

09;10
©1994

О ВОЗМОЖНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ УЛЬТРАКОРОТКОГО ЭМИ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩЕГО РЭП.

Л.Н.Казанский, А.А.Рухадзе

1. Для ряда научных и прикладных исследований требуется очень короткий ($\lesssim 10^{-12}$ с) электромагнитный импульс (ЭМИ) с высокой мощностью ($\gtrsim 10^9$ Вт). Традиционные импульсные технологии [1] не позволяют получать мощности выше 10^7 Вт при длительностях $\tau_{и} < 10^{-10}$ с, поскольку $\tau_{и}$ ограничивает размер области накоплений энергии $a \lesssim \tau_{и}c$, где c — скорость света. Сложность генерационных коротких импульсов связана также с сильными эффектами дисперсии и диссипации при частотах $\gtrsim 10^{10} - 10^{11}$ с⁻¹, что в значительной мере ограничивает возможности использования ударных электромагнитных волн [2]. При столь коротких импульсах перспективными представляются методы с использованием интенсивной фотоэмиссии (подобные методам формирования импульсов в активных линиях [3]). Так, в работе [4] предложен метод генерации ЭМИ, инициируемого мощным короткоимпульсным лазером¹, создающим на проводящей поверхности пятно интенсивной фотоэмиссии. При этом вдоль поверхности бежит волна заряда (волна Циннике), причем размер области эмиссии ограничен длительностью импульса ($a \lesssim \tau_{и}c$), что приводит к ограничению мощности ЭМИ: при плотности тока эмиссии $j \simeq 10^4$ А/см² и $\tau_{и} \lesssim 10^{-12}$ с максимальная мощность ЭМИ не превышает $\lesssim 10^6 - 10^7$ Вт. Если даже лазерное излучение сканировать вдоль поверхности проводника синхронно с волной заряда, обеспечивая ее “непрерывную качку”, мощность ЭМИ остается примерно на том же уровне, поскольку поле волны заряда запирает эмиссию при достижении потенциала ≈ 10 В.

2. Ниже предлагается для генерации мощного пикосекундного ЭМИ использовать релятивистский электронный пучок (РЭП), сканируемый на поверхности проводника (одна из поверхностей коаксиала). Если при этом энергия

¹ В западной литературе этот метод получил аббревиатуру LIME.

электронов пучка превышает $10^6 - 10^7$ эВ, то вполне возможно получение ЭМИ мощностью, превышающей 10^9 Вт. Действительно, если пучок сфокусировать на поверхность с линейными размерами (b, a) , где b — длина, $a \ll b$ — ширина полосы (считаем $b = 1$ см, $a \approx 1$ мм), причем плотность тока $j = 10^4$ А/см², а энергия электронов $\varepsilon \approx 10^6 - 10^7$ эВ, то при сканировании пучка вдоль поверхности синхронно с волной заряда, т.е. со скоростью c , будет происходить накопление заряда $g \approx jbat/2$ (множитель $1/2$ возникает вследствие того, что половина тока пучка растекается в противоположную сторону), причем это накопление будет происходить до тех пор, пока потенциал на расстоянии порядка a не достигнет энергии электронов пучка (что эквивалентно предельному току пучка $I_{пр}$ в дрейфовом пространстве), т.е.

$$2\pi ja^2 \frac{\tau}{2} \approx \varepsilon. \quad (1)$$

При $a \simeq 0.1$ см, $j \simeq 10^4$ А/см² и $\varepsilon \simeq 10^6 - 10^7$ эВ время облучения поверхности $\tau \lesssim 30$ нс. Мощность ЭМИ при этом достигает $P \approx 10^6 - 10^7 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 20 \approx 0.4 - 4 \cdot 10^{12}$ Вт. При длительности импульса $\tau_{и} \simeq 3 \cdot 10^{-12}$ с, т.е. полная энергия поля в ЭМИ составит $\approx 1 - 10$ Дж.

Проведенная оценка может оказаться оптимистической, поскольку не ясна роль дисперсионных и диссипативных процессов в расплывании ЭМИ. Вместе с тем, следует отметить отсутствие жестких требований в синхронизации скорости сканирования и скорости волны заряда. За время сканирования не должно быть полного "проскальзывания" волны относительно бегущего пятна облучения, что довольно легко реализуемо для приведенных выше параметров. Более опасной представляется поперечная неоднородность РЭП, которая может приводить к появлению пьедестала импульса длительностью $b/c \approx 3 \cdot 10^{-11}$ с. Но этот вопрос требует более детального анализа, так же как требуют аккуратного учета нелинейные эффекты при движении электронов в системе, которые также могут увеличить длительность импульса ЭМИ.

В заключение заметим, что все приведенные выше оценки остаются в силе, если ЭМИ возбуждать сканирующим вдоль проводящей поверхности лазерным лучом, обеспечивающим плотность тока фотоэмиссии $j \simeq 10^4$ А/см², если между обкладками коаксиала приложена разность потенциалов $\simeq 10^6 - 10^7$ В. Накачка ЭМИ при этом обеспечивается сканирующим током между обкладками коаксиала.

Список литературы

- [1] Желков К.А. Пикосекундные сильноточечные электронные ускорители М.: Энергоатомиздат, 1991.
- [2] Катаев И.Г. Электромагнитные ударные волны. М.: Советское радио. 1963.
- [3] Скотт Э. Волны в активных и нелинейных средах в приложении к электронике. М.: Советское радио, 1977.
- [4] Афанасьев Ю.В., Бут С.М., Канавин А.П. // Квантовая электроника. 1988. Т. 15. С. 25-47.

Институт общей физики
Москва

Поступило в Редакцию
6 декабря 1993 г.
