

Спектральный дизайн сигнала с кратным нецентральной чирпированием

Е.Г. Шапиро, Д.А. Шапиро*

Институт автоматизации и электрометрии, Сибирское отделение РАН

*E-mail: shapiro@iae.nsk.su

DOI:10.31868/RFL.2024.107-108

Когерентное детектирование, новые форматы модуляции и мультиплексирование по поляризациям улучшают волоконную связь, обеспечивая высокую скорость передачи информации [1-3]. Ниже предлагается использовать кратное чирпирование для управления спектром и подавления нелинейных искажений, где период чирпирования включает несколько битовых интервалов.

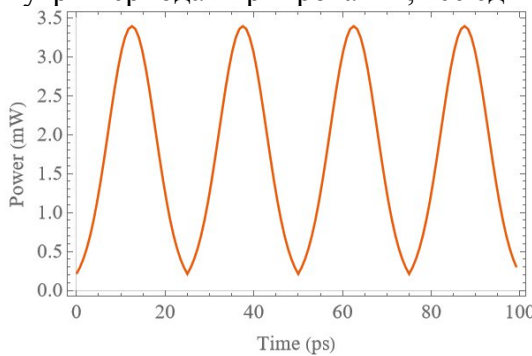
Было проведено численное моделирование 8-QAM сигнала для гауссовых импульсов с битовым интервалом $T=25$ пс и чирпом, смещенным от пика мощности. Пиковая мощность составляла 3.4 и 13.6 мВт. Моделирование основывалось на связанных нелинейных уравнениях Шредингера с учетом поляризаций.

Гауссов оптический импульс с нецентральной чирпом задается формулой

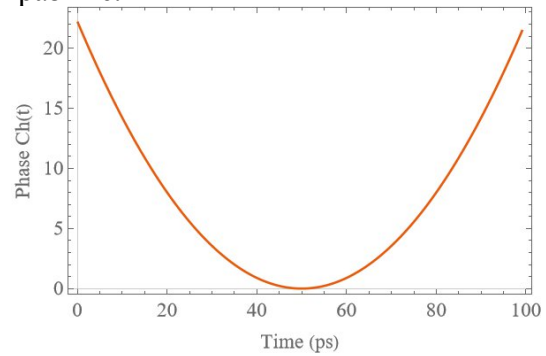
$$f(t) = Q e^{-\frac{1}{2T_0^2}t^2} e^{i\frac{C(t-t_0)^2}{2T_0^2}} = Q e^{iC\frac{t_0^2}{2T_0^2}} e^{-\frac{1-iC}{2T_0^2}t^2} e^{-\frac{iCt_0}{T_0^2}t}, \quad (1)$$

где Q^2 определяет мощность импульса, T_0 - параметр ширины, t_0 - величина сдвига чирпа относительно точки пиковой мощности импульса. Множитель $\exp[-iCt_0t/T_0^2]$ в (1) означает, что Фурье-образ функции $f(t)$ имеет частотный сдвиг на величину $\Delta\omega = -Ct_0/T_0^2$.

Если у разных импульсов различаются сдвиги чирпа, то различаются и частотные области импульсов. Предположим, что длительность интервала чирпирования составляет m битовых интервалов. Тогда у импульсов, находящихся внутри периода чирпирования, все сдвиги разные.



(а)



(б)

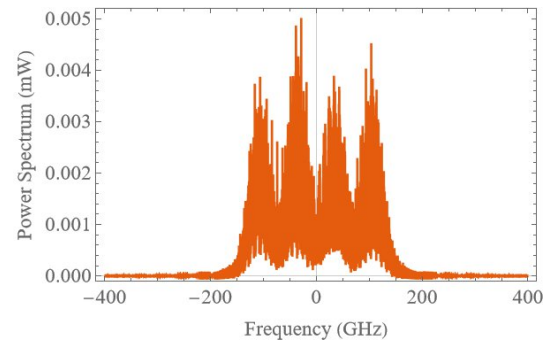
Рис. 1: Профиль мощности импульсов, $m=4$, $T_0 = 7.5$ пс (а) и функция чирпа (б).

На рис.1 изображены профили мощности импульсов на периоде чирпирования 0-100 пс и график функции чирпа $Ch(t) = C(t - 2T)^2/2T_0^2$. В общем случае период чирпирования $0 - mT$ содержит m битовых интервалов и m коэффициентов модуляции.

Обозначим $f_1(t), \dots, f_l(t), \dots, f_m(t)$ последовательность импульсов, на интервале $0 - mT$ пс. Тогда чирп и импульсы на этом временном интервале задаются формулами $Ch(t) = C(t - \frac{m}{2}T)^2/2T_0^2$,

$$f_l(t) = c_l Q e^{-\frac{(t-lT+T/2)^2}{2T_0^2}} e^{i\frac{C}{2T_0^2}(t-\frac{m}{2}T)^2}, \quad t \in [(l-1)T, lT], \quad l = 1, \dots, m,$$
 где c_l – коэффициент модуляции. Сдвиг чирпа t_l функции $f_l(t)$ определяется равенством $t_l = \frac{T}{2}(2l - m - 1)$. Пиковая мощность Фурье-образа $f_l(t)$ достигается на частоте $\Delta\omega_l = \frac{C}{T_0^2} \frac{T}{2}(m + 1 - 2l)$. Рассмотрим случайную битовую последовательность, сформированную из периодов чирпирования. Оказывается, импульсы, расположенные на битовых интервалах с номером l , образуют канал с частотой $\Delta\omega_l$. На рис.2 показано, как канал (а) преобразовался в четыре канала (б).

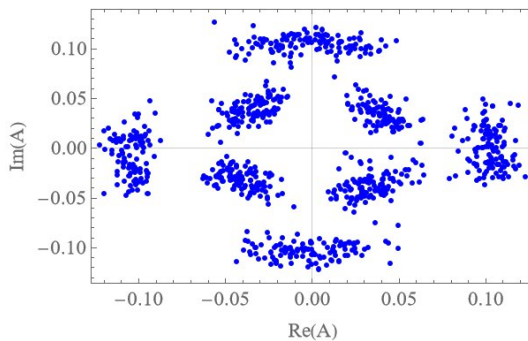
(а)



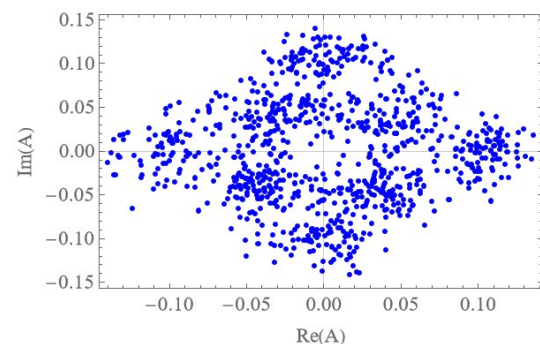
(б)

Рис. 2: Профиль мощности импульсов, $m=4$, $T_0=7.5$ пс: $C = 0$ (а), $C = 1$ (б).

Мы моделировали распространение сигнала в линии без компенсации дисперсии для двух вариантов: (а) нецентральное чирпирование выполнялось в начале линии связи, разделение на каналы происходило в конце линии (б).



(а)



(б)

Рис. 3: Сигнальная диаграмма: чирпирование осуществлялось в начале линии (а), в конце (б).

В первом случае длина линии составила 1000 км, во втором – 500 км. Таким образом, использование нецентрального чирпирования значительно снижает нелинейные искажения, позволяя разделять сигнал на каналы и смягчать керровскую нелинейность.

Работа поддержана Министерством высшего образования и науки РФ, тема FWNG-2024-0013.

Литература

- [1] Essiambre R.-J. et al. *J. Lightw. Technol.*, **25**, 662 (2010)
- [2] Kikuchi K. *IEEE J. Sel. Top. Quant. Electr.*, **12**, 563 (2006)
- [3] Choyon A.S., Chgowdhury R. *J. Opt.*, **50**, 512 (2021)