

# ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОГЕРЕНТНОГО ПЛЕНЕНИЯ НАСЕЛЕННОСТЕЙ ДЛЯ МОДУЛЯЦИИ И ДЕМОДУЛЯЦИИ МНОГОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Мачехин Ю. П., Вознюк Е. В.

Харьковский национальный университет радиозлектроники  
e-mail: evgeniy85@list.ru

*Аннотация* — Исследовались основные принципы применения физического эффекта когерентного пленения населенностей (КПН) как основы для создания устройств модуляции и демодуляции многочастотного излучения в современных DWDM (dense wavelength-division multiplexing) системах, что позволит существенно увеличить объемы передаваемых данных.

## I. Введение

Развитие телекоммуникационных сетей на основе оптической связи происходит в направлении уплотнения частотных оптических каналов, формируемых в одном оптическом волокне. До настоящего времени все оптические каналы частотного плана ITU создавались на полупроводниковых лазерах, как источниках лазерного излучения, частота которых привязана к фиксированному частотному каналу.

Пока не нашло широкого практического применения импульсов лазерного излучения с многочастотным дискретным спектром. Одна из причин, объясняющая сложность использования многочастотного лазерного излучения в оптической связи, заключается в модуляции и демодуляции оптических частот, распространяющихся в одном оптическом сигнале.

Поэтому поиск физических механизмов и разработка на их основе методов селективной модуляции оптических частот является одной из наиболее приоритетной задачей в телекоммуникационной области.

## II. Результаты исследований

В настоящей работе, представлены результаты исследования условий использования метода когерентного пленения населенностей (КПН) как основы для реализации модуляции и демодуляции отдельных оптических частот фемтосекундного лазера.

При взаимодействии двух монохроматических волн с атомной  $\Lambda$ -системой, когда их частоты совпадают с частотами переходов связанных с одним общим верхним уровнем реализуется условие уменьшения поглощения в атомной системе обоих полей.

Если созданы условия при которых оптическая частота излучения одного из полей модулируется полезным информационным сигналом, то при условии КПН второе поле приобретает амплитудную модуляцию тем же информационным сигналом.

В условиях применения КПН-модуляции для оптической связи, только та частота из спектра излучения фемтосекундного лазера, которая совпадает с частотой одного перехода  $\Lambda$ -системы, будет модулироваться излучением с частотой совпадающей со второй частотой  $\Lambda$ -системы. Таким образом, в многочастотном излучении будет модулироваться только одна частота.

В зависимости от среды взаимодействия, которая вероятнее всего будет искусственно создана, в одной ячейке может быть осуществлена модуляция большого количества частот независимо друг от друга.

Предельная ширина резонанса КПН определяется временем релаксации взаимной когерентности нижних уровней  $\Lambda$ -системы и не зависит от ширины верхнего уровня, поскольку при выполнении условия резонанса падающее излучение перестает с ним взаимодействовать. При соответствующем выборе нижних долгоживущих уровней могут наблюдаться чрезвычайно узкие резонансы с добротностью  $f/\Delta f$  вплоть до  $10^{14}$ . До настоящего времени большинство экспериментальных исследований резонансов КПН было выполнено со щелочными атомами, у которых в качестве нижних уровней  $\Lambda$ -системы использовались сверхтонкие компоненты основного состояния с типичным расщеплением несколько гигагерц. Возможность регистрации контрастных и высокодобротных резонансов КПН в щелочных атомах обусловлена наличием прецизионных стабильных лазерных систем, перестраиваемых в области резонансного перехода, и относительно простой фазовой привязкой световых полей  $E_1$  и  $E_2$ . Высокая добротность резонансов КПН позволяет рассматривать атомную систему с «плеченой» населенностью в качестве вторичного стандарта частоты, в котором с высокой точностью стабилизирована разность оптических частот  $\omega_1 - \omega_2$ .

В работе исследовались условия модуляции оптического излучения в условиях КПН в диапазоне 1,5 мкм. Следует отметить, что  $\Lambda$ -среды аналогичные парам щелочных атомов, в диапазоне оптической связи еще не были исследованы. Поэтому в настоящей работе был сделан акцент на теоретическом изучении условий модуляции оптического излучения другим оптическим излучением.

Структурная схема модуляции одной из частот фемтосекундного лазера представлена на рис. 1.

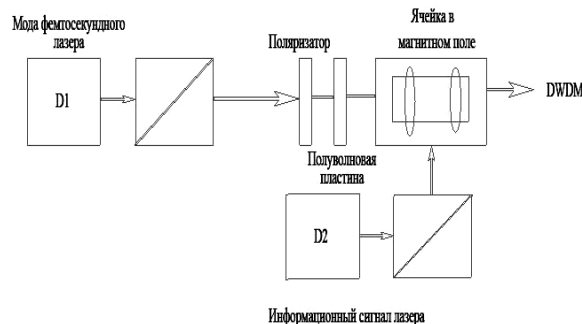


Рис. 1. Структурная схема модуляции фемтосекундного лазера.

Fig. 1. The structural diagram of a femtosecond laser frequency modulation

## III. Условия экспериментальной проверки КПН-модуляции

Для экспериментальной проверки КПН-модуляции была выбрана  $\Lambda$ -среда в виде газовой ячейки с парами щелочного металла – рубидия.

В качестве  $\Lambda$ -среды выберем для конкретности газовую ячейку с парами щелочного металла, например рубидия. Требуемая  $\Lambda$ -схема может быть образована двумя подуровнями сверхтонкой структуры состояния  $5S$  и верхним уровнем —  $5P_{1/2}$ . При выполнении условий КПН и для случая достаточной интенсивности полей  $I(0) > I_c$  в  $\Lambda$ -среде имеется узкое окно прозрачности, в котором излучение убывает внутрь среды по линейному закону, т. е. происходит просветление среды. Вне окна прозрачности излучение быстро (экспоненциально) затухает в среде. Эти обстоятельства могут быть использованы для преобразования частотной модуляции светового излучения в амплитудную. Когда частота одной из световых волн, например волны с частотой  $\omega_1$ , промодулирована прямоугольными импульсами длительностью  $t_0$  и частотой  $T^{-1}$  их следования так, что

$$\omega_1^m = \omega_1 + \Delta \text{ при } t_1 < t < t_2, \quad (1)$$

$$\omega_1^m = \omega_1 \text{ при } t_2 < t < t_3, \quad (2)$$

$$(\omega_1 - \omega_{31}) - (\omega_2 - \omega_{32}) = \Omega_1 + \Omega_2 = 0, \quad (3)$$

а оптические частоты  $\omega_1, \omega_2$  выбраны удовлетворяющими условию (3). При этом  $t_0$  и  $T$  должны быть больше, чем  $A^{-1}$ ,

$$t_0, T > A^{-1}, \quad (4)$$

где  $A^{-1}$  - время спонтанного распада уровня  $5P_{1/2}$  ( $A = 4 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$ ), а глубина  $\Delta$  модуляции должна превышать ширину  $\Gamma_0$  окна прозрачности:

$$\Delta > \Gamma_0. \quad (5)$$

Например, для интенсивности лазерного луча  $I \approx 0,1 \text{ мВт/см}^2$  в случае атомов Rb на переходе  $5S \rightarrow 5P$ , возбуждаемых из двух нижних состояний сверхтонкой структуры, ширина окна составляет  $\Gamma_0 \sim 10^4 \text{ с}^{-1}$ . Ограничение (4) обусловлено тем, что явление КПН в  $\Lambda$ -системе устанавливается и разрушается за времена порядка  $A^{-1}$ . Для указанных условий при временах  $t_2 < t < t_3$  среда просветляется, а при  $t_1 < t < t_2$  будет наблюдаться сильное поглощение света средой. В результате частотная модуляция световой волны с несущей оптической частотой  $\omega_1$  управляет пропусканием света газовой ячейкой. И таким образом происходит преобразование частотной модуляции в амплитудную. Глубина преобразования одного вида модуляции в другой в данном случае зависит только от величины поглощения света в среде и может быть равной 100% за счет простого увеличения оптической плотности среды. Поскольку оптическая длина  $\tau \approx N\lambda^2 z$ , то ослабление света в  $e$  раз вне окна прозрачности будет происходить на длине  $l \approx (N\lambda^2)^{-1}$ . В случае ячейки с парами атомов Rb на переходе  $5S \rightarrow 5P$  ( $\lambda \approx 10^{-5} \text{ см}$ ) и при концентрации атомов  $N = 10^{10} \text{ см}^{-3}$  получим длину поглощения  $l \approx 1 \text{ см}$ . Таким образом, газовая ячейка, размер которой всего 1 см, имеет уже достаточную оптическую толщину для полного преобразования одного вида модуляции в другой.

Схема модуляции полезным сигналом одной частоты фемтосекундного лазера показана на рис 1. Многочастотное излучение фемтосекундного лазера, подаваемое в оптическую линию связи предварительно проходит через газовую ячейку, содержащую вещество, в котором существует  $\Lambda$  система (возмож-

но с помощью магнитного поля). Условия КПН предусматривают возможность взаимодействия со средой как параллельно распространяющихся волн так и ортогонально. Из рисунка следует, что на делительном зеркале совмещаются два сигнала, после чего проходят оптическую систему и попадают на рубидиевую ячейку, которая находится в магнитном поле. После чего излучение выводится для последующего использования в DWDM системе.

#### IV. Заключение

Таким образом, в работе были изучены основные понятия о использовании КПН, который может быть использован при модуляции и демодуляции в DWDM системах. Однако, несмотря на явные перспективы использования имеется ряд нерешенных задач, которые необходимо решить для его реализации.

#### V. Список литературы

- [1] Dalton B. J., McDuff R., Knight P.L. Opt. Acta. 32, 61, 1985.
- [2] Mlynek J., Mitshke F., Deserno R. et al. Phys. Rev. A. 29, 1297, 1984.
- [3] Aspect A., Arimondo E., Kaizer R. et al. J. Opt. Soc. Am. B. 6, 2112, 1989.

### MAIN PRINCIPLES OF USE OF COHERENT POPULATION TRAPPING FOR MODULATION AND DEMODULATION OF MULTIFREQUENCY RADIATION

Machekhin Yu. P., Vozniuk E. V.  
 Kharkiv National University of Radioelectronics  
 14, Lenina Ave., Kharkiv, 61166, Ukraine  
 e-mail: evgeniy85@list.ru

*Abstract* — The basic principles of physical effect of coherent population trapping (CPT) were studied as a basis for the development of devices for modulation and demodulation of multi-frequency radiation into the modern DWDM (dense wavelength-division multiplexing) systems that will significantly increase the volume of transmitted data.

#### I. Introduction

The development of telecommunication networks based on optical communication occurs in the direction of compaction frequency optical channels formed in a single optical fiber. So far, all the optical channels of the frequency plan ITU formed on semiconductor lasers as sources of laser radiation, whose frequency is tied to a fixed frequency channel.

#### II. Results

In terms of the CPT-modulation for optical communications, only the frequency of the emission spectrum of a femtosecond laser, which coincides with the frequency of a transition  $\Lambda$ -system, would be modulated for radiation with a frequency coinciding with the second frequency of  $\Lambda$ -system. Thus, in the multi-frequency radiation will be modulated only by one frequency.

#### III. Conclusions

Thus, we have studied the basic concepts about the use of CPT, which can be used for modulation and demodulation in DWDM systems. However, despite the obvious prospects of a number of unsolved problems which must be addressed for its implementation.