

ОБ ИЗМЕРЕНИИ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УЛЬТРАКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ СВЕТА С ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ МЕТОДОМ ПУЧКА ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ

Д. А. ОГАНЕСЯН

Ереванский филиал ВНИИОФИ

(Поступила в редакцию 15 ноября 1986 г.)

Получены выражения для поперечного распределения энергии второй гармоники при наличии фазовой модуляции. Показано, что при измерении длительности сверхкоротких лазерных импульсов методом пучка второй гармоники необходимо учитывать уширение распределения второй гармоники для модулированных по фазе импульсов.

В последние годы для измерения длительности ультракоротких импульсов (УКИ) света нашел широкое применение корреляционный метод пучка второй гармоники (ПВГ) [1, 2]. Идея метода заключается в том, что при неколлинеарной генерации суммарной частоты излучений скрещивающихся пучков в нелинейном кристалле с помощью анализа поперечного распределения энергии излучения на суммарной частоте можно «увидеть» взаимодействующие импульсы сбоку, под некоторым углом, при их прохождении через кристалл. Следовательно, по фотографии излучения суммарной частоты можно судить о протяженности волновых пакетов, т. е. о длительности импульсов.

Возможности метода ПВГ можно существенно расширить, если проводить анализ изображения-излучения на суммарной частоте с помощью спектрографа [3]. Это особенно важно при исследовании модулированных по фазе импульсов.

В работе излагаются результаты теоретического исследования преобразования временной структуры модулированных по фазе пикосекундных импульсов в пространственную картину при неколлинеарной генерации суммарной частоты. Рассмотрены импульсы гауссовой формы с линейной и квадратичной модуляцией частоты.

В работе [4] распределение энергии второй гармоники (ВГ) вдоль оси x в квазистатическом режиме $vl \ll \tau$ ($l \ll l_h$), где $v = (1/u_2 - 1/u_1)$ характеризует расстройку групповых скоростей опорных пучков, определяется по формуле

$$W(x) \simeq l^2 \int_{-\infty}^{\infty} |\varphi^2(t-T) \varphi^2(t+T)| dt, \quad (1)$$

$$T = \frac{x \sin \alpha}{u_1}.$$

Из (1) следует, что распределение энергии ВГ в квазистатическом режиме генерации не чувствительно к фазовой модуляции импульсов с временным профилем $\varphi(t)$.

В неквазистатическом режиме генерации $vl \gg \tau$ ($l \gg l_k$)

$$W(x) \simeq \frac{l}{v} \left| \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t-T) \varphi(t+T) dt \right|^2. \quad (2)$$

Как следует из (2), в данном режиме распределение энергии ВГ чувствительно к фазовой модуляции исходных импульсов.

Итак, пусть на границу нелинейной недиссипативной среды симметрично к нормали падают две модулированные по амплитуде волны (импульсы) с плоскими фазовыми фронтами с линейной модуляцией частоты:

$$\varphi(t) = (\sqrt{\pi} \tau)^{-1} \exp \left(-\frac{t^2}{\tau^2} + i \gamma_1 t^2 \right), \quad (3)$$

где γ_1 [с⁻²] — коэффициент, характеризующий линейную модуляцию частоты.

Подставляя (3) в (2), имеем

$$W(x) \simeq \frac{l}{2\pi v \tau^2} \frac{\exp \left(-4 \frac{T^2}{\tau^2} \right)}{\sqrt{1 + \gamma_1^2 \tau^4}}. \quad (4)$$

Как видно из (4), в случае линейной модуляции частоты импульсов «характерная ширина» распределения энергии ВГ остается такой же, как и в случае отсутствия модуляции ($T \sim \tau$), а значение энергии ВГ при $T=0$ в $1/\sqrt{1 + \gamma_1^2 \tau^4}$ раз меньше соответствующего значения при отсутствии модуляции.

Рассмотрим теперь импульс гауссовой формы с нелинейной (квадратичной) модуляцией частоты:

$$\varphi(t) = (\sqrt{\pi} \tau)^{-1} \exp \left(-\frac{t^2}{\tau^2} + i \gamma_2 t^3 \right), \quad (5)$$

где γ_2 [с⁻³] — коэффициент, характеризующий нелинейную (квадратичную) модуляцию частоты.

Интеграл (2) принимает вид

$$B(x) = \frac{\exp \left(-2 \frac{T^2}{\tau^2} \right)}{\pi \tau^2} \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left(-2 \frac{t^2}{\tau^2} \right) \exp (2 i \gamma_2 [t^3 + 3t T^2]) dt, \quad (6)$$

который можно представить как

$$B(x) = C \int_{-\infty}^{\infty} A(t) \exp (i \gamma_2 f(t)) dt,$$

где

$$C = (\pi \tau^2)^{-1} \exp \left(-2 \frac{T^2}{\tau^2} \right).$$

Последний интеграл вычислим методом стационарной фазы [5]. Считая γ_2 большим параметром, оценим существенную окрестность стационарной точки t_c , где $f'(t_c) = 0$. При большом γ_2 подынтегральная функция быстро осциллирует и соседние полуволны эффективно гасят друг друга. Однако гашение не происходит вблизи стационарной точки t_c , поэтому главный вклад в интеграл вносит малая окрестность $(t_c \pm \delta t)$ точки t_c . В этой окрестности можно положить

$$A(t) = A(t_c), f(t) = f(t_c) + \frac{1}{2} f''(t_c) (t - t_c)^2$$

и, следовательно,

$$B(x) = CA(t_c) \sqrt{\frac{2i\pi}{\gamma_2 f''(t_c)}} \exp\left(i \left| \gamma_2 f(t_c) - \frac{\pi}{4} \right| \right), \quad (7)$$

откуда

$$|B(x)| = \frac{\exp\left(-\frac{4}{\tau^2}(T^2 + t_c^2)\right)}{2\pi\tau^2} \frac{1}{\sqrt{1 + 9\gamma_2^2 \tau^4 t_c^2}}. \quad (8)$$

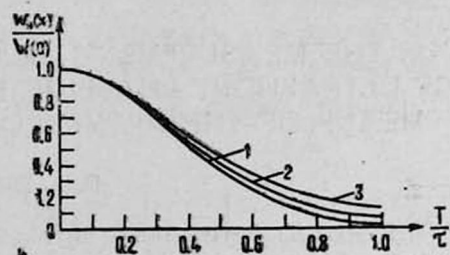
Определив величину t_c из условия $f'(t_c) = 0$ и подставив ее в выражение (2), окончательно получим

$$W(x) \approx \frac{l}{2\pi\gamma\tau^2} \exp\left(\frac{-8(\sqrt{1 + S_1 T^2/\tau^2} - 1)}{S_1}\right) \times \frac{1}{\sqrt{2\sqrt{1 + S_1 T^2/\tau^2} - (1 + S_1 T^2/\tau^2)}}, \quad (9)$$

где $S_1 = 9\gamma_2^2 \tau^6$ — безразмерный параметр.

Как следует из (9), при $S_1 < 3$ ($\gamma_2^2 \tau^6 < 0,3$), что является следствием допущения о γ_2 как большом параметре, при вычислении интеграла (6) методом стационарной фазы «характерная ширина» распределения энергии ВГ отличается от таковой при $\gamma_2 = 0$.

Результаты расчетов по формуле (9) при $S_1 = 0; 1; 2,7$ приведены на рисунке. Видно, что при наличии квадратичной модуляции частоты



Распределение энергии второй гармоники вдоль оси x при разных значениях параметра S_1 : 1—0; 2—1; 3—2,7.

($\gamma_2 \neq 0$) имеет место некоторое уширение в распределении энергии ВГ. Как следует из рисунка, двум импульсам гауссовой формы, один из которых имеет квадратичную частотную модуляцию, соответствуют разные значения величины $(T/\tau)_{1/2}$, определяемые из условия $[W(x)/W(0)] =$

$= \frac{1}{2}$, с относительным отклонением 5% при $S_1 = 1$ и 10% при $S_1 = 2,7$.

Следовательно, при измерении длительностей импульсов гауссовой формы порядка $(2 \div 40)$ пс относительное отклонение значений длительностей будет составлять $(0,1 \div 2)$ пс при $S_1 = 1$ и $(0,2 \div 4)$ пс при $S_1 = 2,7$. Временное разрешение метода ПВГ [6] на основе кристалла $LiIO_3$ толщиной $L = 1$ см при $\lambda = 1,06$ мкм составляет 10^{-13} с и, следовательно, разность измеряемых значений длительностей УКИ света, обусловленная наличием квадратичной частотной модуляции, оказывается больше временного разрешения.

Таким образом, при измерении методом ПВГ длительности УКИ света в случае наличия нелинейной (квадратичной) частотой модуляции необходимо учитывать некоторое распыливание в распределении энергии ВГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Janszky J., Corradi G., Gyuzalian R. N. Opt. Comm., 23, 293 (1977).
2. Gyuzalian R. N., Sogomontian S. B., Horvath Z. Cy. Opt. Comm., 29, 239 (1979).
3. Avalian R. E., Gurzadyan G. G., Gyuzalian R. N. „UPS-35“, Reinhardtsbrunn, DDR, 1985.
4. Кривошеков Г. В., Никулин И. Г., Соколовский Р. И. Опт. и спектр., 31, 116 (1971).
5. Джеффрис Г., Свирлс Б. Методы математической физики, т. 3. Изд. Мир, М., 1970.
6. Gyuzalian R. N. et al. „UPS-80“, Reinhardtsbrunn, DDR, 1980.

ԵՐԿՐՈՐԴ ՀԱՐՄՈՆԻԿԻ ՓԵՋԻ ՄԵԹՈԴՈՎ ՖԱԶԱՅԻՆ ՄՈՒՌՈՒՅԱՑԻԱՅԻՆՈՎ
ՈՒՆԻՐԱԿԱՐՃ ԼՈՒՅՍԱՅԻՆ ԽՊՈՒՆՆԵՐԻ ԺԱՄԱՆԱԿԱՅԻՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ
ՉԱՓՄԱՆ ՄԱՍԻՆ:

Դ. Լ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

Ստացված են արտահայտություններ երկրորդ հարմոնիկի էներգիայի լայնական բաշխման համար ֆազային մոդուլացիայի դեպքում: Ցույց է տրված, որ երկրորդ հարմոնիկի փնջի մեթոդով լույսային իմպուլսի տեղումայան չափման դեպքում անհրաժեշտ է հաշվի առնել երկրորդ հարմոնիկի բաշխման լայնացումը ֆազային մոդուլացիայով իմպուլսների դեպքում:

ON THE MEASUREMENT OF TEMPORAL CHARACTERISTICS
OF ULTRASHORT PHASE-MODULATED PULSES OF LIGHT BY
MEANS OF THE METHOD OF SECOND HARMONIC BEAM

D. L. OGANESYAN

Expressions for transverse distribution of the energy of second harmonic in the presence of phase modulation are obtained. It is shown, that when measuring the duration of ultrashort laser pulses by means of the method of second harmonic beam, the effects of second harmonic distribution widening for phase-modulated pulses should be taken into account.