

ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 13576

(13) U

(45) 2024.10.20

(51) МПК

H 04B 10/25 (2013.01)

(54) ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С УЗКОПОЛОСНЫМ УСИЛЕНИЕМ ПИЛОТ-СИГНАЛА

(21) Номер заявки: u 20240072

(22) 2024.04.04

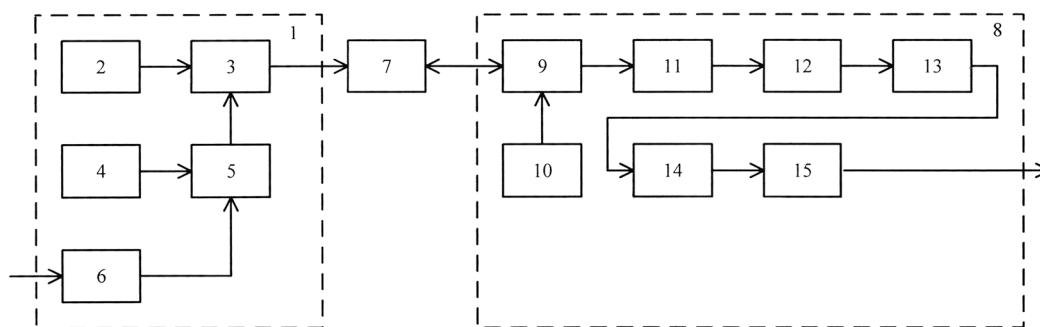
(71) Заявитель: Учреждение образования
"Белорусский государственный
университет информатики и радио-
электроники" (ВУ)

(72) Автор: Рощупкин Яков Викторович
(ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение обра-
зования "Белорусский государственный
университет информатики и
радиоэлектроники" (ВУ)

(57)

Волоконно-оптическая система передачи данных с узкополосным усилением пилот-сигнала, состоящая из передающего модуля, включающего фильтр нижних частот, генератор пилот-сигнала, сумматор электрических сигналов, источник оптического излучения, электрооптический модулятор, причем первый вход сумматора соединен с выходом фильтра нижних частот, второй вход сумматора соединен с выходом генератора пилот-сигнала, выход сумматора электрических сигналов соединен с электрическим входом электрооптического модулятора, выход источника оптического излучения соединен с оптическим входом электрооптического модулятора; волоконно-оптической линии связи и приемного модуля, отличающаяся тем, что приемный модуль содержит источник оптического излучения, оптический ответвитель, оптический фильтр, амплитудный демодулятор, причем выход источника оптического излучения соединен с первым портом оптического ответвителя, второй порт оптического ответвителя соединен со входом оптического фильтра, третий порт оптического ответвителя соединен с выходом волоконно-оптической линии связи, выход оптического фильтра соединен со входом фотодетектора, выход фотодетектора соединен со входом полосового фильтра, выход полосового фильтра соединен со входом амплитудного демодулятора, выход демодулятора соединен со входом фильтра нижних частот.



Фиг. 1

(56)

1. ПРАТТ В.К. Лазерные системы связи. Москва: Связь, 1972.

2. SCHMIDT B.J. C. et al. 120 Gbit/s Over 500-km Using Single-Band Polarization-Multiplexed Self-Coherent Optical OFDM. Journal of lightwave technology, 2010, vol. 28, no. 4, p. 328-335.

Полезная модель относится к области волоконно-оптической связи и может быть использована при построении магистральных и зональных сетей телекоммуникаций.

Известен метод гетеродинного приема [1], в котором принимаемый оптический сигнал смешивается в фотодетекторе с опорным излучением местного генератора. При оптическом смешении входного сигнала и колебания местного генератора выделяется колебание промежуточной (разностной) частоты. Сигнал промежуточной частоты сохраняет модуляцию входного оптического сигнала. После прохождения через полосовой фильтр электрический сигнал поступает на второй детектор, где выделяется информационное сообщение. Значение разностной частоты поддерживается постоянным на входе второго детектора путем управления частотой местного оптического генератора. Преимуществами гетеродинного метода приема являются простота усиления на промежуточной частоте и тот факт, что выбором значительной мощности местного оптического генератора можно подавить как тепловые шумы, так и дробовые шумы, вызываемые любыми источниками шума, за исключением местного генератора. Последнее обстоятельство позволяет улучшить отношение сигнал/шум на выходе приемного устройства (1), которое, при учете только дробового шума местного генератора, определяется выражением:

$$S/N = \frac{\eta P_c C^2}{2B_s h\nu}, \quad (1)$$

где h - постоянная Планка,

η - квантовая эффективность фотодетектора,

ν - частота оптического излучения,

B_s - скорость передачи данных,

P_c - мощность сигнала на входе фотоприемника,

C - индекс модуляции интенсивности.

Недостатком данного метода является необходимость поддерживать постоянным значение разностной частоты, что реализуется при помощи сложных систем оптической автоподстройки частоты.

Наиболее близкой по технической сущности к предлагаемой полезной модели является система передачи с использованием пилот-сигнала [2], состоящая из передающего модуля, включающего формирователь электрического сигнала с ортогональным частотным мультиплексированием (OFDM) и квадратурной амплитудной модуляцией (QAM), генератор пилот-сигнала, сумматоры электрических сигналов, источник оптического излучения, комплексный оптический модулятор; волоконно-оптической линии связи и приемного модуля, состоящего из оптического ответвителя, двух оптических фильтров, оптического усилителя, оптического смесителя, балансного фотодетектора, электрического усилителя, синхронного демодулятора, блока восстановления данных.

Недостатком данной системы является необходимость разделения пилот-сигнала и информационного сигнала при помощи оптических фильтров, а также использование широкополосного оптического усилителя для усиления пилот-сигнала, что приводит к увеличению уровня шума приемного устройства за счет усиления в широкой полосе и добавления собственных шумов широкополосного усилителя. Вследствие этого ухудшается чувствительность приемного модуля.

BY 13576 U 2024.10.20

Техническая задача, на решение которой направлена полезная модель, - повышение чувствительности приемного модуля волоконно-оптической системы передачи при сохранении эксплуатационной надежности и низкой стоимости, которые обусловлены отсутствием необходимости использовать систему оптической автоподстройки частоты в приемном модуле.

Поставленная задача решается тем, что предлагается волоконно-оптическая система передачи данных с узкополосным усилением пилот-сигнала, состоящая из передающего модуля, включающего фильтр нижних частот, генератор пилот-сигнала, сумматор электрических сигналов, источник оптического излучения, электрооптический модулятор, причем первый вход сумматора соединен с выходом фильтра нижних частот, второй вход сумматора соединен с выходом генератора пилот-сигнала, выход сумматора электрических сигналов соединен с электрическим входом электрооптического модулятора, выход источника оптического излучения соединен с оптическим входом электрооптического модулятора; волоконно-оптической линии связи и приемного модуля, который содержит источник оптического излучения, оптический ответвитель, оптический фильтр, амплитудный демодулятор, причем выход источника оптического излучения соединен с первым портом оптического ответвителя, второй порт оптического ответвителя соединен со входом оптического фильтра, третий порт оптического ответвителя соединен с выходом волоконно-оптической линии связи, выход оптического фильтра соединен со входом фотодетектора, выход фотодетектора соединен со входом полосового фильтра, выход полосового фильтра соединен со входом амплитудного демодулятора, выход демодулятора соединен со входом фильтра нижних частот.

Сущность предлагаемого устройства заключается в следующем. В спектр информационного сигнала перед модуляцией оптической несущей вводится однотоновый пилот-сигнал с частотой, превышающей верхнюю частоту f_b информационного сигнала. В этом случае модулирующий сигнал вместе с пилот-сигналом может быть представлен в следующем виде:

$$V(t) = Mm(t) + (1 - M)\cos\omega_d t, \quad (2)$$

где M - коэффициент распределения мощности,

$m(t)$ - информационный сигнал,

$\omega_d = 2\pi f_d$ - угловая частота пилот-сигнала,

t - время.

В результате модуляции в спектре оптического сигнала помимо информационных составляющих появляются две дополнительные составляющие с частотами

$$f_c \pm f_d : \frac{\sqrt{2}}{4} C A_c (1 - M) \cos((\omega_c \pm \omega_d)t), \quad (3)$$

где A_c , $\omega_c = 2\pi f_c$ - амплитуда и угловая частота несущего колебания,

C - индекс модуляции.

В волокне со стороны приема при помощи распределенного усилителя Манделъштама - Бриллюэна производится избирательное усиление составляющей с частотой $f_c + f_d$. Далее сформированный таким образом сигнал подается на вход фотодетектора. Данный приемный оптический модуль функционирует по принципу гетеродинного приемника, а в качестве сигнала местного гетеродина выступает усиленная спектральная составляющая $(f_c + f_d)$. Сигнал на выходе фотодетектора и последующего полосового фильтра определяется выражением:

$$E(t) = \frac{1}{2} K_y C^2 A_c^2 M (1 - M) m(t) \cos(\omega_d t), \quad (4)$$

где K_y - коэффициент усиления Манделъштама - Бриллюэна, $E(t)$ представляет собой информационный сигнал $m(t)$ на поднесущей частоте, равной частоте пилот-сигнала f_d . Ча-

стота лазера накачки усилителя не будет попадать в полосу информационного сигнала и будет превышать величину $f_c + f_d$ на величину смещения Бриллюэна.

Частота дополнительного однотонового пилот-сигнала f_d должна более чем в 2 раза превышать верхнюю граничную частоту f_b спектра информационного сигнала, чтобы избежать перекрытия спектров и искажений передаваемого сигнала и уменьшить требования к идеальности АЧХ полосового фильтра.

Для обеспечения максимальной амплитуды информационных составляющих коэффициент (M) распределения мощности между пилот-сигналом и информационными составляющими необходимо выбрать равным 0,5, что следует из максимизации выражения $M \cdot (1-M)$.

Отношение сигнал/шум на выходе приемного устройства предлагаемой системы, при учете только дробового шума принимаемого сигнала и значении коэффициента распределения мощности $M = 0,5$, определяется выражением:

$$S/N = \frac{\eta P_c C^2}{4B_s h\nu} \quad (5)$$

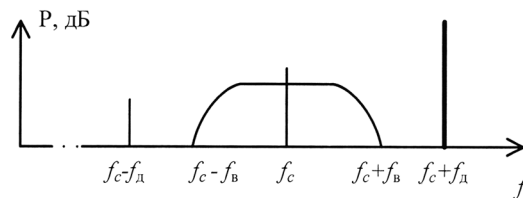
На фиг. 1 представлена структурная схема волоконно-оптической системы передачи данных с узкополосным усилением пилот-сигнала. Волоконно-оптическая система передачи данных с узкополосным усилением пилот-сигнала состоит из передающего модуля (1), включающего источник оптического излучения (2), электрооптический модулятор (3), генератор пилот-сигнала (4), сумматор электрических сигналов (5), фильтр нижних частот (6); волоконно-оптической линии связи (7) и приемного модуля (8), состоящего из оптического ответвителя (9), источника оптического излучения (10), оптического фильтра (11), фотодетектора (12), полосового фильтра (13), амплитудного демодулятора (14), фильтра нижних частот (15).

Волоконно-оптическая система передачи работает следующим образом. Электрический сигнал поступает на фильтр нижних частот (6) для уменьшения уровня высокочастотных компонентов. Однотоновый пилот-сигнал с частотой f_d формируется генератором пилот-сигнала (4) и суммируется с информационным сигналом в сумматоре электрических сигналов (5). В результате формируется электрический сигнал, состоящий из информационного сигнала и пилот-сигнала с частотой f_d , которая более чем в 2 раза превосходит верхнюю граничную частоту f_b спектра информационного сигнала. Оптическая несущая, сгенерированная источником оптического излучения (2), модулируется электрическим сигналом при помощи электрооптического модулятора (3). Спектр полученного оптического сигнала будет содержать несущее колебание, информационную составляющую и две дополнительные составляющие с частотами $f_c \pm f_d$ где f_c - частота несущего колебания. Оптический сигнал передается по волоконно-оптической линии связи (7) и поступает на вход приемного модуля (8), в котором производится избирательное усиление составляющей с частотой $f_c + f_d$. Усиление осуществляется при помощи распределенного усилителя Манделъштама - Бриллюэна, состоящего из источника оптического излучения (10), оптического ответвителя (9) и оптического фильтра (11). Спектр оптического сигнала (зависимость мощности P от частоты f) после усиления показан на фиг. 2. Частота источника оптического излучения (10) превышает значение $f_c + f_d$ на величину смещения Бриллюэна (11 ГГц для современных одномодовых волокон). Активной зоной усилителя является волоконно-оптическая линия связи (7). После усиления оптический сигнал поступает на фотодетектор (12), на выходе которого спектр электрического сигнала будет выглядеть, как показано на фиг. 3. В результате биений в квадратичном детекторе с усиленным пилот-сигналом информационные составляющие спектра также подвергнутся усилению и будут находиться в окрестности промежуточной частоты, равной частоте пилот-сигнала f_d . Полосовой фильтр (13) с центральной частотой f_d и полосой пропускания, равной удвоенной верхней частоте информационной составляющей, позволяет устранить нежелательные высокочастотные и низкочастотные составляющие, как по-

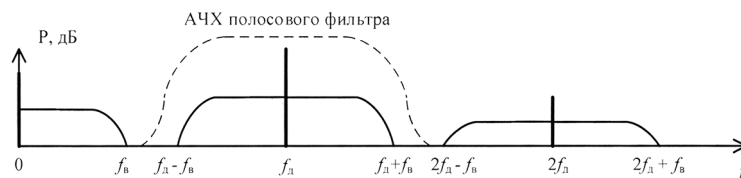
казано на фиг. 3. Демодуляция с промежуточной частоты выполняется амплитудным демодулятором (14), после чего сигнал проходит фильтр нижних частот (15).

Для подтверждения работоспособности заявляемой системы и определения параметров было произведено имитационное моделирование работы волоконно-оптической системы передачи в соответствии с фиг. 1. В результате моделирования было установлено, что чувствительность приемного устройства волоконно-оптической системы передачи составляет -33,21 дБм при вероятности ошибки 10^{-10} , что сравнимо с чувствительностью когерентных приемников, при улучшении эксплуатационной надежности приемного устройства.

По сравнению с волоконно-оптической системой передачи с гетеродинным методом приема заявляемая система обеспечивает сравнимую чувствительность, но обладает более простой конструкцией, которая не требует применения системы оптической автоподстройки частоты в приемном модуле. По сравнению с аналогом заявляемая система может работать при более низком отношении сигнал/шум для обеспечения заданной вероятности ошибок (22,76 дБ при вероятности ошибок 10^{-10} против 25,8 дБ при вероятности ошибок $8,2 \cdot 10^{-4}$ [2]).



Фиг. 2



Фиг. 3