pegel-HDB3-Code» entsteht (der Codename wird hier in Anlehnung an die Bezeichnung «2-Pegel-AMI-Code» der Literaturstelle [13] gewählt).

Das Bildungsgesetz lautet:

- jeder positive «Einszustand» im HDB3-Code (NRZ) wird in eine Bithälftenkombination «11» gewandelt
- jeder negative «Einszustand» im HDB3-Code wird in eine Bithälftenkombination «00» gewandelt
- jeder «Nullzustand» im HDB3-Code wird in die Bithälftenkombination «01» (oder: «10» als Variante dazu) gewandelt

Figur 32 stellt dieses Bildungsgesetz und ein Impulsdiagramm des «2-Pegel-HDB3-Codes» dar.

Ein Vergleich des CMI-Codes mit dem «2-Pegel-HDB3-Code» zeigt, dass grundsätzlich kein Vorteil des einen Codes gegenüber dem andern besteht. Denkbar ist jedoch, dass in Ländern, die vorwiegend den HDB3-Code benützen, der «2-Pegel-HDB3-Code» bevorzugt wird, weil damit das Umcodieren direkt und auf einfache Art stattfinden kann. Die Schaltungsbeispiele der *Figur 33* zeigen, wie einfach solche Codewandler werden.

45 Codes mit geringerem Bandbreitenbedarf

Stellt die Bandbreite eines optischen Systems den begrenzenden Parameter dar, so kann auf Codes ausgewichen werden, die weniger Bandbreite benötigen als die bereits beschriebenen. Solche Codes sind unter den Bezeichnungen 2B3B-Codes [13], 7B8B-Codes, 17B18B-Codes [17] usw. bekannt. Wohl werden dadurch geringere Bandbreiten erreicht, doch erfordert die damit verbundene Redundanzverminderung einen entsprechenden Mehraufwand bei der Fehlererkennung. Verhältnismäs-

à la *figure 31* consiste, par exemple, dans la conversion d'un code CMI en un code CMI à impulsions brèves. Un avantage des codes à impulsions brèves est qu'ils posent moins de problèmes au point de vue de la dispersion que les codes utilisant un rapport de modulation moyen de 0,5. L'inconvénient de tels codes est, en revanche, la largeur de bande plus grande qu'ils exigent.

44 «Code HDB3 à 2 niveaux»

Le code HDB3, surtout répandu en Europe, peut être converti de la même manière que le code AMI, ce qui conduit au «code HDB3 à 2 niveaux» (cette désignation s'apparente à celle du code «AMI à 2 niveaux» qui figure dans les ouvrages cités en bibliographie [13]).

La loi de formation de ce code est la suivante:

- chaque «état binaire un» positif du code HDB3 (NRZ) est converti en une combinaison de demi-bits «11»
- chaque «état binaire un» négatif du code HDB3 est converti en une combinaison de demi-bits «00»

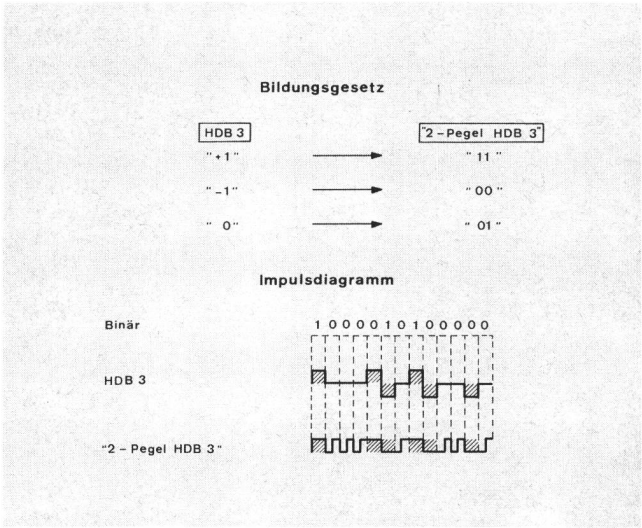

Fig. 32
Bildungsgesetz und Impulsdiagramm des «2-Pegel HDB3-Codes» — Loi de formation et diagramme des impulsions du «code HDB3 à 2 niveaux»
Bildungsgesetz — Loi de formation
Impulsdiagramm — Diagramme des impulsions
Binär — Binaire
«2-Pegel HDB3» — «HDB3 à 2 niveaux»

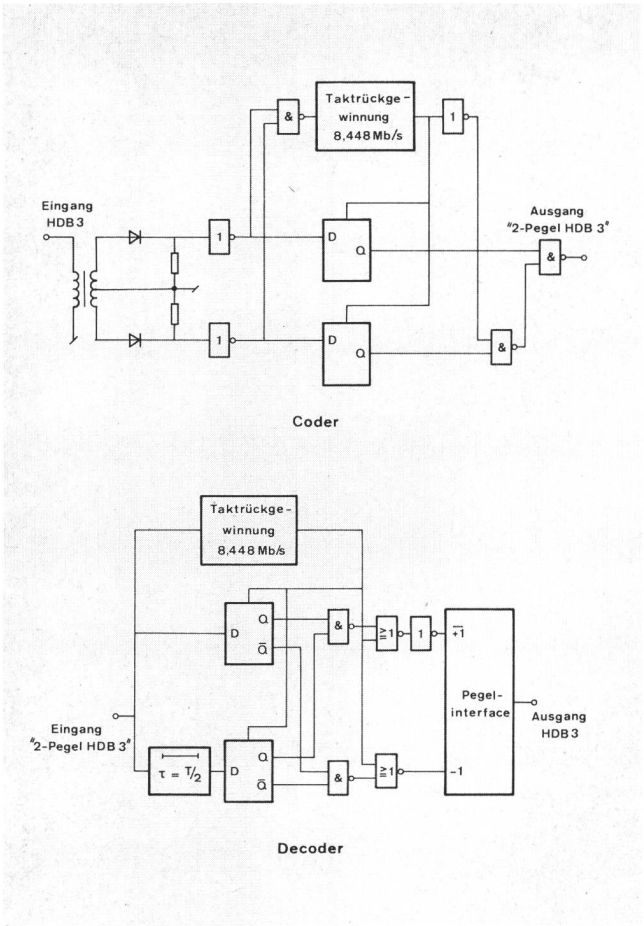

Fig. 33
Coder- und Decoderschaltung für «2-Pegel HDB3-Code» — Codeur et décodeur pour «code HDB3 à 2 niveaux»
Taktrückgewinnung — Récupération
Eingang — Entrée
Ausgang «2-Pegel HDB3» — Sortie «HDB3 à 2 niveaux»
Eingang «2-Pegel HDB3» — Entrée «HDB3 à 2 niveaux»
Coder — Codeur
Decoder — Décodeur
Pegelinterface — Interface des niveaux
Ausgang HDB 3 — Sortie HDB3

sig aufwendige Codekonverter sind daher nötig, um aus der verbleibenden Redundanz eine Fehlererkennung durchzuführen.

5 Allgemeines zum Versuchssystem

Es wurde ein Lichtwellenleiter-Versuchssystem entwickelt, das als Ergebnis eines in der Abteilung Forschung und Entwicklung der PTT durchgeführten Kurzprojektes entstand. Die Entwicklung und der Aufbau dieses digital-optischen Versuchssystems ermöglichten es, die mannigfaltigen Probleme aus den Bereichen der Übertragungstechnik, der Systemanwendung, der Elektronik und der Optik zu studieren und konkrete Lösungsvorschläge zu erarbeiten. Übertragungsart, Leitungscode, Komponenten und Schaltungstechnik konnten damit unter Laboratoriumsbedingungen auf ihre Tauglichkeit hin untersucht werden. Die dabei gewonnenen ersten Erfahrungen am Versuchssystem sind vielfältig und bestätigen die grossen Zukunftsaussichten optischer Systeme. Ziel anschliessender Arbeiten soll sein, im interzentralen Verkehr Betriebserfahrungen zu sammeln (Projekt Mattenhof-Bollwerk in Bern).

- chaque «état binaire zéro» du code HDB3 est converti en une combinaison de demi-bits «01» (ou: «10» en tant que variante)

La *figure 32* représente cette loi ainsi qu'un diagramme des impulsions propres au code «HDB3 à 2 niveaux».

Si l'on compare le code CMI au «code HDB3 à 2 niveaux», on s'aperçoit qu'ils n'ont pratiquement aucun avantage l'un par rapport à l'autre. On peut tout au plus imaginer que, dans les pays utilisant surtout le code HDB3, le «code HDB3 à 2 niveaux» soit préféré, en raison de la simplicité du transcodage. Les transcodeurs peu compliqués nécessaires à cet effet sont représentés à la *figure 33.*

45 Code à largeur de bande plus étroite

Si la largeur de bande d'un système optique est le paramètre qui impose des limitations, on peut recourir à un code exigeant un spectre plus étroit. De tels codes sont connus sous la désignation codes 2B3B [13], codes 7B8B et codes 17B18B [17], etc. S'il est vrai que de tels codes requièrent une largeur de bande plus étroite, ils exigent, en revanche, des circuits plus compliqués pour la reconnaissance des erreurs, en raison de la nécessité de diminuer la redondance. Il est, dès lors, nécessaire d'utiliser des transcodeurs assez sophistiqués pour reconnaître une erreur, compte tenu de la redondance réduite.

5 Généralités concernant le système d'essai

Le système d'essai de transmission par guide optique est en fait le résultat «hardware» d'un projet à petite échelle réalisé à la Division des recherches et du développement des PTT. En mettant au point cet ensemble expérimental opto-numérique, il a été possible d'étudier les nombreux problèmes rattachés à la technique de transmission, à l'application du système, à l'électronique et à l'optique, tout en élaborant des propositions de solution réelles. C'est ainsi qu'il fut possible d'examiner dans des conditions de laboratoire si les modes de transmission, les codes transmis en ligne, les composants et la technique de connexion sont utilisables en pratique. Les premières expériences acquises sont multiples et confirment le bien-fondé des espoirs que l'on place dans les systèmes optiques. Le but des travaux qui vont suivre est de recueillir des expériences pratiques dans le domaine du trafic échangé entre des centraux (projet Mattenhof-Bollwerk à Berne).

6 Conception du trajet de transmission

Dès le début du projet, il a été décidé que le système d'essai devrait répondre aux conditions extérieures suivantes:

- le dispositif de transmission optique doit être capable de véhiculer des débits binaires de 8,448 Mbit/s d'un système MIC du 2e ordre
- les signaux électriques sous forme d'un code HDB3 doivent pouvoir être injectés et repris du système optique à une interface appropriée

6 Übertragungskonzept

Bei Projektbeginn wurden die äusseren Gegebenheiten für das zu entwickelnde Versuchssystem wie folgt festgelegt:

- auf der optischen Übertragungsstrecke sollen Bitraten der 2. PCM-Hierarchie von 8,448 Mbit/s übertragen werden
- als Übernahme- und Übergabestelle soll eine Trennstelle dienen, die elektrische Signale in der Form des HDB3-Codes liefert

Weiter war zu berücksichtigen, dass bei Aufnahme der Projektarbeiten folgende Erschwernisse bestanden:

- von «schnellen» Lichtleitersystemen waren weder detaillierte Unterlagen noch irgendwelche Systemteile verfügbar
- die optoelektronischen Wandler und Glasfaserkabel waren sehr teuer, nicht umfassend spezifiziert und, wenn überhaupt erhältlich, so nur in einfachster Form

Ausgehend von dieser Lage wurde ein Grobkonzept mit folgenden Merkmalen aufgestellt *(Fig. 34)*:

- der Versuchsaufbau bietet die Möglichkeit, auf der optischen Strecke beliebige 2-Pegel-Übertragungscodes zu untersuchen. Um den Aufwand in tragbaren Grenzen zu halten, werden jedoch nur zwei binäre Codes erzeugt:
  - der CMI-Code (siehe 42)
  - der Kurzpuls-CMI-Code mit Impulsen von 20 ns Dauer (siehe 43)
- diese Codes werden durch mehrfaches Umwandeln aus dem «Trennstellen-Code» gewonnen
- das Überwachen der Bitfehler ist während des Betriebes möglich
- als optische Quelle wird eine CW-Laserdiode eingesetzt, die im Ein-Aus-Betrieb arbeitet
- eine PIN-Photodiode dient als Detektorelement
- ein Transimpedanzverstärker bildet die Eingangsstufe des Empfängers
- als Übertragungsmedium dient eine Gradientenprofilfaser
- die Einkopplung des Lichtes in die Faser wird mit einfachen Mitteln verwirklicht (ohne zusätzliche Massnahmen zur Bündelung der Strahlen)
- im Zwischenverstärker findet eine vollständige Signalregeneration (Amplitude, Takt und Impulsflanken) statt
- im Funktionsprinzip setzt sich der Zwischenverstärker aus gleichen oder ähnlichen Einheiten zusammen, wie sie im Sende- und Empfangsterminal gebraucht werden
- mit Ausnahme der Laserdiode werden ausschliesslich preiswerte und im Handel verbreitete Halbleiterkomponenten eingesetzt
- für die digitalen Funktionen werden integrierte Bauteile der TTL/S-Schaltkreisfamilie verwendet

61 Wahl der optoelektronischen Komponenten

611 Optische Quelle

Als Sendeelement gelangt im Versuchssystem eine GaAlAs-Laserdiode zum Einsatz *(Fig. 35)*, deren typische

De plus, au début des travaux, il fallut encore tenir compte de certaines difficultés existantes, à savoir:

- dans le domaine des systèmes optiques à haute vitesse de transmission, on ne disposait ni de spécifications détaillées ni de systèmes partiels
- les convertisseurs opto-électroniques et les câbles à fibres optiques étaient très coûteux, mal définis et il était difficile de les obtenir, sinon sous leur forme la plus simple

En partant de cette situation, on esquissa un concept sommaire qui devait répondre aux critères suivants *(fig. 34)*:

- le modèle d'essai permettra d'examiner sur le trajet optique des codes de transmission quelconques à

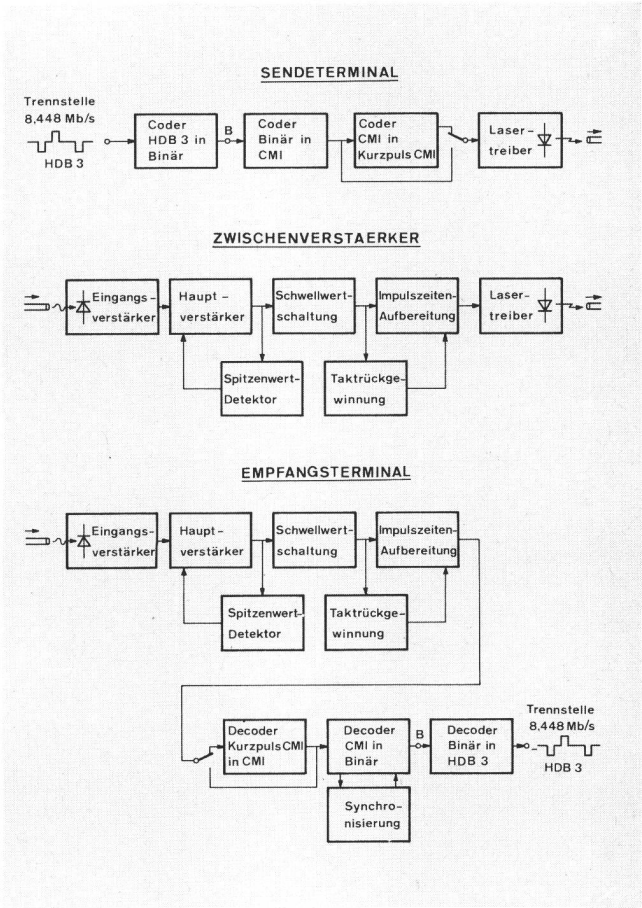

Fig. 34
Grobkonzept des digital-optischen 8,448-Mbit/s-Versuchssystems — Conception sommaire du système d'essai opto-numérique à 8,448 Mbit/s
Sendeterminal — Terminal d'émission
Trennstelle 8,448 Mbit/s — Interface 8,448 Mbit/s
Coder HDB3 in Binär — Transcodeur HDB3-binaire
Coder Binär in CMI — Transcodeur binaire-CMI
Coder CMI in Kurzpuls CMI — Transcodeur CMI-CMI à impulsions brèves
Lasertreiber — Etage d'attaque du laser
Repeater — Amplificateur intermédiaire
Verstärker — Amplificateur
Hauptverstärker — Amplificateur principal
Schwellwertschaltung — Détecteur de seuil
Impulszeiten-Aufbereitung — Mise en forme des impulsions
Spitzenwert-Detektor — Détecteur de valeur de crête
Taktrückgewinnung — Récupération du rythme
Empfangsterminal — Terminal de réception
Decoder Kurzpuls CMI in CMI — Décodeur CMI à impulsions brèves-CMI
Decoder CMI in Binär — Décodeur CMI-binaire
Decoder Binär in HDB3 — Décodeur HDB3-binaire
Synchronisierung — Synchronisation

Kennwerte bei einer Temperatur von 27° C wie folgt spezifiziert sind:

Optische Ausgangsleistung (CW)	P_o	=	14 mW
Durchlassstrom	I	=	300 mA
Schwellenstrom	I_s	=	200 mA
Wellenlänge	λ	=	820...850 nm
Spektrale Breite	$\Delta\lambda$	=	2,5 nm
Abmessungen der Strahlungsquelle	$l \cdot b$	=	13 μ m × 0,25 μm
Anstiegszeit der Strahlung	t_r	=	0,1 ns
Durchlassspannung (bei I = 300 mA)	U	=	1,8 V

612 Optischer Detektor

Als optoelektronische Empfangselemente wurden im Versuchssystem PIN-Dioden eingesetzt *(Fig. 36)*, die sich durch einen geringen Dunkelstrom und kurze Schaltzeiten auszeichnen. Deren wichtigste Eigenschaften sind:

Bestrahlungsempfindliche Fläche	A	=	1 mm²
Wellenlänge der maximalen Empfindlichkeit	λ	=	850 nm
Quantenausbeute	η	=	0,8
Spektrale Photoempfindlichkeit (λ = 850 nm)	R	=	0,55 A/W
Anstiegszeit des Photostromes	t_r	=	0,5 ns
Diodenkapazität (U_R = 20 V)	C	=	3,5 pF
Dunkelstrom (U_R = 20 V)	I_R	=	1 nA
Rauschäquivalente Strahlungsleistung	NEP	=	$3{,}3 \cdot 10^{-14} W/\sqrt{Hz}$

deux niveaux. Dans le dessein de limiter les moyens mis en œuvre, on s'est borné à générer deux codes binaires seulement:
  - le code CMI (voir 42)
  - le code CMI à impulsions brèves, d'une durée de 20 ns (voir 43)
- par conversion multiple, ces codes sont obtenus à partir du «code disponible à l'interface»
- il doit être possible de surveiller les erreurs de bits pendant le service
- la source optique sera une diode laser «CW» fonctionnant en régime en/hors
- une photodiode PIN servira d'élément détecteur
- un amplificateur-transformateur d'impédance constituera l'étage d'entrée du récepteur
- le support de transmission sera une fibre à gradient d'indice
- la lumière sera couplée à la fibre avec des moyens simples (sans dispositif additionnel de focalisation des rayons)
- les signaux seront entièrement régénérés dans l'amplificateur intermédiaire (amplitude, rythme et flancs des impulsions)
- quant à son principe de fonctionnement, l'amplificateur intermédiaire se composera des mêmes unités que celles du terminal d'émission et du terminal de réception
- à l'exception de la diode laser, on n'utilisera que des composants à semi-conducteurs d'un prix abordable, pouvant être obtenus dans le commerce
- les fonctions numériques seront assurées par des composants électroniques intégrés de la série des circuits TTL/S

61 Choix des composants opto-électroniques

611 Source optique

La source du système d'essai est une diode laser GaA1As *(fig. 35)*, dont les caractéristiques typiques à une température de 27° C sont les suivantes:

Puissance optique émise (CW)	P_o	=	14 mW

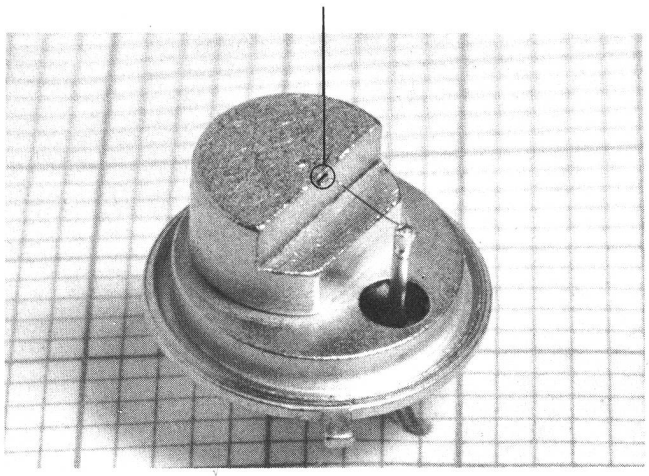

Fig. 35
Laserdiode als optische Quelle — Diode laser en tant que source de signaux optiques
Laserkristall — Cristal laser

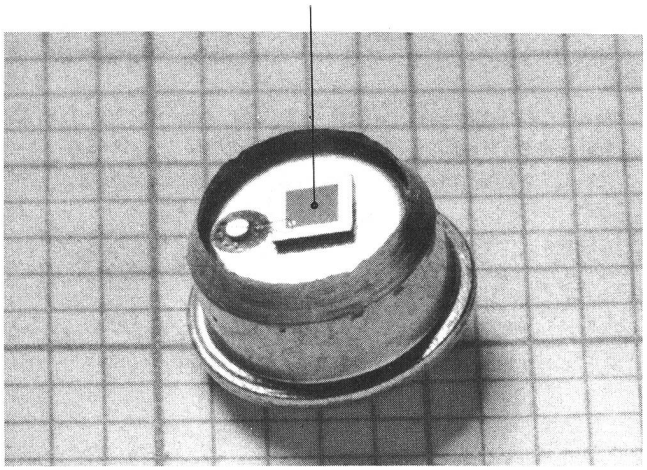

Fig. 36
PIN-Photodiode als optischer Detektor — Photodiode PIN en tant que détecteur de signaux optiques
Bestrahlungsempfindliche Fläche — Surface sensible aux rayonnements

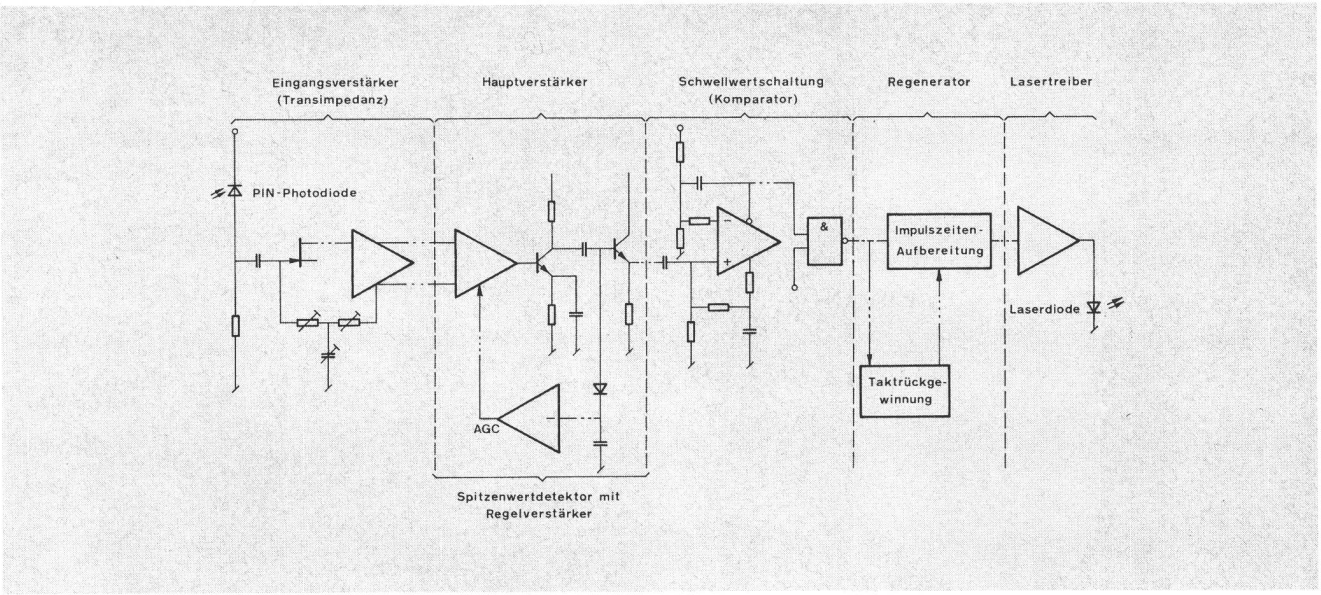

Fig. 37
Schaltungsprinzip des Zwischenverstärker — Schéma de principe de l'amplificateur intermédiaire
Eingangsverstärker (Transimpedanz) — Amplificateur-transformateur d'impédance à l'entrée
Hauptverstärker — Amplificateur principal
Schwellwertschaltung (Komparator) — Détecteur de seuil (comparateur)
Regenerator — Régénérateur
Lasertreiber — Etage d'attaque du laser
PIN-Photodiode — Photodiode PIN
Impulszeiten-Aufbereitung — Mise en forme des impulsions
Laserdiode — Diode laser
Taktrückgewinnung — Récupération du rythme
Spitzenwertdetektor mit Regelverstärker — Détecteur de valeur de crête avec amplificateur-régulateur

7 Kurzbeschreibung der Schaltungen

71 Zwischenverstärker

Wie *Figur 37* zeigt, setzt sich der Zwischenverstärker aus folgenden Funktionseinheiten zusammen: Eingangs- und Hauptverstärker, Spitzenwertdetektor, Schwellwertschaltung, Taktrückgewinnung, Impulszeitenaufbereitung und Lasertreiber:

- Die von der PIN-Photodiode empfangenen Signale werden von einem rauscharmen VHF-Feldeffekttransistor und einem nachfolgenden integrierten Video-Verstärker verstärkt. Zusammen arbeiten diese Komponenten als Transimpedanzverstärker. Das Verändern der Werte eines frequenzabhängigen T-Netzwerkes im Stromrückkopplungspfad erlaubt eine individuelle Anpassung der Verstärkerbandbreite an den Bandbreitenbedarf des jeweils verwendeten Codes. *Figur 38* zeigt drei mögliche Einstellungen von Amplituden- und Phasengang.
- Ein monolithisch integrierter Verstärker bildet mit zwei diskreten Transistoren den Hauptverstärker. Das Signal wird ausserdem in einem Spitzenwertdetektor gleichgerichtet. Die so gewonnene amplitudenabhängige Gleichspannung steuert einen Regler, der das Ausgangssignal in einem bestimmten Arbeitsbereich konstant hält.
- Die wichtige Funktion der binären Beurteilung des Signals wird in der Schwellenschaltung vorgenommen. Sie umfasst einen integrierten Schaltkreis und ein externes RC-Netzwerk. Diesem schnellen Komparator fällt die Aufgabe zu, kleine kurzdauernde Impulse (12 mV, 20 ns) sicher zu erkennen, dies auch bei hohen Wiederholfrequenzen *(Fig. 39)*.
- Die Regeneration der Impulse wird in den Funktionseinheiten der Taktrückgewinnung und der Impulszei-

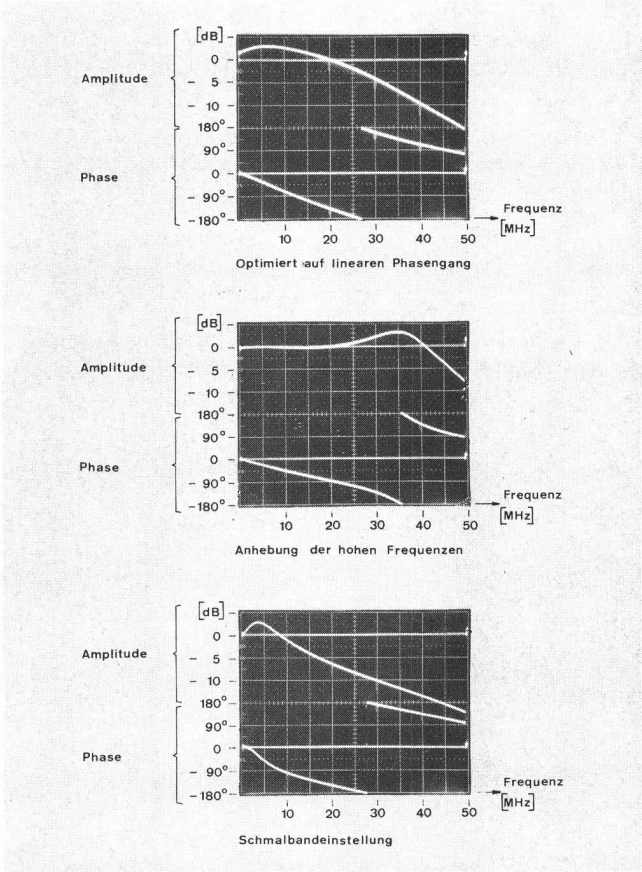

Fig. 38
Drei verschiedene Amplituden-/Phasengänge des Verstärkers — Trois réponses en amplitude et en phase différentes de l'amplificateur d'entrée
Frequenz — Fréquence
Optimiert auf linearen Phasengang — Optimisé pour une réponse en phase linéaire
Anhebung der hohen Frequenzen — Accentuation des fréquences élevées
Schmalbandeinstellung — Réglage «bande étroite»

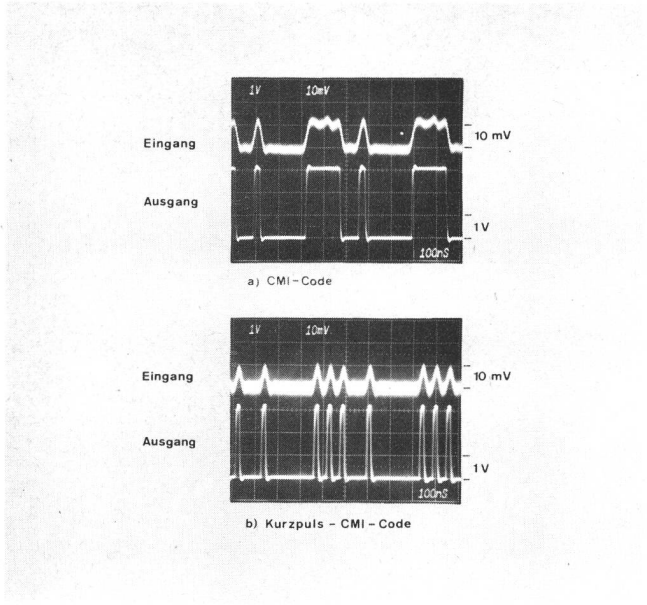

Fig. 39
Impulsverarbeitung in der Schwellwertschaltung — Conditionnement des impulsions dans le circuit de seuil (comparateur)
Eingang — Entrée
Ausgang — Sortie
a) CMI-Code — Code CMI
b) Kurzpuls-CMI-Code — Code CMI à impulsions brèves

tenaufbereitung vorgenommen. Mit Jitter behaftete sowie durch Laufzeiteffekte aufgeweitete Eingangsimpulse werden in der Phasenlage, der Impulsbreite und Flanke regeneriert.

- Am Ausgang treibt ein breitbandiger Impulsverstärker die Laserdiode mit kurzen, aber verhältnismässig kräftigen Stromimpulsen.

Der kompakt aufgebaute Zwischenverstärker ist in *Figur 40* dargestellt. *Figur 41* zeigt, dass dem Fernhalten von Störsignalen durch abgeschirmte Einzeleinschübe grosse Beachtung geschenkt wurde, zumal im Zwischenverstärker auf engstem Raum eine leistungsstarke

Courant dans le sens direct	I	=	300 mA
Courant de seuil	I_s	=	200 mA
Longueur d'onde	λ	=	820...850 nm
Largeur du spectre	$\Delta\lambda$	=	2,5 nm
Dimensions de la source	$l \cdot b$	=	13 µm × 0,25 µm
Temps de montée du rayonnement	t_r	=	0,1 ns
Tension dans le sens direct (pour I = 300 mA)	U	=	1,8 V

612 Détecteur optique

En tant qu'élément de réception opto-électronique, on a équipé le système d'essai de diodes PIN *(fig. 36)*, qui se distinguent par leur faible courant d'obscurité et leur temps de commutation bref. En voici les caractéristiques essentielles:

Surface sensible aux rayonnements	A	=	1 mm²
Longueur d'onde à la sensibilité maximale	λ	=	850 nm
Rendement quantique	η	=	0,8
Photosensibilité spectrale (λ = 850 nm)	R	=	0,55 A/W
Temps de montée du courant photoélectrique	t_r	=	0,5 ns
Capacité de la diode (U_R = 20 V)	C	=	3,5 pF
Courant d'obscurité (U_R = 20 V)	I_R	=	1 nA
Puissance de rayonnement équivalente au bruit	NEP	=	$3{,}3 \cdot 10^{-14}\ W/\sqrt{Hz}$

7 Description succincte des circuits

71 Amplificateur intermédiaire

Comme le montre la *figure 37*, l'amplificateur intermédiaire se compose des unités suivantes: amplificateur d'entrée et amplificateur principal, détecteur de valeur de crête, détecteur de seuil, récupération du rythme,

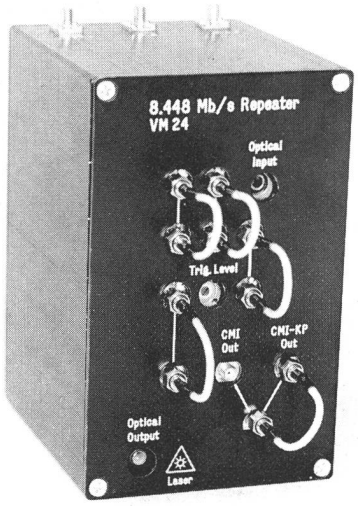

Fig. 40
Zwischenverstärker — Amplificateur intermédiaire

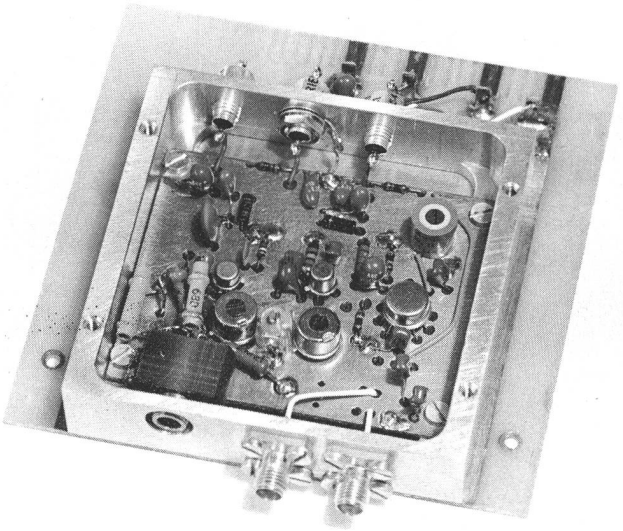

Fig. 41
Geöffneter Einzeleinschub (Eingangsverstärker) — Module enfichable ouvert (amplificateur d'entrée)

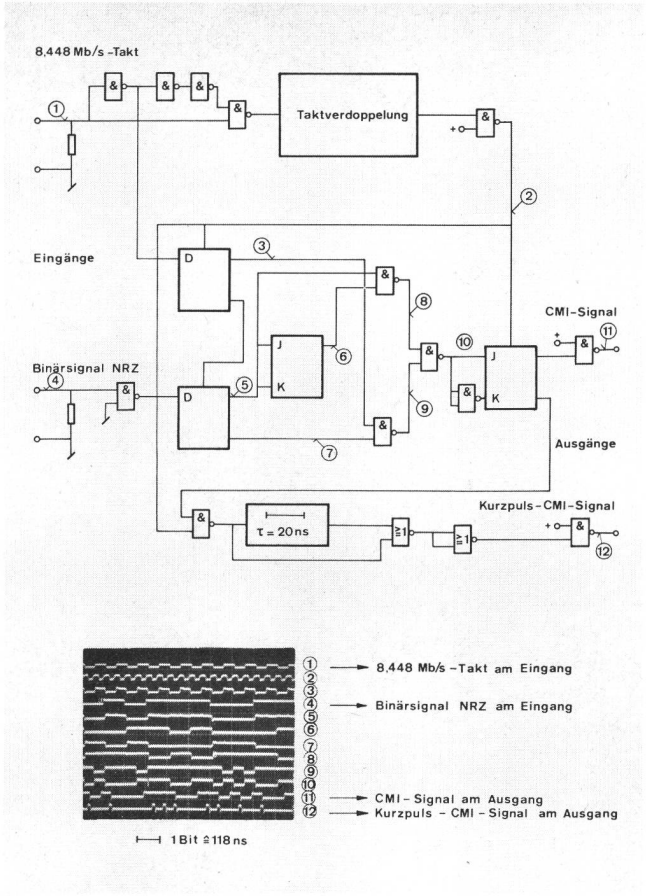

Fig. 42
Schaltungsplan und Impulsdiagramm des «Binär»-in «CMI» in «Kurzpuls-CMI»-Coder — Schéma et diagramme des impulsions du codeur «binaire-CMI» en «CMI à impulsions brèves»
8,448 Mbit/s-Takt — Rythme 8,448 Mbit/s
Taktverdoppelung — Doubleur du rythme
Eingänge — Entrées
Binärsignal NRZ — Signal binaire NRZ
CMI-Signal — Signal CMI
Ausgänge — Sorties
Delay — Temporisateur
Kurzpuls-CMI-Signal — Signal CMI à impulsions brèves
8,448 Mbit/s-Takt am Eingang — Rythme 8,448 Mbit/s à l'entrée
Binärsignal NRZ am Eingang — Signal binaire NRZ à l'entrée
CMI-Signal am Ausgang — Signal CMI à la sortie
Kurzpuls-CMI-Signal am Ausgang — Signal CMI à impulsions brèves à la sortie

Impulsquelle und ein empfindlicher Empfänger untergebracht sind.

72 Terminalausrüstungen

Wie aus dem Blockschaltbild der Figur 34 zu entnehmen ist, enthalten Sende- und Empfangsterminal zum Teil gleiche Funktionseinheiten, wie sie auch im Zwischenverstärker Verwendung finden. Aus diesem Grund wird für deren Schaltkreisbeschreibung auf den Abschnitt «Zwischenverstärker» verwiesen.

721 Coder und Decoder

Sendeseitig arbeitende Coder wandeln das anfallende Trennstellensignal in einen für optoelektronische Zwecke geeigneten Übertragungscode um, das am Ende der Übertragungsstrecke mit einem Decoder wieder in seine Ursprungsform umgeformt wird. Im vorliegenden System finden diese Umwandlungen in je drei Codestufen statt: Das bipolare HDB3-Signal wird im Sendeter-

mise en forme des impulsions et étage d'attaque du laser:

- Les signaux reçus par la photodiode PIN sont amplifiés par un transistor à effet de champ VHF à faible bruit, puis par un amplificateur vidéo en technique intégrée. Ces composants électroniques associés ont la fonction d'un amplificateur-transformateur d'impédance. Une adaptation individuelle de la largeur de bande de l'amplificateur à celle que requiert le code utilisé est assurée par la variation des valeurs d'un réseau en «T» dépendant de la fréquence, monté dans le circuit de contre-réaction en courant. La *figure 38* montre les trois réglages possibles (amplitude et phase).
- L'amplificateur principal comprend un amplificateur monolithique intégré équipé de deux transistors discrets. Le signal est, de plus, redressé par un détecteur de valeur de crête. Il en résulte une tension continue dépendante de l'amplitude, qui commande un régulateur ayant pour fonction de maintenir le signal de sortie constant dans une plage déterminée.
- Le détecteur de seuil a pour fonction importante d'interpréter l'état binaire du signal. Il se compose d'un circuit intégré et d'un réseau RC. Ce comparateur rapide doit reconnaître sûrement les petites impulsions brèves (12 mV, 20 ns), même à des fréquences de récurrence élevées *(fig. 39)*.
- Les impulsions sont régénérées dans les unités de récupération du rythme et de mise en forme des impulsions. Celles qui sont affectées de gigue ou qui sont allongées par des effets dus au temps de propagation sont régénérées quant à leur phase, leur largeur et leurs flancs.
- A la sortie, un amplificateur d'impulsions à large bande attaque la diode laser en lui envoyant des impulsions de courant brèves mais relativement puissantes.

L'amplificateur intermédiaire de construction compacte est représenté à la *figure 40*.

La *figure 41* montre qu'on a attaché beaucoup d'importance à éliminer les signaux perturbateurs en prévoyant des modules enfichables blindés, étant donné que l'amplificateur intermédiaire groupe dans une unité compacte une source d'impulsions puissante et un détecteur sensible.

72 Equipements terminaux

Le schéma de principe de la figure 34 fait apparaître que le terminal d'émission et le terminal de réception se composent en partie des mêmes unités, que l'on retrouve aussi dans l'amplificateur intermédiaire. Pour cette raison, on s'est borné à décrire ces circuits dans le paragraphe réservé à l'amplificateur intermédiaire.

721 Codeurs et décodeurs

Les codeurs opérant du côté émission convertissent le signal délivré par l'interface en un code convenant bien pour la transmission opto-électronique. A l'extrémité du trajet de transmission, un décodeur rétablit la forme originale des signaux. Dans le système décrit, ces transcodages se font dans trois étages, c'est-à-dire que le signal HDB3 bipolaire est tout d'abord transposé en un code binaire, puis en un code CMI et, enfin, en un code

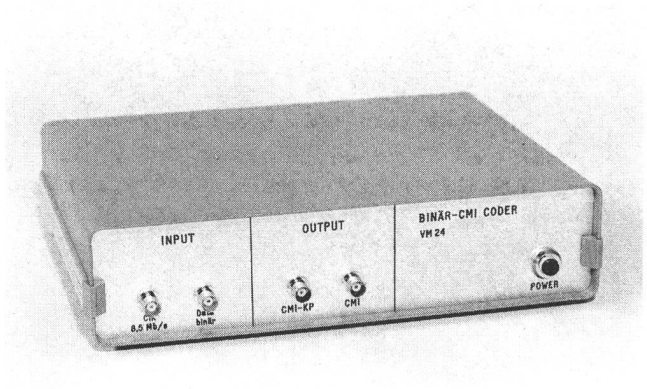

Fig. 43
Laborausführung der Coder — Modèle de laboratoire des codeurs

minal vorerst in den rein binären Code, anschliessend in den CMI-Code und zuletzt in den Kurzpuls-CMI-Code gewandelt. Diese etwas aufwendig erscheinende Umcodierung bietet den Vorteil einer hohen Flexibilität bei Untersuchungen mit verschiedenen Codes (Einsatz von Scrambler oder anderen Biphasencodes möglich).

Ein Schaltplan mit zugehörigem Impulsdiagramm *(Fig. 42)* gibt einen Einblick in die Schaltungstechnik von zwei Codern. Die Laborausführung dieser beiden zu einer Einheit zusammengefassten Coder zeigt *Figur 43.*

8 Messergebnisse

Bei der Beurteilung digitaler Lichtwellenleitersysteme ist die Frage nach dem grösstmöglichen Zwischenverstärkerabstand von zentraler Bedeutung. Damit verknüpft, bildet das Bestimmen der minimalen optischen Empfangsleistung eine der wesentlichen Systemparametermessungen. Ein Mass zum Beurteilen des richtigen Funktionierens digitaler Übertragungssysteme ist die Bitfehlerrate. Eine optische Strecke kann dann als genügend fehlerfrei bezeichnet werden, wenn die Bit-

CMI à impulsions brèves. Cette méthode qui peut sembler quelque peu sophistiquée offre l'avantage d'une haute souplesse lors de l'examen des divers codes (possibilité d'utiliser un brouilleur ou d'autres codes biphasés).

Le schéma synoptique des circuits et le diagramme correspondant des impulsions pour deux codeurs ressortent de la *figure 42.* La *figure 43* montre comment on a réuni les codeurs en une unité dans le modèle de laboratoire.

8 Résultats des mesures

Lorsqu'il s'agit d'évaluer des systèmes numériques de transmission optique, l'écart optimal entre les amplificateurs intermédiaires est un problème d'importance prépondérante. L'un des paramètres essentiels du système, à déterminer par des mesures, est également la puissance minimale du signal optique au point de réception. La grandeur qui caractérise le fonctionnement correct d'un trajet de transmission numérique est le taux d'erreurs de bits. Un trajet optique peut être considéré comme suffisamment exempt d'erreurs lorsque ce taux d'erreurs ne dépasse pas la valeur de 10^{-9} (1 bit erroné sur un milliard de bits transmis correctement).

Au moyen d'un dispositif de mesure ressemblant à celui de la *figure 44,* on a déterminé la puissance optique moyenne minimale au point de réception pour deux codes de transmission différents, essai dont les résultats ressortent de la *figure 45.* Sur ce diagramme, les deux courbes apparaissent comme des droites de même pente. On s'aperçoit aussi que la puissance moyenne minimale au lieu de réception doit être de –36,5 dBm pour le code CMI et de –39 dBm pour le code CMI à impulsions brèves, compte tenu d'un taux d'erreurs de bits de 10^{-9}.

Si l'on connaît, de plus, la puissance optique d'émission (c'est-à-dire la puissance de la source lumineuse au point de départ), l'atténuation kilométrique due à la fi-

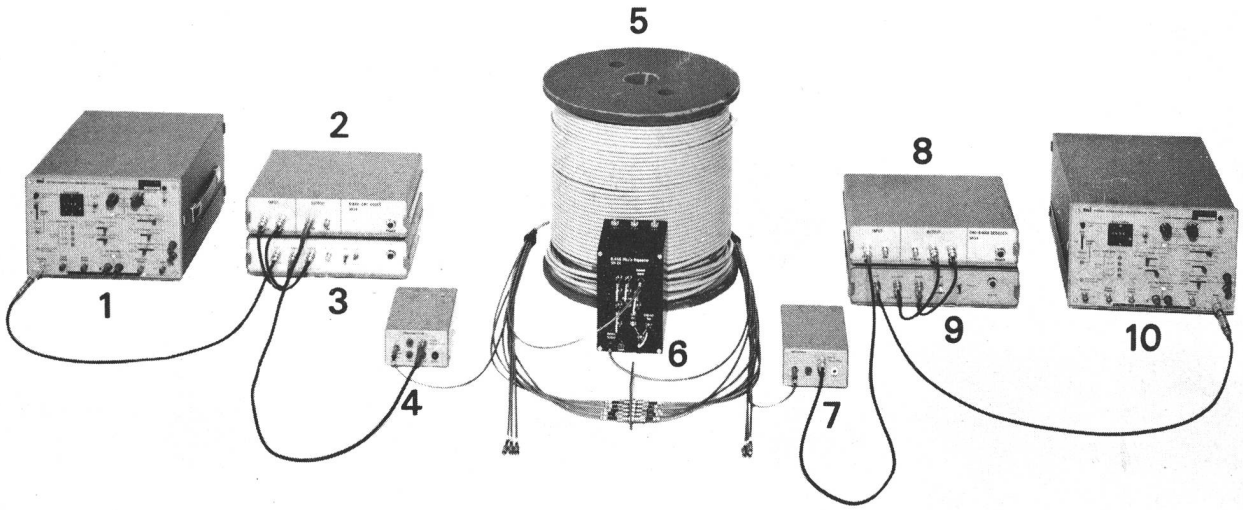

Fig. 44
Laboraufbau des digital-optischen 8,448-Mbit/s-Übertragungssystems — Modèle de laboratoire du système de transmission opto-numérique à 8,448 Mbit/s

1 Pseudorandom Bitgenerator — Générateur de séquences pseudo-aléatoires
2+3 Coder — Codeurs
4 Lasertreiber — Etage d'attaque du laser
5 Optisches Kabel — Câble optique
6 Zwischenverstärker — Amplificateur intermédiaire
7 Optischer Empfänger — Récepteur optique (détecteur)
8+9 Decoder — Décodeurs
10 Bitfehlerrate-Messgerät — Appareil de mesure du taux d'erreurs de bits

fehlerrate den Wert von 10^{-9} nicht überschreitet (ein falsches Bit auf eine Milliarde richtig übertragene Bits).

In einem geeigneten Messaufbau (ähnlich *Fig. 44)* wurde am Versuchssystem die minimale mittlere optische Empfangsleistung bei zwei verschiedenen Übertragungscodes aufgenommen und im Diagramm der *Figur 45* dargestellt. Beide Kurven treten in der gewählten Darstellung als Geraden mit gleichen Neigungen in Erscheinung. Dem Diagramm kann entnommen werden, dass bei einer Bitfehlerrate von 10^{-9} im CMI-Code eine minimale mittlere Empfangsleistung von —36,5 dBm und in Kurzpuls-CMI-Code eine solche von —39 dBm erforderlich ist.

Sind nun weiter die optische Sendeleistung (beziehungsweise die Lichtleistung am Streckenanfang), die kilometrischen Verluste der Faser, die Zusatzdämpfung der optischen Kabelstecker und Spleissungen bekannt, so kann — nach Berücksichtigung von Temperatur- und Alterungseinflüssen — die zwischenverstärkerlose Übertragungsdistanz des Systems bestimmt werden.

Mit dem beschriebenen Versuchssystem sind je nach Wahl des Kabels, der Art und Anzahl Kabelstecker und Spleissungen und der eingeplanten Übertragungsreserve Distanzen von 3,6 bis gegen 7 km ohne Zwischenverstärker überbrückbar. Diese Distanzen lassen sich um 2...3 km erhöhen, wenn anstelle der PIN-Photodiode eine Photoavalanchediode im Empfänger eingesetzt wird.

9 Andere Systeme

Die bei Projektbeginn vorliegende Ausgangslage, dass praktisch keine entwickelten Systeme oder Teile davon im Handel vorhanden waren, hat sich in jüngster Zeit geändert. Heute bieten mehrere Firmen betriebsfähige und zum Teil mit hohem Komfort ausgerüstete analoge und digitale Lichtwellenleitersysteme zum Kauf an.

Parallel zu dieser Entwicklung laufen derzeit in mehreren Industrieländern, wie den USA, Japan, England, Deutschland, Frankreich, Kanada und anderen mehr, Betriebsversuche, die alle das Ziel verfolgen, mehr Erfahrungen mit dieser neuen Technologie zu sammeln [15...22].

10 Schlussbetrachtungen

Intensive Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auf dem Gebiet der optischen Nachrichtenübertragung lassen erkennen, welch grosse Bedeutung weltweit den fiberoptischen Systemen beigemessen wird. Zu den hervorstechendsten Vorteilen der Glasfaser gegenüber herkömmlichen Übertragungsmedien gehört ihre praktisch völlige Unempfindlichkeit gegenüber elektrischen und magnetischen Störfeldern sowie ihr sehr günstiges Verhältnis der Übertragungskapazität zum Kabelquerschnitt.

Trotz dieser sehr positiven Merkmale kann heute jedoch schon als sicher gelten, dass optische Systeme nicht sofort und in grossen Mengen als Ersatz vorhandener Netze in Frage kommen. Vielmehr ist der Einsatz von Lichtwellenleitersystemen bei Netzerweiterungen (interzentral dort, wo neue Koaxialkabel verlegt würden) und bei völlig neuen Anlagen zu sehen.

Bevor jedoch gültige Aussagen über diese Anwendungsmöglichkeiten gemacht werden können, ist es notwendig, in wirklichkeitsnahen Versuchssystemen

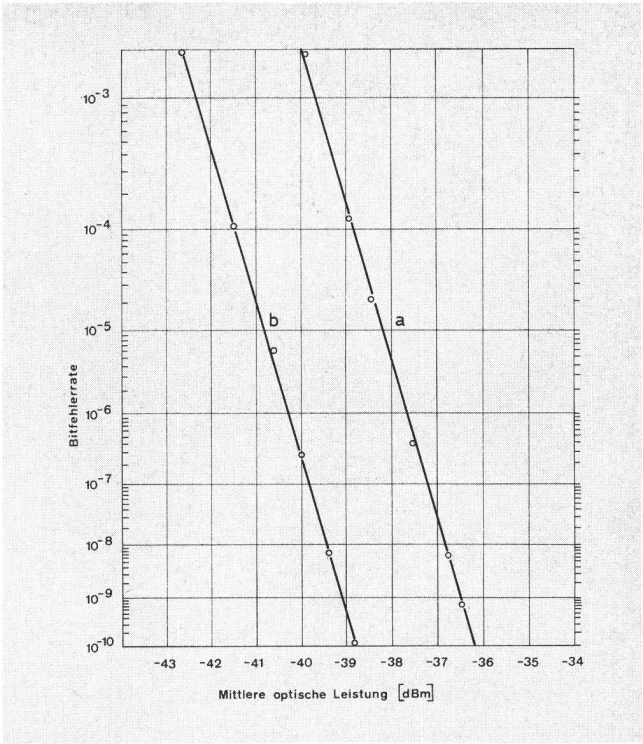

Fig. 45
Bitfehlerrate in Funktion der mittleren optischen Empfangsleistung — Taux d'erreurs de bits en fonction de la puissance optique moyenne au lieu de réception
a) CMI-Code — Code CMI
b) Kurzpuls-CMI-Code — Code CMI à impulsions brèves
Bitfehlerrate — Taux d'erreurs de bits
Mittlere optische Leistung [dBm] — Puissance optique moyenne [dBm]

bre, l'atténuation additionnelle imputable aux connecteurs optiques et aux épissures, on peut déterminer le trajet de transmission franchissable sans amplificateur, si l'on tient aussi compte des facteurs «température» et «vieillissement».

Avec le système décrit, il est possible de réaliser des trajets de 3,6 à 7 km environ, sans amplificateur intermédiaire, selon le choix du câble, le genre et le nombre des connecteurs et des épissures ainsi que de la réserve de transmission prévue. Ces distances peuvent être augmentées de 2...3 km, si l'on remplace la photodiode PIN du détecteur par une photodiode à avalanche.

9 Autres systèmes

La situation qui régnait au début du projet, à savoir qu'on ne disposait pratiquement d'aucun système développé ni de composants commercialisés, s'est modifiée ces derniers temps. Aujourd'hui, de nombreuses entreprises mettent en vente des systèmes de transmission par fibre optique en mode analogique ou numérique offrant en partie une grande commodité d'utilisation.

Dans de nombreux pays industrialisés, notamment aux Etats-Unis, au Japon, en Angleterre, en Allemagne, en France et au Canada, on effectue actuellement des essais pratiques en vue de recueillir plus d'expériences avec les technologies nouvellement développées [15...22].

10 Conclusions

Les activités intenses en matière de recherches et de développement qui s'observent dans le domaine de la

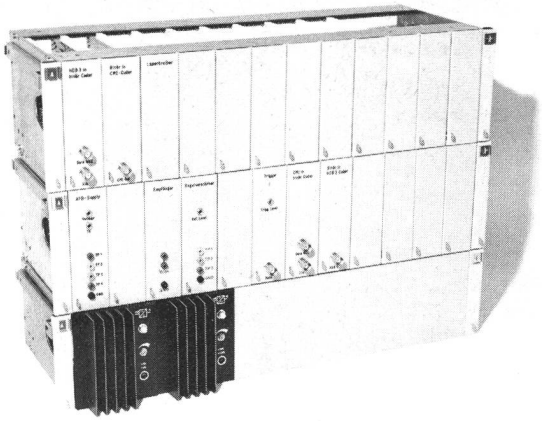

Fig. 46
Terminalausrüstung in normierter Bauweise 72 — Equipement terminal en mode de construction normalisé 72

brauchbare Aufschlüsse über die spezifischen Eigenschaften optischer Übertragungsstrecken zu gewinnen. Mit der praktischen Verwirklichung einer digitalen optischen Übertragungsstrecke konnte nützliche Erfahrung gesammelt werden, zudem sind handliche Gerätschaften bereitgestellt worden, die in künftigen Betriebsversuchen eingesetzt werden können. So sind gegenwärtig Arbeiten im Gange, die den Einbau dieses digital-optischen Übertragungssystems in den Zentralen Mattenhof und Bollwerk in Bern zum Ziele haben. *Figur 46* zeigt eine der beiden Terminalausrüstungen in der normierten Bauweise 72. In diesem Feldversuch werden auch andere, weitgehend neu zugekaufte optische Systeme eingesetzt, die erlauben werden, eine vergleichende Beurteilung verschiedener Systeme vorzunehmen.

transmission d'informations par voie optique font apparaître l'importance considérable que l'on accorde aux systèmes à fibres optiques dans le monde entier. Parmi les avantages les plus marquants que la fibre optique présente par rapport aux moyens de transmission traditionnels, il faut citer son insensibilité quasi totale aux champs perturbateurs électriques et magnétiques, ainsi que son rapport capacité de transmission/section des câbles très favorable.

Malgré ces caractéristiques très séduisantes, on peut affirmer aujourd'hui déjà que les systèmes optiques ne remplaceront pas immédiatement et en grand nombre les artères des réseaux existants. Il faut plutôt imaginer qu'ils seront utilisés dans des installations entièrement nouvelles, lors d'extensions de réseaux (jonctions entre centraux) ou en lieu et place de nouveaux câbles coaxiaux.

Toutefois, avant qu'on puisse se prononcer valablement sur ces possibilités d'application, il est nécessaire d'acquérir des connaissances utilisables sur les propriétés spécifiques des tronçons de transmission optiques au moyen de systèmes d'essai se rapprochant des conditions réelles. Le système de transmission opto-numérique décrit a permis d'acquérir des expériences utiles, et il a exigé la mise au point d'appareillages pratiques qui rendront service lors des futurs essais. A l'heure actuelle, on prépare le montage de ce système de transmission opto-numérique dans les centraux du Mattenhof et du Bollwerk à Berne. La *figure 46* montre l'un des deux équipements terminaux réalisé selon le mode de construction normalisé 72. Au cours de cet essai pratique, on utilisera aussi d'autres systèmes optiques, en majeure partie nouvellement acquis sur le marché, ce qui permettra une évaluation comparative.

Bibliographie

[1] *Unger H. G.* Optische Nachrichtentechnik. Elitera (1976).
[2] *Malowski S.* High capacity communications using monomode fibres. Second European Conference on Opt. Fibre Com., Paris (1976). Conf. Publication.
[3] *Personick S. D* Receiver Design for Digital Fiber Optic Communication Systems. Murray Hill, Bell System Technical Journal 52 (1973) 6.
[4] *Goell J. E.* An Optical Repeater with High-Impedance Input Amplifier. Murray Hill, Bell System Technical Journal 53 (1974) 4.
[5] *Goell J. E.* Input Amplifiers for Optical PCM Receivers. Murray Hill, Bell System Technical Journal 53 (1974) 9.
[6] *Ueno Y., Ohgushi Y.* and *Abe A.* 40 Mb/s and a 400 Mb/s Repeater for Fibre Optic Communication. First European Conference on Opt. Fibre Com., London (1975). IEEE Pub. No 132.
[7] *Casper P. W.* Optoelectronics and Interface Electronics. San Diego, Proc. SPIE (Society of Photooptical Instrumentation Engeneers) Vol. 63 (1975). Guided Opt. Com.
[8] *Ostoich V., Nicolaisen E.* and *Hede C.* Performance Comparison between 400 Mb/s Optical Fibre Com. System using Trans-Impedance and Integrating Front Ends. Third European Conf. on Opt. Com. München (1977).
[9] *Gloge D.* and *Weakly.* Guiding Fibers. IEE Reprint Series 1, Optical Fibre Waveguide 1975.
[10] *Gloge D.* and *Marcatili E. A.* Multimode Theory of Graded-Core Fibers. Murray Hill, Bell System Technical Journal 52 (1973) 9.
[11] *Mounthaan K.* Optische Kommunikationssysteme mit Glasfasern. Eindhoven, Philips technische Rundschau 36 (1976/77) 7.
[12] *Khoe G. D.* und *Meuleman L. J.* Lichtmodulation und -einkopplung bei Faserübertragungssystemen mit Halbleiterlaser. Eindhoven, Philips technische Rundschau 36 (1976/77) 7.
[13] *Takasaki Y., Tanaka M.* and *Maeda N.* Optical Pulse Formats for Fiber Optic Digital Communications. New York, IEEE Transactions on Communications. Com-24 (1976) 4.
[14] *Takasaki Y.* et *al.* Line coding plans for fibre optic communication systems. Proceedings of the International Conference on Communication 1975, paper 32 E.
[15] *Cannon T. C., Pope D. L.* and *Sell D. D.* Installation and Performance of the Chicago Lightwave Transmission System. New York, IEEE Transactions on Communications, Com-26 (1978) 7.
[16] *Berry R. W., Brace D. J.* and *Ravenscroft I. A.* Optical Fiber System Trials at 8 Mbit/s and 140 Mbit/s. New York, IEEE Transactions on Communications, Com-26 (1978) 7.
[17] *Ravenscroft I. A.* Optical Communication Systems in UK. Third European Conference on Opt. Com. München, Sept. 77. Conf. Publication.
[18] *Miki T.* Some Considerations on Optical Fiber Transmission Systems for Public Telecommunication Networks. Fourth European Conference on Opt. Com. Genova (1978). Conf. Publication.
[19] *Shimada S.* and *Masuno K.* Outline of an Experimental Optical Fiber Transmission System. Tokio, Review of the Electrical Communication Laboratories 26 (1978) 5-6.
[20] *Liertz H., Goldmann H.* and *Schicketanz D.* Laying and Properties of an Optical Wave Guide Test Link in Berlin. Fourth European Conference on Opt. Com. Genova (1978). Conf. Publication.
[21] *Adler E., Haupt H.* and *Zschunke W.* A 34-Mbit/s Optical Field Trial System. Fourth European Conference on Opt. Com. Genova (1978). Conf. Publication.
[22] *Chang K. Y., Marthaler E.* and *Basmadjian H. K.* An Overview of a Fiber Optic Exploratory Trial in Montreal. Int. Conf. on Com. Toronto, Conference Record 1 (1978) June 4—7.