

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ФОРМИРОВАТЕЛЯ ИНТЕНСИВНЫХ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ВОЛНОВЫХ ПАКЕТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА БАЗЕ ДВУХПОТОКОВОГО СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ЛСЭ

Проф. Кулиш В.В., доц. Лысенко А.В.

Известно, что сверхкороткие лазерные импульсы могут распространяться в Земной атмосфере практически без затухания, проникать достаточно глубоко внутрь твердого тела [1] и т.д. Поэтому источники таких импульсов оказываются чрезвычайно интересными для различных технологических применений. Системы этого типа не нашли широкого практического применения из-за низких уровней средней мощности ($\sim 10 \text{ мВт}$ [1]).

Принципиально новый способ получения ФВП был предложен в работе [2]. Здесь МДСЛСЭ взят в качестве технологической основы. Проведенный анализ показал, что этот способ позволяет формировать узконаправленные ФВП высокой средней мощности (сотни кВт). Мгновенная же их мощность может достигать ТВт и более.

В данной работе изложены результаты дальнейших исследований в этом направлении. Ключевой является идея о том, что коэффициент сжатия ФВП может быть радикально увеличен в случае настроек МДСЛСЭ, при которых частота первой гармоники ВПЗ намного меньше оптимальной частоты двухпотоковой неустойчивости.

Сущность метода формирования ФВП, предложенного в [2], представлена на рис. 1. Будем называть его *методом сжатия волновых пакетов*. Входной синусоидальный сигнал 1 (рис. 1) формально может быть представлен как последовательность полусинусных импульсов. Суть идеи состоит в том, что система должна сжать эти полусинусные импульсы в последовательность дельта-подобных (например,

фемтосекундных) импульсов 2. Коэффициент f_{com} сжатия, который характеризует этот процесс, определяется следующим образом

$$f_{com} = \tau_{p1} / \tau_{p2} \approx T / 4\tau_{p2}, \quad (1)$$

где все величины определены на рис. 1. С уменьшением длительности импульса τ_{p2} или, иными словами, с увеличением коэффициента сжатия f_{com} (см. формулу (1)), происходит также увеличение амплитуды импульса.

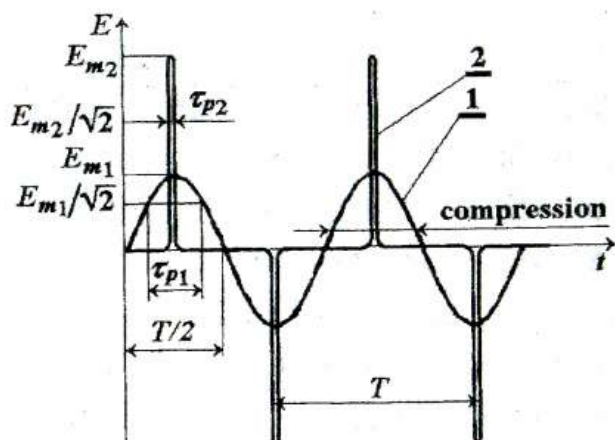


Рис. 1. Иллюстрация метода сжатия волновых пакетов.

Для технологической реализации этой идеи, в работе [2] было предложено использовать МДСЛСЭ (см. рис. 2). Здесь двухскоростной релятивистский электронный пучок 2, состоящий из двух парциальных взаимопроникающих компонент, последовательно проходит через 1-ю секцию накачки 3, пролетную секцию 4, вторую секцию накачки 5. Слабый электромагнитный сигнал 1 подается в 1-ю секцию накачки 3. Основной задачей этой секции является модуляция электронного пучка 2 за счет параметрического резонансного взаимодействия электромагнитной волны сигнала, поля 1-й секции накачки 3 и ВПЗ. Для этой же

цели здесь используется эффект двухпоточковой неустойчивости [2]. В итоге на вход последующей секции — пролетной секции 4, входит промодулированный двухскоростной пучок 2. Волна сигнала 1 здесь полностью поглощается системой поглотителя секции 4. В пролетной секции 4 благодаря механизму двухпоточковой неустойчивости [2], а также множественному параметрическому резонансу между гармониками ВПЗ происходит возбуждение и усиление высших гармоник ВПЗ.

Таким образом, на вход второй системы накачки 5 поступает сильно модулированный электронный пучок 2. Генерация мощного мультигармонического электромагнитного сигнала 6 происходит во 2-й системе накачки 5 благодаря реализации параметрически-резонансного взаимодействия усиленных мультигармонических волн ВПЗ с мультигармоническим полем 2-й системы накачки 5. Здесь же и происходит формирование электромагнитного ФВП 6.

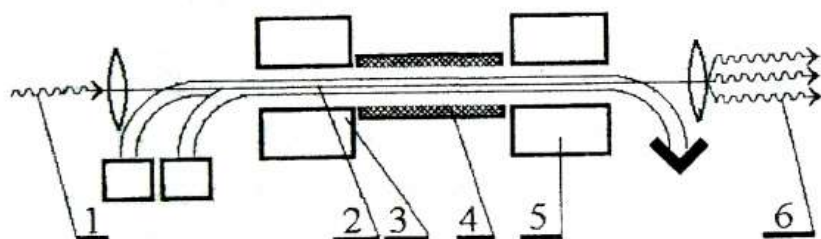


Рис. 2. Простейший вариант схемы мультигармонического ДСЛСЭ клистронного типа.

Особенность модели рассмотренной в [2] состоит в том, что частота первой гармоники ВПЗ $\omega_{3,1}$, которая возбуждается в первой секции накачки 3, совпадает с оптимальной частотой ω_{opt} двухпоточковой неустойчивости

[2] (при этом инкремент нарастания волны ВПЗ Γ является максимальным). В такой системе механизм сжатия характеризовался коэффициентом $f_{com} \sim 4.5$ [2].

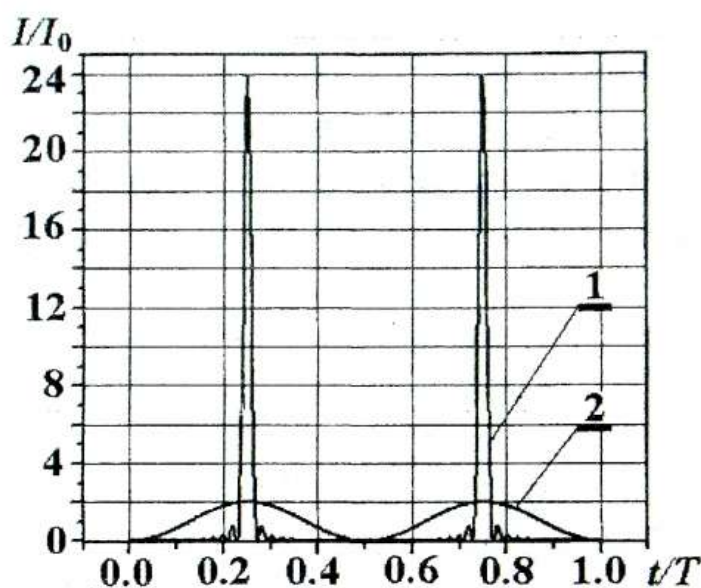


Рис. 3. Зависимость нормированной интенсивности сигнала I/I_0 от нормированного времени t/T для ФВП.

В данной работе предлагается для повышения коэффициента сжатия f_{com} использовать режимы работы, при которых частота первой гармоники ВПЗ $\omega_{3,1}$, возбуждаемая волной сигнала, намного меньше оптимальной частоты двухпоточковой неустойчивости ($\omega_{opt}/\omega_{3,1} \gg 1$). В этом случае инкремент нарастания ряда первых гармоник, для которых $\omega_{3,m} < \omega_{opt}$, становится меньшим инкремента нарастания высшей гармоники с частотой ω_{opt} . Благодаря этому в системе возбуждается гораздо большее число гармоник с соизмеримыми амплитудами, чем в случае $\omega_{3,1} = \omega_{opt}$ и становится

возможным создание систем с высоким коэффициентом сжатия.

Проведен проектный анализ возможного эксперимента. Вид сформированных фемтосекундных импульсов системой представлен на рис. 3.

Как видим, предложенная система позволяет реализовать формирование ФВП с коэффициентом сжатия $f_{com} \sim 12$. Для достижения более высоких коэффициентов сжатия следует использовать МДСЛСЭ с электронными пучками с более высокими токами (например, $2 \times 10 \text{ kA}$) и энергией (например, 5 МэВ). В этом случае получаем реальную возможность построения относительно компактного фемтосекундного МДСЛВЭ формирователя с импульсной мощностью на уровне $\sim 4 \cdot 10^{13} \text{ Вт}$ и средней мощности $\sim 50\text{-}100 \text{ кВт}$ или выше.

Таким образом, в работе проведен анализ возможности создания мощного источника ФВП электромагнитных волн на базе МДСЛСЭ. Предложен проект системы для формирования таких волновых пакетов. Показано, что для эффективного формирования ФВП следует использовать МДСЛСЭ клистронного типа, в котором частота первой гармоники ВПЗ намного меньше оптимальной частоты двухпотоковой неустойчивости. Показана возможность создания таких источников на современном технологическом уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. S.A. Akhmanov, V.A. Vysloukh, A.S. Chirkin. Physics of the femto-second laser pulses. Nauka, Moscow, 1988.
2. V.V. Kulish, A.V. Lysenko, V.I. Savchenko. Two-stream free electron lasers. International Journal on Infrared and Millimeter Waves, Volume 24, Number 4, 501-524, April 2003.