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: 76 (1985)

Heft: 13

Artikel: Hochpräzise Übertragung von Messwerten mit Fiberoptic

Autor: Elmer, U. / Loher, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904634

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: 09.07.2025

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

Hochpräzise Übertragung von Messwerten mit Fiberoptic

U. Elmer und M. Loher

Der Transport von Messwerten hoher Genauigkeit durch eine elektromagnetisch gestörte Umwelt ist mit konventionellen Mitteln nur schlecht zu realisieren. Für solche Problemfälle bietet die optische Übertragungstechnik eine wirksame Lösung an. Der Artikel beschreibt die Funktionsweise, den Aufbau der elektro-optischen Wandler, die Systemspezifikationen und die Einsatzmöglichkeiten eines fiberoptischen Übertragungssystems.

La transmission de valeurs de mesure de haute précision, à travers un milieu électromagnétiquement perturbé, est mal réalisable avec des moyens classiques. Pour un problème de ce genre, la transmission par liaison optique est un moyen efficace. L'article donne une description du fonctionnement, de la construction des convertisseurs électro-optiques, des spécifications et des possibilités d'utilisation d'un système de transmission par fibres obtiques.

Adresse der Autoren
U. Elmer und Dr. *M. Loher*, Huber + Suhner AG, 9100 Herisau.

1. Einleitung

Industrielle Prozesse werden zunehmend automatisiert. Sei es die Generatorhalle eines Elektrizitätswerks, eine Walzstrasse oder eine Staumauer, sie alle werden aus Distanz gesteuert und überwacht. Dazu müssen die Prozessdaten oft über grössere Strecken, z.B. über die gesamte Ausdehnung eines Fabrikgeländes, übertragen werden – ein nur schwer lösbares Problem, wenn hohe Anforderungen an die Genauigkeit der Übertragung gestellt werden. Erdschlaufen, Potentialdifferenzen zwischen der Messwerterfassung und der Messwertauswertung, elektromagnetische Störungen und manchmal ganz einfach der ohmsche Widerstand der Leitung verfälschen die Messresultate. Für solche Problemfälle bietet die optische Übertragungstechnik eine wirksame und elegante Lösung an. Fiberoptic-Kabel leiten zwar optische Signale, nicht aber den elektrischen Strom. Sie sind damit völlig unempfindlich gegen elektromagnetische Einstreuungen. Potential- und Erdungsprobleme stellen sich erst gar nicht. Die geringe Dämpfung des Lichtleiters gestattet eine Übertragung über mehrere Kilometer.

Fig. 1 Sendermodul des Fiberoptic-Übertragungssystems

Ein weiterer Vorteil neben Störimmunität und Potentialfreiheit ist, dass die Verlegung eines metallfreien Fiberoptic-Kabels keinerlei gesetzlichen Regelungen unterliegt. So kann das Lichtleiter-Kabel in jedem Fall in bestehende Kabelkanäle eingezogen werden – ein Aspekt, der massive finanzielle Auswirkungen haben kann.

2. Prinzip

Messwerte liegen nach ihrer Erfassung meist in elektrischer Form vor und werden auch elektrisch ausgewertet. Die fiberoptische Übertragungsstrecke hat die Aufgabe, diese Signale möglichst unverfälscht vom Ort der Messwertaufnahme zum Ort der Messwertauswertung zu transportieren. Dazu wird das elektrische Signal am Eingang des optischen Übertragungssystems in ein optisches gewandelt und anschliessend in einen Lichtleiter eingekoppelt (Fig. 1 und 2). Empfängerseitig wird das optische Signal detektiert, verstärkt und am Systemausgang in elektrischer Form wieder bereitgestellt. Das optische Übertragungssystem wird transparent aufgebaut: Das Ausgangssignal ist bezüglich Grösse und zeitlichem Verlauf ein Abbild der Eingangsgrösse. Die Wandlung der elektrischen Signale in optische und umgekehrt sowie die korrekte Verstärkung sind Sache der Wandlermodule. Der Benutzer braucht sich um sie nicht zu kümmern.

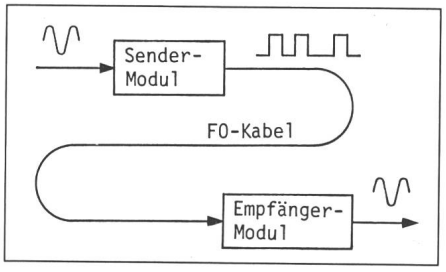


Fig. 2 Schematische Darstellung der Lichtleiterstrecke

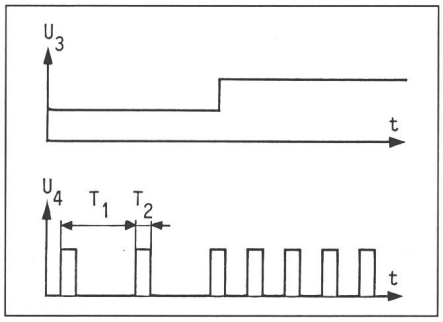
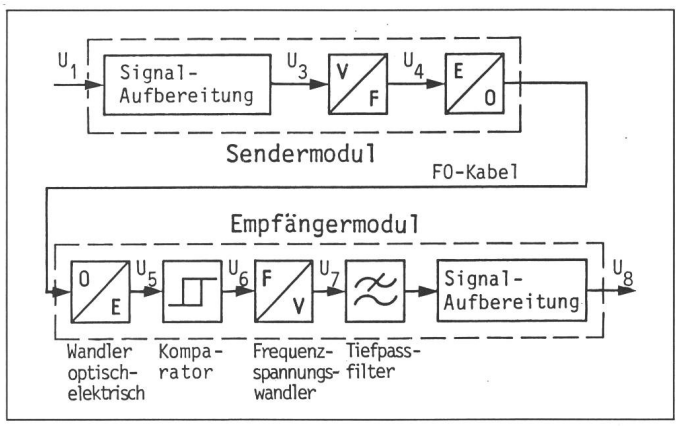


Fig. 3 Signale am VFC
Beispiel: Schrittantwort
U_3 Eingangssignal des VFC
U_4 Ausgangssignal des VFC
t Zeit

Fig. 5
Blockschaltbild des Fiberoptic-Übertragungssystems



3. Sender und Empfänger

3.1 Systemanforderungen

Man erwartet vom Übertragungssystem, dass Signale zwischen DC und 50 Hz mit einer Genauigkeit von besser als 0,1% übertragen werden. Darin sind Nichtlinearitäten, Rauschen und Temperaturdrift eingeschlossen. Ein- und Ausgangspegel betragen 0 bis 10 Volt oder 0 bis 20 mA.

3.2 Übertragungsprinzip

Grundsätzlich kann Lichtleistung der Sendediode direkt durch das Analogsignal beeinflusst werden. Dieses Prinzip der Intensitätsmodulation wird beim Videomodul, welches Signale bis 15 MHz überträgt, angewendet. Für sehr hohe Linearitätsanforderungen ist diese Art der Übertragung ungeeignet, da allein die Nichtlinearität der Sendediode einen zu grossen Fehler verursacht. Das Analogsignal muss so moduliert werden, dass die Verzerrungen, die durch die elektrisch-optische bzw. optisch-elektrische Wandlung entstehen, keinen Einfluss auf die Qualität des Signals haben.

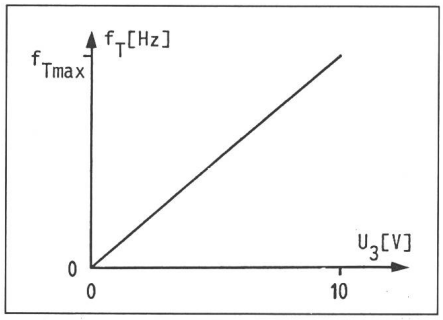


Fig. 4 Kennlinie eines Spannungs-Frequenz-Wandlers
U_3 Spannung am Wandlereingang
f_T Frequenz am Wandlerausgang

Sowohl die Pulscode- als auch die Frequenzmodulation erfüllen diese Bedingung. Für die Pulscodemodulation (PCM) sind ein hochauflösender AD-Wandler (z.B. 12 bit) sowie entsprechende Register zur Parallel-Serie-Wandlung der Daten nötig, im Empfänger entsprechende Register zur Serie-Parallel-Wandlung und ein DA-Wandler. Zusätzlich sind Filter zur Bandbreitebegrenzung notwendig.

Die Frequenzmodulation (FM) lässt sich mit einem genauen Spannungs-Frequenz-Wandler (VFC) durchführen. Im Empfänger kann das Signal mit einem Frequenz-Spannungs-Wandler (FVC) demoduliert werden. Da die Frequenzmodulation im Vergleich mit der PCM das Ziel mit geringerem Aufwand erreicht, wurde sie dem im folgenden beschriebenen System zugrunde gelegt.

3.3 Der Spannungs-Frequenzwandler (VFC)

An den VFC werden folgende Anforderungen gestellt:
- kleiner Linearitätsfehler,
- geringe Temperaturabhängigkeit,
- grosser Frequenzbereich,
- gleiches Bauelement für VFC und FVC
- vernünftiger Preis,
- problemlose Lieferbarkeit
- Zweitlieferant.

Aus verschiedenen Produkten konnten diejenigen Wandler-IC bestimmt werden, welche die gestellten Anforderungen optimal erfüllen.

Die Funktionsweise des VFC zeigt die Figur 3 am Beispiel eines schrittförmigen Spannungsverlaufs. Wird die Eingangsspannung erhöht, so verringert sich der Impulsabstand T_1. Die Impulsbreite T_2 dagegen bleibt konstant. Die Frequenz dieser Rechteckfolge ist gegeben durch $f_T = 1/T_1$.

Die Figur 4 zeigt die Kennlinie des VFC. Der Eingangsspannungsbereich ist 0...10 V. Die Frequenz f_{Tmax} wird durch die externe Beschaltung bestimmt. Als Frequenz-Spannungs-Wandler (FVC) im Empfängermodul dient der gleiche IC. Er erzeugt in diesem Fall aus einer Rechteckfolge mit der Impulsrepetitionsfrequenz f_T eine entsprechende Spannung zwischen 0 und 10 V. Bei der Wahl des Frequenzbereichs des VFC gilt zu beachten: Je tiefer die maximale Arbeitsfrequenz f_{max} gewählt wird, desto besser sind die Daten des Wandlers bezüglich Linearität und Temperaturabhängigkeit. Gleichzeitig wird aber dadurch die Systembandbreite eingeschränkt.

3.4 Aufbau des Übertragungssystems

Die Figur 5 zeigt das Blockschema der Übertragungsstrecke. Am Eingang des Senders liegt eine Spannung U_1 von 0 bis 10 V. Diese wird halbiert und zu einer Gleichspannung von 5 V addiert (Fig. 6). Damit wird der VF-Wandler mit einer Spannung von 5 bis 10 V ausgesteuert. Bei entsprechender Beschaltung ergibt dies am Ausgang des VFC ein Rechtecksignal U_4 mit einer Frequenz f_T zwischen 5 und 10 kHz, welches über einen Schalttransistor die Sendediode steuert.

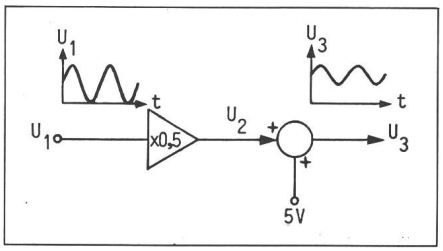


Fig. 6 Signalaufbereitung im Sender
U_1 Eingangsspannung am Sendermodul
U_3 Eingangsspannung am VFC

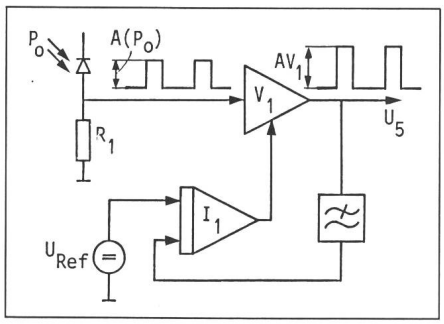


Fig. 7 Opto-elektrischer Wandler mit AGC
AGC Automatic Gain Control

Im Empfängermodul werden als erstes die ankommenden Lichtimpulse in elektrische Signale umgewandelt. Die Intensität dieser Lichtimpulse ist abhängig von der Leistung der Sendediode und von der Streckendämpfung. Das Prinzipschema der optoelektrischen Wandlung mit automatischer Verstärkungsregelung AGC zeigt Figur 7. Die Photodiode wandelt die Lichtimpulse in einen Strom um, welcher über dem Widerstand R_1 einen Spannungsabfall erzeugt. Diese Spannung wird mit dem Verstärker V_1 verstärkt.

Für die Weiterverarbeitung ist am Ausgang von V_1 ein Rechtecksignal mit einer möglichst konstanten, von der Lichtintensität unabhängigen Amplitude erwünscht. Dies kann mit der Regelung der Verstärkung von V_1 erreicht werden. Die Referenzspannung U_{Ref} wird verglichen mit dem zeitlichen Mittelwert des Rechtecksignals. Die Spannung am Ausgang des Integrators bzw. die Verstärkung von V_1 wird verändert, bis der Mittelwert des Rechtecksignals gleich U_{Ref} ist. Diese Regelung funktioniert über einen grossen Bereich (etwa 35 dB optisch). Da sich der Mittelwert mit der Frequenz f_T um einen Faktor 2 ändern kann, ist ein Komparator nachgeschaltet (Fig. 8), der bewirkt, dass die Flankensteilheit und die Amplitude des Rechtecksignals U_6 unabhängig von der Form des Eingangssignals sind. Gleichzeitig werden dadurch Störspitzen unterdrückt, so dass man ein gut brauchbares Rechtecksignal bis zu einer optischen Eingangsleistung von -38 dBm erhält. Dies entspricht je nach Sendediode und Lichtleiter einer Übertragungsdistanz von 4 bis 7 km.

Mit einem Differenzierglied wird die negative Flanke des Rechteckimpulses detektiert und damit der FV-Wandler angesteuert. Dieser liefert je nach Eingangsfrequenz eine Spannung zwischen 5 und 10 V. Die am Ausgang des Wandlers noch vorhandene Rippelspannung wird mit einem Tiefpassfilter eliminiert. Um die Rippelfrequenz möglichst stark zu dämpfen, das Nutzsignal hingegen möglichst wenig zu beeinflussen, wurde ein Butterworth-Tiefpass 4. Ordnung mit einer 3-dB-Grenzfrequenz von 500 Hz gewählt. Dieses Filter ist mit zwei Operationsverstärkern und einigen externen Komponenten leicht realisierbar. Zur Herstellung des ursprünglichen Signals wird in der Signalaufbereitungsstufe vom Signal eine Gleichspannung von 5 V subtrahiert und die Differenz mit 2 multipliziert. Der Frequenzgang des ganzen Systems (Fig. 9) ist im wesentlichen gegeben durch die Charakteristik des Tiefpasses.

3.5 Systemdaten

Die wichtigsten Daten des Fiberoptic-Übertragungssystems von Huber + Suhner sind:

- Signalpegel Typ A 0...10 V
  Typ B 0...20 mA
- Max. Nichtlinearität 0,1%
- Bandbreite DC...50 Hz
- Arbeitstemperaturbereich
- -10...+70 °C
- Max. Übertragungsdistanz 4 km
- Speisespannung ±15 V

3.6 Varianten

Der Einsatz eines Sendermoduls Typ A (0...10 V) mit einem Empfängermodul Typ B (0...20 mA) oder umgekehrt ist ohne weiteres möglich. Damit ist zusätzlich zur Signalübertragung auch eine Signalumwandlung möglich. Durch Modifikationen in der Signalaufbereitung können auch Module mit andern Signalpegeln wie z.B. -5 V...+5 V, 0...1 V, 0...100 mV realisiert werden.

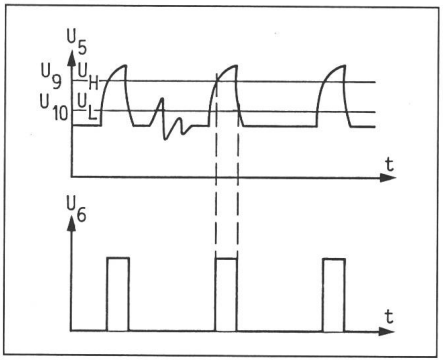


Fig. 8 Signale am Komparator
U_5 Eingangsspannung des Komparators
U_6 Ausgangsspannung des Komparators
U_H Einschaltschwelle des Komparators
U_L Ausschaltschwelle des Komparators

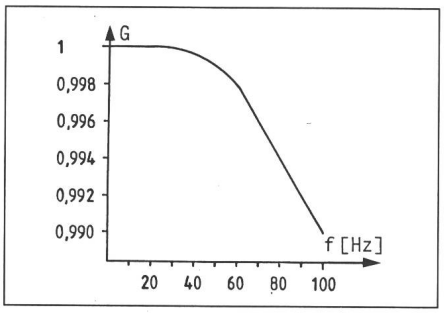


Fig. 9 Frequenzgang des Fiberoptic-Übertragungssystems
G Systemverstärkung
f Frequenz des Analogsignals

3.7 Sende- und Empfangshalbleiter

Schlüsselelemente in einer Fiberoptic-Übertragungsstrecke sind die optoelektronischen Bauteile. Im Fernmeldebereich werden ausschliesslich Laserdioden als Sender eingesetzt. Für industrielle Anwendungen mit Übertragungsdistanzen bis zu einigen Kilometern werden Infrarot-LED vorgezogen, da diese einfacher beschaltet werden können, keine Temperaturkontrolle erfordern, eine längere Lebensdauer aufweisen und nicht zuletzt wesentlich preiswerter als Halbleiter-Laser sind. Die im Vergleich zu Laserdioden geringere Ausgangsleistung und kleinere Bandbreite (etwa 80 MHz gegenüber 1 GHz) stellen im beschriebenen Einsatzbereich keine Einschränkung dar.

Als Empfangselemente werden PIN-Dioden eingesetzt. Sie sind einfach zu beschalten, wenig temperaturempfindlich, preiswert und deshalb für die vorliegende Anwendung den in der Telekommunikation häufig eingesetzten Avalanche-Photodioden überlegen.

3.8 Das Lichtleiterkabel

Eine einfache, möglichst verlustarme Ankopplung an die LED ist eine primäre Forderung an den Lichtleiter. Seine Dämpfung soll so gering sein, dass die Übertragung über die geforderte Distanz garantiert ist. Die in der Telefonie eingesetzten Produkte, ausgelegt auf Übertragungsdistanzen bis zu 70 km, sind nicht gleichermassen geeignet für den Einsatz im industriellen Bereich, wo Signale über höchstens einige wenige Kilometer übertragen werden. Für Fernmeldezwecke werden ausschliesslich Fasern mit 50 µm

Kerndurchmesser oder kleiner eingesetzt, während im Kurzdistanzsektor Lichtleiter mit Kerndurchmessern von 85, 100 oder 200 µm verwendet werden. Ihre etwas höhere Dämpfung und der leicht höhere Preis werden für kurze Distanzen überkompensiert durch die höhere Leistung, die mit einfacheren LED in die Faser eingekoppelt werden kann. Neben den optischen müssen auch die mechanischen Eigenschaften des Kabels industriellen Ansprüchen genügen: Weder Hammerschläge noch Temperaturschwankungen von -20 bis +60°C dürfen den Betrieb des Kabels beeinträchtigen oder gar zu seiner Zerstörung führen. Um Potentialtrennung zu gewährleisten, wird das früher zur Zugentlastung eingesetzte Stahlseil heute durch nichtleitende Kunststoffgarne ersetzt.

3.9 Lichtleiterverbinder

Der Anwender erwartet, dass eine Lichtleiterverbindung ebenso einfach wie eine Koaxialkabelverbindung auf- und abgebaut werden kann. Zu diesem Zweck wird der Lichtleiter in einem Fiberopticverbinder festgehalten. Der optoelektronische Halbleiter wird in einem Gehäuse zentriert, in das der Verbinder, ähnlich wie ein SMA-Koaxialverbinder, eingeschraubt wird. Bei einem Durchmesser des lichtleitenden Kerns von 0,1 mm sind die Toleranzanforderungen an den Verbinder und das Halbleitergehäuse hoch. Trotzdem ist die Montage eines Fiberopticverbinders, dank einer durchdachten Verbinderkonstruktion, kaum schwieriger als die eines Koaxialverbinders, und dies auch im Feld und unter ungünstigen Bedingungen. Die Wahl eines Lichtleiters mit einem etwas dickeren Kern (100 oder 200 statt 50 µm) ermöglicht eine Reduktion der Toleranzanforderungen bei gleichbleibender Steckerdämpfung.

4. Schlussbemerkung

Mit den beschriebenen Analog-Übertragungsmodulen bietet die Lichtleitertechnik für das Problem der unverfälschten Übertragung von Messwerten unter schwierigen Bedingungen eine wirksame, benutzerfreundliche Lösung an. Für den Anwender ist das optoelektronische System lediglich eine Blackbox, die den Signaltransport besorgt und Potential- und Störprobleme löst.