

Заклучение

Исследовано влияние формы и состава наборной гибкой конструкции экрана на основе углеродосодержащих порошковых материалов (технического углерода, активированного угля) на характеристики экранирования электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,3...17 ГГц. В результате проведенных исследований показана возможность формирования ячеистой конструкции экрана ЭМИ, что приводит к увеличению эффективности экранирования излучения во всем исследуемом диапазоне частот. Повышение общей эффективности экранирования излучения разработанными гибкими конструкциями экранов достигнуто за счет снижения отражения ЭМИ от поверхности образца посредством дополнительного рассеяния падающих электромагнитных волн активной поверхностью образцов. Падая на такую поверхность, ЭМВ многократно отражается и теряет значительно больше энергии, чем при падении на ровную поверхность.

Полученные результаты позволяют рекомендовать сформированные конструкции экранов ЭМИ для электромагнитного экранирования СВЧ-источников и обеспечения экологической защиты обслуживающего персонала и пользователей ПК и медицинских и промышленных установок.

FLEXIBLE ELECTROMAGNETIC RADIATION SHIELDING CONSTRUCTIONS BASED ON CARBON CONTAINING FILLERS

T.A. PULKO, H.A.E. AYAD, A.M. MOHAMED, L.M. LYNKOU

Abstract

The forming method of flexible electromagnetic radiation shielding constructions based on cells filling by the carbon containing materials is described. The frequency characteristics of electromagnetic radiation transmission and reflection coefficients in the range from 0.7 to 17 GHz of the designed constructions on the dependence of the utilized filler type are researched.

Keywords: electromagnetic radiation shield, carbon containing filler, inlaid construction, protection of the service stuff.

Список литературы

1. *Бойнрав О.В., Борботько Т.В., Ганьков Л.Л.* Конструкции экранов электромагнитного излучения на основе перлита и титаномагнетита // Сборник материалов конференции, приуроченной к 50-летию МРТИ-БГУИР. Минск, 18–19 марта 2014 г. С.326–327.
2. *Бойнрав О.В., Неамах М. Р., Соколов В.Б.* // Докл. БГУИР. 2012. № 1 (63). С. 70–75.

УДК 621.396.624

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ DP-QPSK МОДУЛЯЦИИ В ПРИЕМНОМ УСТРОЙСТВЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

В.Н. УРЯДОВ, А.С. ЗЕЛЕНИН, Я.В. РОЩУПКИН, Д.Н. КУРБЫКО, М.Л. ПШЕННИК

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 21 ноября 2016

Приведены результаты обработки сигналов в приемном оптическом модуле для высокоскоростной волоконно-оптической системы передачи с модуляцией DP-QPSK.

Представлен расчет чувствительности приемника при заданной вероятности ошибки и результаты формирования цифрового сигнала.

Ключевые слова: оптический модуль, модуляция DP-QPSK, гомодинный метод приема.

Введение

В настоящее время в медицинской практике осуществляется большой сбор информации о состоянии здоровья пациентов, в результате которого необходимо осуществлять передачу больших объемов данных между различными учреждениями здравоохранения с высокой степенью достоверности и конфиденциальности. Поставленную задачу можно решить, организовав высокоскоростную волоконно-оптическую систему передачи (ВОСП) на базе новых типов модуляции, например DP-QPSK (рис. 1), обеспечивающие более эффективное использование спектральной полосы.

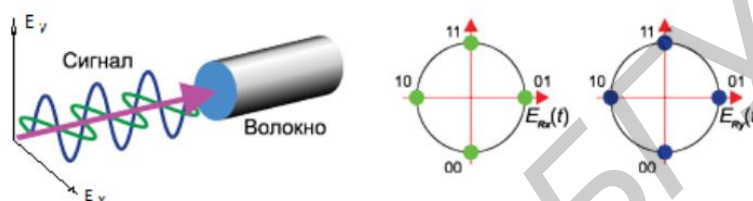


Рис. 1. Структура оптического сигнала при использовании DP-QPSK

При DP-QPSK используются 2 поляризации и 4 фазы сигнала, при которой фаза высокочастотного колебания может принимать 4 различных значения с шагом, кратным $\pi/2$. Соответствие между значениями символов и фазой сигнала установлено таким образом, что в соседних точках сигнального созвездия значения соответствующих символов отличаются лишь в одном бите. При передаче в условиях шума наиболее вероятной ошибкой будет определение фазы соседней точки созвездия [1]. Ключевым элементом решений на базе DP-QPSK являются когерентные приемники, которые имеют более высокую чувствительность. Такие приемники настраиваются на определенную частоту и фазу и способны эффективно демодулировать сигналы DP-QPSK.

Обработка сигналов приемным оптическим модулем с модуляцией DP-QPSK

На сегодняшний день существуют разные методы приема сигналов в ВОСП, одним из которых является гомодинный метод, заключающийся в оптическом смешивании принимаемого оптического сигнала с оптическим колебанием местного лазерного гетеродина, частоты которых равны. Рассматриваемая структурная схема приемного модуля ВОСП с модуляцией DP-QPSK, в основе которой лежит гомодинный метод приема, представлена на рис. 2.

В приемную часть входят поляризационные делители пучка (1, 4); 90-градусные гибридные схемы (2, 5); два блока фотодетекторов (3, 6); устройство подстройки частоты и фазы (10); устройство стабилизации мощности (9); лазер (8); устройство стабилизации температуры (7); схема автоматической регулировки усиления (11); блок основных усилителей (13); блок корректоров (14); выделитель тактовой частоты (12); блок решающих устройств (15); процессор STM 16/64 (16) и выходной оптический интерфейс (17).

Поляризационный делитель пучка (1, 4) делит поступающий информационный сигнал на две поляризационные компоненты. 90-градусная гибридная схема (2, 5) служит для смешивания информационного сигнала с непрерывным излучением местного лазера. Одна часть смешивается с опорным излучением, сдвинутым по фазе на 90 градусов, а вторая часть смешивается с опорным излучением без сдвига по фазе. Каждый из четырех смешанных сигналов детектируется блоком фотодетекторов. Блок фотодетекторов 1 состоит из фотодиодов (3.1, 3.4, 3.6, 3.9); трансимпедансных усилителей (3.2, 3.5, 3.7, 3.10) и схем вычитания (3.3, 3.8). Блок фотодетекторов (2) состоит из фотодиодов (6.1, 6.4, 6.6, 6.9); трансимпедансных усилителей (6.2, 6.5, 6.7, 6.10) и схем вычитания (6.3, 6.8). Фотодиоды регистрируют

оптическое излучение и преобразует оптический сигнал на входе в электрический сигнал на выходе в результате. Трансимпедансный усилитель увеличивает мощность проходящего сигнала. Данный усилитель с обратной связью, не требует осуществления коррекции. Схема вычитания вычитает перемноженные в гибридной схеме сигналы и формирует четыре электрических сигнала I_x , Q_x , I_y , Q_y , соответствующих двум парам квадратурных компонент принятого оптического сигнала (по две компоненты в каждой из двух ортогональных поляризаций).

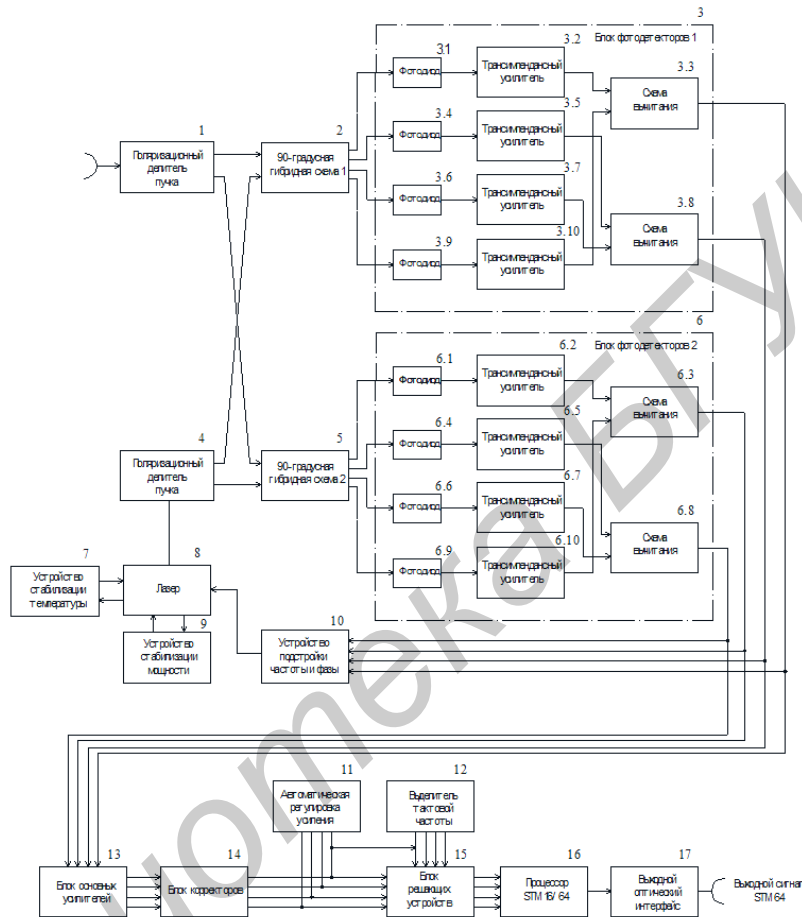


Рис. 2. Структурная схема приемного оптического модуля с модуляцией DP-QPSK

Четыре аналоговых сигнала поступают на блок основных усилителей (13), которые усиливают уровень сигналов до номинального значения. Цепь автоматической регулировки усиления (11) позволяет добиться стабильности системных параметров сигнала. Решающее устройство (15) под управлением тактовой частоты, сформированной в выделителе тактовой частоты (12), производит сравнение усиленного сигнала с пороговым значением, тем самым, обеспечивая восстановление исходной последовательности сигнала. Процессор STM 16/64 (16) обеспечивает объединение потоков STM-16 в поток STM-64 в соответствии с процедурой объединения, характерной для синхронной иерархии.

На вход оптического гибрида поступает квадратурный сигнал, который представляет собой сумму сигналов, соответствующих значению квадратурной и синфазной составляющих в созвездии. Если модулировался сигнал из последовательно идущих единиц «11», то первая единица соответствует каналу I и описывается выражением $\cos(\omega t)$, вторая единица соответствует каналу Q и описывается выражением $\sin(\omega t)$. Далее сигналы I и Q суммируются, получаем $(\cos(\omega t) + \sin(\omega t))$. Задача состоит в выделении из данного сигнала исходных двоичных сигналов на выходе блока решающих устройств. Сигнал $(\cos(\omega t) + \sin(\omega t))$ поступает на оптическую 90-градусную гибридную схему. Данная схема состоит из фазовращателей $\pi/2$,

оптических сумматоров, Y-ответвителей и фотодетекторов. Входной сигнал смешивается с сигналом оптического гетеродина согласно схеме.

Результирующее значение смещения сигналов на выходе фотодетектора VD1 будет иметь вид:

$$(\cos(\omega t) + \sin(\omega t)) \cdot \sin(\omega t) = \cos(\omega t) \cdot \sin(\omega t) + \sin(\omega t)^2 = \frac{1}{2}. \tag{1}$$

На выходе фотодетектора VD2:

$$(\cos(\omega t) + \sin(\omega t)) \cdot \cos(\omega t) = \cos(\omega t)^2 + \cos(\omega t) \cdot \sin(\omega t) = \frac{1}{2}. \tag{2}$$

На выходе фотодетектора VD3:

$$(\cos(\omega t) - \sin(\omega t)) \cdot \sin(\omega t) = \cos(\omega t) \cdot \sin(\omega t) - \sin(\omega t)^2 = -\frac{1}{2}. \tag{3}$$

На выходе фотодетектора VD4:

$$(\cos(\omega t) - \sin(\omega t)) \cdot \cos(\omega t) = \cos(\omega t)^2 - \cos(\omega t) \cdot \sin(\omega t) = \frac{1}{2}. \tag{4}$$

При вычислении косинус и синус удвоенного значения угла опускаем, т.к. эти сигналы дают нулевые отсчеты при смешивании.

$$\cos(x) \cdot \sin(x) = \frac{1}{2} [\sin(x+x) + \sin(x-x)] = \frac{1}{2} \sin(x-y) = 0; \tag{5}$$

$$\sin(x) \cdot \sin(x) = \frac{1}{2} [\cos(x-x) - \cos(x+x)] = \frac{1}{2}; \tag{6}$$

$$\cos(x) \cdot \cos(x) = \frac{1}{2} [\cos(x-x) + \cos(x+x)] = \frac{1}{2}. \tag{7}$$

Значение амплитуды отсчета на выходе схемы вычитания для синфазного канала равно разности значений амплитуд на выходах VD1 и VD4. Фотодиод VD4 имеет инверсный выход, следовательно, выходное значение амплитуды тока составит $-1/2$. Результирующее значение амплитуды для синфазного канала:

$$A(I_x) = \frac{1}{2} - \left(-\frac{1}{2}\right) = 1. \tag{8}$$

Значение амплитуды отсчета на выходе схемы вычитания для квадратурного канала равно разности значений амплитуд на выходах VD2 и VD3:

$$A(Q_x) = \frac{1}{2} - \left(-\frac{1}{2}\right) = 1. \tag{9}$$

Результирующие значения смещения сигналов на выходах VD и схем вычитания

Фотодиод VD1	Фотодиод VD2	Фотодиод VD3	Фотодиод VD4	Схема вычитания для I_x	Схема вычитания для Q_x
1/2	1/2	-1/2	-1/2	1	1
-1/2	1/2	-1/2	1/2	-1	1
1/2	-1/2	1/2	-1/2	1	-1
-1/2	-1/2	1/2	1/2	-1	-1

На выходе схем вычитания мы имеем последовательность 1, -1, 1, -1 для синфазного канала и 1, 1, -1, -1 для квадратурного канала. Блок решающих устройств преобразует значения данных цифровых последовательностей путем сравнения с пороговым значением тока. На выходе блока решающих устройств получим последовательности: 1, 0, 1, 0 (I_x канал); 1, 1, 0, 0 (Q_x канал). Авторы рассматривали поступление квадратурного сигнала на вход системы различных точек созвездия. Можно сделать вывод, что закодированные комбинации

входящего сигнала (для I компоненты «1» соответствует $\cos(\omega t)$, «0» соответствует $-\cos(\omega t)$; для Q компоненты «1» соответствует $\sin(\omega t)$, «0» соответствует $-\sin(\omega t)$ 1, 0, 1, 0 и 1, 1, 0, 0 совпали с цифровой последовательностью на входе системы.

Расчет чувствительности гомодинного приемника сигналов DP-QPSK модуляции при заданной вероятности ошибки

Расчет реальной чувствительности гомодинного приемника выполнен при вероятности ошибки 10^{-10} . Соотношение сигнал/шум и вероятность ошибки связаны интегралом вероятности. Так, при $P_{\text{ош}}=10^{-10}$ отношение сигнал/шум равно 13 дБ [2].

Формула для расчета реальной чувствительности p_c , дБм [3]:

$$p_c = \left[\frac{C}{N} \right]_{\text{дБ}} + 10 \cdot \lg h + 10 \cdot \lg \Pi + 10 \cdot \lg c - 10 \cdot \lg \lambda - 10 \cdot \lg \eta - 10 \cdot \lg 2, \quad (10)$$

где отношение несущая/шум, которое должно быть обеспечено в приемнике, $\left[\frac{C}{N} \right]_{\text{дБ}} = 16$ дБ, при чем, данное значение является суммой 13 дБ, определенных вероятностью ошибки 10^{-10} , и 3 дБ, представляющих собой энергетический запас системы; постоянная Планка $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж/с; частота входного оптического сигнала $f_c = \frac{c}{\lambda}$, где скорость света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, длина волны $\lambda = 1,31 \cdot 10^{-6}$ м; шумовая полоса в полосе приемника 1250 МГц; квантовая эффективность фотодетектора $\eta = 0,8$.

Таким образом, для приведенного примера чувствительность гомодинного оптического приемника составила – 84,327 дБм. Сравнивая чувствительности приемника при прямом методе детектирования с модуляцией по интенсивности [4] (–30 дБм) и рассмотренного гомодинного оптического приемника с DP-QPSK модуляцией, видно, что чувствительность последнего выше на 54 дБм.

Заключение

Разработанная структурная схема обеспечивает когерентную обработку сигналов DP-QPSK модуляции при гомодинном методе приема. Таким образом, используя модуляцию DP-QPSK, можно увеличить длину регенерационного участка и повысить спектральную эффективность ВОСП. Реализация гомодинного метода приема требует выполнения частотных и фазовых соотношений, которые можно осуществить более простыми методами с использованием усилителей Манделъштама-Бриллюэна [5, 6].

SIGNAL PROCESSING DP-QPSK MODULATION IN THE RECEIVER FOR FIBER-OPTIC TRANSMISSION SYSTEM

V.N. URYADOV, A.S. ZELENIN, Y.V. ROSHCHUPKIN, D.N. KURBYKO, M.L. PSHENNIK

Abstract

The results of the signal processing in the receiving optical module for high-speed fiber-optic transmission system with modulation DP-QPSK are presented. A calculation of the sensitivity of the receiver for a given probability of error and results of the development of digital signal is given.

Keywords: optical module, modulation DP-QPSK, homodyne method of receiving.

Список литературы

1. Урядов В.Н., Зеленин А.С. // Матер. МНТК приур. к 50-лет. МРТИ-БГУИР. Ч. 2. Минск. 2014. С. 201–202.
2. Прокис Дж. Цифровая связь. М., 2000.
3. Бунас В.Ю., Стункус Ю.Б., Тарченко Н.В. и др. Построение и расчет гибридных СКТ с глубоким проникновением оптики: учеб. пособие. М., 2012.
4. Урядов В.Н., Стункус Ю.Б. // Докл. БГУИР. 2006. № 3 (15). С. 48–53.
5. Урядов В.Н., Рошупкин Я.В., Бунас В.Ю. и др. // Докл. БГУИР. 2015. № 8 (94). С. 11–16.
6. Урядов В.Н., Рошупкин Я.В., Бунас В.Ю. и др. // Докл. БГУИР. 2016. № 4 (98). С. 10–14.

УДК615.47:616-072.7

ЛАЗЕРНЫЙ ДОПЛЕРОВСКИЙ ФЛОУМЕТР С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ АНАЛИЗОМ РИТМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТ МИКРОСОСУДИСТОЙ ГЕМОДИНАМИКИ

В.И. ИВАНОВ, Н.И. ИВАНОВ, А.Н. ЛАЗАРЧИК

*НИИ ядерных проблем Белорусского государственного университета
Бобруйская, 11, Минск, 220030, Беларусь*

Поступила в редакцию 21 ноября 2016

Приведены результаты разработки и исследования лазерного доплеровского флоуметра для диагностики микрососудистой гемодинамики с дифференциальным анализом ритмических компонент.

Ключевые слова: лазерный доплеровский флоуметр, микрогемодинамика, тканевый кровоток.

Введение

Сосуды микроциркуляторного русла (МЦР) человека реализуют транспортную функцию сердечно-сосудистой системы и тем самым обеспечивают массоперенос и транскапиллярный обмен крови, необходимый для жизнедеятельности тканей и органов человека. При этом высокоточное исследование параметров микрогемодинамики МЦР имеет важное значение для раннего определения патогенеза многих заболеваний. Одним из современных и наиболее объективных методов оценки состояния микрогемодинамики человека является метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) [1]. Наряду с задачей определения степени кровоснабжения (кровенаполнения) тканей МЦР все более важное значение в медицинской диагностической практике приобретает исследование колебательных процессов (ритмов) микрогемодинамики, отражающих механизм многозвенной регуляции МЦР на основе исследования эндотелиально-зависимой, нейрогенной, миогенной компонент, а также дыхательной и сердечной частотных компонент ритмов и их взаимосвязи во времени [1, 2].

Разработка и результаты

Разработанный авторами оптиковолоконный лазерный доплеровский флоуметр микрогемодинамики человека с дифференциальной оценкой ритмов гемодинамики МЦР на основе модовой декомпозиции лазерных доплеровских флоуграм (ЛДФ – грамм) показан на рис. 1. Данный прибор является второй модифицированной версией разработки, сертифицированной Министерством здравоохранения Республики Беларусь и разрешенной к применению в медицинской практике [3]. Зондирование и прием отраженного лазерного сигнала в приборе осуществляется трехканальным оптико-волоконным датчиком.