



АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТА ШУМА ВКР-УСИЛИТЕЛЕЙ

Волобуев Вадим Олегович

Академия ФСО России, РФ, г. Орел

Рамановские усилители развертываются во многих новых волоконно-оптических системах передачи на большие и сверхдальние расстояния, что делает их первыми и наиболее широко распространенными нелинейно-оптическими устройствами в телекоммуникациях. Одной из основных причин этого является их улучшенный показатель шума и уменьшенный нелинейный штраф волоконных систем, что позволяет увеличить диапазон усилителей. В этой статье проанализированы с помощью моделирования шума графики рамановских усилителей для различных схем накачки. Также описаны основные источники оптического шума и их влияние на показатель шума и отношение оптического сигнала к шуму. Результаты исследования важны для оптимизации конструкции волоконных комбинационных усилителей при передаче сигналов на большие расстояния.

Усиление комбинационного рассеяния по распределенному волокну влечет за собой создание среды усиления в передающем волокне, которая усиливает канал сигнала до того, как они достигнут оптического приемника. Со временем было доказано, что это значительно улучшает характеристики сигнала с одновременным биением, позволяя увеличить расстояния передачи [1]. Усиление комбинационного рассеяния света с использованием передающего волокна в качестве среды усиления является перспективной технологией для оптической системы дальней связи DWDM. Коэффициент шума (NF) является основным фактором, определяющим производительность любого рамановского усилителя. Это мера того, как значительно усилитель ухудшает сигнал [2]. Если сигналу разрешено распространяться по волокну без потерь и без усиления, то его отношение сигнал/шум (SNR) на приемном конце будет равно входному значению и его NF будет равно единице. Но в практических ситуациях это невозможно. На самом деле наихудший случай - это если сигнал испытывает потерю во время передачи, а затем усиливается. В таком случае для усиления сигнала и достижения этого требуется высокий коэффициент усиления. Для достижения этого требуется большая мощность накачки, что означает большее усиление шума спонтанного излучения (ASE) и других шумов, генерируемых в усилителе, а также уменьшение мощности входного сигнала усилителя [3]. Более низкая мощность сигнала подразумевает, что шум ASE конкурирует с сигналом для достижения усиления. Эти два фактора в совокупности снижают выходное значение SNR и значительно увеличивают NF.

Источники шума, такие как двойное Рэлееское рассеяние (DRS), Усиленное спонтанное излучение (ASE) и шум относительной интенсивности (RIN) являются основными факторами, влияющими на NF и его спектр. Начнем с того, что шум ASE генерируется в результате спонтанного комбинационного рассеяния (SRS) во время процесса оптического усиления. Этот шум ухудшает OSNR, добавляя более широкую полосу фоновых шумов, что, следовательно, влияет на общую производительность любой оптической системы связи [5].

С другой стороны, двойное рэлеевское рассеяние (DRS) в основном является результатом упругих отражений света из-за однородности показателя преломления волокна. Шум DRS пропорционален как длине волокна, так и коэффициенту усиления. Он также может быть рассеян обратно снова и снова, прежде чем достигнет приемника. В отличие от шума ASE, шум DRS распределяется точно в том же диапазоне длин волн, что и передаваемый сигнал. Это создает большую проблему для его фильтрации, следовательно, ограничивает максимальную величину комбинационного усиления, которую может дать усилитель, а также ухудшает SNR [6], [7]. NF может ухудшаться в результате истощения накачки. Истощение накачки – это уменьшение передаваемой мощности накачки в лазере. В распределенном Рамановский усилители, насос для передачи энергии сигнала может привести к высокому затуханию насоса. Поляризационная модовая дисперсия (PMD) также влияет на NF [8]. PMD в оптических волокнах – это нарушение, вызванное зависящими от поляризации задержками в распространении импульса сигнала, приводящими к распространению импульса. PMD может приводить не только к межсимвольным помехам, но и к временным колебаниям состояния поляризации накачки (SOP). Эти два эффекта в совокупности ограничивают пропускную способность комбинационного волокна [9].

NF изменяется по-разному в зависимости от длины волокна и мощности насоса для разных схем накачки, т. е. прямой и обратной схем накачки. Когда мощность насоса работает на распространение в том же направлении, что и сигнал, он называется прямым или повторным. Когда мощность насоса движется в направлении, противоположном направлению сигнала, это называется обратными или встречными схемами накачки.

В программе Virtual Photonics, Inc. (VPI), версия 9.0 использовался исходный сигнал мощностью -10 дБм, передаваемый на длине волны 1550 нм, в то время как длина волны накачки была установлена на 1450 нм. Это обеспечило максимальное усиление сигнала, которое в RFA происходит, когда разность длин волн сигнала и накачки составляет 100 нм. Волокно было настроено для имитации параметров широкополосной нелинейной передачи сигнала. Мощность сигнала на выходе измерялась с помощью модуля измерителя мощности, и результаты анализировались. Мощность шума на выходе также анализировалась отдельно.

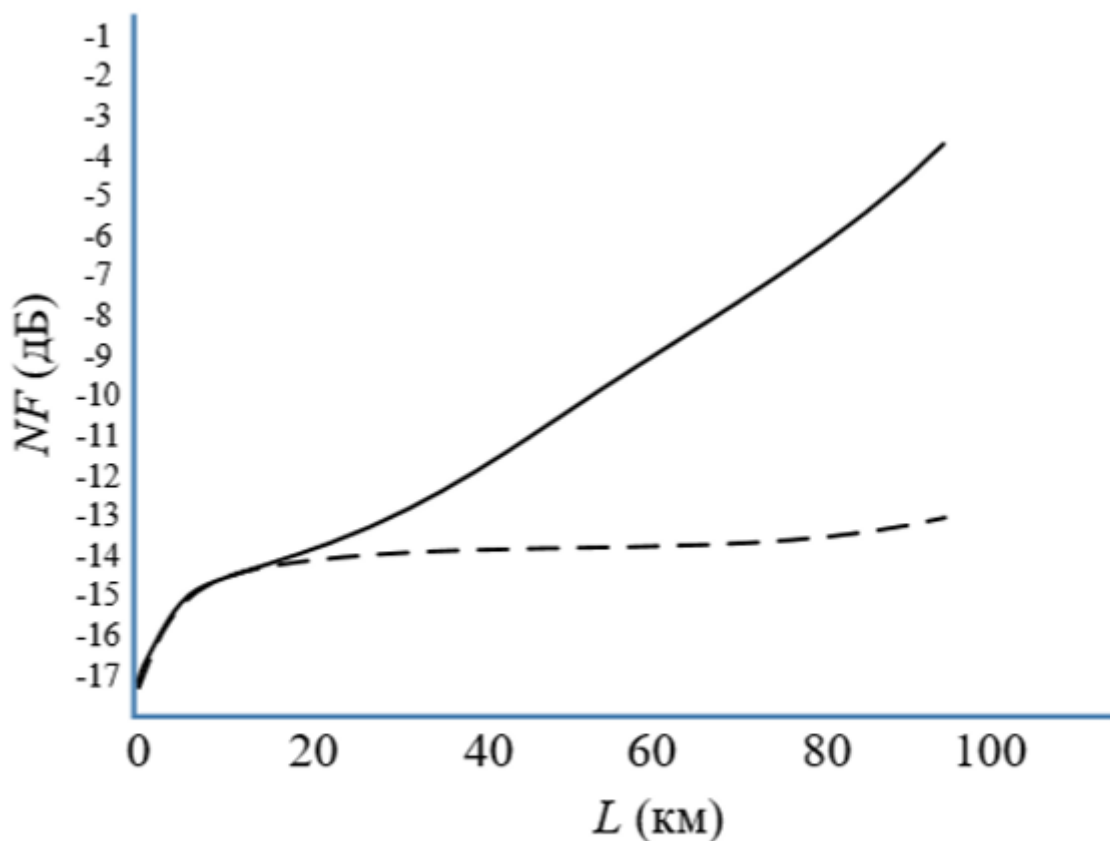


Рисунок 1. Показатель шума (дБ) в зависимости от длины волокна (км) при различных схемах накачки

На рис. 1: показан показатель шума в зависимости от длины волокна для прямой и обратной накачки. Прямая накачка обозначена линией, а обратная – пунктиром. Установлено, что при коротких длинах волокон меньше 10 км достигается низкий уровень NF без существенной разницы между прямой и обратной накачкой. Когда длина волокна увеличивается более чем на 11 км, происходит постепенное увеличение NF как для прямой, так и для обратной накачки без заметной разницы между ними. Обратная накачка регистрирует самый высокий уровень NF при более длинных длинах волокон. Это показывает, что основной причиной шума является обратная накачка, который передает свой шум накачки к сигналу. В схеме прямой накачки мощность сигнала высока, потому что входной сигнал и сигнал накачки распространяются в одном направлении. Таким образом, из определения SNR высокая мощность сигнала приводит к высокому SNR на выходе, а затем из определения показателя шума, если SNR на выходе высокий, то показатель шума мал.

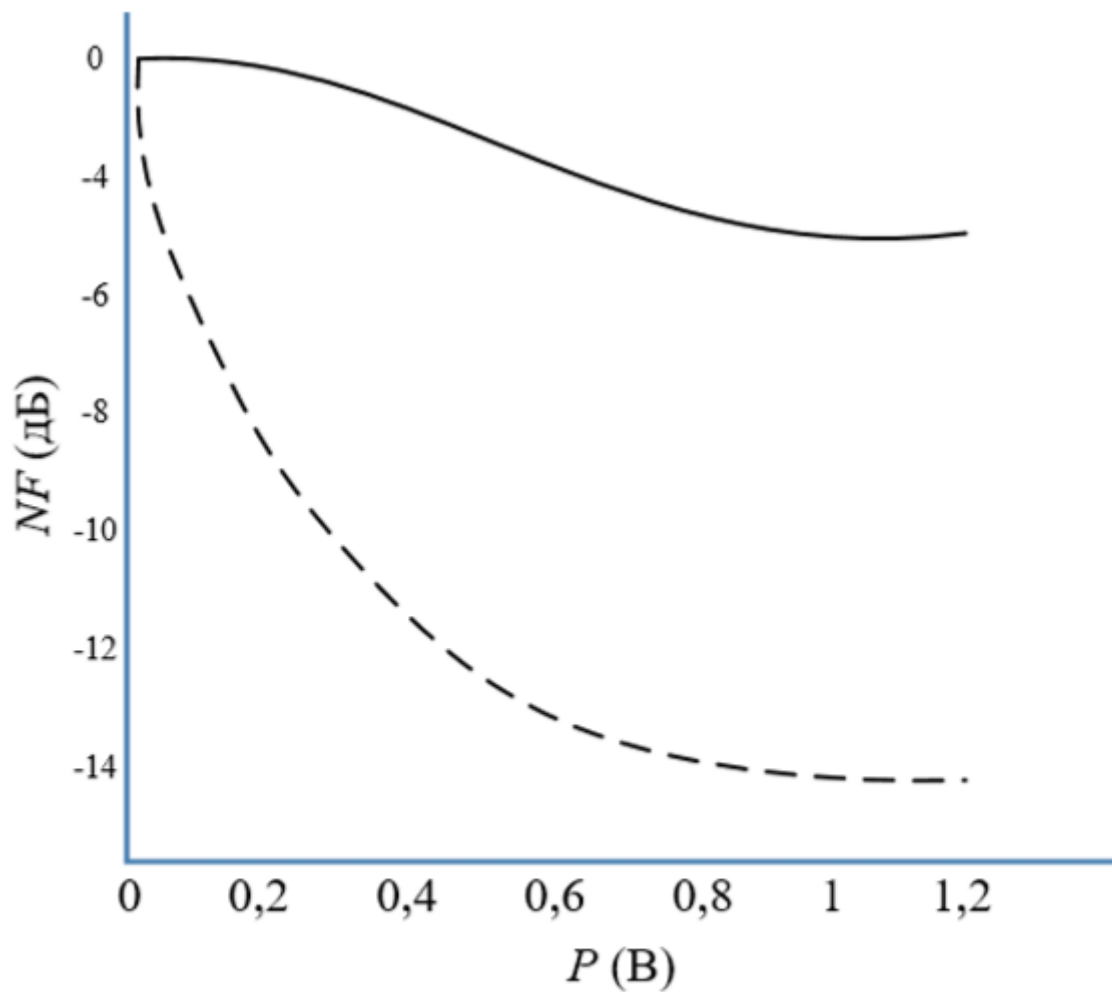


Рисунок 2. Эффективная NF в зависимости от мощности накачки при различных схемах накачки

Приведенные выше результаты дают эффективную NF на входном терминале приемника с полосой пропускания 0,2 нм в зависимости от мощности накачки для различных схем накачки соответственно. Из приведенных выше результатов следует, что NF постепенно уменьшается в двух схемах накачки при мощности накачки меньше 0,7 Вт. Прямая накачка обеспечивает наименьший NF, поскольку усиление комбинационного рассеяния все еще сосредоточено на входном конце волокна, где уровни мощности все еще высоки, в то время как встречная накачка зафиксировала самый высокий показатель шума. Однако при мощности накачки больше 0,8 Вт наблюдается эффект двойного рэлеевского рассеяния, как это очевидно в случае схем обратной накачки, при этом прямая накачка меньше страдает от этого эффекта. Это показывает, что эффекты шума DRS более заметны при более высоких мощностях накачки, особенно при наличии обратной накачки, и они являются основным источником шума в рамановских усилителях.