

Consistent optical and electrical noise figure

The noise figure is the factor by which the signal-to-noise ratio is degraded from input to output of a device. The optimum noise figure of an electrical amplifier is $F_{e}=1$ and the optimum traditional noise figure of an optical amplifier is $F_{pnf}=2$. This irresolvable conflict is due to the fact that an electrical receiver receives in-phase and quadrature parts of an electric carrier while a direct-detection photoreceiver detects only power but not phase of an optical carrier. In line with this, F_e measurement requires electrical powers, proportional to squared amplitudes (voltages), while F_{pnf} measurement requires squares and variances of photocurrents, proportional to 4th powers of amplitudes (fields). Unifying F_e and F_{pnf} for all frequencies is impossible.

Optical amplifiers cause Gaussian field noise. Photodetection causes shot noise.

Coherent optical receivers are linear sensors of optical fields. The sensitivity is not degraded if an ideal coherent I&Q receiver gets an ideal optical preamplifier, while $F_{pnf}=2$ suggests degradation.

Coherent I&Q or heterodyne receivers have two quadratures, and electrical output powers proportional to squared amplitudes (fields). This way one has the same metric in electrical and optical domain. One gets an optical I&Q noise figure $F_{o,IQ}$. For large amplifier gain it equals $F_{pnf}/2$. In an ideal amplifier, $F_{o,IQ}=1$. For true optical homodyne receivers and for optical direct detection receivers with Gaussian approximation $F_{o,IQ}$ can be converted into F_{pnf} and vice versa.

It is derived: F_e and the I&Q optical noise figure $F_{o,IQ}$ are limit cases of one consistent unified noise figure for all frequencies. It is valid and applicable in electrical, thermal and optical domain.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9915356>

Konsistente optische und elektrische Rauschzahl

Die Rauschzahl ist der Faktor, um den das Signal-Geräusch-Verhältnis von Eingang zu Ausgang einer Baugruppe verschlechtert wird. Die optimale Rauschzahl eines elektrischen Verstärkers ist $F_e=1$ und die optimale traditionelle Rauschzahl eines optischen Verstärkers ist $F_{pnf}=2$. Dieser unlösbare Konflikt ist der Tatsache geschuldet, dass ein elektrischer Empfänger In-Phase und Quadratur-Anteil eines elektrischen Trägers empfängt, während ein optischer Direktempfänger nur die Leistung, aber nicht die Phase eines optischen Trägers detektiert. Im selben Sinn verlangt die Messung von F_e elektrische Leistungen, proportional zu quadrierten Amplituden (Spannungen), während die Messung von F_{pnf} Quadrate und Varianzen von Photoströmen verlangt, proportional zu 4. Potenzen von Amplituden (Feldern). F_e und F_{pnf} zu vereinheitlichen für alle Frequenzen ist unmöglich. .

Optische Verstärker verursachen Gaussrauschen des Feldes. Photodetektion verursacht Schrotrauschen.

Kohärente optische Empfänger sind lineare Sensoren optischer Felder. Die Empfindlichkeit wird nicht verschlechtert, wenn ein idealer kohärenter I&Q-Empfänger einen idealen optischen Vorverstärker erhält, während $F_{pnf}=2$ eine Verschlechterung nahelegt.

Kohärente I&Q- oder Heterodynempfänger haben zwei Quadraturen, und Ausgangsleistungen proportional zu quadrierten Amplituden (Feldern). Auf diese Weise hat man dieselbe Metrik in elektrischem und optischem Bereich. Man erhält eine optische I&Q-Rauschzahl $F_{o,IQ}$. Bei großer Verstärkung ist sie gleich $F_{pnf}/2$. In einem idealen Verstärker ist $F_{o,IQ}=1$. Für echte optische Homodynempfänger und für optische Direktempfänger mit Gaußnäherung kann $F_{o,IQ}$ in F_{pnf} konvertiert werden und umgekehrt.

Es wird hergeleitet: F_e und die optische I&Q-Rauschzahl $F_{o,IQ}$ sind Grenzfälle einer konsistenten einheitlichen Rauschzahl für alle Frequenzen. Sie ist gültig und anwendbar im elektrischen, thermischen und optischen Bereich.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9915356>