

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО ПОТОКА ЭНЕРГИИ

А.В. Гончаров, Ю.Ф. Лонин, Н.С. Поддубко, А.Г. Толстолуцкий
*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
Харьков, Украина*
E-mail: tolstolutskiy@kipt.kharkov.ua

Рассматриваются устройства для определения распределения плотности энергии в поперечном сечении пучка концентрированного потока энергии (КПЭ), который формируется в сверхширокополосном высокочастотном генераторе (СШПВЧГ). Предложена структурная схема прибора для измерения плотности энергии в поперечном сечении ВЧ-пучка из СШПВЧГ, определен материал-регистратор, который чувствителен к пучку КПЭ, подобраны лазерные излучатели, пригодные для диагностики изменения оптических характеристик этого материала под воздействием пучка КПЭ. Определены приемные лазерные устройства, диагностирующие пучок с последующей обработкой полученной информации при помощи ПК.

1. ВВЕДЕНИЕ

Для того чтобы выяснить возможности диагностики распределения плотности энергии в поперечном сечении пучка концентрированного потока энергии (КПЭ), необходимо подробнее изучить источник КПЭ. В этом случае речь идет об электромагнитном излучении (ЭМИ) значительных мощностей. Изучение ЭМИ должно быть направлено, в первую очередь, на определение энергетических характеристик источников излучения и процессов, которые происходят при воздействии излучения с объектами взаимодействия.

Ранее ЭМИ (лазерное излучение) рассматривалось как источник силового поражения целей противника, в том числе и его живой силы. Но ЭМИ может эффективно влиять и на информационные системы при значительно меньших мощностях и энергиях, приводя к функциональному поражению. Массовое применение ЭМИ может нарушить функционирование информационно-процессорной инфраструктуры, парализовать системы управления жизненно важных отраслей народного хозяйства.

ЭМИ представляет собой перспективный инструмент информационной борьбы, оно получило интенсивное развитие с 80-х годов прошлого века и обеспечивает высокую эффективность нарушения работоспособности информационных систем. Нарушение функционирования информационной системы, которая обеспечивает постоянный обмен управленческими решениями, что включает множество устройств сбора и обработки информации, вызовет тяжелые последствия.

Диагностика ЭМИ в этом случае имеет большое значение для определения оптимальных и экономических параметров этих устройств.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Принцип действия ЭМИ основан на генерации кратковременного ЭМИ большой мощности,

способной вывести из строя радиоэлектронные устройства

(РЭУ), которые составляют основу любой информационной системы. Элементная база РЭУ достаточно чувствительна к энергетическим перегрузкам, поток электромагнитной энергии достаточно высокой плотности, способный выжечь полупроводниковые переходы, полностью или частично нарушив их нормальное функционирование. Как известно, напряжения пробоя переходов невысокие и составляют от единиц до десятков вольт в зависимости от типа прибора. Даже в кремниевых сильноточных биполярных транзисторах, которые обладают повышенной прочностью к перегревам, напряжение пробоя находится в пределах от 15 до 65 В, а у арсенидгаллиевых приборов этот порог равняется 10 В [1, 2-6].

По своим качествам ЭМИ характеризуется широким диапазоном частот. Это радиочастотный диапазон, оптическое и лазерное излучение, УФ- и тормозное рентгеновское излучение. Кроме этого, ЭМИ можно разделить на два вида: узкополосное – с фиксированной частотой излучения и сверхширокополосное (СШП), имеющее широкий спектр частот излучения (аналог электромагнитному импульсу ядерного взрыва). Оба вида ЭМИ имеют расхождение как в способах генерации, так и в путях влияния на радиоэлектронные устройства. Проникновение низкочастотного электромагнитного излучения к элементам устройств обусловлено, в основном, наведениями на инфраструктуру объектов, таких как телефонные линии, кабели внешнего питания (подачи и съема информации). Пути же воздействия СВЧ-диапазона значительно шире, они включают проникновение через антенно-фидерные устройства как на рабочей частоте, так и на кратных частотах.

Проникновение энергии через конструкционные отверстия и стыки зависит от их размеров и длины волны электромагнитного импульса – наиболее сильная связь возникает на резонансных частотах,

когда геометрические размеры сравнимы с длиной волны. На волнах больше резонансной связь резко уменьшается, поэтому влияние низкочастотного ЭМИ, которое зависит от наводок через отверстия и стыков в корпусе аппаратуры, небольшое.

Амплитуда поля СВЧ-излучения может вызвать образование плазмы за счет ионизации воздуха в отверстиях и стыках, что приводит к так называемому ослеплению прибора или устройства.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Пучки ЭМИ могут применяться как в стационарном, так и в мобильном вариантах. При стационарном варианте более легко обеспечить массогабаритные и энергетические требования к аппаратуре и упростить ее обслуживание. Проблема защиты от ЭМИ усложняется еще за счет развития современных информационных систем, которые идут по пути их дезинтеграции. Вместо больших центров по приему и обработке информации в каждом учреждении предпочитают иметь свои компьютерные сети, которые используют телефонные линии. Это повышает уязвимость радиоэлектронной аппаратуры от воздействия ЭМИ, в результате чего применение ЭМИ становится еще более целесообразным и реальным [7].

Поэтому знание исходных параметров ЭМИ имеет большое значение. Если в самом начале у излучающего устройства ЭМИ знать точно не только суммарную энергию пучка излучения, но и ее распределение по поперечному сечению пучка, то возможно более точное прогнозирование воздействующего фактора. Еще возможно с помощью реконструирования самой системы ЭМИ получить равномерное или неравномерное распределение энергии в поперечном сечении пучка КПЭ и тем самым регулировать интенсивность влияния ЭМИ на различные участки объекта, который поражается.

На основании проведенного анализа структуры, принципа работы систем ЭМИ и их влияния на объекты действия можно сделать следующие выводы. Измерение распределения плотности излучаемой энергии ЭМИ в виде КПЭ возможно с достаточно высоким пространственно-временным разрешением [8-10].

Для определения структурной схемы измерений плотности потока энергии КПЭ и ее элементов необходимо определить, какие материалы наиболее эффективны при реагировании на них, в первую очередь, температуры, давления или других физических факторов, которые меняют свойства вещества или ее поверхности. Под эффективностью понимается процесс изменения рельефа твердой поверхности или изменения агрегатного состояния вещества, т. е. переход вещества из твердого состояния в пар и (или) плазму.

Необходимо правильно определить структурную схему измерений и ее элементы, чтобы эффективность измерений была высокой и эффективной.

Для достижения цели в создании устройства для измерения КПЭ необходимо, в первую очередь, определить:

- регистратор-приемник ЭМИ;
- схему возможной регистрации ЭМИ;
- способ обработки полученных результатов влияния ЭМИ на мишень;
- интерпретацию полученных результатов.

Наиболее информативными являются оптические бесконтактные методы измерений изменения распределения плотности вещества или изменения распределения шероховатости по поверхности, которые происходят при влиянии на них ЭМИ. При влиянии сверхмощных потоков ЭМИ одни твердые вещества меняют свое агрегатное состояние, переходя из твердого состояния в жидкое с последующим переходом в газообразное и плазменное состояние. У других твердых веществ под воздействием ЭМИ разрушаются поверхности, образуя своеобразную структуру. По распределению плотности газообразного или плазменного вещества – в первом случае – и по структуре нарушения поверхности – во втором случае, можно определить процессы различного теплового влияния от ЭМИ на отдельные участки регистратора, а уже из этих данных установить количество энергии, которая повлияла на состояние вещества в разных участках плоскости взаимодействия. Из полученных данных можно рассчитать распределение энергии в поперечном сечении пучка ЭМИ.

Таким образом, необходимо подобрать вещество, которое было бы эффективным «приемником» ЭМИ: с максимальным коэффициентом превращения энергии пучка в изменение структуры мишени-приемника; доступностью считывания полученной информации и др.

В первую очередь регистратор должен быть металлический, электропроводный. Он должен иметь соответствующие физико-химические свойства, которые способствуют наиболее эффективной регистрации энергии, которая поступает на него со стороны ЭМИ.

Такими металлическими приемниками ЭМИ могут быть висмут, который имеет самую низкую температуру плавления 272 °С, или свинец, который имеет низкую теплоту плавления 1158 кал/моль, или другие металлы, с подобными физическими характеристиками. Упомянутые металлы легко раскатываются в пластины малой толщины, порядка десятков микрон. При воздействии ЭМИ на такие пластины происходит их нагрев, вследствие чего возникают изменения рельефа их поверхности, которые регистрируются специально подобранной лазерной системой регистрации [11].

Кроме металлических приемников возможно применение жидкостных приемников, когда в соответствующую жидкость помещают во взвешенном состоянии частицы до размера частиц порядка 1 нм металлического порошка, приготовленного нанотехнологическими методами. В этом случае жидкость с наночастицами металла проявляет свойства провод-

ника и может быть использована для регистрации энергии ЭМИ. Жидкость со взвешенными металлическими наночастицами помещается в плоскую закрытую стеклянную кювету. Толщина жидкости в кювете должна быть меньше 1 мм. Такая мишень также является эффективным регистратором энергии ЭМИ.

Эффективным приемником энергии ЭМИ является лавсановая пленка с алюминиевым покрытием (майлар). Это связано с тем, что сама лавсановая пленка может быть создана наиболее тонкой из всех полимеров, порядка 1 мкм, а алюминиевое покрытие на ней может составить толщину нескольких атомов, порядка десятка нанометров. Лавсан прозрачен для ЭМИ. Алюминиевый слой поглощает энергию ЭМИ и нагревается при этом до температур плавления, испарения и с возможным образованием плазмы.

Как известно из современных представлений о нанотехнологиях [12], температура плавления такого нанослоя уменьшается по сравнению с большими толщинами слоев. Эффект снижения температуры плавления начинает проявляться тогда, когда толщина слоя не превышает 100 нм и больше всего четко наблюдается, когда размер слоя менее 10 нм. Факт снижения температуры плавления нанотолщинного алюминия позволяет надеяться на создание регистратора для более низких уровней энергии ЭМИ.

Малые толщины алюминиевого покрытия требуют меньших затрат энергии на свое плавление, испарение и образование плазмы. К примеру, на образец в один квадратный сантиметр пленки толщиной 100 нм, созданный вакуумным напылением (масса $2,7 \cdot 10^{-11}$ кг), необходимы такие затраты энергии:

- $1,07 \cdot 10^{-5}$ Дж – на плавление;
- $2,94 \cdot 10^{-4}$ Дж – на испарение;
- $3 \cdot 10^{-4}$ Дж – на образование плазмы.

На площадь пленки в 1 м^2 необходимо затратить около 3,0 Дж на испарение, а на образование плазмы – 3,1 Дж.

Схема измерений, скорее всего, похожа на описанную в работе [13] с некоторыми изменениями.

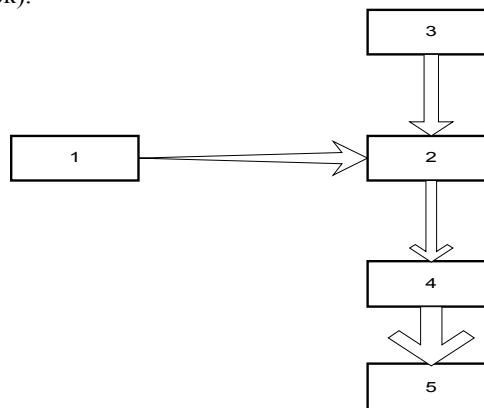
В этом случае на пути диагностируемого ЭМИ-пучка (или КПЭ) под углом 45° устанавливается регистратор, а перпендикулярно пучку КПЭ (или под другим углом) через регистратор проходит лазерный пучок, который служит для считывания информации, полученной на регистраторе.

Обработка полученных результатов возможна с помощью систем телевидения повышенной точности и разрешением в виде регистрации интерференционных картин процесса [14].

Обработка интерференционных изображений процессов не представляет затруднений, чтобы получить распределение плотности энергии, падающей на поверхность регистратора.

Таким образом, с учетом рассмотренных особенностей получения и использования ЭМИ, схема измерений должна состоять из лазерного источника, который играет роль устройства, считывающего ин-

формацию из регистратора излучения КПЭ – ЭМИ, приемника информации и ее обработки, а также элемента интерпретации полученных результатов (рис. 5).



Структурная схема устройства для измерения плотности энергии поперечного сечения ВЧ-пучка из генератора СШВЧГ: 1 - излучатель ВЧ-пучка; 2 - регистратор излучения ВЧ-пучка; 3 - лазер; 4 - приемник информации из регистратора; 5 - компьютерная обработка информации из регистратора

ЛИТЕРАТУРА

1. Carlo Kopp. The E-bomb – a Weapon of Electronic Mass Destruction. – Information Warfare: Thunder's Month Press, New York, 1996.
2. D. Clayborne, Teylor and H. Nicolas Younan. Effects from High Power Microwave Illumination // *Microwave Journal*. 1992, v.35, №6.
3. Ю.Ф. Лонин и др. Моделирование теплового механизма в полупроводниках при импульсном воздействии ЭМП // *ВАНТ. Серия "Ядерно-физические исследования"*. 2004, №2, с.203-205.
4. H.K. Florid. The Future Battlefield – a Blast of Gigawatts // *IEEE Spectrum*. 1988, v.25, №3.
5. Ю.Ф. Лонин, В.В. Жук, А.В. Столярчук, Н.И. Слипченко, В.И. Чумаков. К исследованиям электромагнитной стойкости при короткоимпульсных воздействиях // *Механіка та машинобудування*. Харків: ХДПУ, 2005, №2, с.287-295.
6. David A. Fulghum. Microwave Weapons Await a Future War // *Aviation Week and Space Technology* June 7, 1999.
7. Справочник по радиолокации / Под ред. М. Сколника. Т.2. М.: «Сов. радио», 1976.
8. А.В. Гончаров, А.В. Мазилев, Н.С. Поддубко, А.Г. Толстолицкий, В.К. Яковлев. Применение спеклголографических методов для исследования образования ЛТСМ на ОУ // *Тезисы докладов VII Международной конференции МЧЦ и ДСП ЧАЭС "Ядерные объекты: надежность и безопасность"*. 20-23 сентября 2005, Славутич, Украина, с.226-228.
9. А.В. Гончаров, А.В. Мазилев, Н.С. Поддубко, А.Г. Толстолицкий. Исследование состояния элементов ядерной энергетики методами спеклголографии // *Международная конференция*

«Актуальные проблемы ядерной физики и атомной энергетики. НРАЕ-Київ2006», 29.05 – 03.06.2006.

10. В.Н. Бондаренко, А.В. Гончаров, Н.С. Поддубко, В.И. Сухоставец, А.Г. Толстолуцкий. Измерение распределения температуры по поверхности объекта исследования с использованием методов голографии и спеклинтерферометрии // *Тезисы докладов Третьей Всероссийской конференции по проблемам термометрии. «Температура 2007»*. Обнинск, РФ, 18-20 апреля 2007, с.47.
11. А.Б. Кудрин и др. *Голография и деформация металлов*. М.: «Металлургия», 1982, 152 с.

12. Е.Н. Решетняк, В.Е. Стрельницкий. Синтез наноструктурных пленок: достижение и перспективы // *Харьковская нанотехнологическая ассамблея-2007. Наноструктурные материалы*. 23-27 апреля 2007 года, Харьков, с.6-16.
13. А.с. №1623453 СССР. Способ регистрации распределения плотности энергии в пересечении наносекундных и субмикросекундных пучков частиц / С.В. Корчажкин, Л.О. Краснова, В.В. Оболоник, А.Г. Толстолуцкий // *Открытия. Изобретения*. 1990.
14. Ч. Вест. *Голографическая интерферометрия*. М: «Мир», 1982, 504 с.

Статья поступила в редакцию 06.06.2008 г.

DETERMINATION OF DISTRIBUTING OF CLOSENESS OF ENERGY IN THE CROSS-SECTION OF BUNCH CONCENTRATED STREAM OF ENERGY

A.V. Goncharov, Yu.F. Lonin, N.S. Poddubko, A.G. Tolstoluckiy

In work devices for definition of distribution of density of energy in a cross-section of beam (CSE) which is formed in the ultrawideband high-frequency generator (UWBMWG) are considered. The block diagram of the device for measurement of density of energy in a cross-section of the bunch MW from UWBMWG is offered, the material – the registrar who is sensitive to beam CSE is determined, laser radiators suitable changes for diagnostics of optical characteristics of this material under influence of beam CSE are picked up. Reception laser devices diagnosing a beam with the subsequent processing the received information are determined at the help of the personal computer.

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛУ ЩІЛЬНОСТІ ЕНЕРГІЇ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ КОНЦЕНТРОВАНОГО ПОТОКУ ЕНЕРГІЇ

О.В. Гончаров, Ю.Ф. Лонін, М.С. Піддубко, О.Г. Толстолуцький

Розглядаються пристрої для визначення розподілу щільності енергії в поперечному перерізі пучка КПЕ, який формується в надширокопосмуговому височастотному генераторі (НШСВЧГ). Запропоновано структурну схему приладу для вимірювання щільності енергії в поперечному розрізі ВЧ-пучка з НШСВЧГ, визначено матеріал-реєстратор, який чутливий до пучка КПЕ, підібрані лазерні випромінювачі, які придатні для діагностики вимірювання оптичних характеристик цього матеріалу під впливом пучка КПЕ. Визначені приймальні пристрої лазерного діагностуючого пучка з подальшою обробкою отриманої інформації за допомогою ПК.