Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 70 (1979)

Heft: 15

Artikel: Glasfaserverzweigungen für einen optischen Datenbus

Autor: Schmid, J. J. / Felber, N. / Rickli, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905407

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 30.06.2025

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

Glasfaserverzweigungen für einen optischen Datenbus

Von J.J. Schmid, N. Felber und A. Rickli

681.7.068 : 621.391.63;

Passive Glasfaserverzweigungen sind unerlässlich für potentialunabhängige störsichere Datennetze. An einem Datenbus mit kunststoffummantelten Glasfasern werden die Anforderungen an eine solche Verzweigung aufgezeigt und Resultate vorgestellt.

Un réseau de transmission de données découplé galvaniquement et insensible aux parasites nécessite la construction de coupleurs passifs pour fibres optiques. L'article traite des spécifications requises d'un tel coupleur, ainsi que des résultats pratiques obtenus, dans le cas d'un réseau à fibres optiques à gaine de plastique.

1. Einleitung

Im Mittelpunkt der heutigen Glasfasersysteme stehen zwei Anwendungen. Einerseits werden sehr schnelle Übertragungsstrecken entwickelt, mit welchen versucht wird, die grosse Übertragungskapazität der Glasfasern auszunützen. Anderseits werden die ersten industriellen Datennetze mit Glasfasern untersucht, bei welchen die (elektromagnetische) Störunempfindlichkeit der optischen Übertragungsstrecke im Vordergrund steht, die Übertragungsgeschwindigkeit dagegen beschränkt bleibt. Im Gegensatz zu den schnellen Übertragungsstrecken, die eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung darstellen, sind die industriellen Datennetze verzweigt.

Unter den Datennetzen erlangen die sog. lokalen Netzwerke zunehmende Bedeutung [1]. Lokale Netzwerke, d.h. Netzwerke auf beschränktem Raum, verbinden mehrere Rechner miteinander, Rechner mit Terminals, Steuerzentralen mit Maschinen usw. Sie gelangen in der Steuerung von Hochspannungsschaltanlagen, von Produktionsstrassen in einer Fabrikhalle, in Lokomotiven, Flugzeugen und Schiffen zum Einsatz. Die Länge der lokalen Netzwerke kann zwischen etwa 10 m und 10 km variieren.

Die lokalen Netzwerke haben einige wesentliche Merkmale. Sie benutzen billige Datenkanäle von beschränkter Länge. Die Übertragung der Daten erfolgt mit für einen Rechner hoher Geschwindigkeit (typisch 1 Mbit/s Bruttoübertragungsrate) und findet gewöhnlich im Basisband statt. Es wird im allgemeinen eine hohe Datensicherheit gefordert. Ebenso sollen die Kontrolle und Steuerung des Datennetzes wenig aufwendig sein.

Vortrag gehalten an der SEV-Informationstagung über «Informationsübertragung mit Glasfasern», am 13. Juni 1979 in Bern.

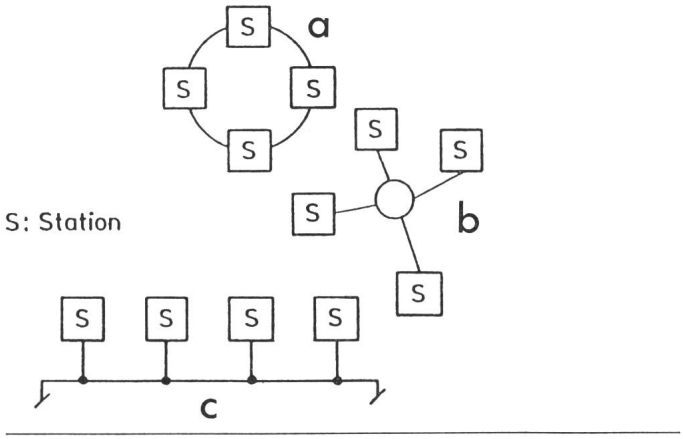

Fig. 1 Mögliche Strukturen für Datennetze
a Ring b Stern c Bus

2. Der optische Datenbus

Zur sicheren Übertragung von Daten in elektromagnetisch stark verseuchter Umgebung, wie sie bei vielen Einsatzarten der lokalen Netzwerke angetroffen wird, eignen sich Glasfasern hervorragend. Auf der Leitung kann die Datenübertragung praktisch nicht gestört werden. Die einzelnen Busstationen sind galvanisch entkoppelt. Dadurch werden Erdschlaufen vermieden. Es kann kein Brumm eingestreut werden.

Zwei Strukturen treten für ein optisches lokales Datennetz in den Vordergrund: das Sternnetz und der Bus [2]. Die Bauweise als Ring eignet sich weniger, da das Einfügen von elektronischen Teilen in die Leitung (Repeater bei jeder Station) die Sicherheit und die Zuverlässigkeit des Systems senkt, denn Repeater sind aktive Elemente und damit ausfallgefährdet und mit Rauschen behaftet (Fig. 1).

Im folgenden seien Sternnetz und Bus miteinander verglichen. Das passive Sternnetz nützt die eingekoppelte optische Leistung gut aus. Diese wird gleichmässig auf alle Fasern verteilt. Die Empfangsleistung ist im allgemeinen höher als beim Bus, wo jeweils nur wenige Prozent der auf der Leitung befindlichen Leistung ausgekoppelt und dem Empfänger zugeleitet werden. Das Sternnetz ist aber relativ schlecht erweiterbar und verlangt mehr Glasfaserkabel als der Bus (Fig. 2). Der Sternkoppler selbst ist aufwendig und teuer. Das Sternnetz ist hingegen relativ unempfindlich gegen einen Unterbruch irgendeiner Glasfaser. Es wird dadurch nur die zugehörige Station abgetrennt. Beim Bus bedeutet ein Unterbruch der Ringleitung das Versagen des ganzen Netzes. Das Sternnetz versagt dagegen vollständig bei Störungen des Sternkopplers.

Die wenig aufwendigen Koppler und die gute Erweiterbarkeit führten am Institut für Technische Physik der ETHZ (ITP) zur Wahl einer Busstruktur. An einem Beispiel sollen die Anforderungen an einen Bus und eine Verzweigung gezeigt werden (Fig. 3):

Länge des Datenbus	1 km
Anzahl Stationen	8
Brutto-Übertragungsrate	1 Mbit/s
Fehlerwahrscheinlichkeit	$\leqq 10^{-9}$
dazu erforderliche Empfangsleistung	$\geqq$ 20 nW
eingekoppelte Lichtleistung der Zentrale	$\geqq$ 20 μW
Dynamik	30 dB
Verluste in der Faser	$\approx$ 5 dB
Verluste durch Auskoppeln in andere Stationen (je 5%)	5,2 dB
Auskoppeln von 5% in Station 8	14,6 dB
Reserve für Verzweigungsverluste	5,2 dB
maximaler durchschnittlicher Verlust pro Koppler	0,65 dB

Für den Koppler ergeben sich folgende Anforderungen: Für einen Datenbus mit 5 bis 10 Stationen ist ein Auskopplungsgrad von 4 bis 8% am günstigsten. Die Verluste der Verzweigung sollten möglichst klein sein (wenn möglich

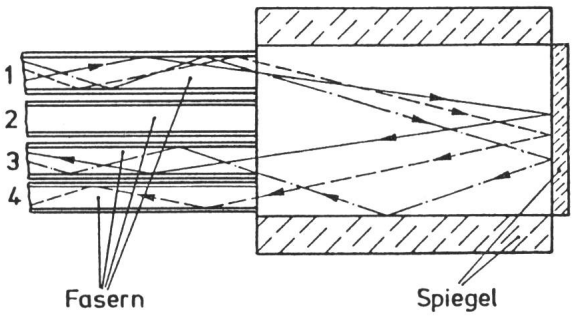

Fig. 2 Prinzip des Sternkopplers

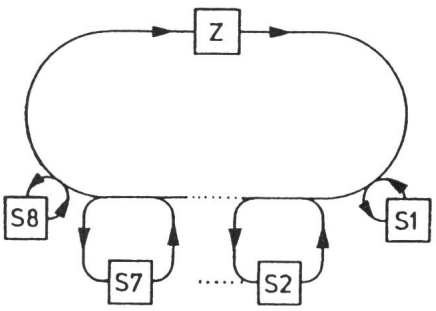

Fig. 3 Bus mit Zentrale Z und 8 Stationen (S1...S8)

< 0,5 dB). Daneben soll die Verzweigung billig, einfach herzustellen und robust sein. Ein späteres Einfügen einer Verzweigung am installierten Bus sollte möglich sein. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, eine derartige Verzweigung herzustellen (T-Koppler, Fig. 4).

Methoden für «glass-clad»-Fasern:

– Man fügt drei Glasfasern, deren Enden sauber bearbeitet worden sind, in Form eines Y zusammen (Fig. 5). Durch eine Kombination von zwei Verzweigungen dieser Art ist es möglich, einen T-Koppler zu realisieren. Die Nachteile liegen in der erforderlichen sorgfältigen Bearbeitung und genauen Justierung der Fasern sowie in den höheren Verlusten gegenüber anderen Techniken.

– Man führt zwei «glass-clad»-Fasern parallel und verschweisst ihre Mäntel [3] (Fig. 6). Diese Technik fusst auf dem gleichen physikalischen Phänomen wie die noch zu beschreibenden, am ITP angefertigten Verzweigungen. Sie bietet bei relativ kleinem Aufwand geringe Verluste.

Methoden für «plastic-clad»-Fasern:

– Bei «plastic-clad»-Fasern scheitert die Technik des Verschweissens des Fasermantels am Material des Mantels. Eine Kopplungsmethode besteht darin [4; 5], den Mantel in der Kopplungsregion zu entfernen, die Kerne zu verjüngen, eventuell zu verschweissen und das Ganze zu vergiessen (Fig. 7).

– Eine andere Möglichkeit, Licht von einer «plastic-clad»-Faser in die andere zu koppeln, ist am ITP benützt worden. Sie soll im folgenden näher beschrieben werden.

3. Der Koppler

Zum Führen von Licht in einer Stufenindex-Glasfaser benützt man den Effekt der Totalreflexion am Übergang vom optisch dichteren Medium (Kern mit dem Brechungsindex n_1) in ein optisch dünneres Medium (Mantel mit dem Brechungsindex $n_2 < n_1$). Im Gegensatz zum klassischen Modell der Totalreflexion existiert nicht nur im Glasfaserkern eine elektromagnetische Welle. Im Mantel entsteht bei der Reflexion der Welle ein Wellenfeld, das eine mit zunehmender radialer Entfernung vom Zentrum der Glasfaser exponentiell abfallende Amplitude aufweist. Ist der Mantel dick genug (einige µm), so wird die Amplitude der quergedämpften Welle ausserhalb des Mantels vernachlässigbar klein (Fig. 8). Dabei ist zu beachten, dass die quergedämpfte Welle keine Energie quer zur Fortpflanzungsrichtung des Lichts in der Faser transportiert. Es erfolgt aber ein Energietransport ausserhalb des Kerns (im Fasermantel) in der Fortpflanzungsrichtung des Lichts.

Man kann die quergedämpfte Welle zum Koppeln von Licht aus einer Faser in eine andere verwenden. Dazu müssen die beiden Faserkerne so nahe zusammengebracht werden, dass die quergedämpfte Welle einer Amplitude, die noch nicht zu stark abgefallen ist, in den zweiten Kern eindringen kann. Am Übergang vom Mantelmaterial zum zweiten Kern wird aus der quergedämpften Welle eine ebene Welle, die sich im Kern der zweiten Faser in derselben Richtung fortpflanzt wie

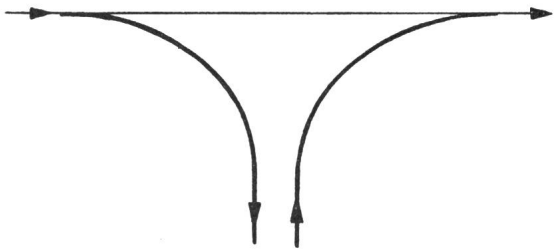

Fig. 4 Verzweigung als T-Koppler

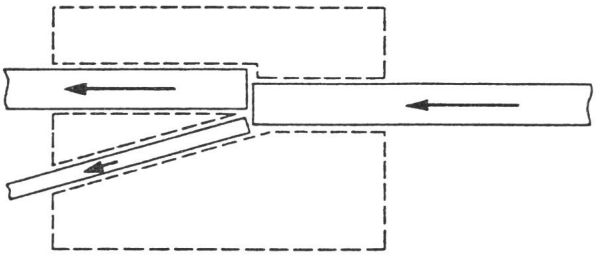

Fig. 5 Verzweigung in Form eines Y

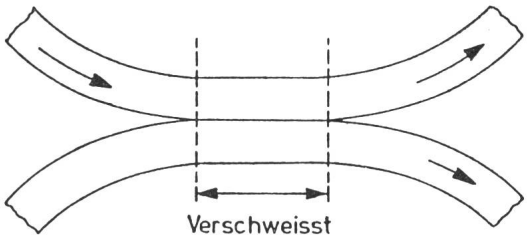

Fig. 6 T-Koppler mit «glass-clad»-Fasern, in der Kopplungsregion verschweisst

Fig. 7 T-Koppler mit «plastic-clad»-Fasern, Kerne in der Kopplungsregion verjüngt und verschweisst

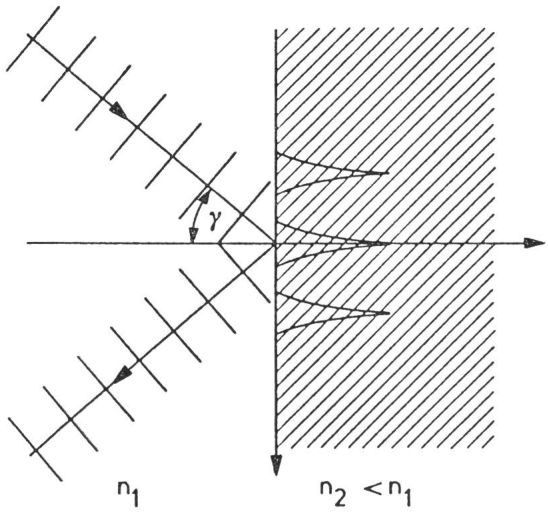

Fig. 8 Totalreflexion am Übergang von einem Medium mit Brechungsindex n_1 zu einem Medium mit Brechungsindex $n_2 < n_1$

im Kern der ersten. Führt man die beiden Kerne über eine längere Strecke parallel, so tritt bei jeder Totalreflexion am Übergang Kern–Mantel Licht aus der ersten in die zweite Faser über. Der Kopplungsgrad kann durch den Abstand der beiden Leiter und die Länge der Kopplung bestimmt werden. Es gelingt so, einen grossen Teil des Lichtes aus der ersten in die zweite Faser zu koppeln (Fig. 9).

Zur Herstellung eines solchen Kopplers entfernt man bei beiden Glasfasern den Mantel auf der gesamten Interaktionslänge. Man legt die Faser mit den gereinigten Kernen ins Kopplergehäuse, das dem Schutz und der Führung der Fasern im Kopplungsbereich dient. Durch ein Verdrillen der Kerne im Kopplungsbereich erreicht man eine zusätzliche Justierung. Anschliessend werden die Kerne im Koppelbereich mit Mantelmaterial vergossen. Das neue Mantelmaterial verbindet sich praktisch nahtlos mit dem alten am Ende der Kopplung. Durch das Vergiessen mit Material, das dieselben optischen Eigenschaften besitzt wie der Mantel, wird erreicht, dass die quergedämpfte Welle nur dort gestört wird, wo der zweite Kern in das Feld der quergedämpften Welle der ersten eindringt. Nur dort geht Leistung für den einen Leiter verloren, die aber vollständig in den andern Leiter gekoppelt wird. Das steht im Gegensatz zu Methoden, bei welchen die Kerne zum Koppeln von Licht verformt werden. Dort ergeben sich systematische Verluste durch die Störung des Wellenfeldes: nur ein Teil des (z.B. durch Verjüngung des Kerns) ausgetretenen Lichts kann vom zweiten Kern aufgenommen werden; der Rest wird als Verlust in die Umgebung abgestrahlt.

Es wurden versuchsweise Verzweigungen hergestellt mit Kopplungsgraden zwischen 0,5 und 20%. Die gemessenen Verluste sind kleiner als 0,2 dB. Die Messung der Modenverteilung am Eingang und an beiden Ausgängen des Kopplers zeigten (mit der Theorie übereinstimmend), dass vor allem Moden höherer Ordnung gekoppelt werden (Fig. 10).

Am ITP wird ein Prototyp eines seriellen optischen Datenbus gebaut, in welchem die beschriebenen T-Koppler Verwendung finden. Es handelt sich dabei um einen unidirektionalen Bus mit einer Zentrale und drei Stationen (Fig. 11). Jede Station sendet eine Nachricht nur über die Zentrale zu einer anderen Station. Der Grund dafür liegt einerseits darin, dass diese Koppler Richtkoppler sind, anderseits darin, das bei einem grösseren Bussystem die mit relativ billigen LED als optischen Sendern verfügbare optische Leistung nicht ausreicht, um über zwei Verzweigungen zu gehen.

Verwendet man dagegen als optische Sender Laserdioden und als Empfänger Avalanche-Fotodioden, so lässt sich das Problem der optischen Leistung beherrschen. Die Unidirektionalität kann behoben werden, indem man zwei Koppler pro Station (je einen in jede Richtung) verwendet. Dabei ergeben sich aber doppelte Kopplerverluste. Das lässt sich vermeiden, indem man *drei* Fasern in der beschriebenen Art zu einer Verzweigung zusammenfasst (Fig. 12). Ein solcher Doppel-T-

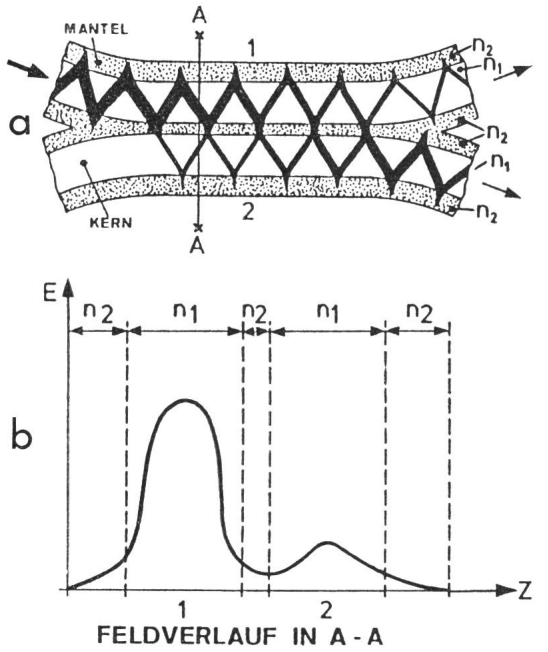

Fig. 9 Koppeln von Licht aus einem Leiter 1 in einen Leiter 2

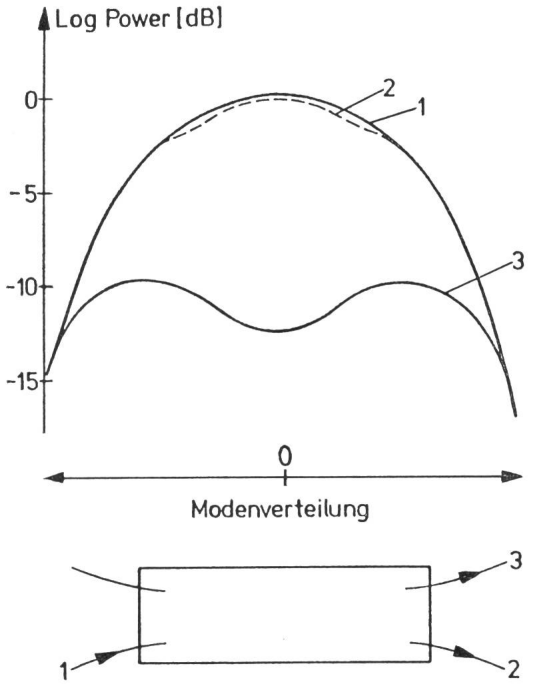

Fig. 10 Modenverteilung am Eingang und an den beiden Ausgängen des Kopplers

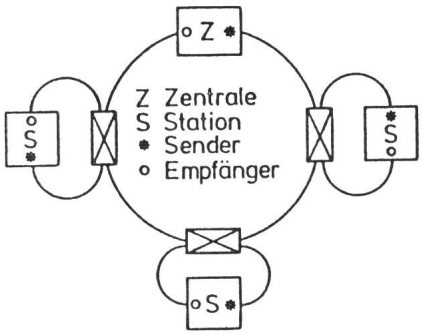

Fig. 11 Schema eines Datenbus mit drei Stationen und einer Zentrale

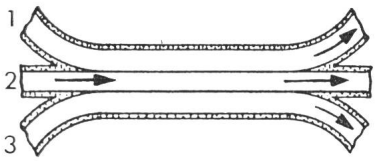

Fig. 12 Doppelverzweigung

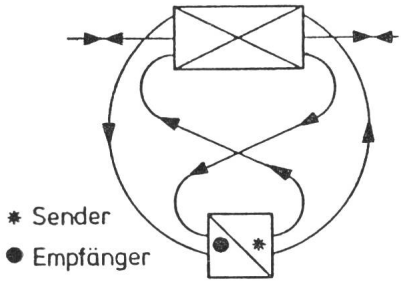

Fig. 13 Doppelverzweigung mit angeschlossener Station

Koppler übernimmt die Funktion der zwei Koppler, seine Verluste sind aber nur wenig grösser als die eines einzigen T-Kopplers. Diese Verzweigungen wurden ebenfalls versuchsweise am ITP hergestellt. Der Kopplungsgrad von Faser 2 zu Faser 1 und 3 betrug je etwa 5 %, die Kopplung zwischen den Fasern 1 und 3 etwa 0,3 %. Eine solche Verzweigung mit angekoppelter Station zeigt Fig. 13.

4. Schlussbemerkungen

Am ITP sind einfache Glasfaserkoppler gebaut worden, die es ermöglichen, einen mittelschnellen und sicheren Bus mit Glasfasern zu realisieren. Die Verwendung der Doppelverzweigung erlaubt, einen echten Bus ohne strukturelle Einschränkung zu bauen. In Zusammenarbeit mit der Industrie wird ein Prototyp eines Datenbus gebaut. Er soll, austauschbar mit einem konventionellen elektrischen Datenbus, für Steuerungsaufgaben in elektromagnetisch stark verseuchter Umgebung zum Einsatz gelangen können.

Literatur

[1] *D. D. Clark, K. T. Pogran* and *D. P. Reed:* An introduction to local area networks. Proc. IEEE 66(1978)11, p. 1497...1517.
[2] *M. K. Barnoski:* Data distribution using fiber optics. Applied Optics 14(1975)11, p. 2571...2577.
[3] *M. K. Barnoski* and *H. P. Friedrich:* Fabrication of an access coupler with single-strand multimode fiber waveguides. Applied Optics 15(1976)11, p. 2629...2630.
[4] *T. Ozeki* and *B. S. Kawasaki:* Optical directional coupler using tapered sections in multimode fibers. Applied Physics Letters 28(1976)9, p. 528...529.
[5] *B. S. Kawasaki* and *K. O. Hill:* Low loss access coupler for multimode optical fiber distribution networks. Applied Optics 16(1977)6, p. 1794...1795.

Adresse der Autoren

J. J. Schmid, dipl. El.-Ing., *N. Felber*, dipl. Physiker, und *A. Rickli*, dipl. El.-Ing., Institut für Technische Physik, ETH Hönggerberg, 8093 Zürich.

Optische Zündung von Thyristoren in Hochspannungsstromrichtern

Von W. Merk

621.382.333.34 : 621.38.026;

In Hochspannungsstromrichtern sind wegen begrenzten Sperrspannungen jeweils mehrere Thyristoren in Serie geschaltet. Bei der konventionellen Zündung über Transformatoren müssen diese für die volle Spannung zwischen Erde und Thyristor isoliert sein. Die optische Zündung über Glasfaserbündel bietet sich als günstige Alternativlösung an.

A cause des tensions de blocage limitées, les redresseurs à haute tension comprennent plusieurs thyristors en série. Pour l'amorçage classique par transformateurs, ceux-ci doivent être isolés pour la pleine tension entre terre et thyristor. L'amorçage optique par faisceau de fibres optiques représente une variante intéressante.

1. Einleitung

Bei Hochspannungsstromrichtern, wie sie bei der Hochspannungs-Gleichstromübertragung oder bei statischen Kompensatoren eingesetzt werden, ist eine Serieschaltung von einzelnen Thyristoren notwendig. Jeder weist gegenüber seinem Nachbarn und gegen Erde ein anderes Spannungspotential auf. Da das Steuergerät für die Thyristoren in der Regel auf Erdpotential liegt, die einzelnen Elemente aber auf ihrem jeweiligen Spannungspotential gezündet werden müssen, sind Zusatzeinrichtungen notwendig, welche die Übertragung des Zündbefehles bei gleichzeitiger Isolation der Thyristoren gegen Erde und gegen ihre Nachbarn ermöglichen.

Vortrag, gehalten an der SEV-Informationstagung über «Informationsübertragung mit Glasfasern», am 13. Juni 1979 in Bern.

2. Die konventionelle Lösung

Es ist naheliegend, für Hochspannungsstromrichter induktive Übertrager einzusetzen (Fig. 1), wie dies bei Niederspannungsstromrichtern üblich ist. Ein solcher Übertrager kann den Zündimpuls direkt übertragen und eignet sich bei kleinen Spannungen recht gut für die Isolation der Thyristoren. Bei höheren Spannungen wachsen die Anforderungen an das Isolationssystem sehr stark. Zudem wird die Kopplung zwischen den beiden Wicklungen des Übertragers immer schlechter, so dass das Steuergerät (Gittersteuersatz) für eine genügende Zündimpulsqualität am einzelnen Thyristor eine sehr hohe Ausgangsleistung aufbringen muss. Ferner hat die parasitäre Kapazität zwischen den Wicklungen einen negativen Einfluss auf die Spannungsaufteilung zwischen den einzelnen Thyristoren innerhalb der Serieschaltung.