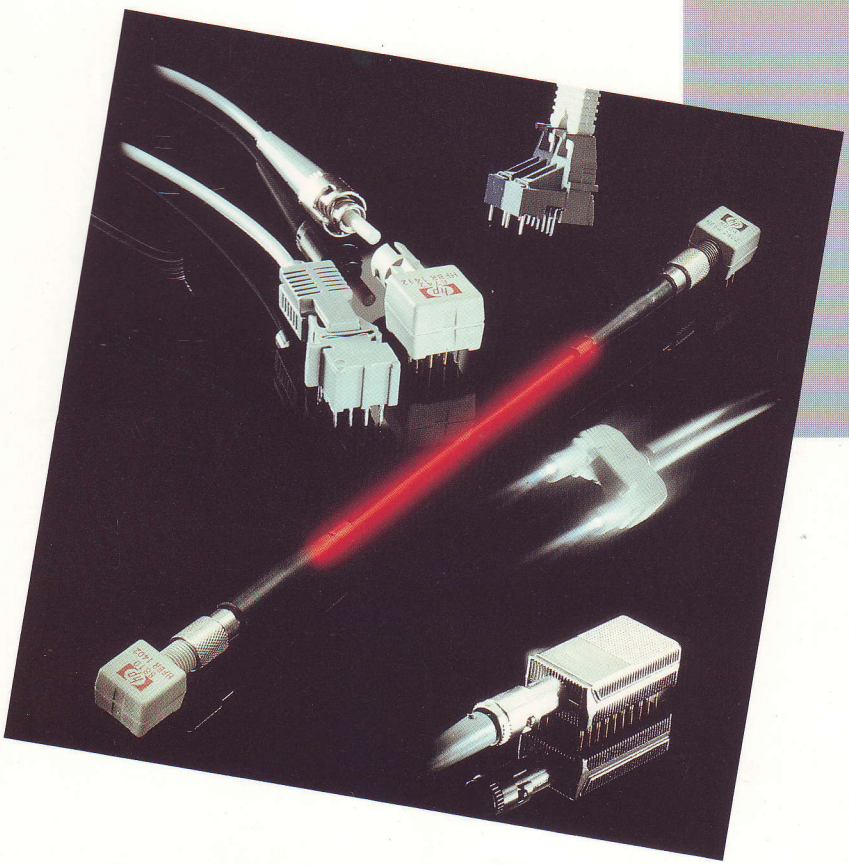
HEWLETT PACKARD

Schnelle LWL-Verbindungen

Schaltungen für analoge und digitale Applikationen

Elektronische Bauelemente



Ein Bericht von Jac van de Walle,
erschienen in "Elektronik Journal" 4/89

Die Entwicklung analoger und digitaler Lichtwellenleiter-Verbindungen auf der Basis schneller 820-Nanometer-Komponenten steht in diesem Bericht im Vordergrund.
Den Schwerpunkt bilden dabei die eigentlichen elektronischen Schaltungen.

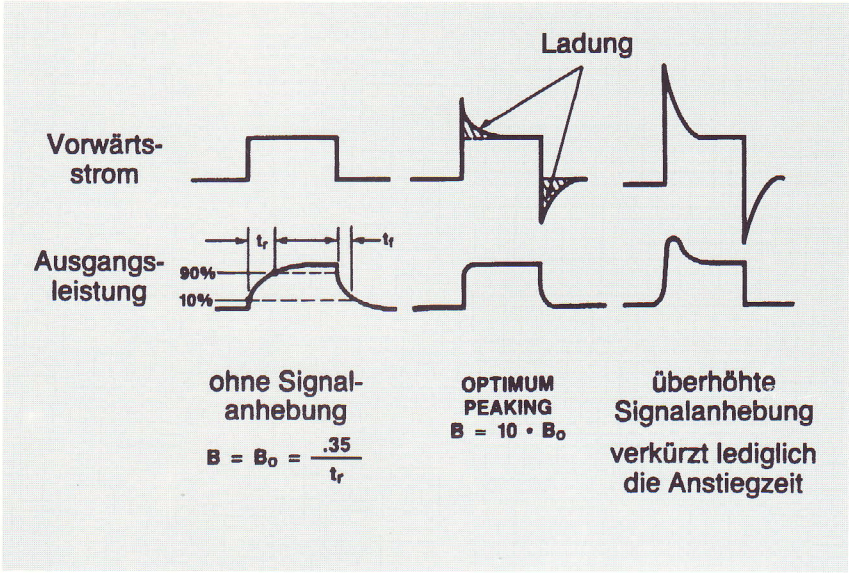
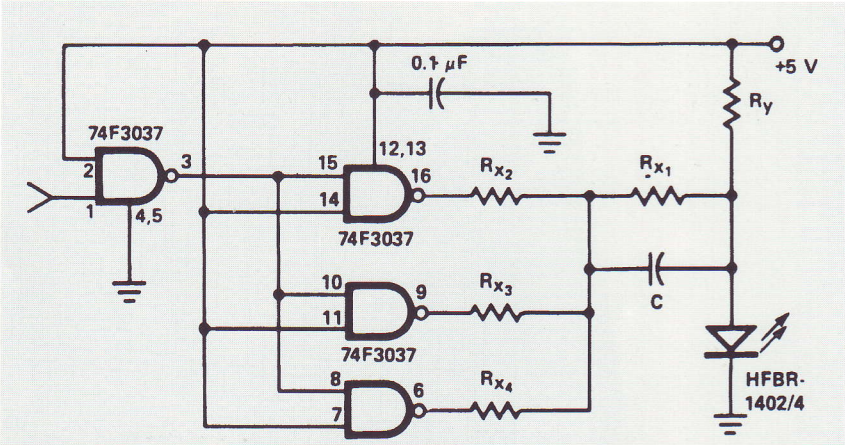


Bild 1
Verbesserung der Anstieg-Abfallzeit einer LED durch Signalanhebung

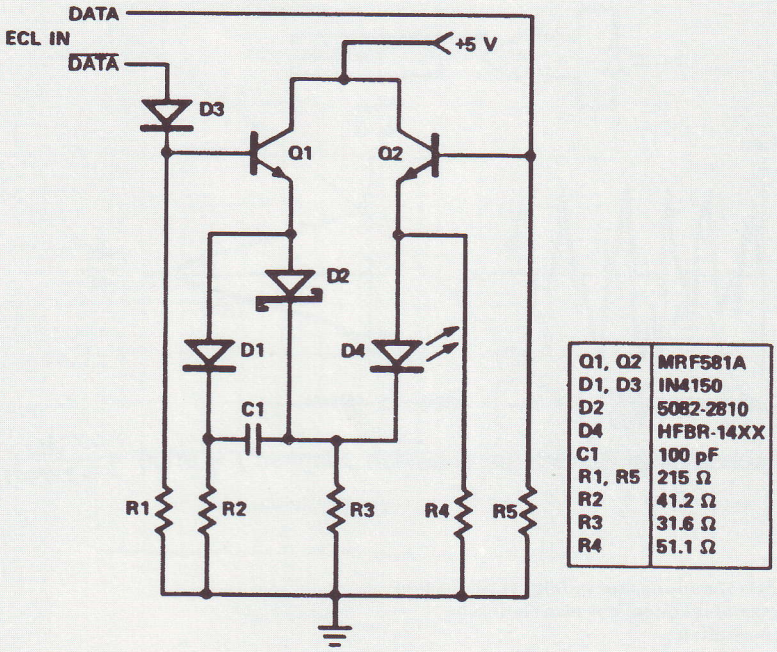


Spitzenwert der optischen Ausgangsleistung bei 1 Meter Kabellänge

		I_F = 60 mA	T_A = 25°C
Fiber Cable	NA	HFBR-1402	HFBR-1404
HP 100/140 µm	0.3	-11.5 dBm	-7.1 dBm
62.5/125 µm	0.28	-16.5 dBm	-12.2 dBm
50/125 µm	0.20	-21.9 dBm	-17.5 dBm

Bild 2
LED-Treiberschaltung für 120 MBaud mit TTL-Eingang

Leuchtdioden haben trotz ihrer geringen Ausgangsleistung den Vorteil hoher Zuverlässigkeit und lassen sich einfach anwenden. In Verbindung mit den "Gradient-Index-Fasern", die eine geringe modale Streuung aufweisen, können Leuchtdioden auch für größere Übertragungswege mit hoher Datenübertragungsleistung eingesetzt werden. Mit Hilfe der schnellen LWL-Komponenten von Hewlett-Packard lassen sich Systeme konzipieren, die Datenübertragungsgeschwindigkeiten von bis zu 200 MBaud oder Entfernungen von bis zu vier Kilometern zulassen. LWL-Sendebausteine können mit oder ohne integrierten LED-Treiber konzipiert werden. Sender ohne integrierten LED-Treiber bieten den Vorteil, daß die zugehörige Schaltung an die konstruktiven Gegebenheiten angepaßt werden kann. Auf diese Weise lassen sich Treiberschaltungen entwickeln, die erheblich höhere Übertragungsraten zulassen als integrierte Module. Für Übertragungsraten von mehr als 50 MBaud muß die LED-Treiberschaltung sorgfältig konstruiert werden. Die Modulationsbreite von LED wird vor allem durch zwei Faktoren bestimmt: die Sperrschichtkapazität und die Lebensdauer der Minoritätsträger. Um bei hohen Übertragungsraten ein günstiges Leistungsverhalten von LED und Treiberschaltung zu erreichen, sollte mit Signalanhebung und Vorspannung gearbeitet werden. Eine geringe Vorspannung bewirkt, daß die Sperrschichtkapazität nur soweit abgebaut wird, wie dies im "AUS"-Zustand der LED erforderlich ist. Die durch Signalanhebung zu erreichende Erhöhung der Bandbreite findet in der maximalen Belastbarkeit der LED ihre Grenze, so daß die Erhöhung der Bandbreite in vielen Fällen zu Lasten der Dauerbelastbarkeit der LED geht. Eine überhöhte Signalanhebung bringt die Gefahr mit sich, daß das optische Ausgangssignal übersteuert (Bild 1); sie sollte daher vermieden werden.
Mit einem schnellen Leitungstreiber (74F3037) können leistungsstarke LED-Treiberschaltungen entwickelt werden, die mit einer geringen Anzahl von Komponenten auskommen.
Die in Bild 2 dargestellte Treiberschaltung liefert eine Ausgangsleistung, die ausreicht, um die LED direkt anzusteuern. Die Musterschaltung arbeitet mit Signalanhe-



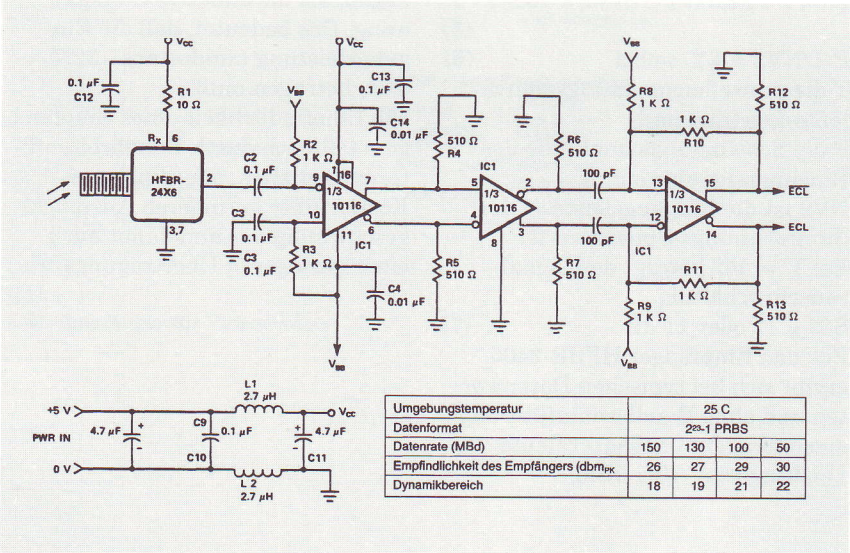
Q1, Q2	MRF581A
D1, D3	IN4150
D2	5082-2810
D4	HFBR-14XX
C1	100 pF
R1, R5	215 Ω
R2	41.2 Ω
R3	31.6 Ω
R4	51.1 Ω

Spitzenwert der optischen Ausgangsleistung bei 1 Meter Kabellänge

		I_F = 60 mA	T_A = 25°C
Fiber Cable	NA	HFBR-1402	HFBR-1404
HP 100/140 µm	0.3	-11.5 dBm	-7.1 dBm
62.5/125 µm	0.28	-16.5 dBm	-12.2 dBm
50/125 µm	0.20	-21.9 dBm	-17.5 dBm

bung für den Sender HFBR-1414. Bei einer Übertragungsrate von 120 MBaud wurden bei dieser Schaltung Anstieg- und Abfallzeiten von drei Nanosekunden sowie eine Impulsbreitenverzerrung von 15 Prozent gemessen.
Für Datenübertragungsraten bis zu 200 MBaud kann die in Bild 3 dargestellte Schaltung benutzt werden. Sie wird durch eine 5-V-Spannungsversorgung versorgt und ist ECL-kompatibel.

Bild 3
LED-Treiberschaltung für 200 MBaud mit ECL-kompatiblem Eingang



Umgebungstemperatur	25 C			
Datenformat	2^{23}-1 PRBS			
Datenrate (MBd)	150	130	100	50
Empfindlichkeit des Empfängers (dbm_{PK}	26	27	29	30
Dynamikbereich	18	19	21	22

Bild 4
ECL-kompatibler 150-MBaud-Empfänger

Der Aufbau digitaler Empfängerschaltungen

Es ist zwar durchaus möglich, ein durchgängig hybrides Digitalmodul zu verwenden, eine Kombination aus schnellem analogen Sender und externer Digitalisierschaltung bietet aber gewisse Vorteile. Der Entwickler hat die Möglichkeit, das Verhalten des Empfängers zu beeinflussen und kann einen akzeptablen Kompromiß zwischen Bandbreite und Empfindlichkeit finden.
Der analoge Empfänger HFBR-2406 verfügt über einen integrierten 125-MHz-Vorverstärker, dessen hohe Ausgangsleistung die Möglichkeit bietet, Empfänger für hohe Datenraten bei geringer Anzahl von Komponenten zu konstruieren. Bild 4 zeigt ein Beispiel für eine digitale 150-MBaud-Empfängerschaltung, die mit einer externen integrierten Schaltung für die Verstärkung und Digitalisierung des Analogsignals auskommt.

Die Empfindlichkeit digitaler Empfängerschaltungen

Die optische Mindesteingangsleistung bei gegebener Bitfehlerrate richtet sich nach der von der Fotodiode und dem Vorverstärker erzeugten Störspannung (N). Diese Spannung als Funktion der Zeit folgt statistischen Gesetzmäßigkeiten, hat also Gaußsche Eigenschaften. Aus diesem Grund läßt sich die Wahrscheinlichkeit Pr, daß die Störspannungsamplitude zu einem gegebenen Zeitpunkt außerhalb der Bereichsgrenzen - x und + x liegt (siehe Bild 5), mit Hilfe der Komplementärfehlerfunktion von x bestimmen.

Bei "single-threshold"-Empfängern besteht zwischen der Stärke der Stör- und Schwellenspannung (T) einerseits und dem Signal andererseits eine lineare Beziehung. Das Verhältnis der Spannungen (in µW) kann so hoch gewählt werden (T/N >> 6), daß die Fehlerwahrscheinlichkeit (Pe) Null ist, wenn kein Signal anliegt, also bei Pe (0) = 0. Das ist bei digitalen Empfängern wie dem HFBR-2412 der Fall. Bei einem Empfangssignal können die negativen Störspannungsspitzen die Schwellenspannung überschreiten und dadurch einen falschen Ausgangsstatus des Komparators verursachen. Die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers bei einem Tastverhältnis von 50 Prozent ergibt sich nach der Formel

Pe = 1/2 Pe (1) + 1/2 Pe (0) (1)

Bei Pe (0) = 0 reduziert sich die Formel auf Pe = 1/2 Pe (1) (2)

Bei einem genügend hohen Verhältnis der Spannungen (T/N >> 6) kann es aufgrund der positiven Störspannungsspitzen nicht zu einem Fehlerstatus des Ausgangssignals kommen. Die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers ergibt sich durch nur eine Flanke der Fehlerfunktion in Bild 5, nämlich

Pe (1) = 1/2 Fhlfkt (x) (3)

Es ergibt sich

Pe = 1/4 Fhlfkt (x) (4)

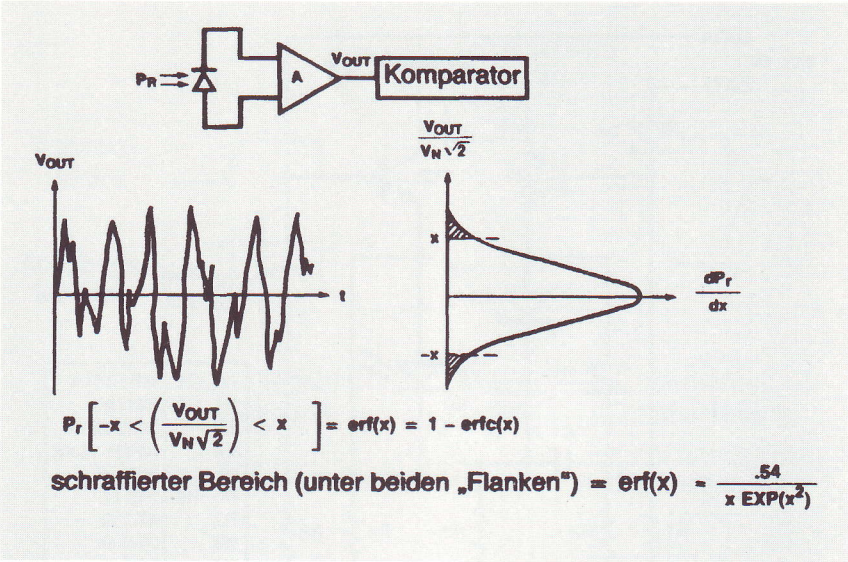


Bild 5
Die Störspannungskurve folgt statistischen Gesetzmäßigkeiten, hat also Gaußsche Eigenschaften

Bei einer angestrebten Bitfehlerrate von 10E-9 kann das Signalrauschverhältnis mit Hilfe von Bild 6 wie folgt ermittelt werden:

Pe = 1/4 Fhlfkt P-T/NV2 = 10E-9 - > (5)

P-T/NV2 = 4,2, wobei (6)

T die schwellenspannungsäquivalente Leistung und

P die Schwingungsamplitude des Eingangssignals sind.

NV2 ist die Eingangsleistung des Störspannungs-Spitzenwerts.

Bei T = P/2 beträgt das Signalrauschverhältnis

S/N = 12 oder 11 dB (7)

Für den Empfänger HFBR-2406 ergibt sich bei typischen Datenwerten und ohne Bandbreitenfilterung eine störspannungsäquivalente Leistung von - 43,7 dBm.

Um eine Bitfehlerrate von weniger als 10E-9 zu erreichen, muß der Signalpegel, bezogen auf den Empfängereingang, um 11 dB höher liegen, als die effektive Störspannung. Das bedeutet, daß die Eingangsleistung mindestens - 32,7 dBm betragen muß.

Die Empfindlichkeit eines Empfängers läßt sich durch Bandbreitenfilterung erhöhen, allerdings auf Kosten einer geringeren Ansprechgeschwindigkeit und damit auch einer geringeren Übertragungsrate.

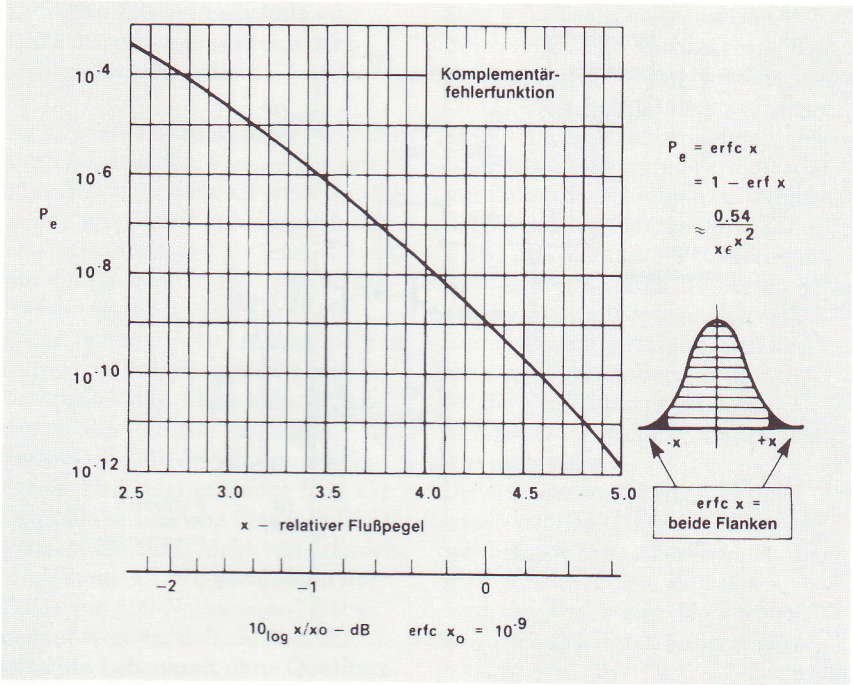


Bild 6
Komplementärfehlerfunktion mit Argument in dB für 0 dB bei P (e) = 10E-9

Ein Richtwert für die maximale Datenübertragungsrate ist 0,7/ Anstiegzeit oder 2mal Bandbreite. Mit einem 25-MHz-Tiefpaßfilter beträgt die relative Bandbreite

Bo/B = 125 MHz/25 MHz = 5 (8)

Bei statistischem (Gaußschem) Störspannungsverlauf entsprechen die Amplitudenschwankungen der Quadratwurzel der Bandbreite. Das bedeutet, daß sich die Empfindlichkeit des Empfängers bei einer relativen Bandbreite von 5 Mikrometern um 3,5 dB erhöht.
Mit anderen Worten, mit einem 25-MHz-Filter läßt sich die Empfindlichkeit des Empfängers HFBR-2406 bei einer Bitfehlerrate von maximal 10E-9 um 3,5 dB - 32,7 dBm auf 36,2 dBm verbessern.

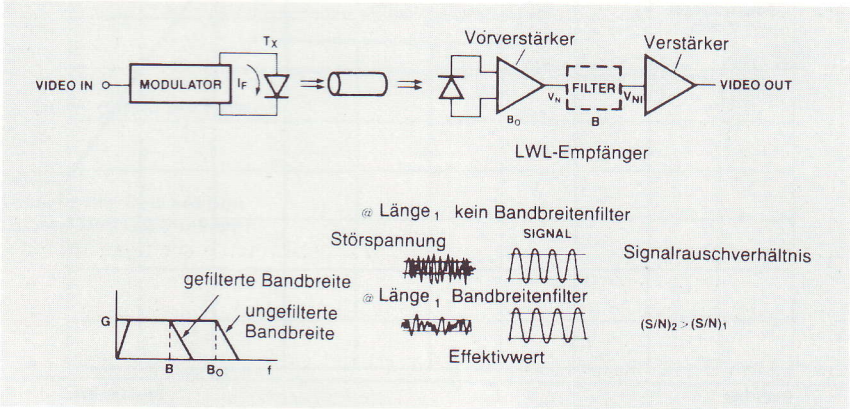


Bild 7
LWL-Empfänger für Videosignale

Die Übertragung von Videosignalen

Bei Videosignalen kann die Übertragungsqualität in störspannungsintensiven Umgebungen durch Verwendung von LWL-Kabeln deutlich verbessert werden. Reflektionsphänomene aufgrund unzureichender Koaxialkabelabschlüsse treten nicht auf.
In ihrer Grundform besteht eine Empfängerschaltung für Videosignale aus einer Fotodiode, einem Vorverstärker, einem Bandfilter und einem Ausgangsverstärker (siehe Bild 7).
Normalerweise erfolgt die Filterung der Störspannungen beziehungsweise die Verringerung der Bandbreite nach dem Vorverstärker und vor dem Ausgangsverstärker. Da die von der Fotodiode erzeugte Signalstärke gering ist, läßt sich ein Vorverstärker nur sehr schwer mit diskreten Komponenten aufbauen. Der HFBR-2406 verfügt aber über einen eingebauten 125-MHz-Vorverstärker, so daß sich auf dieser Basis ein Videoempfänger konstruieren läßt, der aus wenigen Komponenten besteht.

Bandbreitenfilter reduziert die Störspannung auf Filterbandbreite

Wenn die Leistung des 125-MHz-Vorverstärkers nicht voll genutzt wird, kommt man zu einem akzeptablen Kompromiß zwischen Bandbreite und Empfindlichkeit. Bei LWL-Empfängern lassen sich alle Störspannungen als störspannungsäquivalente Leistung auf den optischen Eingang des Empfängers beziehen. Mit einem Bandbreitenfilter kann die Störspannung auf die Filterbandbreite reduziert werden. Die so erreichte Verbesserung des Signalrauschverhältnisses erhöht die Empfindlichkeit bezogen auf den optischen Eingang bei gleichzeitiger Beibehaltung einer ausreichenden Bandbreite für die Übertragung von Videosignalen.
Bild 8 zeigt einen analogen Sender für Frequenzen bis 180 MHz (3 dB Bandbreite);
Bild 9 den Amplitudengang.
Bild 10 ist ein Beispiel für einen LWL-Videoempfänger. Die Leistung dieses Empfängers kann an die Kabeldämpfung angepaßt werden, so daß sich eine BAS-Signalstärke von 1 Vss erreichen läßt. Durch Kombination verschiedener Alternativen zum LM-733-Verstärker mit einem Spitzenwert-Gleichrichter, einem Leitungsverstärker und einem Tiefpaßfilter läßt sich ein Videoempfänger mit automatischer Amplitudenregelung aufbauen.

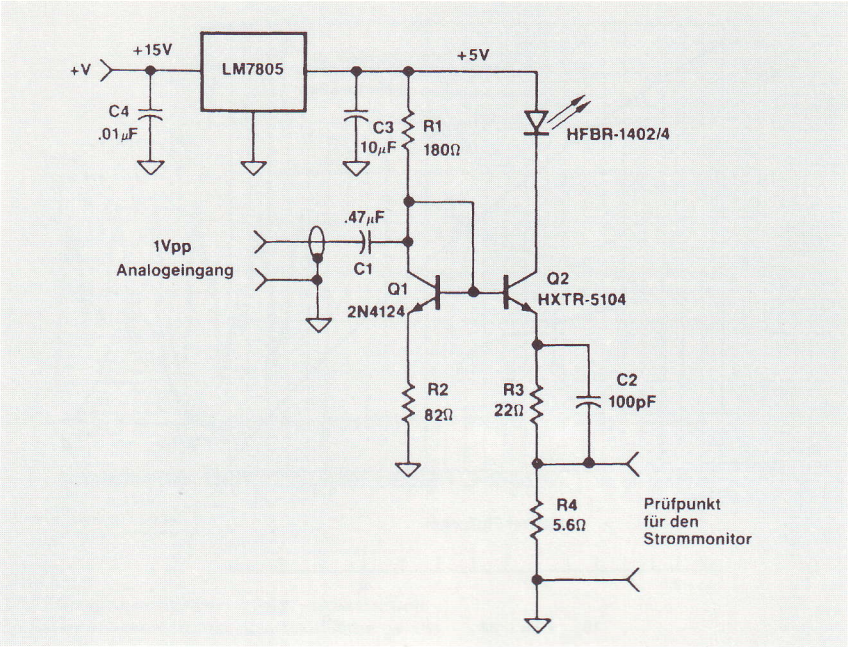


Bild 8
Linearer Breitbandsender

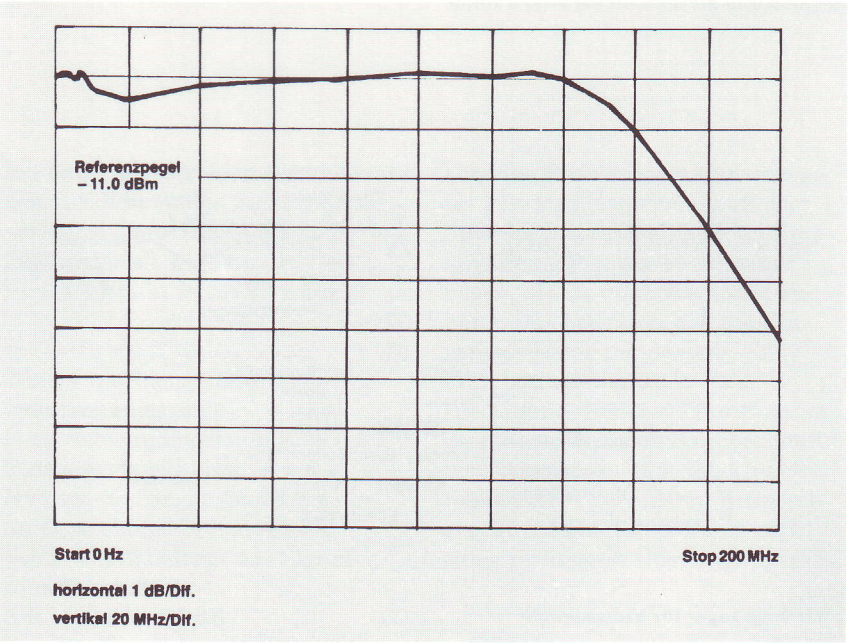


Bild 9
Frequenzgang eines linearen Breitbandsenders

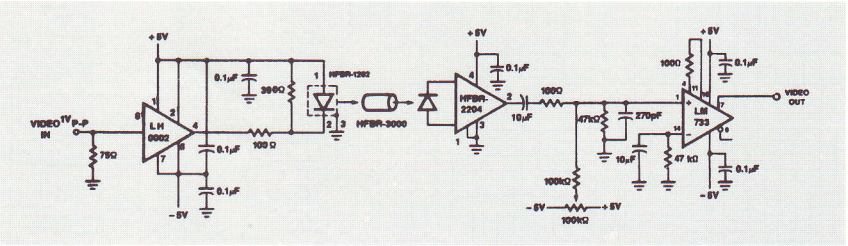


Bild 10
Analogempfänger

Erhöhte Zuverlässigkeit von LED durch verbessertes Kristallziehverfahren

Im allgemeinen lassen sich Ausfälle von Leuchtdioden in zwei Kategorien einteilen: katastrophale Ausfälle und fortschreitende Degradation. Die fortschreitende Degradation ist auf die hohe Stromdichte zurückzuführen, die bei einem Vorwärtsstrom von 60 bis 100 Milliampere im aktiven Bereich bis zu 50A/mm² betragen kann. Diese hohe Stromdichte führt zu den "dark line defects" (DLD), der Hauptursache für die Degradation (siehe Bild 11). Obwohl die Ursache für diese DLD-Phänomene noch nicht voll erforscht sind, können LWL-Sender auf der Basis von 820-Nanometer-LED so gebaut werden, daß sie über die gesamte Lebenszeit ohne Qualitätsverlust arbeiten.

Durch Auswahl hochwertiger Materialien und Verbesserung des Kristallziehverfahrens läßt sich die DLD-Dichte beträchtlich verringern, so daß die Wahrscheinlichkeit von DLD-Einschlüssen in Verbindung mit der äußerst kleinen Anschlußfläche von 820-Nanometer-LED auf einen sehr kleinen Wert verringert werden kann. Durch Einbrennen vor der Montage lassen sich selbst Komponenten mit nur einem DLD-Einschluß aussondern, so daß die für die Produkte verwendeten Komponenten keinen Qualitätsverlust aufweisen.
Defekte im nichtaktiven Bereich lassen sich mit Hilfe des "Burn-in" nicht feststellen. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit, daß sich derartige Defekte in den aktiven Bereich ausdehnen, äußerst gering.

Sollte dieser Fall dennoch eintreten, dann würde dies nach jahrelangem Betrieb ohne jeden Qualitätsverlust zu einem schnellen Ausfall der betreffenden LED führen. Die Wahrscheinlichkeit solcher Ausfälle sollte als mittlere Ausfallzeit angegeben werden.
Bei LED-Sendern wie dem HFBR-1414 beträgt die mittlere Ausfallzeit bei einer Temperatur von 85 Grad Celsius und maximalem Vorwärtsstrom mehr als 746000 Stunden.

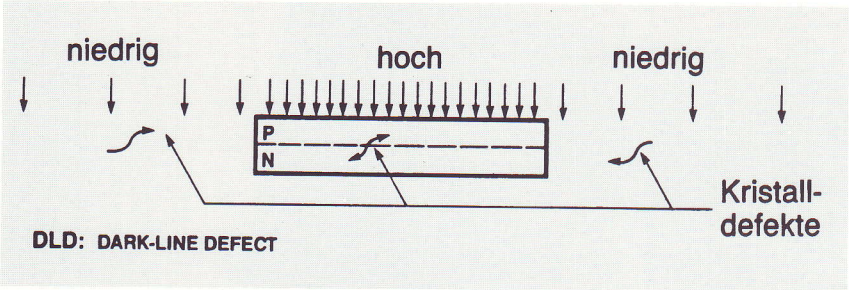


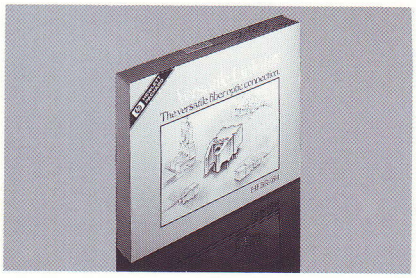
Bild 11
Ursache der Degradation
(Bilder: Hewlett-Packard)

Literatur

1. Hewlett-Packard, Optoelectronics/Fiberoptics Application Manual McGraw-Hill, 1984
2. Hewlett-Packard, Begleitheft zum Optical Communication Application Seminar, 1986
3. Hewlett-Packard, Application Bulletin 73
4. Hewlett-Packard, Application Bulletin 78
5. Hewlett-Packard, Tech Brief 104.

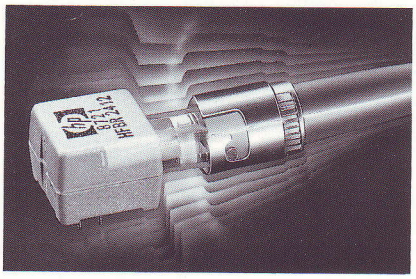
Für Testzwecke bieten wir an:

Plastik-LWL-Kit (HFBR-0501)



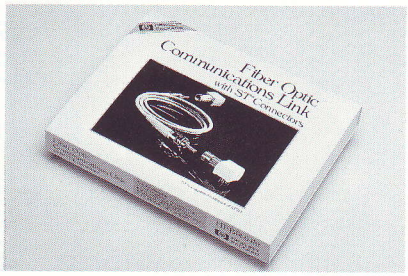
Inhalt:
Sender/Empfänger
5 m LWL-Faser/montiert
Zubehör
technische Daten

Glasfaser-LWL-Kit (HFBR-0400) mit SMA-Stecker



Inhalt:
Sender/Empfänger
3 m LWL-Faser/montiert
Zubehör
technische Daten

Glasfaser-LWL-Kit (HFBR-0410) mit Bajonett-Stecker



Inhalt:
Sender/Empfänger
3 m LWL-Faser/montiert
Zubehör
technische Daten

Für Testzwecke und Serienfertigung: Lichtwellenleiter-Produkte von Hewlett-Packard

LWL – der Schritt nach vorn

Technische Daten*:

Experimentiersystem Stecker	HFBR-0501 SNAP-IN	HFBR-0400 SMA	HFBR-0410 BAJONETT
Übertragungsmedia: Lichtwellenleiter Dämpfung 25° C	Plastik 1mm 0,25 dB/m	Glas 62,5 / 125 µm 2,8 dB/km	Glas 62,5 / 125 µm 2,8 dB/km
Typ. Übertragungslänge in Abhängigkeit zur Datenrate	125 m / 40 KBd 65 m / 1 MBd 40 m / 5 MBd	8,6 km / 5 MBd 4,5 km / 30 MBd 1,0 km / 100 MBd	8,6 km / 5 MBd 4,5 km / 30 MBd 1,0 km / 100 MBd
Ausgangssignal Empfänger	digital	digital/analog	digital/analog
Verwendbare Lichtwellenleiter	1000 µm Plastik	50/125 µm Glas 62,5/125 µm Glas 100/140 µm Glas 200 µm HCS oder PCS	50/125 µm 62,5/125 µm 100/140 µm 200 µm HCS oder PCS
Verwendbare Stecker	• Snap-in • Snap-in verriegelt • Snap-in Duplex • Snap-in Duplex verriegelt	9 mm SMA	ST Stecker (Bajonett)
Gehäusedurchführung	Ja (HP)	Ja	Ja

*Detaillierte Unterlagen werden bei jeder Bestellung beigefügt

Wenn Sie LWL-Produkte bereits einsetzen oder einsetzen wollen (bis z.Zt. 200 MBd), dabei Applikationshilfe oder Dokumentationen benötigen, sollten Sie mit uns sprechen!

Rufen Sie einfach die für Sie zuständige HP-Geschäftsstelle an, oder senden Sie uns beigefügte Karte ausgefüllt zurück.

Ihre HP-Geschäftsstellen für elektronische Bauelemente:

Hannover

Hewlett-Packard GmbH
Heidering 37 - 39
3000 Hannover 61
Telefon: (05 11) 57 06-1 10
Telefax: (05 11) 57 06-1 26
Telex: 923 259 hphan

Böblingen

Hewlett-Packard GmbH
Schickardstraße 2
7030 Böblingen
Telefon: (0 70 31) 6 45-4 73
Telefax: (0 70 31) 6 45-4 29
Telex: 7 265 743 hep

München

Hewlett-Packard GmbH
Eschenstraße 5
8028 Taufkirchen
Telefon: (0 89) 6 12 07-2 16
Telefax: (0 89) 6 12 07-3 00
Telex: 524 985 hpmch

Frankfurt

Hewlett-Packard GmbH
Berner Straße 117
6000 Frankfurt 56
Telefon: (0 69) 5 00 06-2 76
Telefax: (0 69) 5 00 06-2 00
Telex: 412 815 hpffm

Nürnberg

Hewlett-Packard GmbH
Emmericher Straße 13
8500 Nürnberg 10
Telefon: (09 11) 52 05-1 02
Telefax: (09 11) 52 05-1 40
Telex: 623 860 hpnbg

Düsseldorf

Hewlett-Packard GmbH
Berliner Straße 111
4030 Ratingen
Telefon: (0 21 02) 4 94 - 3 81
Telefax: (0 21 02) 4 94 - 3 00
Telex: 8 589 070 hprad