

УДК 621.396.673

Е.В. БАЛЗОВСКИЙ, Ю.И. БУЯНОВ, В.И. КОШЕЛЕВ, Э.С. НЕКРАСОВ

**ОБЛУЧАТЕЛЬ ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ МОЩНОГО ИСТОЧНИКА
СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ ИМПУЛЬСОВ¹**

Разработан высоковольтный фидерный тракт и облучатель зеркальной антенны, предназначенной для излучения мощных сверхширокополосных импульсов при длительности биполярного импульса генератора 1 нс. Облучатель представляет собой комбинированную антенну, содержащую излучатели электрического и магнитного типов, помещенную в диэлектрический контейнер с элегазом. Фидерный тракт содержит кордельный коаксиальный кабель, заполняемый элегазом. В результате оптимизации геометрии электродов антенны достигнута полоса согласования с фидером 0,4-2 ГГц по уровню КСВН = 2,5. Приведены результаты исследования характеристик антенн на низком напряжении и осциллограммы излученных импульсов.

Ключевые слова: *сверхширокополосное излучение, параболическая антенна, импульсное излучение.*

ВВЕДЕНИЕ

Для тестирования электронных устройств на устойчивость к мощным импульсным электромагнитным помехам необходимы компактные источники сверхширокополосного (СШП) излучения, создающие на небольшом расстоянии от антенной системы высокую напряженность импульсного электромагнитного поля. Известны коммерческие установки, предназначенные для обезвреживания современных автомобилей за счет сбоев в работе электронных систем управления двигателем [1], а также для провоцирования сбоев в системах управления, связи и навигации малых летательных аппаратов [2].

В [3] описан источник на основе 64-элементной антенной решетки комбинированных антенн, имеющий эффективный потенциал 4,3 МВ при поперечном размере антенного полотна 1,41х1,41 м. Источник имеет сложную маслonaполненную систему деления мощности. Известны источники мощных импульсов на основе антенны IRA [4], представляющей собой высоковольтный разрядник, размещенный в фокусе параболического зеркала. Недостатком таких источников является их низкая энергетическая эффективность. Относительной простотой отличаются источники, имеющие в фокусе круглого параболического рефлектора дипольный облучатель [5] или облучатель в виде ТЕМ-рупора, расположенного в раскрыве офсетного рефлектора [6].

Представляет интерес разработка антенной системы мощного источника импульсов наносекундной длительности, в которой в качестве облучателя может быть использована комбинированная антенна [7]. Такие антенны имеют малые электрические размеры и близкую к кардиоиде диаграмму направленности, что позволит эффективно использовать раскрыв рефлектора. При выборе размера рефлектора следует учитывать, что при габаритах более 2 м затрудняется транспортировка и мобильное использование такой антенны. В то же время на центральной частоте спектра импульсов, возбуждающих облучатель, размер рефлектора должен составлять несколько длин волн.

Для предотвращения затенения параболического рефлектора облучателем и высоковольтной фидерной системой предпочтительно использовать офсетный рефлектор, то есть часть параболоида. Проведенное моделирование зеркальной антенны показало, что при возбуждении комбинированной антенны биполярными импульсами напряжения длительностью 1 нс оптимальным является офсетный параболический рефлектор размером 1,6х1,4 м [8]. Для обеспечения электрической прочности при амплитуде биполярного импульса напряжения до 100 кВ на входе антенны может быть применен специализированный фидерный тракт, заполняемый элегазом, а облучатель дол-

¹ Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Электрофизика и электроника мощных импульсных систем».

жен помещаться в диэлектрический контейнер, который также заполняется элегазом для уменьшения вероятности электрического пробоя [9]. Ниже приведены конструкция высоковольтного фидерного тракта, конструкция и характеристики макета облучателя и результаты низковольтных измерений излученных импульсов.

ОБЛУЧАТЕЛЬ И ФИДЕРНЫЙ ТРАКТ

Конструкция облучателя и высоковольтного фидерного тракта приведена на рис. 1. Облучатель выполнен в виде комбинированной антенны, представляющей собой совокупность излучателя электрического типа 1 и излучателя магнитного типа 2, запитываемых импульсами с необходимыми временными задержками и объединенных общим коаксиальным входом 3. Для предотвращения электрического пробоя между электродами антенна помещена в герметичный полиэтиленовый контейнер 4, заполняемый элегазом через штуцер 5. Коаксиальный вход антенны 6 через конический переход 7 присоединен к полужесткому фидеру 8, выполненному из коаксиального кабеля РК50-17-51 с гофрированным внешним проводником и кордельной изоляцией. Через конический переход 9 антенно-фидерный тракт присоединяется к высоковольтному источнику импульсов 10. Внешний вид облучателя с низковольтным переходом приведен на рис. 2.

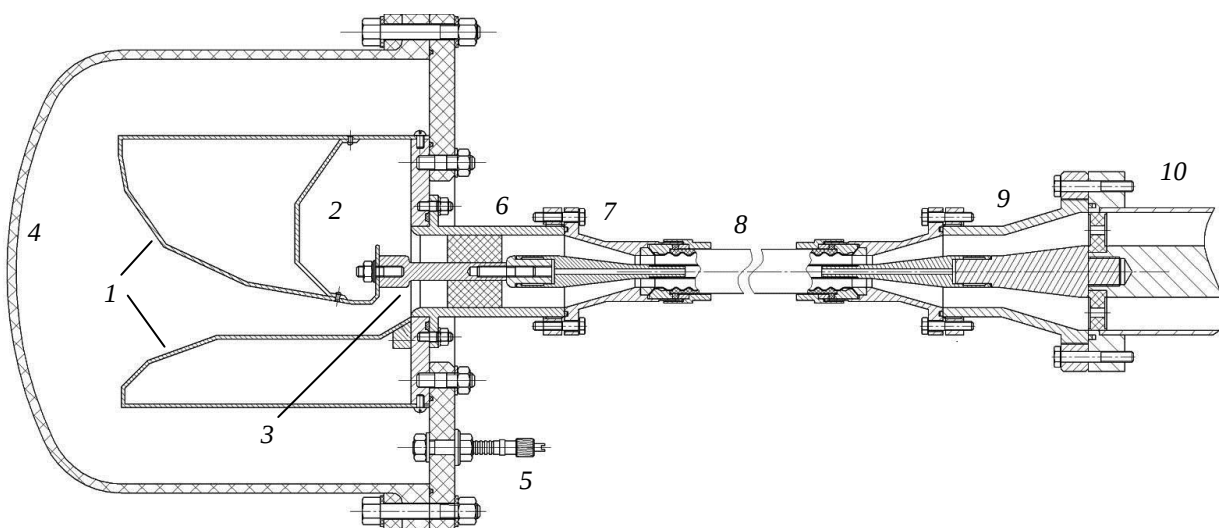


Рис. 1. Конструкция облучателя и высоковольтного фидерного тракта

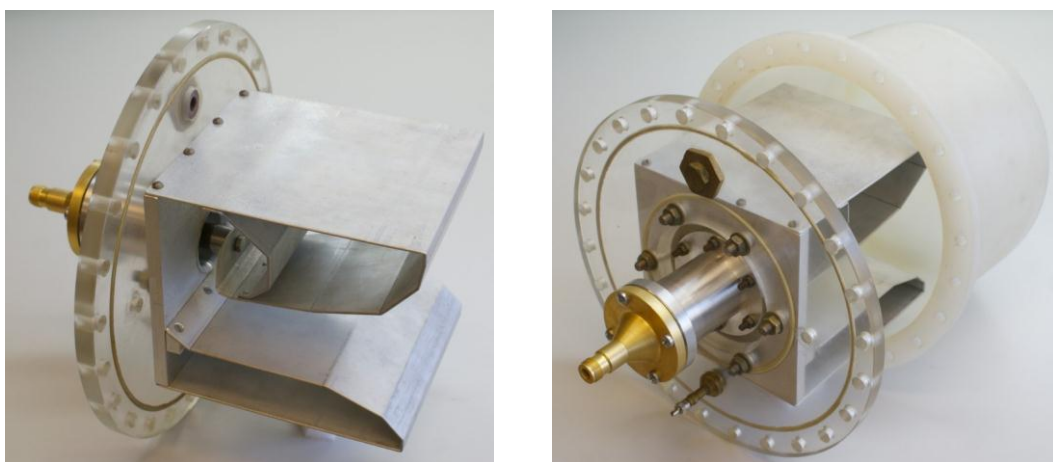


Рис. 2. Внешний вид облучателя с коаксиальным переходом для низковольтных измерений

Результаты измерения коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) антенны-облучателя приведены на рис. 3. Кривая 1 – без диэлектрического контейнера, кривая 2 – в диэлектрическом контейнере. По уровню КСВН = 2,5 полоса согласования антенны без контейнера составляет 0,38–2 ГГц, для антенны в контейнере – 0,4–2 ГГц. Наилучшим образом антенна согла-

сована с фидером на частотах около 1 ГГц, вблизи которой сосредоточена максимальная энергия спектра биполярных импульсов длительностью 1 нс.

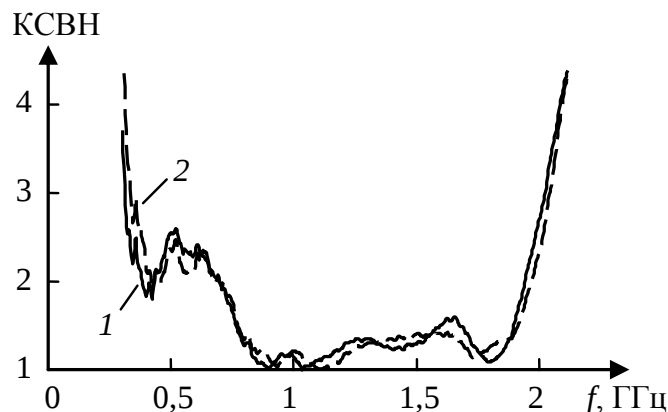


Рис. 3. КСВН облучателя без диэлектрического контейнера (кривая 1) и в контейнере (кривая 2)

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

Для тестирования зеркальной антенны при низком уровне напряжения макет облучателя размещался вблизи точки фокуса офсетного рефлектора. Высота рефлектора 1,62 м, ширина 1,4 м, фокусное расстояние 82 см, офсетный угол 23° . На рис. 4 приведен внешний вид зеркальной антенны, закрепленной на опорно-поворотном устройстве в безэховой камере. Варьировалось положение облучателя относительно точки фокуса рефлектора. Оптимальным для получения максимальной пиковой напряженности поля оказалось такое положение, при котором максимум диаграммы направленности комбинированной антенны направлен на геометрический центр рефлектора, а сам облучатель вынесен из точки фокуса на 5 см от рефлектора.

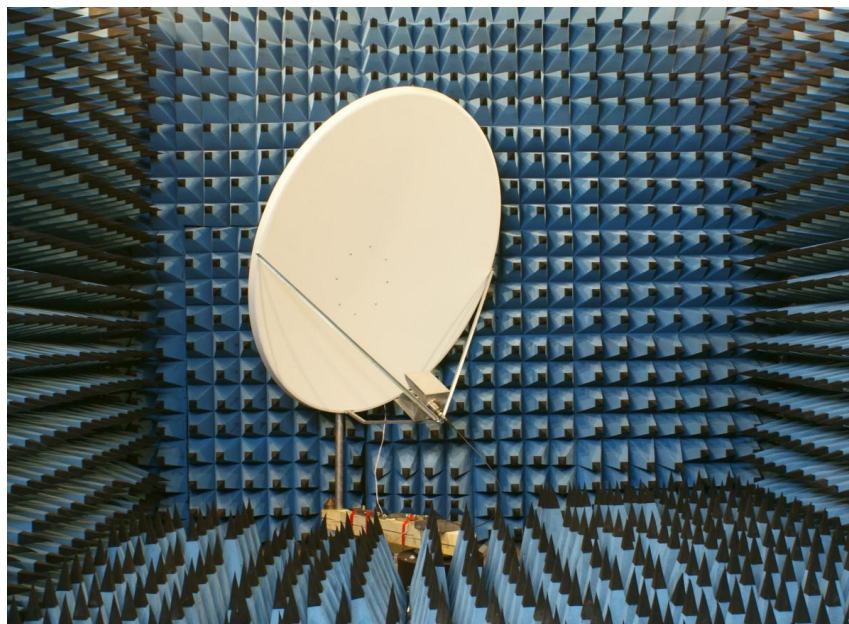


Рис. 4. Внешний вид рефлектора с макетом излучателя на опорно-поворотном устройстве

Измерена напряженность импульсного электрического поля на расстоянии 4,6 м от точки фокуса антенны. В качестве приемной антенны при измерении формы СШП импульсов использовалась ТЕМ-антенна с размерами земляной пластины 120×50 см и высотой раскрытия 8 см. Напряжение на выходе ТЕМ-антенны пропорционально напряженности падающего поля, а действующая длина в широком диапазоне не зависит от частоты, и равна половине высоты раскрытия. Временная

форма импульсов напряжения на входе облучателя и напряженности электрического поля на указанном расстоянии приведены на рис. 5. Импульсы регистрировались осциллографом реального времени LeCroy WaveMaster 830Zi, начало отсчета времени связано с моментом запуска осциллографа измеряемым импульсом. Максимальная напряженность поля на расстоянии 4,6 м от фокуса рефлектора равна 7,5 В/м при возбуждении облучателя биполярными импульсами напряжения длительностью 1 нс и максимальным напряжением 10 В.

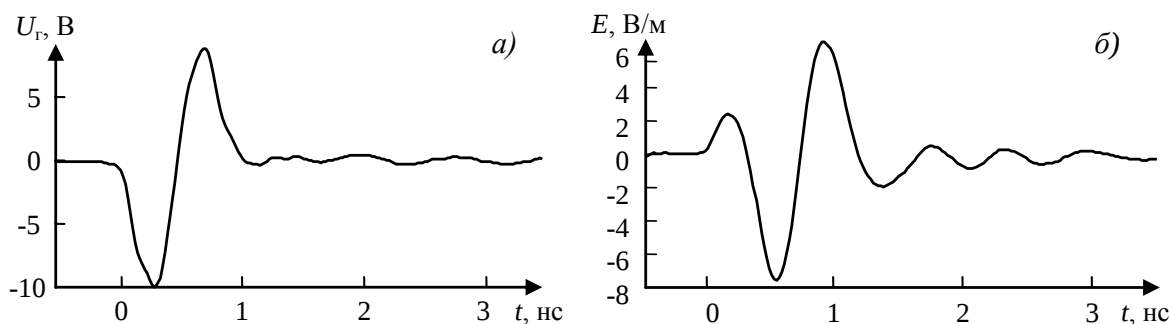


Рис. 5. Временные формы импульса напряжения на входе облучателя (1) и напряженности электрического поля на расстоянии 4,6 м от точки фокуса рефлектора (2)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан высоковольтный фидерный тракт и облучатель зеркальной антенны, предназначенной для излучения мощных СШП импульсов при длительности биполярного импульса генератора 1 нс. Полоса согласования облучателя составляет 0,4-2 ГГц по уровню КСВН = 2,5. Получены осциллограммы излученных импульсов рефлекторной антенны на низком уровне напряжения. Пиковая напряженность электрического поля на расстоянии 4,6 м от фокуса рефлектора составила 0,75 В/м в пересчете на 1 В пикового напряжения 1-нс возбуждающего биполярного импульса. Дальнейшая работа будет направлена на тестирование зеркальной антенны при воздействии высоковольтными импульсами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. HPEM CarStop: Non-violent system for selective stopping of vehicles in dynamic scenarios. – Diehl BGT Defence GmbH, Germany. – http://www.diehl.com/fileadmin/diehl-defence/user_upload/flyer/HPEMcarStop_Flyer.pdf
2. HPEM Case: Non-Lethal Effectors Systems for the Protection of Persons and Buildings. – Diehl BGT Defence GmbH, Germany. – http://www.diehl.com/fileadmin/diehl-defence/user_upload/flyer/HPEMCase_e.pdf
3. Efremov A.M., Koshelev V.I., Kovalchuk B.M., Plisko V.V., Sukhushin K.N. // Laser and Particle Beams. – 2014. – V. 32. – No. 3. – P. 413–418.
4. Baum C.E., Farr E.G., Ultra-wideband, Short-Pulse Electromagnetics, ed. Bertoni. – New York, Plenum, 1993. – P. 139–147.
5. Ryu J., Lee J., Chin H., Yeom J.-H., Kim H.-T., Kwon H.-O., Han S. H., Choi J. S. // IEEE Trans. on Plasma Sc. – 2013. – V. 41. – No. 8. – P. 2283–2290.
6. Лисицын В.П. // Антенны. – 2006. – №2. – С. 42–44.
7. Андреев Ю.А., Буянов Ю.И., Кошелев В.И. // РЭ. – 2005. – Т. 50. – № 5. – С. 585–594.
8. Balzovsky E.V., Buyanov Yu.I., Koshelev V.I. // Изв. вузов. Физика. – 2016. – Т. 59. – №9/2. – С. 26–29.
9. Andreev Yu.A., Gubanov V.P., Efremov A.M., Koshelev V.I., Korovin S.D., Kovalchuk B.M., Kremnev V.V., Plisko V.V., Stepchenko A.S. Sukhushin K.N. // Laser and Particle Beams. – 2003. – V. 21. – No. 2. – P. 211–217.

Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия
E-mail: koshelev@lhfe.hcei.tsc.ru

Буянов Юрий Иннокентьевич, к.ф.-м.н., доцент, ведущ. инженер;
Кошелев Владимир Ильич, д.ф.-м.н., профессор, зав. лаб;
Некрасов Эдуард Сергеевич, инженер.

E.V. BALZOVSKY, YU.I. BUYANOV, V.I. KOSHELEV, E.S. NEKRASOV

THE FEED ANTENNA FOR HIGH-POWER ULTRAWIDEBAND PULSE SOURCE WITH REFLECTOR

A high-voltage feeder path and a feed-antenna of the reflector dish antenna have been developed. The reflector dish antenna is intended to radiate high-power ultrawideband pulses at a 1-ns length of the generator bipolar pulse. The feed-antenna presents a combined antenna containing the electric and magnetic type radiators and placed into a dielectric container with SF₆-gas. The feeder path contains coaxial cable with semi-solid dielectric filled with SF₆-gas. Optimization of geometry of the antenna electrodes resulted in achieving the band matching with the feeder equal to 0,4-2 GHz at VSWR = 2,5. Results of investigations of the antenna characteristics at a low voltage and waveforms of the pulses radiated are presented.

Keywords: *ultrawideband radiation, parabolic antenna, short-pulse radiation*

REFERENCES

1. HPEM CarStop: Non-violent system for selective stopping of vehicles in dynamic scenarios. – Diehl BGT Defence GmbH, Germany. – http://www.diehl.com/fileadmin/diehl-defence/user_upload/flyer/HPEMcarStop_Flyer.pdf
2. HPEM Case: Non-Lethal Effectors Systems for the Protection of Persons and Buildings. – Diehl BGT Defence GmbH, Germany. – http://www.diehl.com/fileadmin/diehl-defence/user_upload/flyer/HPEMCase_e.pdf
3. Efremov A.M., Koshelev V.I., Kovalchuk B.M., Plisko V.V., Sukhushin K.N., Generation and radiation of ultra-wideband electromagnetic pulses with high stability and effective potential, *Laser and Particle Beams*, 2014, vol. 32, no. 3, pp. 413–418.
4. Baum C.E., Farr E.G., *Impulse Radiating Antenna, Ultra-wideband, Short Pulse Electromagnetics*, ed. Bertoni, New York, Plenum, 1993, pp. 139–147.
5. Ryu J., Lee J., Chin H., Yeom J.-H., Kim H.-T., Kwon H.-O., Han S. H., Choi J. S., A high directive paraboloidal reflector antenna for high far voltage in an ultra wideband source system, *IEEE Trans. on Plasma Sc.*, 2013, vol. 41, no. 8, pp. 2283–2290.
6. Lisitsyn V.P. Parabolicheskaya antenna dlya izlucheniya UWB impulsov na osnove sputnikovoi tarlki, *Antenny*, 2006, no. 2, pp. 42–44 (In Russ.)
7. Andreev Yu.A., Buyanov Yu.I., Koshelev V.I., A combined antenna with extended bandwidth, *J. Commun. Technol. Electron.*, 2005, vol. 50, no. 5, pp. 535–543.
8. Balzovsky E.V., Buyanov Yu.I., Koshelev V.I., Research and development of the reflecting antenna for high-power source of ultrawideband radiation with linear polarization, *Izvestiya vuzov. Fizika*, 2016, V. 59, No. 9/2, pp. 26–29 (In Russ.)
9. Andreev Yu.A., Gubanov V.P., Efremov A.M., Koshelev V.I., Korovin S.D., Kovalchuk B.M., Kremnev V.V., Plisko V.V., Stepchenko A.S. Sukhushin K.N., High-power ultrawideband radiation source, *Laser and Particle Beams*, 2003, vol. 21, no. 2, pp. 211–217.

Institute of High Current Electronics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (IHCE SB RAS),
Tomsk, Russia
E-mail: koshelev@lhfe.hcei.tsc.ru

Balzovsky Evgeny Vladimirovich, Reseacher, PhD;
Buyanov Yury Innokentevich, Senior Engineer, Assoc. Prof., PhD;
Koshelev Vladimir Ilich, Head of Laboratory, Prof., Dr. Sc;
Nekrasov Eduard Sergeevich, Engineer.