

High-Speed Optical Transmission Systems*

Übertragungssysteme

18. Februar 2011

In dieser Übung werden die Eigenschaften der Modulationsverfahren im Hinblick auf verschiedene Störungen genauer untersucht. Zunächst wird die Toleranz gegenüber dem ASE-Rauschen der optischen Verstärker bestimmt. Die folgenden Aufgaben setzen sich mit verschiedenen Aspekten der Intrakanal-Nichtlinearitäten auseinander.

1 Benötigtes OSNR

Die Signalleistung wird durch die Faserdämpfung entlang der Strecke reduziert. Aus diesem Grund muss das Signal auf längeren Strecken durch optische Verstärker (üblicherweise erbium-dotierte Faserverstärker, engl. *erbium-doped fiber amplifier*, EDFA) wieder verstärkt werden. Da jeder EDFA dem Signal Rauschen (durch spontane Emission, engl. *amplified spontaneous emission*, ASE) hinzufügt, reduziert jeder EDFA das verfügbare OSNR. Ein praktisches Kriterium für die Toleranz eines Modulationsverfahrens gegenüber dem ASE-Rauschen ist das benötigte OSNR am Empfänger für eine bestimmte BER (üblicherweise $BER \leq 10^{-9}$). In dieser Aufgabe soll nun das benötigte OSNR für RZ- und NRZ-IM/DD Systeme bestimmt werden. Der Simulationsaufbau ist in Abb. 1 gezeigt. Nach den Sendern wird jeweils das OSNR angepasst und das Signal mit einem Geradeausempfänger detektiert. Die geschätzte BER wird dann auf einem XY-Schreiber ausgegeben.

Benötigte Module:

- Receivers/BER_OOK_S
- Wiring Tools/Ground
- Wiring Tools/BusCreate4_1
- Math Functions/Const
- Analyzers/Numerical Analyzer2D

*Diese Übungsblätter basieren auf der ersten Ausarbeitung von Johannes Fischer, mit dem zusammen ich diese Veranstaltung entwickelt habe.

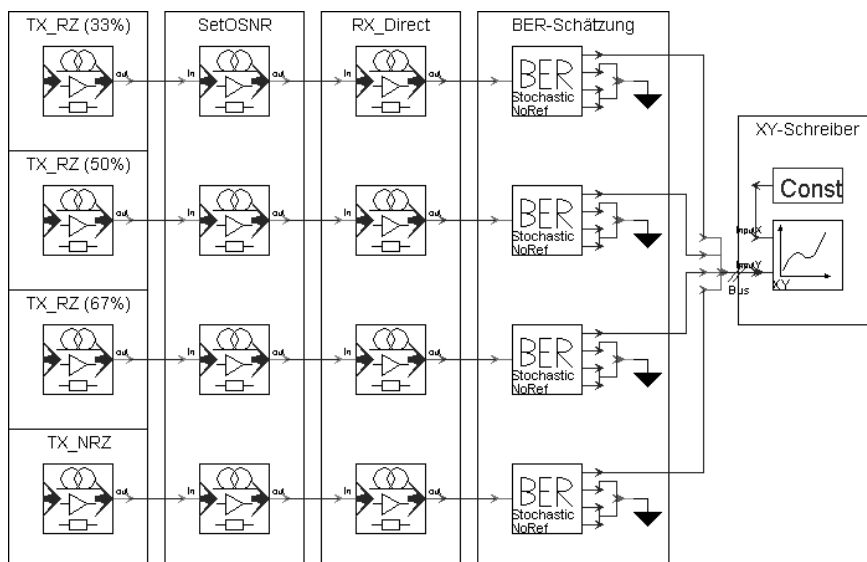


Abb. 1: Simulationsaufbau

Einstellungen:

TX_RZ (33%)	PRBS_Order	10
TX_RZ (50%)	VBias	0.25
	Amplitude	0.25
	Frequency	BitRateDefault
	Phase	90.0
	ChannelLabel	Ch2
	PRBS_Order	10
TX_RZ (67%)	VBias	0.5
	Amplitude	0.5
	Frequency	BitRateDefault/2
	Phase	0.0
	ChannelLabel	Ch3
	PRBS_Order	10
TX_NRZ	ChannelLabel	Ch4
	PRBS_Order	10
BER_Stochastic_NoRef (alle)	IncludeShotNoise	No
	ThermalNoise	0.0
ViXY	Options	-1 "33% RZ" -2 "50% RZ" -3 "67% RZ" -4 "NRZ" -erfc -x "OSNR [dB]" -y "BER"
Const	level	OSNR

Aufgabe 1:

Erzeugen Sie aus dem Parameter *OSNR* des Moduls *SetOSNR* einen globalen Parameter. Variieren Sie das OSNR von 16 dB bis 21 dB und bestimmen Sie für jedes Modulationsformat das benötigte OSNR für eine $BER \leq 10^{-9}$ (1024 Bits, 40 Gbit/s, 32 Abtastpunkte pro Bit).

2 Intrakanal-Nichtlinearitäten

In dieser Aufgabe sollen die Intrakanal-Vierwellenmischung (*intra-channel four-wave mixing*, IFWM) und die Intrakanal-Kreuzphasenmodulation (*intra-channel cross-phase modulation*, IXPM) genauer untersucht werden. IFWM führt zu der Entstehung von Pulsen an Stelle der Nullen, sogenannten Geisterpulsen. Mit Hilfe des Simulationsaufbaus in Abb. 2 können die entstehenden Geisterpulse beobachtet werden.

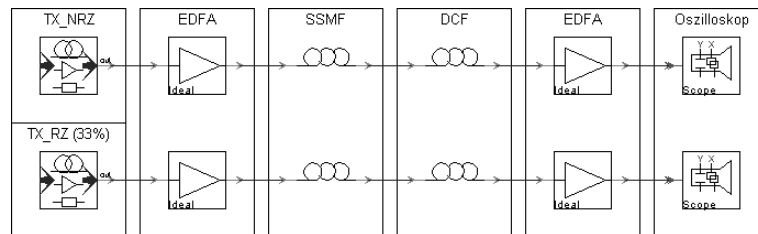


Abb. 2: Simulationsaufbau

Benötigte Module:

- Optical Amplifiers/AmpSysOpt
- Fibers/FiberNLS
- Visualizers/ViScope

Hinweis: Da der obere und untere Pfad in Abb. 2 bis auf die Sender identisch sind, sollte zunächst nur ein Pfad aufgebaut und dieser dann kopiert werden.

Einstellungen:

TX_NRZ	ChannelLabel	Ch1
	PRBS_Order	10
TX_RZ (33%)	ChannelLabel	Ch2
	PRBS_Order	10
AmpSysOpt (links)	SystemModelType	POWER
	LockedTarget	12
	[Output Power	16 mW $\stackrel{!}{=} 12$ dBm]
	IncludeNoise	OFF
	PolarizFilter	X
FiberNLS (SSMF)	Length	100e3
	DispersionSlope	0.0
FiberNLS (DCF)	Length	16e3
	Attenuation	0.5e-3
	Dispersion	-100e-6
	DispersionSlope	0.0
	CoreArea	35e-12
AmpSysOpt (rechts)	SystemModelType	GAIN
	LockedTarget	0.2*100+0.5*16
	IncludeNoise	OFF
ViScope	Type	Eye
	Options	-nl -grading

Aufgabe 2a:

Starten Sie eine Simulation mit einer Bitrate von 40 Gbit/s, 1024 Bits und 32 Abtastpunkten pro Bit. Vergleichen Sie die entstehenden Geisterpulse bei NRZ und 33% RZ.

Aufgabe 2b:

Es soll nun untersucht werden, wie sich der Dispersionsparameter der Übertragungsfaser auf den Einfluss von IFWM und IXPM auswirkt. Ein Maß für den Einfluss von IFWM ist die Höhe des stärksten Geisterpulses. Der Einfluss von IXPM kann durch die Breite der Pulsübergänge im Augendiagramm abgeschätzt werden. Für diese Aufgabe soll der Simulationsaufbau aus Aufgabe 2a gemäß Abb. 3 erweitert werden.

Benötigte Module:

- Visualizers/SignalAnalyzerEl
- Wiring Tools/BusCreate3_1

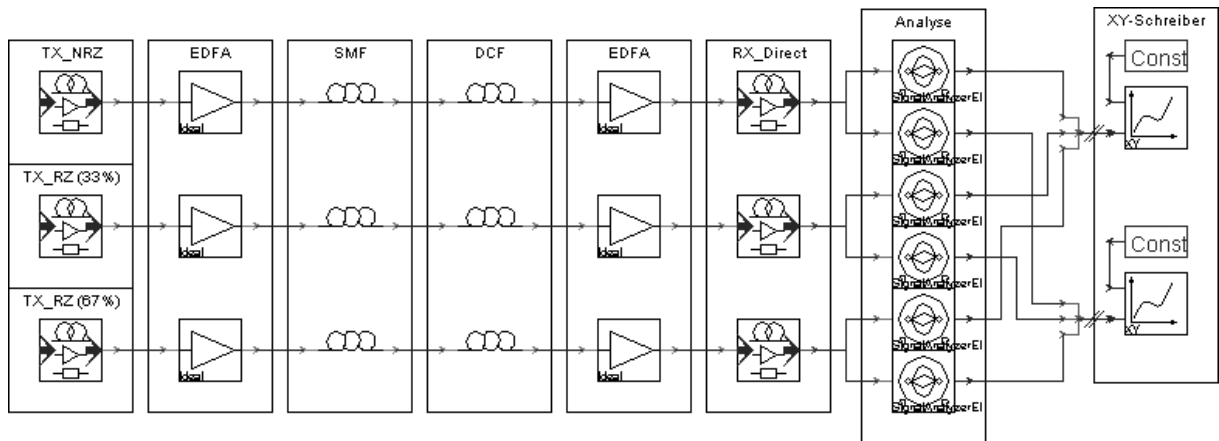


Abb. 3: Simulationsaufbau

- Visualizers/ViXY
- Sweep & Simulation Tools/Const

Einstellungen:

TX_RZ (67%)	ChannelLabel	Ch3
	VBias	0.5
	Amplitude	0.5
	Frequency	BitRateDefault/2
	Phase	0.0
AmpSysOpt (links)	LockedTarget	10.0
FiberNLS (SMF)	Dispersion	DSMF
FiberNLS (DCF)	Length	DSMF*1e9
AmpSysOpt (rechts)	LockedTarget	0.2*100+0.5*DSMF*1e6
SignalAnalyzerEl (jeweils der obere) (NRZ)	OutputQuantity	JitterRMS
	CrossingAlgorithm	BitTransitions
	CrossingAlgorithm	ActualCrossing
SignalAnalyzerEl (jeweils der untere)	OutputQuantity	MaxValueZeros
	SampleType	RELATIVE
Const	level	DSMF*1e6
ViXY (oben)	Options	-1 "NRZ" -2 "33% RZ" -3 "67% RZ" -x "D (ps/km nm)" -y "JitterRMS"
ViXY (unten)	Options	-1 "NRZ" -2 "33% RZ" -3 "67% RZ" -x "D (ps/km nm)" -y "Max(Zeros)"

Für jedes Modulationsformat wird jeweils *JitterRMS* (Standardabweichung Eins/Null, Null/Eins Übergänge) und *MaxValueZeros* (Maximalwert der Nullen) ausgewertet. Zusätzlich zu den obigen Einstellungen müssen in die Module *RX_Direct* und *SignalAnalyzerEl* die entsprechenden *ChannelLabel*

eingetragen werden. Mit zusätzlichen *ViScopes* nach den Empfängern können Sie sich die empfangenen Augendiagramme anzeigen lassen.

Definieren Sie einen globalen Parameter *DSMF*. Der Dispersionsparameter *DSMF* soll nun folgende Werte durchlaufen: $1 \frac{\text{ps}}{\text{km}\cdot\text{nm}}$, $4 \frac{\text{ps}}{\text{km}\cdot\text{nm}}$, $8 \frac{\text{ps}}{\text{km}\cdot\text{nm}}$ und $16 \frac{\text{ps}}{\text{km}\cdot\text{nm}}$ (wählen Sie in der Sweep-Definition den *Control mode: List* aus). Wie ändert sich der Einfluss von IFWM und IXPM mit dem Dispersionsparameter?

3 Einfluss der Länge der Bitsequenz

Sowohl IFWM als auch IXPM sind bitmusterabhängige nichtlineare Effekte. In dieser Aufgabe soll untersucht werden, wie die Länge der simulierten Bitsequenz die Genauigkeit der Simulationsergebnisse beeinflusst.

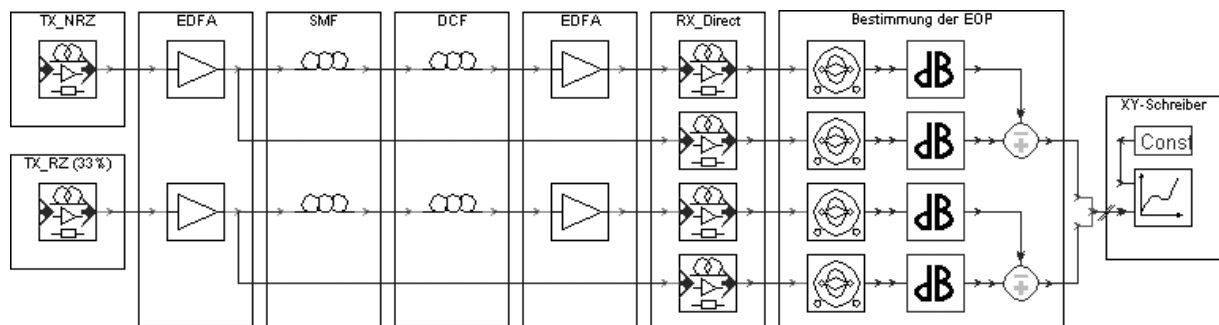


Abb. 4: Simulationsaufbau

Aufgabe 3a:

Speichern Sie den Aufbau aus Aufgabe 2b unter neuem Namen und löschen Sie den Zweig für 67% RZ. Ändern Sie den Aufbau gemäß Abb. 4. Der Einfluss der Bitsequenzlänge und der Bitrate wird an den Augendiagrammen besonders deutlich. Mit *ViScopes* nach den jeweils oberen Empfängern können Sie sich die Augendiagramme anzeigen lassen.

Benötigte Module:

- Signal Processing/Nonlinear Functions/Other Nonlinear Functions/DB
- Signal Processing/Arithmetics/Subtractors/Sub
- Wiring Tools/BusCreate2_1

Einstellungen:

SignalAnalyzerEl (alle)	OutputQuantity	EyeClosure
	SampleType	RELATIVE
ViXY	Options	-1 "NRZ" -2 "33% RZ" -x "PRBS Order" -y "EOP (dB)"
DB	inputIsPower	TRUE
Const	level	PRBS_Order

Weisen Sie den Modulen *RX_Direct* und *SignalAnalyzerEl* die korrekten *ChannelLabel* zu. Der globale Parameter *DSMF* soll den Wert $20e-6$ aufweisen.

Erstellen Sie aus dem Parameter *PRBS_Order* der Module *TX_NRZ* bzw. *TX_RZ* einen globalen Parameter. Variieren Sie den Parameter *PRBS_Order* von 6 bis 11 (Schrittweite 1). Erstellen Sie aus dem globalen Parameter *TimeWindow* einen weiteren Sweep-Parameter. Dieser soll die Werte $64e-10$, $128e-10$, $256e-10$, $512e-10$, $1024e-10$ und $2048e-10$ annehmen (Hinweis: *PRBS_Order* und *TimeWindow* müssen im Sweep die gleiche *SweepDepth* aufweisen). Starten Sie die Simulation mit einer Bitrate von 10 Gbit/s und 32 Abtastwerten pro Bit. Analysieren Sie die Änderung des EOP mit der Anzahl der simulierten Bit.

Aufgabe 3b:

Ändern Sie den globalen Parameter *SampleRateDefault* auf den Wert $32 \cdot 40e9$ und *BitRateDefault* auf $40e9$. Passen Sie den Sweep-Parameter *TimeWindow* entsprechend an ($16e-10$, $32e-10$, $64e-10$, $128e-10$, $256e-10$ und $512e-10$). Starten Sie die Simulation und vergleichen Sie die Änderung des EOP mit den Ergebnissen aus Aufgabe 3a.

4 Vergleich von 33% RZ-OOK und 33% RZ-DPSK

In dieser Aufgabe soll die Toleranz von RZ-OOK (OOK – *on-off keying*) und RZ-DPSK gegenüber Intrakanal-Nichtlinearitäten verglichen werden. Dazu wird die EOP in Abhängigkeit von der mittleren Eingangsleistung ermittelt.

Aufgabe 4:

Speichern Sie den Simulationsaufbau aus Aufgabe 3 unter neuem Namen. Ersetzen Sie den NRZ-Sender durch Ihre Galaxy *TX_RZDPSK* und die entsprechenden Empfänger durch Ihre Galaxy *RX_Balanced*. Auch hier können Sie sich durch zusätzliche *ViScopes* die empfangenen Augendiagramme anzeigen lassen. Der globale Parameter *DSMF* soll hier $16e-6$ betragen. Erstellen Sie aus dem Parameter *LockedTarget* der Verstärker nach den Sendern einen globalen Parameter. Variieren Sie über diesen Parameter die mittlere Eingangsleistung (von 4 dBm bis 16 dBm mit einer Schrittweite von 2 dBm. Es

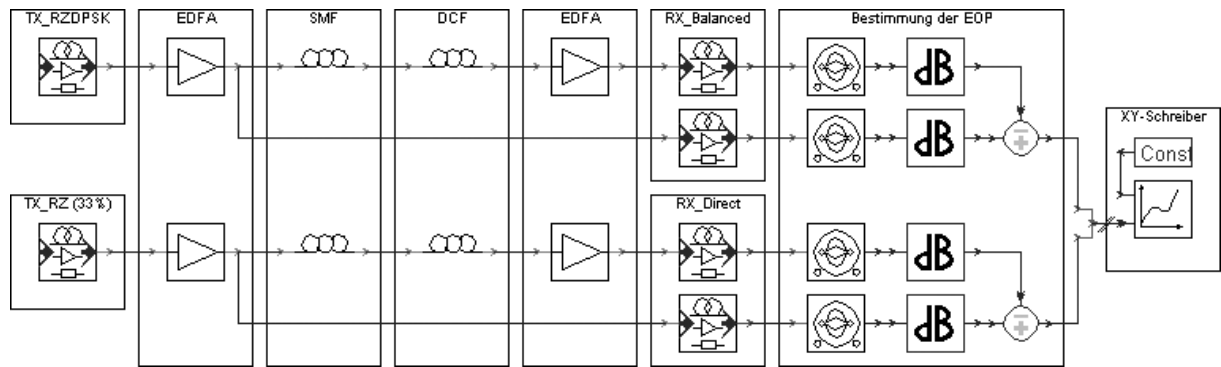


Abb. 5: Simulationsaufbau

sollen 512 bit (*PRBS_Order* 9) bei 40 Gbit/s mit 32 Abtastpunkten pro bit simuliert werden.

Einstellungen:

ViXY	Options	-1 "33% RZ-DPSK" -2 "33% RZ-OOK"
		-x "Power [dBm]" -y "EOP (dB)"
Const	level	LockedTarget