

В. В. Кузавков, Е. В. Редзюк, Л. Т. Коваль

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ О РАСПРОСТРАНЕНИИ ТЕПЛОТЫ В РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТАХ

Построена математическая модель, описывающая процесс распространения теплоты в тонком слое материала, покрывающего кристалл полупроводника. Рассмотрен случай одномерной нестационарной теплопроводности. Решение подобной задачи необходимо при использовании метода собственного излучения для локализации неисправных элементов цифровых блоков автономными автоматизированными системами диагностирования.

**Ключевые слова:** диагностическая информация; метод собственного излучения; радиоэлектронный компонент.

V. V. Kuzavkov, E. V. Redzyuk, L. T. Koval

### A MATHEMATICAL MODEL OF THE PROBLEM OF THE DISTRIBUTION OF HEAT IN THE REC (RADIO ELECTRONIC COMPONENTS)

In this paper we solve the problem of constructing a mathematical model of heat distribution in the layer covering the semiconductor crystal case for one-dimensional unsteady heat conduction. Solving such problems is necessary when using natural radiation to locate faulty elements of digital blocks standalone automated systems diagnostics (AA MD).

**Keywords:** diagnostic information; the method of natural radiation; radio electronic components.

УДК 621.384

А. Л. ГОЛИК, аспирант, Государственный университет телекоммуникаций, Киев

## ОРГАНИЗАЦИЯ МОДУЛИРУЮЩЕГО СИГНАЛА И СПОСОБА МОДУЛЯЦИИ ИМ ЛУЧА ЛАЗЕРА

Предложен способ модуляции внешним оптическим модулятором луча лазера, основанный на следующих соображениях. У модулятора типа «Corning-10-A» допустимая скорость модулирующего сигнала равна 10,5 Гбит/с, тогда как совокупная скорость передачи всех сигналов услуг 4G в ИГТС (до 2000 услуг, по 12 Мбит/с для каждой) составляет всего 24 Гбит/с. Данное противоречие разрешается применением принципов организации технологии TDMA для сигналов, предоставляемых по технологии OFDM.

**Ключевые слова:** модулирующий сигнал; интерактивная гетеродинная транспортная сеть; модуляция луча лазера внешним оптическим модулятором; групповой канал; квадратурный преобразователь; OFDM-символ.

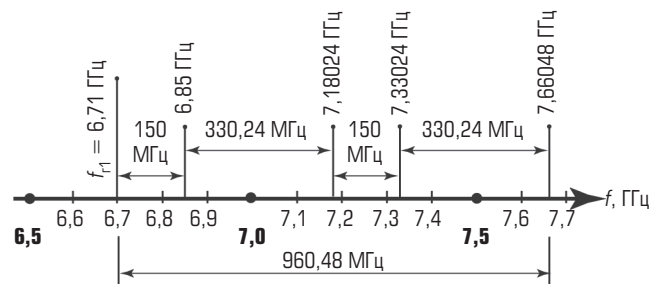
### Введение

При разработке распределительной сети необходимо обеспечить передачу по ней большого количества (1–2 тыс.) услуг 4G, передача каждой из которых требует пропускной способности сети от 3 до 12 Мбит/с. Суммарная полоса рабочих частот такой сети при модуляции КАМ-64 либо КАМ-128 достигает нескольких гигагерц [1]. Очевидно, что такую полосу рабочих частот можно реализовать на несущей частоте в миллиметровом диапазоне. С этой целью применяется двулучевая волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС), по которой распространяются два синхронизированных по частоте луча, разность частот которых принадлежит миллиметровому диапазону. Один луч модулирован сигналами услуг, второй представляет собой опорный гетеродинный сигнал для получения в фотоприемнике базовой станции радиосигнала с несущей частотой в миллиметровом диапазоне [2].

### Организация модулирующего сигнала и способа модуляции им луча лазера

Для эффективного использования спектра частот до 1 ГГц, где возможна цифровая обработка сигналов, групповой канал с двумя OFDM-символами можно организовать по схеме, изображенной на рисунке [3].

Используя разные частоты  $f_c$  сигналов гетеродинов квадратурных преобразователей, формируем несколько групповых каналов, как показано на рисунке. Для примера в таблице представлен один ствол из семи групповых каналов (каждый канал содержит два символа из шести модуляторов КАМ-128), построенный на базе четырнадцати OFDM-символов.



Расположение на частотной оси рабочих полос двух OFDM-символов первого группового канала после квадратурного преобразователя

Совокупная полоса частот ствола вместе с защитными полосами частот составляет 6,72336 ГГц, а рабочая полоса частот всех 5376 поднесущих в четырнадцати OFDM-символах равна 4,62336 ГГц.

Объединитель групповых сигналов (ОГС) функционирует по технологии OFDM, если быстродействие оптического модулятора позволяет воспринять суммарный сигнал. В противном случае ОГС должен работать по технологии TDMA, подавая сигнал каждого квадратурного преобразователя последовательно (по одному импульсу в один слот) на оптический модулятор.

При этом сигнал одного слота будет иметь полосу рабочих частот порядка 1 ГГц, тогда как внешний оптический модулятор допускает модулирующий сигнал с полосой 1,78 ГГц. Если длительность OFDM-символа (вместе со служебной информацией и паузой между слотами) составляет  $16,24 \cdot 10^{-6}$  с, то имеются все основания полагать, что через  $300 \cdot 10^{-6}$  с можно будет продолжить модуляцию луча лазера сигналами второго слота.

Рабочие частоты четырнадцати OFDM-символов в стволе сигналов

Номер канала	Номер символа	Рабочая полоса частот $\Delta f$ , одного символа, МГц	Нижняя частота символа, МГц	Верхняя частота символа, МГц
<b>Групповой канал 1</b>				
1	1	$\Delta f_1 = 330,24$	150	480,24
	$f_{g1} = 6,7$ ГГц; $f_{1f1} = 6,850$ ГГц; $f_{uf1} = 7,66048$ ГГц			
	2	$\Delta f_2 = 330,24$	630,24	960,48
<b>Групповой канал 2</b>				
2	3	$\Delta f_3 = 330,24$	150	480,24
	$f_{g2} = 7,66048$ ГГц; $f_{1f2} = 7,81048$ ГГц; $f_{uf2} = 8,62096$ ГГц			
	4	$\Delta f_4 = 330,24$	630,24	960,48
<b>Групповой канал 3</b>				
3	5	$\Delta f_5 = 330,24$	150	480,24
	$f_{g3} = 8,62096$ ГГц; $f_{1f3} = 8,77096$ ГГц; $f_{uf3} = 9,58144$ ГГц			
	6	$\Delta f_6 = 330,24$	630,24	960,48
<b>Групповой канал 4</b>				
4	7	$\Delta f_7 = 330,24$	150	480,24
	$f_{g4} = 9,58144$ ГГц; $f_{1f4} = 9,73144$ ГГц; $f_{uf4} = 10,54192$ ГГц			
	8	$\Delta f_8 = 330,24$	630,24	960,48
<b>Групповой канал 5</b>				
5	9	$\Delta f_9 = 330,24$	150	480,24
	$f_{g5} = 10,54192$ ГГц; $f_{1f5} = 10,69192$ ГГц; $f_{uf5} = 11,5024$ ГГц			
	10	$\Delta f_{10} = 330,24$	630,24	960,48
<b>Групповой канал 6</b>				
6	11	$\Delta f_{11} = 330,24$	150	480,24
	$f_{g6} = 11,5024$ ГГц; $f_{1f6} = 11,6524$ ГГц; $f_{uf6} = 12,46288$ ГГц			
	12	$\Delta f_{12} = 330,24$	630,24	960,48
<b>Групповой канал 7</b>				
7	13	$\Delta f_{13} = 330,24$	150	480,24
	$f_{g7} = 12,46288$ ГГц; $f_{1f7} = 12,61288$ ГГц; $f_{uf7} = 13,42336$ ГГц			
	14	$\Delta f_{14} = 330,24$	630,24	960,48

Как показывает практика использования технологии TDMA в спутниковых системах связи, указанная пауза между слотами вполне допустима.

**Заключение**

Расчет спектра  $f_{м.с}$  совокупного модулирующего сигнала, позволяющего промодулировать один луч лазера, передать его по ВОЛС вместе со вторым лучом лазера, отстоящим от первого луча на 40...60 ГГц, и с применением фотодиода преобразовать оба луча в радиочастоту, промодулированную тем же модулирующим сигналом, возможен, если выполнены следующие требования:

- ♦ канал одного OFDM-символа имеет рабочую полосу частот порядка 300...400 МГц и находится в диапазоне частот ниже 1 ГГц;
- ♦ в диапазоне частот ниже 1 ГГц может быть размещен групповой канал с двумя OFDM-символами, между которыми имеется защитный частотный интервал шириной 150...200 МГц;
- ♦ рабочие полосы частот обоих OFDM-символов группового канала при помощи одного сигнала гетеродина в двух квадратурных преобразователях могут быть перемещены в более высокочастотный диапазон;
- ♦ точно такие же групповые каналы при помощи других частот своих гетеродинных сигналов могут в результате переноса на другие участки более высокочастотного диапазона образовать в своей совокупности ствол сигналов всех услуг 4G;
- ♦ достигнуто уменьшение требуемой ОБМ скорости подачи модулирующего сигнала на базе технологии TDMA с подачей в отдельный слот одного группового сигнала.

**Литература**

1. **Интерактивная** гетерогенная телекоммуникационная система 4G с беспроводным доступом в миллиметровом диапазоне для предоставления мультимедийных услуг мобильным абонентам / [М. Е. Ильченко, К. С. Сундучков, С. Э. Волков и др.] // *Зв'язок*.— 2008.— № 7–8.— С. 28–32.
2. **Буртовий, С. С.** Расчет топологии распределительной части интерактивной гетерогенной телекоммуникационной сети [Электронный ресурс] / С. С. Буртовий, К. С. Сундучков, А. Л. Голик // *Проблемы телекоммуникаций*.— 2012.— № 1.— С. 76–87.— Режим доступа: [http://pt.journal.kh.ua].
3. **Сундучков, К. С.** Формирование OFDM-символов для сигналов услуг 4G, совокупная рабочая полоса частот которых более 3–4 ГГц / [К. С. Сундучков, Ю. Ю. Яцук, А. Л. Голик и др.] // *Журнал АВТ*.— Рига, 2014.— № 4.

О. Л. Голик

**ОРГАНІЗАЦІЯ МОДУЛЮЮЧОГО СИГНАЛУ ТА СПОСОБУ МОДУЛЯЦІЇ НИМ ПРОМЕНЯ ЛАЗЕРА**

Запропоновано спосіб модуляції зовнішнім оптичним модулятором променя лазера згідно з такими міркуваннями. У модулятора типу «Corning-10-A» припустима швидкість модулюючого сигналу становить 10,5 Гбіт/с, тоді як сукупна швидкість передавання всіх сигналів послуг 4G у ІГТС (близько 2000 послуг, по 12 Мбіт/с для кожної) становить усього 24 Гбіт/с. Ця суперечність розв'язується застосуванням принципів організації технології TDMA для сигналів, що подаються за технологією OFDM.

**Ключові слова:** модулюючий сигнал; інтерактивна гетеродина транспортна мережа; модуляція променя лазера зовнішнім оптичним модулятором; груповий канал; квадратурний перетворювач; OFDM-символ.

A. L. Golyk

**ORGANIZATION OF MODULATED SIGNAL AND METHODS OF LASER MODULATION BY IT**

In the work proposals method of external modulation by optical modulator of laser. In the modulator type «Corning -10-A» permissible speed of modulating signal is equal to 10.5 Gbit/s and overall speed of all service signals 4G in Interactive Heterodyne Transport Network for 2000 services (12 Mbit/s for each service) Total 24 Gbit/s. This contradictions can be solved by application of the principles of the organization of technology TDMA for signals provided by technology OFDM.

**Keywords:** modulating signal; Interactive Heterodyne Transport Network; external modulation by optical modulator of laser; group channel; quadrature converter; OFDM-symbol.