

Литература

1. *John S. Seybold* Introduction to RF Propagation / John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2005.
2. *Proakis J. G. (ed.)*. Wiley Encyclopedia of Telecommunications / John Wiley & Sons, Volume 4, 2003.
3. *Никольский В. В., Никольская Т. И.* Декомпозиционный подход к задачам электродинамики. М., 1983.
4. *Малый С. В.* Итерационный подход к решению электродинамических задач методом минимальных автономных блоков // Радиофизика и электроника: Сборник научных трудов. Вып. 3. Мн.: Белгосуниверситет. 1997. С. 86–91.

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

К. Б. Микитчук

ВВЕДЕНИЕ

Несущие для широкополосных каналов связи сегодня требуют возможность модуляции со сверхвысокими частотами до 60 ГГц. Как известно, электромагнитное СВЧ-излучение с частотами выше 10 ГГц испытывает сильное затухание в коаксиальных металлических кабелях [1]. Для стационарных каналов связи на основе кабелей возможно применение концепции распределения радиочастотного излучения в качестве поднесущей по оптическому волокну («*radio over fiber*», [3]). Однако в этом случае также существует проблема генерации излучения СВЧ-диапазона и последующей модуляции этим излучением лазерного излучения в оптическом волокне.

Большой прогресс по рассматриваемой тематике достигнут в области СВЧ оптоэлектроники. Для волоконно-оптических линий задержки, например, реализуемых на основе электрооптического преобразователя, отрезка оптического волокна и оптоэлектронного преобразователя характерны очень низкие потери на единицу длины, что приводит к возможности получения времен задержки сигнала до 100 мкс при увеличении длины оптического волокна до 20 км [1].

Альтернативой традиционным СВЧ генераторам, которую предлагает СВЧ-оптоэлектроника, является оптоэлектронный генератор [1]. Главной проблемой при создании которых является высокий уровень побочных мод в спектре генерации.

В работе проведено исследование эффективности методов подавления побочных мод в спектрах оптоэлектронных генераторов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оптоэлектронный генератор, в общем, представляет собой СВЧ-усилитель с волоконно-оптической петлей обратной связи, в которой реализуется длительная задержка сигнала. После прохождения сигналом петли обратной связи на входе СВЧ-усилителя происходит интерференция гармонического сигнала и шума, причем интерференция – конструктивная для сигнала и деструктивная – для шума.

Оптоэлектронный СВЧ-генератор с цепью положительной обратной связи с выхода на вход на основе волоконно-оптической линии задержки 1, содержит электрооптический преобразователь 1 (для данного генератора нумерация блоков приведена согласно рисунку 1), выход которого оптически соединен с входом оптоэлектронного преобразователя 3 с помощью отрезка оптического волокна 2, СВЧ-усилитель 4, вход которого электрически соединен с выходом оптоэлектронного преобразователя 3, полосовой СВЧ-фильтр 5, вход которого электрически соединен с выходом СВЧ-усилителя 4, СВЧ-делитель 6, вход которого электрически соединен с выходом полосового СВЧ-фильтра, а один из выходов электрически соединен с входом электрооптического преобразователя, другой же выход СВЧ-делителя является источником полезного гармонического СВЧ-сигнала. Следует отметить также, что перед входом оптоэлектронного преобразователя возможно установить волоконно-оптический разветвитель, один из выходов которого соединить с входом оптоэлектронного преобразователя, а другой выход будет источником модулированного оптического излучения.

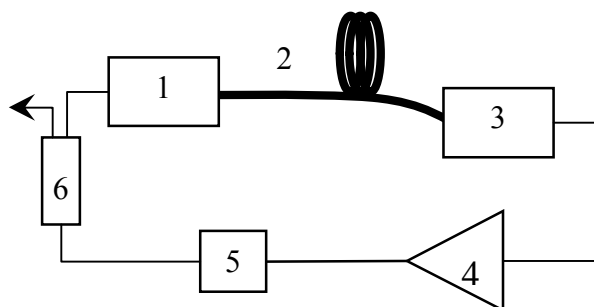


Рис. 1. Базовая конструкция оптоэлектронного генератора

Для описания спектров оптоэлектронных генераторов были развиты частотная и временная модели 2. Отметим, что в работе весь анализ велся с использованием данных моделей.

В оптоэлектронном генераторе с одной петлей обратной связи для спектра характерна предельно узкая линия осциллирующей моды и присутствие набора побочных мод вблизи центральной осциллирующей моды.

Фазовый шум оптоэлектронного генератора спадает квадратично (рисунок 2) при увеличении длительности задержки в волоконно-

оптической петле обратной связи. И в случае, когда длительность задержки в петле обратной связи больше величины, обратной полосе пропускания СВЧ-фильтра, слабо зависит от ширины данной полосы.

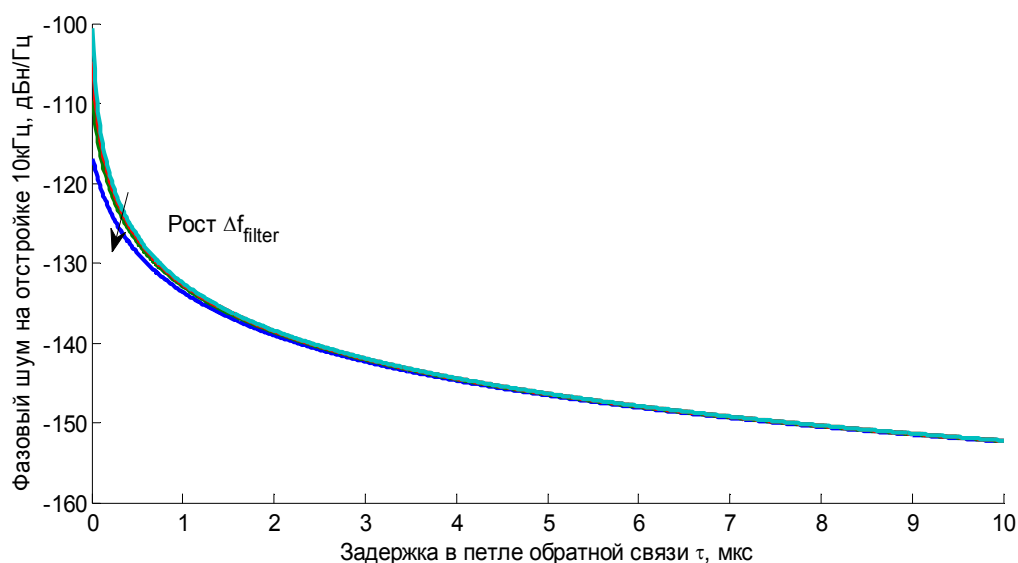


Рис. 2. Зависимость фазового шума оптоэлектронного генератора от длительности задержки в петле обратной связи и ширины полосы фильтра

Также следует отметить, что расстояние между собственными модами оптоэлектронного генератора уменьшается обратно пропорционально увеличению длительности задержки в петле обратной связи, и, соответственно, уровень побочных мод сильно зависит от ширины полосы пропускания полосового СВЧ-фильтра (рисунок 3).

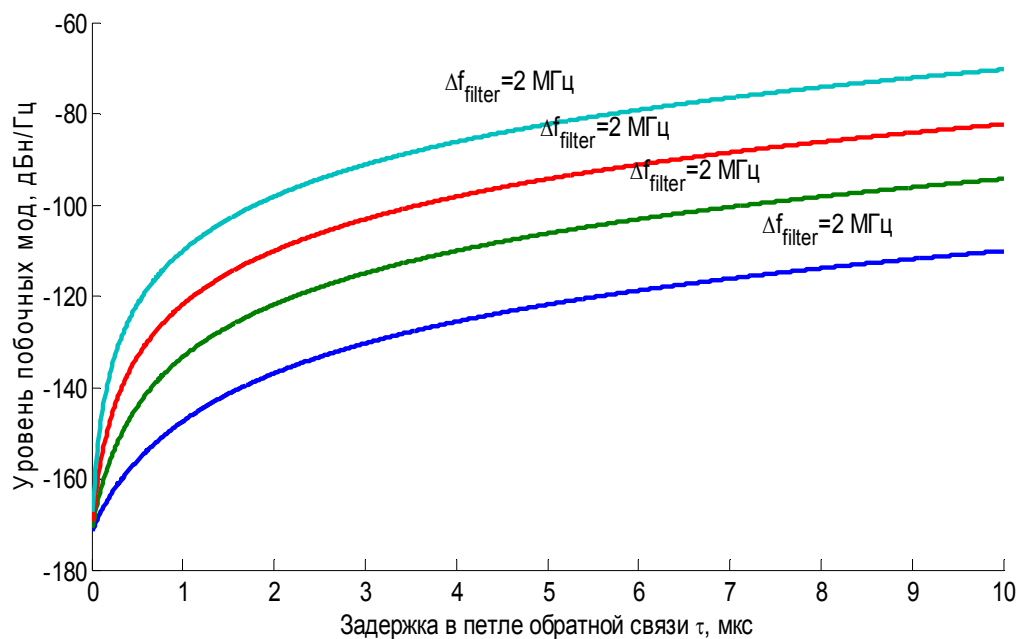


Рис. 3. Зависимость уровня побочных мод оптоэлектронного генератора от длительности задержки в петле обратной связи и ширины полосы фильтра

Также наблюдается возрастающая с возрастанием длительности задержки в петле обратной связи зависимость уровня побочных мод.

В качестве наиболее простого варианта решения проблемы селекции мод при генерации в миллиметровом диапазоне рассмотрим оптоэлектронный генератор с СВЧ-оптоэлектронным сигнальным процессором с двумя волоконно-оптическими плечами обратной связи, концепция данного сигнального процессора описана в [3]. В данном оптоэлектронном генераторе есть два частотно-избирательных элемента – СВЧ-полосовой фильтр и СВЧ-оптоэлектронный сигнальный процессор с двумя волоконно-оптическими плечами. Спектральная плотность мощности данного оптоэлектронного генератора нелинейно зависит от произведения амплитудно-частотной характеристики разомкнутой петли оптоэлектронного генератора и спектра аналогичного генератора, но без всех частотно-селективных элементов. Амплитудно-частотная характеристика разомкнутой петли оптоэлектронного генератора пропорциональна произведению амплитудно-частотных характеристик СВЧ-фильтра и СВЧ-оптоэлектронного сигнального процессора с двумя волоконно-оптическими плечами. Только те моды генератора могут существовать в процессе генерации, для которых амплитудно-частотная характеристика разомкнутой петли оптоэлектронного генератора больше единицы.

Прореживание «гребенки» мод оптоэлектронного генератора снижает требования к добротности полосового фильтра с полосой пропускания в разы – десятки раз большей, нежели при использовании оптоэлектронного генератора с одной петлей обратной связи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные расчеты и моделирование позволили получать СВЧ-спектры, оптимизация параметров оптоэлектронного генератора позволила получить такой набор конструктивных параметров, для которого требования к добротности полосового фильтра снижены в десятки раз.

Разработанная в данной работе конструкция для генерации сверхвысокочастотной несущей/поднесущей может найти широкое применение в области связи, радиолокации, измерительных системах.

Литература

1. *Maleki L.* The optoelectronic oscillator // *Nature Photonics*. 2011. Vol. 5. № 12. P. 728–730.
2. *Микитчук К. Б.* Моделирование характеристик оптоэлектронного генератора // *Материалы Республиканской научной конференции студентов и аспирантов «НИРС-2011»* (18 октября 2011 г., Минск). Минск: БГУ. С. 32.
3. *Microwave photonics Devices and applications* / Editor S. Iezekiel. UK:Wiley. 2009.