

Володимир Олександрович Дачковський
Юрій Миколайович Шинкаренко

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ЗБРОЇ ТА НАПРЯМКИ ЗАХИСТУ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ КЕРОВАНИХ БОЄПРИПАСІВ

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз воєнних конфліктів останніх десятиліть показує, що для вирішення найбільш важливих завдань все частіше використовується електромагнітна зброя, яка заснована на випромінюванні потужного електромагнітного імпульсу (ЕМІ). В той же час спостерігається велика кількість публікацій [1, 2] щодо створення, удосконалення даного виду зброї, але не розглядаються способи та методи ефективного захисту від неї, окрім відомих та загальноприйнятих.

В роботах [3 – 5] пропонується створення захисту на основі екранів, розрядників застосуванні пневматичних перетворювачів роду енергії. Однак цей захист, виходячи з ряду причин, можна застосувати лише в техніці.

Формулювання мети статті. Виклад основного матеріалу

Тому метою написання статті є: розгляд перспективних видів електромагнітної зброї (ЕМЗ) радіочастотного випромінювання, існуючих та перспективних методів захисту від неї.

Електромагнітне випромінювання радіочастотного діапазону на сьогоднішній день є одним із перспективних засіб боротьби з радіоелектронними засобами, так як має здатність порушувати функціонування систем управління керованими боєприпасами та спричиняти несанкціоноване (передчасне) спрацювання самих боєприпасів.

Принцип уражаючого впливу ЕМЗ заснований на використанні надпотужного електромагнітного імпульсу надкороткої тривалості для створення наведених електричних перевантажень (великих струмів і напруг) в радіоелектронних елементах.

Ефективність використання електромагнітної зброї радіочастотного діапазону обумовлена високою щільністю потоків, що призводить до фізичного руйнування радіоелектронних елементів, які входять до складу системи управління радіокерованих боєприпасів, до тимчасового “засліплення” (відсутності можливості здійснювати управління радіокерованими боєприпасами), функціонального придушення з

подальшим відновленням функцій (тимчасовий вихід з ладу через перевантаження чутливих елементів), несанкціонованого (передчасного) підризу самих боєприпасів (наведена напруга і струм приводять в дію підризники, до складу яких входять електронні компоненти) [6]. У табл. 1 наведені параметри чутливості радіоелектронних засобів які входять до складу блоків системи управління [7].

Таблиця 1

Параметри чутливості і види пошкоджень радіоелектронних елементів при електромагнітному впливі

Клас виробу	Енергія, Дж	
	Деградація більше 10%	Структурне пошкодження
Реле, трансформатори малої потужності	$10^{-3} \dots 1$	>10
Газорозрядні прибори	$10^{-2} \dots 10$	$>10^2$
Електронно-променеві трубки	$10^{-3} \dots 10$	$>10^2$
Резистори: дротові; плівкові; композиційні	$10^{-4} \dots 10^2$ $10^{-4} \dots 10^{-2}$ $10^{-4} \dots 1$	$>10^3$ $>10^{-1}$ >10
Конденсатори: плівкові; танталові;	$10^{-4} \dots 10^{-3}$ $10^{-6} \dots 1$	$>10^{-2}$ >10
Діоди напівпровідникові: випрямляючі і стабілізуючі; сигнальні, тунельні, лавинні; мікрохвильові;	$10^{-3} \dots 1$ $10^{-6} \dots 10^{-2}$ $10^{-8} \dots 10^{-4}$	>10 $>10^{-1}$ $>10^{-3}$
Тиристори	$10^{-5} \dots 10^{-1}$	>1
Транзистори: великої середньої потужності; малої потужності;	$10^{-5} \dots 10^{-2}$ $10^{-7} \dots 10^{-4}$	$>10^{-1}$ $>10^{-3}$

Для організації такого ЕМВ може застосовуватися радіочастотний ЕМІ середньої

потужності до 1 ГВт, спричинений вакуумними електронними трубками з сітчастим катодом – віркатор, спіральними генераторами частоти з вибуховим стисненням магнітного поля [8], і напівпровідниковими генераторами наносекундних перешкод [9].

Ідея, що лежить в основі віркатора (рис.1), полягає у прискоренні потужного потоку електронів сітчастим анодом. Електрони, що випускаються графітовим катодом 1 і проходять анод 2, формують за ним просторовий заряд 3, який осцилює з частотами мікрохвильового діапазону. Їх значення визначається розмірами резонансної порожнини просторового заряду. Потужність ЕМІ виводиться за допомогою конічної рупорної структури 4. Рівень потужності віркатора лежить в діапазоні 500 кВт ... 3 ГВт. Тривалість імпульсу віркатора становить кілька мікросекунд. Випромінювання віркатора в силу резонансного принципу дії носить вузькосмуговий і має спрямований характер.

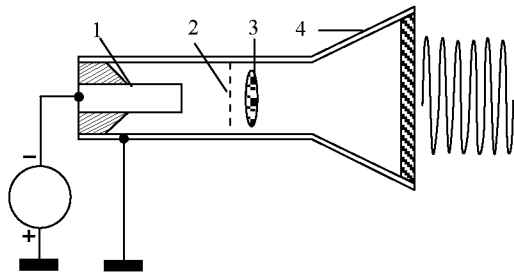


Рис. 1. Схема віркатора

ЕМВ із застосуванням віркаторів неможливо виявити без спеціальних приладів. До недоліків віркаторів слід віднести: по-перше, вузькосмугове радіовипромінювання і настройку на робочу частоту пристроїв, що атакують (потребує проведення попередньої технічної розвідки), і, по-друге, відносну складність і високу вартість технології його виготовлення.

Принцип дії вибухомагнітного генератора частоти (ВМГЧ) заснований на прямому перетворенні хімічної енергії вибухової речовини в електромагнітне випромінювання.

На сьогоднішній день з неядерних саме хімічні вибухові речовини мають максимальну щільність зберігання енергії ~ 10000 Дж/см³. Ця величина на п'ять порядків вища, ніж у високовольтному конденсаторі. Крім того, високовольтний конденсатор не дозволяє за мікросекунди перетворити накопичену енергію у енергію випромінювання.

ВМГЧ (рис. 2) складається з мідної трубки 1, спорядженої вибуховою речовиною 2, співвісно трубіці спіральна обмотка 3 індуктивністю 5...10 мкГн, до якої підключений високовольтний, попередньо заряджений конденсатор 4, що має ємність близько 0,01...0,1 мкФ. Обмотка має змінну щільність для максимального посилення струму в LC-контурі. Вибух розширює мідну трубку, утворюючи конус, який підключає

заряджений конденсатор і далі, рухаючись по витках спіралі, послідовно закорочує їх. Осцилюючий в змінному LC-контурі струм посилюється за законом (1) [10]:

$$I = \frac{L_0}{L} \cdot I_0 \quad (1)$$

де: I, I_0 – поточне та початкове значення струму;

L, L_0 – поточне та початкове значення індуктивності.

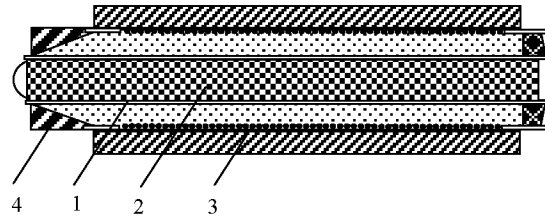


Рис. 2. Схема вибухомагнітного генератора

Таким чином, посилення може сягати приблизно 1000 А, при початковому струмі в 3...5 А величина струму в антені в кінці процесу становить 3...5 кА. Крім того, компресія магнітного поля в трубі спричиняє появу в наростаючих по частоті і амплітуді коливань струму додаткових гармонік, що істотно розширює спектр випромінюваної електромагнітної енергії. Вона стає надширокосмуговою – відношення центральної частоти до смуги випромінюваних частот близьке до 1. Як відомо, надширокосмугові – сигнали мають однорідний просторовий розподіл (кругова діаграма спрямованості).

ВМГ випромінює не один імпульс, а пачку тривалістю ~ 10 мкс з безупинно-мінливою частотою. Потужність випромінювання за перші 3 мкс становить ~ 240 МВт, за решту 7 мкс – 6 ГВт.

Принцип дії напівпровідникових генераторів наносекундних імпульсних перешкод (рис. 3) [9, 11] заснований на ефекті SOS (Semiconductor Opening Switch – напівпровідниковий розмикач) – наносекундної комутації надщільних струмів в спеціальних напівпровідникових діодах.

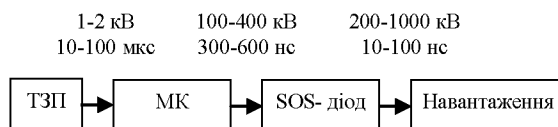


Рис. 3 Блок-схема SOS – генератора

Тиристорний зарядний пристрій здійснює імпульсний відбір енергії від джерела живлення, яка за час 10...100 мкс при напрузі 1...2 кВ надходить в магнітний компресор. Магнітний компресор стискає енергію в часі до 300...600 нс і підвищує напругу до 100-400 кВ. SOS-діод виступає в ролі підсилювача потужності, віддаючи до навантаження високовольтні імпульси за часом 10...100 нс з піковою потужністю до 5 ГВт і струмом 5 кА. В свою чергу навантаження через

коаксіальний кабель узгоджене з вихідною антеною. Частота повторення імпульсів може досягати 2 кГц.

Перевагами таких генераторів є надширокосмуговість, малогабаритність, кругова діаграма спрямованості і велика тривалість випромінювання.

Отже, електромагнітна зброя створюється для нанесення електромагнітного удару по електронним пристроям наслідком якого буде тимчасове “засліплення” електронних схем, викликане перевантаженням сигнальних і силових ланцюгів під дією наведених опроміненням струмових перешкод і часткової деградації напівпровідникових елементів. Ефекти впливу радіочастотного ЕМІ різноманітні і важко передбачувані. Однак можна виділити ряд основних процесів, що відбуваються при опроміненні:

1. Проникнення змінної магнітної компоненти електромагнітного випромінювання в провідну речовину, в якій випромінювання яке проникло індуктує струми, що призводять до локальних падінь напруги, генерує потужні наводки навіть у добре екранованих електронних блоках.

2. Оскільки неідеальне екранування (наявність кабельних вводів, індикаторів і т.д.), то через дифракційні явища радіочастотний ЕМІ може проникати всередину.

3. Будь-який електронний пристрій випромінює. Тому, на підставі теореми взаємності, яка стверджує, що електричний ланцюг приймає електромагнітну хвилю даної частоти з даного напрямку тим ефективніше, чим ефективніше вона випромінює на даній частоті в даному напрямку, будь-який електронний пристрій перетворюється в приймач ЕМІ сигналу.

Вплив ЕМІ за фізичним принципом і ступенем небезпеки для електронних пристроїв підрозділяють на 3 категорії:

1. вплив напруг перешкод на схеми функціональних частин в результаті проходження наведеного струму через резистивні, ємнісні і індуктивні елементи, з'єднані з зовнішніми роз'ємами;

2. вплив напруг перешкод у ланцюгах апаратури, що індуквані електромагнітними полями, які виникають в момент впливу радіочастотного ЕМІ;

3. вплив напруг перешкод на клеми апаратури, що викликані протіканням струму по екранам кабелів, корпусних ланцюгах і елементах конструкції.

Величину наведеної різниці потенціалів U на електронний компонент розміром L можна оцінити з наступних співвідношень (2) [10]:

$$U = E \cdot L, \quad (2)$$

де E – напруженість електричного поля в точці прийому.

Потужність електричного поля в точці прийому визначається (3) [10]:

$$P = 0,5 \sqrt{\frac{\mu \cdot \mu_0}{\epsilon' \cdot \epsilon_0}} E^2 \quad (3)$$

де: μ і ϵ' – магнітна і електрична проникності середовища;

μ_0 і ϵ_0 – магнітна і електрична постійні.

Особливу небезпеку для апаратури становлять мікро- і наносекундні імпульсні перешкоди, оскільки швидкість поширення ЕМІ велика, а час імпульсу надто короткий – тобто захисні пристрої не встигають спрацювати, що призводить до збоїв в роботі. Хоча багато електронних компонентів обладнані ланцюгами захисту для “стоку” електростатичних зарядів, періодична висока імпульсна напруга викликає їх пошкодження.

Існуючі методи захисту умовно можна розділити на пасивні (застосування різного роду екранів) і інтелектуальні (спеціальна захисна схемотехніка з використанням зовнішніх електромагнітних сенсорів).

Найбільш ефективний метод захисту електронних компонентів полягає в тому, щоб помістити їх цілком у електропровідний осередок, так звану “клітку Фарадея”. Однак більша частина електронних компонентів повинна мати зовнішні комунікації, що призводить до появи “точок входу”, через які ЕМ-перешкоди можуть проникати в апаратуру і викликати її пошкодження. Тому, на вході в блок електропровідних каналів повинні застосовуватися спеціальні захисні схеми та металеві екрановані кабельні вводи.

Заземлення також є невід'ємною частиною захисту електронних компонентів. Якщо електронний пристрій складається з конструктивно закінчених блоків, то існують два типи земляних шин: корпусні та схемні. Корпусні шини, згідно з вимогами електробезпеки, підключаються до земляної шини. Схемні шини повинні бути ізольовані від корпусів і об'єднуватися індивідуальними проводами. При недотриманні цієї вимоги імпульсні напруги, що створюються вирівнюючими і наведеними струмами на земляній шині, фактично додаються до вхідних компонентів схем, що може викликати помилкові спрацювання і, можливі, їх відмови.

Для зменшення глибини проникнення магнітної складової в корпус пристрою, що підлягає захисту, його екран повинен виконуватися з провідних немагнітних матеріалів, наприклад, нержавіючих сталей, міді.

Інтелектуальні (активні) методи полягають в спеціальній захисній схемотехніці на основі мікроконтролера. До нього підключаються датчики електромагнітного опромінення (детектори напруженості поля) на різні частотні діапазони, щоб перекрити усю найбільш енергетично небезпечну ділянку спектра випромінювання радіочастотного ЕМІ (10 МГц ... 3 ГГц), і датчики перевищення номінального струму. При розробці схемотехніки захисту від

електромагнітних перешкод сучасної електронної апаратури необхідно врахувати наступні фактори.

1. Імпульсні перешкоди, навіть порівняно невеликої енергії, можуть мати значну амплітуду по напрузі. Дійсно, енергія імпульсу, що виділяється на активному опорі визначається як (4) [10]:

$$E = \int_0^T \frac{u^2}{r} dt \quad (4)$$

де: $u = u(t)$ – напруга;

r – опір;

T – тривалість імпульсу.

Таким чином, при меншій тривалості імпульсу тієї ж енергії може мати більшу амплітуду. Великі значення пікової напруги імпульсу можуть привести до пробую елементів на вході електронного модуля, що не розраховані на високу напругу.

2. Динамічні характеристики самого блоку живлення також підвищують небезпеку виникнення перешкод у ланцюгах живлення із зростанням їх частоти. Сучасні блоки живлення мають структуру системи автоматичного регулювання. Зазвичай така система проектується з розрахунку на відносно низькочастотні збурення на вході. Попадання на вхід високочастотних перешкод може викликати небажану реакцію системи (резонансні ефекти, автоколивання і т.д.). В результаті стабільність напруги на виході блоку живлення порушується, що викликає відмову апаратури. З подальшим зростанням частоти завади (від десятків МГц до ГГц) велике значення починають відігравати паразитні ємнісні і

індуктивні зв'язки. У результаті складові перешкоди можуть в обхід встановлених захисних елементів проникати вглиб апаратури і порушувати роботу її цифрових вузлів.

При схемо-технічному захисті ланцюгів електроживлення включають надшвидкі запобіжники, обмежувачі напруги, мережеві фільтри.

Висновки

Таким чином в статті розглянуто не всі методи та засобів захисту від ЕМІ, особливо з урахуванням швидкого вдосконалення зброї електромагнітного впливу. В даний час поки не існує повної фізичної і математичної моделі впливу надширококутових перешкод на електронні пристрої.

Разом з тим, поява закордонних компонентів силової та потужної НВЧ електроніки поряд з програмними пакетами проектування і моделювання дозволяє висококваліфікованим фахівцям створювати окремі види радіочастотного ЕМІ. Це може призвести до зростання потенційної загрози електромагнітної атаки з боку терористичних злочинних угруповань.

З точки зору стійкості до зовнішніх ЕМ-перешкод, найбільш ефективним застосування міг би бути волоконно-оптичний кабель та оптико-електронні перетворювачі, при багаторівневій побудові захисту які стійкі до зовнішніх електромагнітних перешкод, та розробка апаратури систем управління та підричників радіокерованих боєприпасів [13, 14] які б працювали від оптичного сигналу.

Література

1. Черниш О.М. Основні тенденції створення електромагнітної зброї / О.М. Черниш, Г.В. Певцов, В.А. Лупандін, Є.О. Авчінніков // Системи озброєння і військової техніки. – 2008. – № 4 (16). – С. 5-15. 2. Зброя на нетрадиційних принципах дії (стан, тенденції, принципи дії та захист від неї) / Ковтуненко О.П., Богучарський В.В., Слюсар В.І., Федоров П.М. : Монографія – Полтава: ПВІЗ. – 2006. – 247 с. 3. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения / Демиденко Г.П., Кузьменко Е.П., Орлов.П.П. и др. ; под ред. Г.П. Демиденко. - [2-е изд. доп.]. – К. : Высшая шк., 1989. – 287 с. 4. Защита от оружия массового поражения / Калитаев А.Н., Живетьев Г.А., Желудков Э.И. и др. ; под ред. А.Г. Огаджаняна. - [2-е изд. перераб. и доп.]. – М. : Воениздат, 1989. – 398 с. 5. Воробйов О.М. Створення захисту озброєння і військової техніки від дії електромагнітного імпульсу на основі часткової заміни електроніки приладами пневмоавтоматики / О.М. Воробйов // Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах : 11 наук.-техн. конф., 8-9 вер. 2011 р. : тези доп. – Феодосія, 2011. – С. 289-290. 6. Воробйов О.М. Застосування енергії електромагнітного випромінювання для ураження техніки в сучасних збройних конфліктах / О.М. Воробйов // Збірник наукових праць Національної

академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького. – 2010. – №52. – С. 43 – 46. 7. Сотников А.М. Анализ характеристик оружия на новых физических принципах и возможные направления противодействия / А.М. Сотников, П.В. Жуikov, Ю.В. Карпич // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2009. – №2(20). С.16–19. 8. Прищепенко А.Б. Взрывы и волны. Взрывные источники электромагнитного излучения радиочастотного диапазона. / Прищепенко А.Б. – М.: Бинум. Лаборатория знаний, 2008. – 208 с. 9. Пичугина М.Т. Высоковольтная электротехника: учебное пособие / М.Т. Пичугина; Томский политехнический университет. – Томск: Изд.-во Томского политехнического университета, – 2011. – 120с. 10. Яворский Б.М. Справочник по физике: 2-е изд., перераб. / Б.М. Яворский, А.А. детлаф – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 512с. 11. Васильев П.В. SOS – генератор для технологических применений / П.В. Васильев, С.К. Любутин, М.С. Педос, и др. // Приборы и техника эксперимента. – 2011. – №1. – С.61 – 67. 12. Жгун Д.В. Электромагнитная совместимость высоковольтной техники: учебное пособие / Д.В. Жгун. – Томск: Изд.-во Томского политехнического университета, – 2008 – 150 с. 13. Пат. 75983 Україна, МПК (2009) Н 02 Н 7/20.

Спосіб створення захисту радіоприймального пристрою радіокерованих боєприпасів від електромагнітного впливу / Дачковський В.О., Кравець І.А.; заявник і володар патенту НУОУ. – № u 2012 04929; заяв. 19.04.2012; опубл. 25.12.2012, Бюл. № 24. **Пат. 76033** Україна, МПК (2012.01) F42D 5/00. Пристрій для

збудження заряду вибухових речовин захищений від електромагнітного впливу / Дачковський В.О., Банюк С.Б., Кузьмічов Д.А., Шинкаренко Ю.М.; заявник і володар патенту НУОУ. – № u 2012 05781; заяв. 11.05.2012; опубл. 25.12.2012, Бюл. № 24.

Рассмотрены вопросы технических средств создания мощного электромагнитного импульса, предназначенного для дистанционного поражения электронных компонентов вооружения. Рассмотрены существующие подходы к созданию защиты радиоэлектронных средств образцов вооружения от воздействия электромагнитного импульса. Определены основные недостатки этих подходов, связанных с низкой эффективностью защиты этой аппаратуры. Предложены направления решения данной проблемы защиты.

Ключевые слова: электромагнитное оружие, электромагнитный импульс, защита электронных средств.

The question of technical means to create a powerful electromagnetic pulse designed to defeat remote electronic components weapons. The existing approaches to establish security of electronic means of armament from electromagnetic pulse. The main disadvantages of these approaches related to the low efficiency of protection of the equipment. Directions to solve this problem protection.

Key words: electromagnetic weapons, electromagnetic pulse protection by electronic means.