



Zusammenfassung der Dissertation:

**Study of Multilevel Modulation Formats
for High Speed Digital Optical
Communication Systems**

des Herrn Selwan Khaleel Ibrahim

Mehrstufige Modulationsformate haben eine hohe spektrale Effizienz und können verwendet werden, um die Probleme im Zusammenhang mit limitierten Kanälen und limitierter Bandbreite in engen Wellenlängenmultiplex-Systemen zu lösen. Hohe spektrale Effizienz kann erreicht werden, indem die Übertragungskapazität verdoppelt wird, was dadurch erreicht werden kann, dass man mehr Informationen in der Amplitude, der Phase, der Polarisation oder einer Kombination von allem überträgt.

Differentielle Quadratur-Phasenumtastung verdoppelt die Übertragungsrate, indem mehr Information in der Phase des optischen Trägersignals übertragen wird. DQPSK Empfänger benötigen komplexere und teurere Komponenten wie Verzögerungsinterferometer und Differenz-Photoempfänger. Eine Kombination von DQPSK mit Polarisationsmultiplex würde eine vervierfachte Übertragungsrate ergeben, aber es würde auch ein Polarisationsregler benötigt, was zu einem komplexeren Empfänger führt. Ein 2x10 Gbit/s DQPSK Signal kann erzeugt werden, indem zwei 10 Gbit/s differentiell phasenumgetastete Signale orthogonal in einem QPSK Modulator kombiniert werden. Die Empfänger-Empfindlichkeit für 2x10 Gbit/s NRZ- und RZ-DQPSK Signale wurde mit -36.8 dBm bzw. -38.3 dBm gemessen. Die Toleranz gegenüber Chromatischer Dispersion für 20 Gbit/s RZ-DQPSK bei einer Verschlechterung des Signal-zu-Rausch Abstands von 1 dB ist ~360 ps/nm. Wenn Polarisationsmultiplex verwendet wird, um zwei 20 Gbit/s DQPSK Signale zu kombinieren, wird die Empfänger-Empfindlichkeit für 40 (2x2x10) Gbit/s NRZ- und RZ-DQPSK PolDM - 33.8 dBm bzw. -34.7 dBm.

Konventionelle vierstufige Intensitätsmodulation verdoppelt die Datenrate, indem mehr Information in der Amplitude des Trägersignals übertragen werden, wobei die Amplitude mit einem elektrischen vierstufigen amplitudenumgetasteten Signal moduliert wird. Ein einfacher Empfänger bestehend aus einer einzelnen Photodiode, drei Entscheidern und einer Dekodierungslogik kann verwendet werden um die ursprünglich übertragenen Daten zurückzugewinnen.



Ein 2x10 Gbit/s vierstufiges intensitätsmoduliertes Signal kann auch erzeugt werden, indem zwei modulierte Signal mit unterschiedlicher Amplitude in orthogonalen Phasen oder orthogonalen Polarisationen kombiniert werden. Wenn zwei 10 Gbit/s binäre NRZ-ASK Signale mit unterschiedlichen Amplituden und orthogonalen Phasen in einem QPSK-Modulator kombiniert werden, erhält man ein 2x10 Gbit/s vierstufiges intensitätsmoduliertes Signal, dass dieselbe Bandbreite wie ein 10 Gbit/s binäres NRZ-ASK Signal hat. Die gemessene Empfänger-Empfindlichkeit und die 1 dB CD Toleranz sind -21.6 dBm bzw. ~130 ps/nm.

Die spektrale Effizienz dieses vierstufigen intensitätsmodulierten Signals kann zusätzlich erhöht werden, indem zwei 10 Gbit/s optische Duobinär-Signale mit unterschiedlichen Amplituden in einem QPSK Modulator kombiniert werden, was sowohl für orthogonalen Phasen zu einem Konstellationsdiagramm mit 9 Punkten für das vierstufige Duobinärsignal führt, wie auch für orthogonale Polarisationen unter Verwendung eines Polarisationsstrahlteilers. Bei Detektierung wie für 4-IM liefert ein 2x10 Gbit/s QDB Signal, das mit einem duobinären Stub filter mit einer Absenkung der Frequenzantwort bei 5 GHz erzeugt wird, eine Empfänger-Empfindlichkeit und CD Toleranz von -21.2 dBm bzw. ~140 ps/nm. Ein QPolDB Signal, das mit dem selben Stub filter erzeugt wurde, lieferte eine Empfänger-Empfindlichkeit und CD Toleranz von -20.5 dBm bzw. ~340 ps/nm. Wird ein anderer Stub filter mit einer Absenkung der Frequenzantwort bei 6 Ghz verwendet, erhält man für die Empfänger-Empfindlichkeit und der CD Toleranz des 2x10 Gbit/s QPolDB Signals - 18.4 dBm bzw. ~530 ps/nm.

Ein polarisations- und phasenunabhängiger Direktempfänger mit einer einzelnen Photodiode wurde verwendet, um alle erzeugten quaternären Signal wie 4-IM Signale zu detektieren. Die 20 Gbit/s QDB and QPolDB quaternären Signale haben ein schmales Spektrum entsprechend einer einzelnen 10 Gbit/s duobinären Modulation. Diese quaternären Intensitäts-Modulationsverfahren sind attraktiv für DWDM Systeme innerhalb von Übertragungsanwendungen mit kurzer (mehrere Kilometer) bis mittlerer Reichweite (mehrere hundert Kilometer). Allerdings sind für lange oder extrem lange optische Übertragungssysteme DQPSK und DQPSK PolDM Modulationsformate durch ihre bessere Empfänger-Empfindlichkeit geeignetere Kandidaten.