



УДК 537.86:621.373.54

Е. Ф. Лебедев, В. Е. Осташев, А. В. Ульянов

Устройства генерирования сверхширокополосных излучений радиочастотного диапазона с генераторами возбуждения полупроводникового типа

Рассмотрена перспектива использования мощных генераторов электрических импульсов субнаносекундной длительности полупроводникового типа в качестве модуляторов излучения. Приведены результаты расчета амплитудно-временных и спектральных параметров излучения синхронной активной антенной решетки, угловой расходимости излучения решетки, эффективности преобразования электрической энергии возбуждения антенн в энергию направленного сверхширокополосного излучения в главном лепестке диаграммы направленности решетки. Показано, что эффективная пиковая мощность излучения тераваттного уровня достигается при мощности возбуждения гигаваттного уровня, а эффективная средняя мощность излучения в десятки мегаватт достигается при первичном энергопотреблении модуляторов в десятки киловатт.

Ключевые слова: сверхкороткие импульсы напряжения, сверхширокополосное излучение, активные антенные решетки.

Введение

В последнее время интенсивно развивается полупроводниковая техника генерирования электрических импульсов субнаносекундной длительности. Пиковая мощность компактных генераторов достигает сотен мегаватт. Частота непрерывного следования импульсов с такой мощностью составляет примерно 10^3 имп/с.

Короткие электрические импульсы со скоростью изменения напряжения $(1...2) \times 10^{15}$ В/с эффективны для возбуждения сверхширокополосных (СШП) излучений.

Электрические импульсы субнаносекундной длительности, генерируемые полупроводниковыми устройствами, могут быть устойчиво синхронизированы с точностью до значения случайного временного джиттера импульсов, что делает возможным создание синхронных активных антенных решеток (СААР) с использованием этих устройств в качестве модуляторов.

Излучатели такого типа можно рассматривать в качестве источников подсветки в задачах радиочастотной локации различных объектов [1, 2], как средство мощного воздействия при изучении стойкости различных объектов электронной техники к импульсному излучению и как средство подавления и поражения объектов в задачах радиоэлектронной борьбы [3–5].

Мощные полупроводниковые генераторы субнаносекундных импульсов

Успешные разработки мощных быстродействующих полупроводниковых коммутаторов в России проводятся в Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе РАН (г. Санкт-Петербург), Институте электрофизики Уральского отделения РАН (г. Екатеринбург), Национальном исследовательском Томском политехническом университете, Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) [6–11].

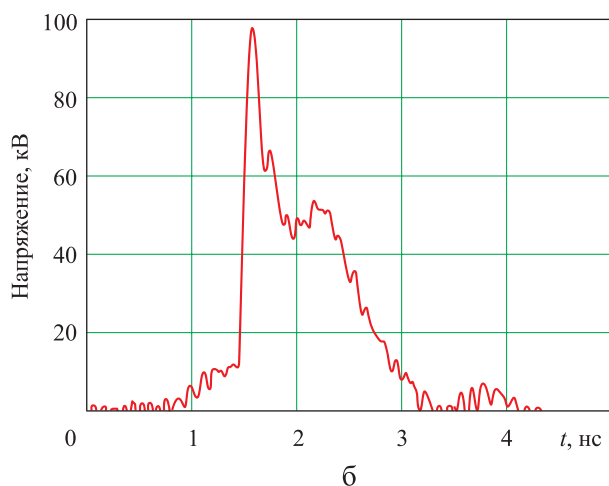
Серия мощных генераторов импульсных напряжений (ГИН) суб- и наносекундной длительности разработана в ЗАО «ПК ФИД-Техника» (г. Санкт-Петербург) [12, 13] и доведена до уровня коммерческого продукта. В частности, линейка ГИН покрывает диапазон частот следования импульсов $10^3...10^6$ имп/с и амплитуд $1...100$ кВ. Длительность фронта импульсов ГИН достигает 50 пс, скорость изменения напряжения на согласованной электрической нагрузке – $(1...2) \times 10^{15}$ В/с.

Характерная форма униполярных наносекундных импульсов полупроводниковых ГИН представлена на интернет-сайте ЗАО «ПК ФИД-Техника» [12]. В качестве примера на рис. 1, а приведено фото генератора семейства ГИН-100 кВ, а также параметры импульса напряжения на его фидере (рис. 1, б).

© Лебедев Е. Ф., Осташев В. Е., Ульянов А. В., 2018



а



б

Рис 1. ГИН и генерируемый им импульс напряжения, зарегистрированный в измерительном тракте с импедансом 50 Ом и длительностью фронта переходной характеристики 70 пс

Рассматриваемый ГИН (см. рис. 1) запитывается напряжением 300 В, запускается внешним импульсом с амплитудой 15 В, фронтом 1 нс и длительностью примерно 100 нс. Пиковая мощность импульсов ГИН на нагрузке 50 Ом равна $P_{\text{ГИН}} \approx 200$ МВт, а средняя, при частоте их следования 10^3 имп/с, – примерно 50 Вт. При этом эффективность преобразования первичной энергии в ГИН составляет 25 %. Удельная мощность генератора по средней мощности на выходном фидере составляет 50...70 кг/кВт.

Стоит отметить успешный опыт создания систем автоматической синхронизации импульсов таких генераторов, реализованный в активных антенных решетках излучателей. Например, в работе [14] описана 8-элементная синхронизированная активная антенная решетка (СААР) с амплитудой импульсов возбуждения элемента 40 кВ.

Излучение СШП электромагнитных импульсов

Проблемам генерации и изучения СШП излучений посвящены монографии [15–19], в которых обобщены результаты примерно 20-летнего периода исследований.

Оценим амплитуду импульса E (В/м), излучаемого плоским однородно возбуждаемым синхронным апертурным раскрывом по его оси, на расстоянии R в дальней зоне излучения. Поскольку $E \sim R^{-1}$, будем оценивать максимальное значение произведения ER , называемое электродинамическим потенциалом излучателя.

Введем следующие обозначения:

U_A – напряжение возбуждения раскрыва;

I_A – ток, возбуждаемый этим напряжением;

c – скорость распространения электромагнитной волны в свободном пространстве;

μ_0 – диэлектрическая постоянная;

Z_0 – характеристическое сопротивление свободного пространства;

$Z_0 = \mu_0 c = 120\pi$ Ом;

S – площадь раскрыва.

Затем, следуя [20], запишем:

$$ER = \frac{\mu_0}{2\pi} \sqrt{S} \frac{dI_A}{dt} = \frac{\sqrt{S}}{2\pi c} \frac{dU_A}{dt}. \quad (1)$$

Напряжение U_A определим из баланса энергии импульса генератора возбуждения U_g , потерь в фидере и энергии, доставляемой к излучающему раскрыву:

$$U_A = 2U_g \sqrt{\eta \frac{Z_0}{Z_g} \frac{\sqrt{Z_0 Z_A}}{Z_0 + Z_A}}. \quad (2)$$

Здесь η – характеристика омических потерь в фидере (если нет потерь – $\eta = 1$);

Z_g – входной импеданс антенно-фидерной системы (АФС);

Z_A – выходной импеданс АФС;

$4\eta Z_0 Z_A / (Z_0 + Z_A)^2$ – эффективность транспортировки энергии от ГИН к раскрыву (КПД фидерный).

При возбуждении апертурного раскрыва импульсом с крутизной 10^{15} В/с и апертуре раскрыва 0,3×0,3 м (волновой импеданс раскрыва ≈ 180 Ом) потенциал излучателя составляет $ER \approx 0,4$ МВ.



Поставим в соответствие потенциалу ER эффективную пиковую мощность излучателя – эквивалентную пиковую мощность изотропного излучения. Плотность потока энергии излучения на удалении R от раскрыва по его оси $n = E^2 / Z_0$ (Вт/м²). Тогда

$$\begin{aligned} P_{\text{эф}} &\equiv P_{\text{ГИН}} K_{\text{У}}(M) = 4\pi R^2 n = \\ &= 4\pi R^2 (E^2 / Z_0) = (ER)^2 / 30, \end{aligned} \quad (3)$$

где $K_{\text{У}}(M)$ – коэффициент усиления АФС по пиковой мощности;

$$K_{\text{У}}(M) = P_{\text{эф}} / P_{\text{ГИН}}.$$

Таким образом, при $ER \approx 0,4$ МВ эффективная пиковая мощность излучения составляет $P_{\text{эф}} \approx 5$ ГВт. При скважности последовательности импульсов $(0,5 \dots 1,0) \times 10^7$ эффективная средняя мощность этого излучения находится в диапазоне $0,5 \dots 1,0$ кВт. По эффективным параметрам излучения вычисляются локальные значения параметров в заданной точке наблюдения.

Коэффициент усиления АФС по пиковой мощности

$$K_{\text{У}}(M) = \frac{P_{\text{эф}}}{P_{\text{ГИН}}} = \frac{(ER)^2}{30} / \frac{U_g^2}{Z_g} = \frac{Z_g}{30} \left(\frac{ER}{U_g} \right)^2 \approx 25, \quad (4)$$

а по энергии –

$$K_{\text{У}}(\varepsilon) = K_{\text{У}}(M) \times (\tau_{\text{изл}} / \tau_{\text{ГИН}}).$$

Здесь $Z_g = 50$ Ом;

$$U_g = 100 \text{ кВ};$$

$\tau_{\text{изл}}$, $\tau_{\text{ГИН}}$ – характерные длительности импульсов излучения и возбуждения, определяющие их энергию.

Уточнение и дополнение параметров излучения проведем, используя расчетную модель, в которой раскрыв представлен совокупностью однонаправленных излучающих элементов Гюйгенса [20], возбуждаемых из точки на оси раскрыва, вследствие чего раскрыв возбуждается несинхронно и неоднородно. Модель верифицирована на примерах аналитических решений, удовлетворяет теореме взаимности и не противоречит принципу сохранения энергии при ее преобразовании. Модель удовлетворительно описывает излучение экспериментального макета с апертурной

антенной на основе расходящегося TEM -рупора (апертура $0,3 \times 0,3$ м), возбуждаемой одним из генераторов, разработанных ЗАО «ПК ФИД-Техника» (рис. 2).

Очевидно, что при больших углах отклонения от оси реальной антенны параметры ее излучения хуже воспроизводятся в рамках модели плоского раскрыва.

Модуль СШП излучателя

На основе расчетной модели оценим предельные параметры СААР с генераторами возбуждения типа ГИН-100 кВ. Импульс электрической энергии с амплитудой напряжения ≈ 100 кВ и эффективной длительностью $\approx 0,5$ нс можно ввести в АФС, не прибегая к специальным мерам по обеспечению электрической прочности системы (масло, газ под давлением и т. п.). Это упрощает конструкцию излучателя и его эксплуатацию.

При заданной площади апертуры СААР мощность излучателя будет тем больше, чем больше синхронная мощность возбуждения антенны или, что тоже, чем больше генераторов, размещенных в пределах этой апертуры. Каждый генератор должен быть нагружен на свою АФС, согласованную как с генератором, так и с пространством распространения излучения. Согласование было реализовано в пассивной антенной решетке из четырех связанных TEM -рупоров в формате 2×2 . Каждый рупор имеет входной импеданс 200 Ом и выходной 280...300 Ом. Параллельное соединение входа рупоров с фидером ГИН осуществляется с использованием 4 гибких двухпроводных волновых линий с импедансом 200 Ом.

Время появления мощных импульсов напряжения на выходном фидере ГИН имеет случайный разброс – джиттер. Он связан с нестабильностью времени последовательного многоступенчатого процесса формирования выходного субнаносекундного импульса при полной длительности этого процесса $T_{\text{форм}} \approx 100$ нс.

Джиттер импульсов одного ГИН как случайный процесс характеризуется временем среднеквадратического отклонения σ_1 . При совместной работе N однотипных генераторов джиттер генерируемых ими импульсов уменьшается в соответствии с законом больших чисел $\sigma_N = \sigma_1 / \sqrt{N}$.

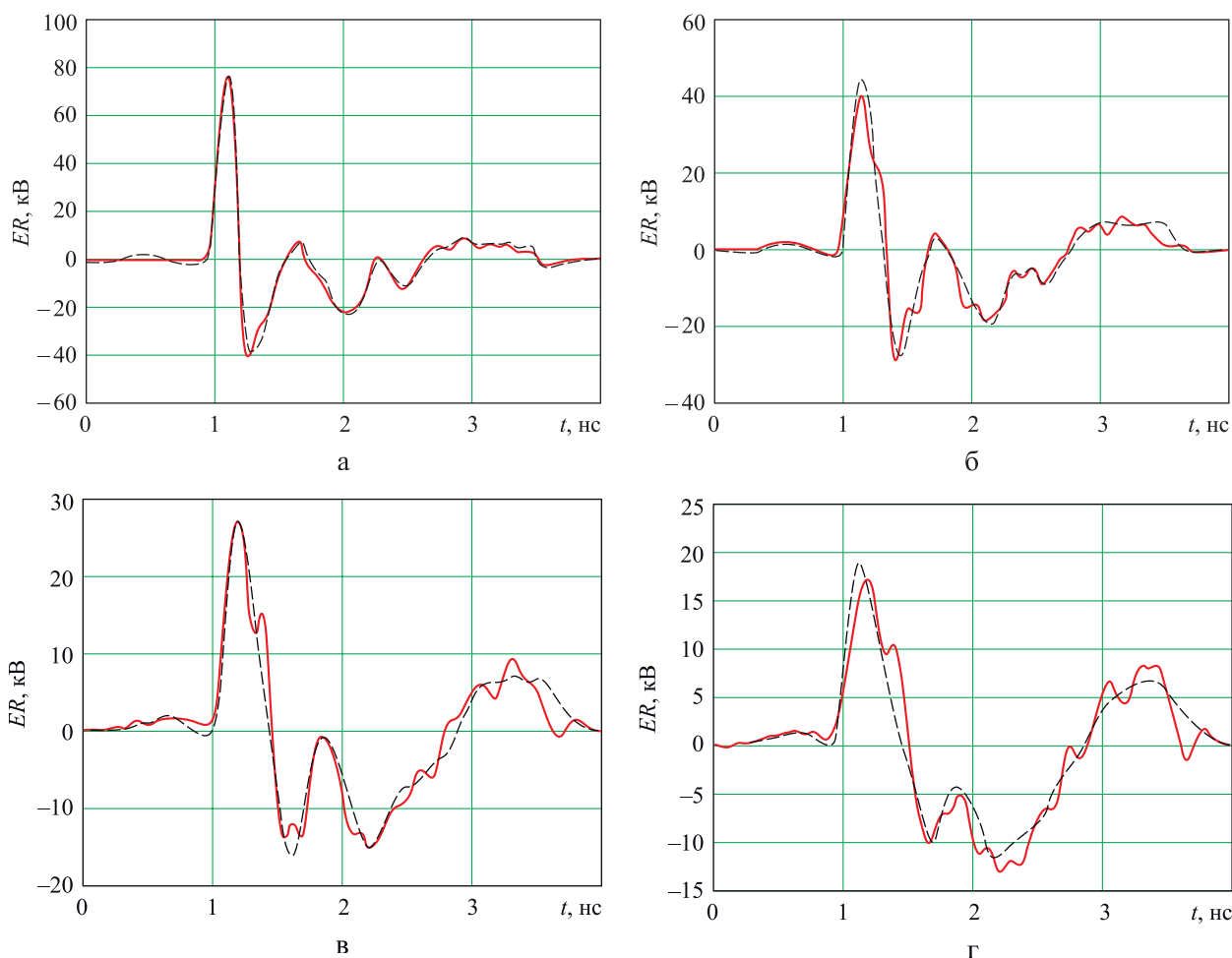


Рис. 2. Импульсы излучения макета при углах отклонения от оси, равных 10° (а), 15° (б), 20° (в) и 30° (г), в плоскости, поперечной вектору поляризации излучения:
— — измерение; - - - — расчет

Несинхронность выходных импульсов генераторов обусловлена не только джиттером, но и сравнительно медленным процессом изменения длительности формирования импульсов $T_{\text{форм}}$ в генераторах однотипных, но не одинаковых. И если джиттер как случайный процесс нельзя исключить, то систематическую погрешность времени $T_{\text{форм}}$ можно минимизировать системой автоматической стабилизации среднего значения $T_{\text{форм}}$ при периодической коррекции времени внешнего запуска каждого из генераторов.

При цифровой регистрации импульсов ГИН-100 кВ, следующих с частотой 10^3 имп/с в течение ≈ 10 с, фиксируется $\sigma_1 \approx 20$ пс. Поскольку все импульсы попадают в интервал времени $\pm 3\sigma_1 \approx 60$ пс, то при фронте импульса генератора ≈ 100 пс джиттер необходимо учитывать при оценке параметров СААР.

Рассмотрим элемент СААР (модуль) с апертурой антенны $0,3 \times 0,3$ м и тремя ГИН возбуждения, размещенными в пределах этой апертуры (габариты ГИН-100 кВ позволяют это сделать). Оценим параметры излучения такого модуля с учетом несинхронности и неоднородности возбуждения раскрыва антенны, переходных свойств АФС элемента модуля, а также джиттера импульса генераторов (вероятный разброс ограничим интервалом $\pm 2\sigma$). Результат расчета параметров, усредненных по 200 импульсам излучения, представлен на рис. 3.

Электродинамический потенциал модуля $ER \approx 0,52$ МВ ($\approx 5,2$ кВ/м в 100 м от модуля по оси его излучения). Соответствующее значение эффективной пиковой мощности импульса излучения составляет ≈ 9 ГВт, а эффективной энергии импульса – 1,15 Дж. Эта энергия сосредоточена в частотном интервале $1,6 \dots 4$ ГГц с

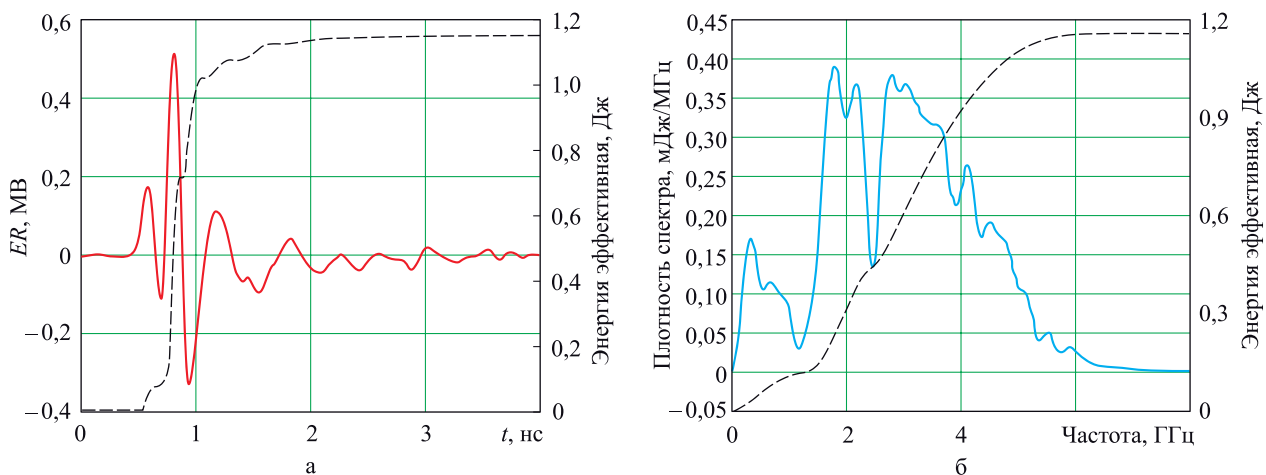


Рис. 3. Эффективные параметры излучения модуля во временной (а) и частотной областях (б):
 — импульс излучения; — энергетический спектр импульса излучения; --- энергия импульса излучения эффективная

характерной плотностью $\approx 0,2$ мДж/МГц. При частоте следования импульсов 10^3 имп/с средняя эффективная мощность излучения составляет $\approx 1,1$ кВт, а спектральная плотность средней мощности – $0,2$ Вт/МГц. АФС модуля характеризуется коэффициентом усиления $K_{y(m)} \approx 17,8$ по пиковой мощности и $K_{y(\varepsilon)} \approx 8$ – по энергии.

На рис. 4 представлены расчетные данные, характеризующие диаграмму направленности антенны (ДНА) модуля.

Полный угол расходимости излучения модуля по плотности энергии импульса составляет $\approx 18^\circ$. Энергетический коэффициент направленного действия антенны модуля $D_\varepsilon = 34$. В соответствии с приведенными данными, энергетическая эффективность АФС с апертурой антенны $0,3 \times 0,3$ м, возбуждаемой

заданным униполярным импульсом, составляет примерно 24 % ($K_{y(\varepsilon)}/D_\varepsilon$).

Ширина ДНА по пиковой мощности излучения (линия 2) несколько меньше, чем по плотности энергии (линия 1). Важно отметить, что при увеличении угла отклонения от оси излучателя ширина частотного спектра излучения (линия 3) сокращается в результате сдвига высокочастотной границы излучения в сторону низких частот. Ширина ДНА по этому параметру и среднему значению плотности частотного спектра (линия 4), примерно вдвое меньше, чем ширина ДНА по энергии и мощности импульса излучения.

Одна из особенностей СШП излучения направленной антенны заключается в том, что энергия излучения в пределах главного лепестка ДНА заметно меньше, чем для синусоидаль-

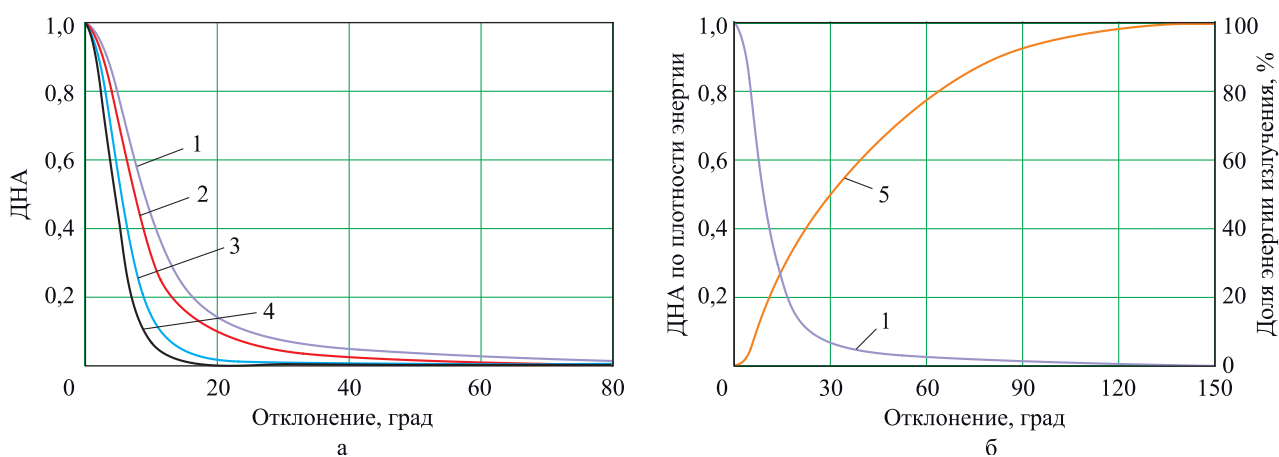


Рис. 4. ДНА модуля по плотности энергии (1), пиковой мощности (2), ширине частотного спектра (3) и среднему значению его плотности (4), а также доля энергии излучения внутри заданного телесного угла (5)



ного сигнала [21]. Энергетическая эффективность главного лепестка ДНА рассматриваемого модуля составляет примерно 15 % (см. линию 5 на рис. 4). Однако это не означает, что поток энергии СШП излучения в целом не может быть компрессирован в физическом пространстве. Это возможно при увеличении площади апертуры антенны ($K_u \sim S$). При этом относительная доля энергии СШП излучения, сосредоточенная в главном лепестке ДНА, по-прежнему относительно мала.

Синхронная активная антенная решетка СШП излучателей

Оценим параметры излучения СААР на примере решетки с размерностью 6×6 элементов. В качестве элемента решетки используем модуль с апертурой $0,3 \times 0,3$ м, описанный выше.

Полагая решетку синхронной с точностью до джиттера каждого активного элемента, получим значение электродинамического потенциала излучателя на уровне 19 МВ (≈ 2 кВ/м на расстоянии 10 км от излучателя). Соответствующее значение эффективной пиковой мощности излучателя будет равно $P_{\text{пик}} \approx 12$ ТВт.

Эффективная энергия импульса излучения решетки $\epsilon_{\text{эф}} \approx 15$ кДж при эффективной длительности импульса $\tau_{\text{эф}} = \epsilon_{\text{эф}} / P_{\text{пик}} \approx 130$ пс. При частоте следования этих импульсов, равной 10^3 имп/с, эффективная средняя мощность излучения составит 1,5 МВт.

Распределение энергии импульса в частотной области в основном соответствует ее распределению в единичном модуле. При этом максимальное значение эффективной плотности энергетического спектра излучения составит примерно 0,4 Дж/МГц в частотном интервале 1,5...3,5 ГГц (см. рис. 3, б).

При апертуре решетки $1,8 \times 1,8$ м коэффициент усиления ее АФС по пиковой мощности равен $K_u(\text{м}) \approx 640$, а по энергии – $K_u(\text{э}) \approx 280$. Ширина главного лепестка ДНА равна $\approx 3^\circ$, а его энергетическая эффективность составляет примерно 6 % при заданной (приведенной) форме импульса возбуждения. Последнее можно объяснить тем, что главный лепесток ДНА формируется высокочастотной частью импульса излучения, а доля энергии этой части от полной энергии СШП импульса относительно мала.

Технологические параметры антенной решетки определяются в основном удельными параметрами генератора возбуждения. Масса 108 генераторов составляет ≈ 380 кг. При этом удельная эффективная мощность излучения по среднему ее значению составит примерно 0,25 кг/кВт (380 кг/1,5 МВт).

Пиковая синхронная мощность возбуждения антенны с учетом джиттера генераторов равна примерно 18,4 ГВт, а средняя при частоте следования импульсов 10^3 имп/с – 5,4 кВт. При этом средняя мощность электропитания всех генераторов возбуждения составит 20...25 кВт.

Режим работы генераторов следующий: единицы минут без охлаждения (на теплоемкости конструкции) или длительно – при охлаждении мощных переключающих элементов в схеме генератора.

Заключение

Развитие техники генерирования мощных СШП излучений обусловлено практическим интересом к использованию таких сигналов, в ее основе быстрый прогресс в создании мощных полупроводниковых устройств, генерирующих импульсы с фронтами субнаносекундной длительности. Привлекательность полупроводниковой техники заключается в ее компактности, надежности, возможности генерирования мощных импульсов с высокой частотой их следования при возможности обеспечения устойчивой синхронизации импульсов субнаносекундной длительности в пределах случайного временного джиттера.

Предельное значение электродинамического потенциала СААР, создаваемой на основе рассмотренной технологии, находится в диапазоне 5...6 МВ на 1 м^2 ее апертуры. Соответствующее значение эффективной пиковой мощности излучения составляет около 1 ТВт. Мощность излучения СААР пропорциональна квадрату числа ее элементов.

С использованием рассмотренной технологии могут быть созданы синхронизированные излучатели с пиковой мощностью возбуждения антенны в десятки гигаватт, эффективной пиковой мощностью излучения в десятки тераватт при эффективной средней мощности излучения мегаваттного уровня и



энергопотреблении модуляторов в десятки киловатт. Характерная ширина частотного спектра таких излучений в пределах главного лепестка ДНА составляет 3...5 ГГц.

Список литературы

1. *Зеркаль А. Д.* Вопросы практического использования системы ближней радиолокации на основе сверхкоротких импульсов с малым энергопотреблением // Журнал радиоэлектроники. 2012. № 1. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jan12/3/text.pdf> (дата обращения 16.02.2018).
2. *Скосырев В. Н.* Повышение информативности радиолокационных систем на основе технологий сверхширокополосных сигналов // Журнал радиоэлектроники. 2012. № 7. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jul12/9/text.pdf> (дата обращения 16.02.2018).
3. *Schreiber A. W., Butler C. M., Tesche F. M., Giri D. V.* Effects of high power electromagnetic radiation on electronic systems // Proc. of the IEEE AP-S Intern. Symp. and UNSC/URSI and AMEREM Meetings. Albuquerque, NM USA, July 2006. P. 216.
4. *Перунов Ю. М., Фомичев К. И., Юдин Л. М.* Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / под ред. Ю. М. Перунова. М.: Радиотехника, 2003. 416 с.
5. *Добыкин В. Д., Куприянов А. И., Пономарев В. Г., Шустов Л. Н.* Радиоэлектронная борьба. Силовое поражение радиоэлектронных систем / под ред. А. И. Куприянова. М.: Вузовская книга, 2007. 468 с.
6. *Тучкевич В. М., Грехов И. В.* Новые принципы коммутации больших мощностей полупроводниковыми приборами. Л.: Наука, 1988. 116 с.
7. *Котов Ю. А., Месяц Г. А., Рукин С. Н., Филатов А. Л.* Твердотельный прерыватель тока для генерирования мощных наносекундных импульсов // Доклады Академии наук. 1993. Т. 330. № 3. С. 315–317.
8. *Рукин С. Н., Месяц Г. А., Любутин С. К., Словиковский Б. Г., Аличкин Е. А.* Субнаносекундная коммутация гигаваттной пиковой мощности полупроводниковым диодным обострителем // Доклады Академии наук. 2001. Т. 379. № 4. С. 470.
9. *Аличкин Е. А., Любутин С. К., Пономарев А. В., Рукин С. Н., Словиковский Б. Г.* Формирование коротких импульсов с субнаносекундным фронтом и пиковой мощностью до 1 ГВт полупроводниковым диодным обострителем // ПТЭ. 2002. № 4. С. 106–111.
10. *Коротков С. В., Аристов Ю. В., Воронков В. Б.* Генератор высоковольтных наносекундных импульсов с субнаносекундным фронтом нарастания // ПТЭ. 2010. № 2. С. 80.
11. *Афанасьев А. В., Демин Ю. А., Иванов Б. В., Ильин В. А., Лучинин В. В., Сергушичев К. А., Смирнов А. А., Кардо-Сысоев А. Ф.* Мегаваттный генератор наносекундных импульсов на основе карбидокремниевых дрейфовых диодов с резким восстановлением // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2015. № 3. С. 21–24.
12. FID GmbH Company. URL: <http://fidtechnology.com> (data access 16.02.2018).
13. *Efanov V. M., Yarin P. M., Kricklenko A. V.* New generation of high voltage picosecond generators based on FID technology // Proc. of the IEEE AP-S Intern. Symp. on UNSC/URSI and AMEREM Meetings. Albuquerque, NM USA, July 2006. P. 72.
14. *Грехов И. В., Ефанов В. М., Лебедев Е. Ф. и др.* Модульный СШП излучатель электромагнитных волн с управляемой диаграммой направленности / Научные труды Института теплофизики экстремальных состояний ОИВТ РАН. 2003. Вып. 6. М.: ОИВТ РАН. 2004. С. 103.
15. *Хармут Х. Ф.* Несинусоидальные волны в радиолокации и связи. М.: Радио и связь, 1985. 376 с.
16. *Астанин Л. Ю., Костылев А. А.* Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений. М.: Радио и связь, 1989. 192 с.
17. *Подосенов С. А., Потапов А. А., Соколов А. А.* Импульсная электродинамика широкополосных радиосистем и поля связанных структур / под ред. А. А. Потапова. М.: Радиотехника, 2003. 720 с.
18. Антенно-фидерные и оптоэлектронные устройства / *Колосов Ю. А., Курочкин А. П., Левков Ф. Е.* [и др.]; под ред. В. С. Вербы, А. П. Курочкина. М.: Радиотехника, 2014. 352 с.
19. *Беличенко В. П., Буянов Ю. И., Кошелев В. И.* Сверхширокополосные импульсные радиосистемы / под ред. В. И. Кошелева. Новосибирск: Наука, 2015. 483 с.



20. Марков Г. Т., Сазонов Д. М. Антенны. М.: Энергия, 1975. 528 с.
21. Осташев В.Е., Ульянов А.В., Федоров В.М. Оценка эффективности преобразования энергии в излучателе сверхширокополосных импульсов: от энергии электрической в энергию направленного излучения // Известия высших учебных заведений. Физика. 2016. Т. 59. № 9/3. С. 127–131.

Поступила 12.02.18

Лебедев Евгений Федорович – доктор технических наук, профессор, академик Академии электротехнических наук Российской Федерации, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, г. Москва.

Область научных интересов: импульсная электрофизика.

Осташев Василий Евгеньевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, г. Москва.

Область научных интересов: импульсная электрофизика.

Ульянов Александр Витальевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, г. Москва.

Область научных интересов: импульсная электрофизика.

Means for generating ultra-wideband radio-frequency emissions with semiconductor field generators

The paper considers the perspective of using powerful semiconductor subnanosecond electrical pulse generators as radiation modulators. We give the data on determining the amplitude-time and spectral radiation parameters of a synchronous active antenna array, the angular divergence of the array radiation. We also estimate the efficiency of converting the electric excitation energy of the antennas into the energy of the directed ultra-wideband radiation in the main directional lobe. Findings of the research show that the effective peak radiation power of the terawatt level is reached at the excitation power of the gigawatt level, and the effective average radiation power of tens of megawatts is achieved with the primary power consumption of modulators of tens of kilowatts.

Keywords: ultra-short voltage pulses, ultra-wideband radiation, active antenna arrays.

Lebedev Evgeniy Fedorovich – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academician of the Academy of Electrotechnical Sciences of the Russian Federation, Chief Research Fellow, Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, Moscow.

Science research interests: pulse electrophysics.

Ostashev Vasili Evgen'evich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Research Fellow, Head of the Laboratory, Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, Moscow.

Science research interests: pulse electrophysics.

Ul'yanov Aleksandr Vital'evich – Candidate of Engineering Sciences, Senior Research Fellow, Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, Moscow.

Science research interests: pulse electrophysics.