V Всеукраїнська науково-технічна конференція ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ СУМІСНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ТА БЛИСКАВКОЗАХИСТУ «ПАСЕБ-2019»

ТЕЗИ та ПРОГРАМА РОБОТИ КОНФЕРЕНЦІЇ

ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ:

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет „ХПІ"
Технічний комітет України №22 стандартизації «Електромагнітна сумісність та стійкість радіоелектронних, електронних та електротехнічних засобів»

Спонсор конференції:
ТОВ «ТЕРРА-АВТ»

16 – 18 жовтня 2019 року, Харків, Україна

V Всеукраїнська
науково-технічна конференція
ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ СУМІСНОСТІ ЕЛЕКТ-РОМАГНІТНОЇ ТА БЛИСКАВКОЗАХИСТУ
«ПАСЕБ-2019»

ТЕЗИ ТА ПРОГРАМА РОБОТИ КОНФЕРЕНЦІЇ

ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ:

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет „ХПІ”
Технічний комітет України №22 стандартизації «Електромагнітна сумісність та стійкість радіоелектронних, електронних та електротехнічних засобів»

Спонсор конференції:
ТОВ «ТЕРРА-АВТ»

16 – 18 жовтня 2019 року, Харків, Україна

Адреси місць проведення засідань:

Наукова бібліотека НТУ «ХПІ», ауд.63.

м. Харків, вул. Кирпичова, 21.

Як дістатися до території НТУ «ХПІ»:

1) Проїзд до ст. метро «Пушкінська», далі пішки однією з вулиць: Юмовська (Гуданова), Максиміліанівська (Ольмінського) або Багалія (Фрунзе);

2) Проїзд до ст. метро «Академіка Бекетова». Далі пішки однією з вулиць: Дарвіна, Манізера або Мистецтв.

НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПІ»: вул. Шевченка, 47

Як дістатися:

1. Проїзд до ст. метро «Академіка Бекетова» далі пішки вулицею Дарвіна, повернути в першому провулку наліво, спуститися по Белгородському узвозу, до вул. Шевченка, далі ліворуч до червоної 4-х поверхової будівлі НДПКІ «Молнія». (На протилежній стороні вулиці - прохідна фармацевтичної фірми «Здоров'я»). Дистанція до інституту приблизно 800 м.

2. Проїзд до ст. метро «Київська», далі йти пішки вулицею Шевченка в сторону центра міста по правій стороні вулиці. Дистанція приблизно 1200 м. Орієнтири: висотна 14-ти поверхова будівля учбового корпусу НТУ «ХПІ», на протилежній стороні вулиці - прохідна фармацевтичної фірми «Здоров'я».

СЕКЦІЇ

Секція А: Сучасні вимоги в галузі електромагнітної сумісності цивільних технічних засобів, бортового авіаційного обладнання, озброєння та військової техніки.

Співголови: к.т.н., проф. Пілінський, к.т.н. с.н.с. Князєв В.В.

Секція В: Впровадження стандартів ДСТУ IEC 62305 щодо блискавкозахисту будівель і споруд. Система заземлення об'єктів. Методи підвищення якості систем заземлення.

Співголови: к.т.н., проф. Кулаков О.В., к.т.н. доц. Коліушко Д.Г.

Секція С: Методи математичного та фізичного моделювання процесів, які стосуються проблем ЕМС та блискавкозахисту.

Співголови:, д.т.н., с.н.с. Баранов М.І., д.т.н, проф. Серков О.О.

ГРАФІК ЗАСІДАНЬ

Час проведення	Захід	Місце проведення
16 жовтня 2019 (середа)		
9^{00} - 10^{00}	Реєстрація учасників	Наукова бібліотека НТУ "ХПІ"
10^{00} – 10^{15}	Відкриття конференції	Бібліотека НТУ "ХПІ" кім. 63 (4 поверх)
10^{15} – 11^{15}	Пленарне засідання (запрошені доповіді)	
11^{15} – 13^{00}	Секція А	Бібліотека НТУ "ХПІ" кім. 63 (4 поверх)
13^{00}	Колективне фото на пам’ять	Вхід до бібліотеки
13^{00} - 14^{00}	Обід	Їдальня НТУ «ХПІ»
14^{00} – 15^{00}	Секція В	Бібліотека НТУ "ХПІ" кім. 63 (4 поверх)
15^{00} – 17^{00}	Засідання технічного комітету України ТК 22 ЕМС	Бібліотека НТУ "ХПІ" кім. 63 (4 поверх)
17 жовтня 2019 (четвер)		
10^{00} - 13^{00}	Секція С	Бібліотека НТУ "ХПІ" кім. 63 (4 поверх)
13^{00} - 14^{00}	Обід	Їдальня НТУ «ХПІ»
14^{00} - 17^{00}	Учбово-практичний семінар для проектувальників систем захисту від блискавки будівель і споруд	Бібліотека НТУ "ХПІ" кім. 63 (4 поверх)
14^{00} - 16^{00}	Круглий стіл: Взаємодія випробувальних лабораторій.	НДПКІ «Молнія», ауд. 303
18 жовтня 2019 (п’ятниця)		
10^{00} - 12^{00}	Ознайомлення з можливостями ННЦ «Інститут метрології» щодо калібрування ЗВТ.	За умови попереднього запису під час реєстрації
12^{30} - 13^{30}	Заключне засідання. Прийняття рішення конференції.	НДПКІ «Молнія», ауд. 303

Примітка: Під час засідань передбачені перерви на каву: Coffee break.

ДЛЯ ПРИМІТОК

ПЕРЕЛІК ДОПОВІДЕЙ

16 жовтня 2019 (середа)

<u>Пленарне засідання: (10^{15} – 11^{15})</u>
(Наукова бібліотека НТУ «ХПІ», кім. 63 (4 поверх))

1. Ступінь гармонізації стандартів України з нормативною базою ЄС в галузі електромагнітної сумісності технічних засобів.
Князєв В.В., к.т.н., с.н.с. (*НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПІ», м. Харків*).

2. Можливості ННЦ «Інститут метрології» з калібрування ЗВТ.
Васильєва О.М., к.т.н., с.н.с. (*ННЦ «Інститут метрології», м. Харків*).

3. Аналіз електромагнітної обстановки пристроїв інтернету речей у приміщенні.
<u>Пілінський В.В.</u>, к.т.н., проф., Ратушний О.С., Тітков Д.В (*Національний технічний Університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*).

4. Необхідність розробки національних додатків до стандартів щодо захисту від блискавки будівель і споруд, які приймаються методом підтвердження.
Баранник Є.Я. (ТОВ «ОБО Беттерманн Україна)

<u>Засідання ТК 22 (початок о 15^{00})</u> (Бібліотека НТУ "ХПІ" кім. 63).
Основні питання:
Звіт про результати роботи у 2018-2019 роках.
Прийняття проектів стандартів, які розробляють члени ТК-22.
Пропозиції до Програми національної стандартизації у сфері ЕМС на 2020 рік.
Інші питання за пропозиціями членів ТК 22.

ДЛЯ ПРИМІТОК

Секція А (11^{15} – 13^{00}) (Бібліотека НТУ "ХПІ" кім. 63 (4 поверх)

А1. Состояние и планы гармонизации базовых и родовых стандартов по ЭМС для электронной и электротехнической продукции, включая продукцию энергетики в том числе АЭС. Горбенко И.В., Горбенко В.Н.

А2. Вимоги щодо оцінення відповідності рівня стійкості військової техніки до електромагнітних завад.
Князєв В.В.

А3. Верификация испытательного оборудования.
Немченко Ю.С., Князев В.В., Лесной И.П.

А4. Испытательная установка TI-NRS01. Структура и верификация.
Князев В.В. Лесной И.П., Немченко Ю.С., Сомхиев С.Б.

А5. Експериментальний зразок генератора TI- NCS08.
Лісной І.П., Немченко Ю.С.

А6. Открытая измерительная площадка для испытаний крупногабаритных технических средств.
Князев В.В., Коваль А.Д.

А7. Можливості випробувальної лабораторії НДПКІ «Молнія» для забезпечення стійкості об‘єктів військової техніки в галузі електромагнітної сумісності.
Князєв В.В, Кравченко В.І.

А8. Топология грозовых электромагнитных полей над поверхностью земли в ближней зоне формирования разряда молнии.
Кравченко В.И.

А9. Специфіка забезпечення ЕМС засобів інтернету речей. Лазебний В.С., Оникієнко Ю.О., Пілінський В.В.

А10. Електромагнітна сумісність сучасних систем безпроводового зв’язку.
Серков О.А., Трубчанінова К.А.

А11. Апробація експериментального зразка генератора для реалізації випробувань NCS10 за стандартом НАТО AECTP 500:2016.
Мельников П.М., Чернухін О.Ю.

ДЛЯ ПРИМІТОК

А12. Дослідження впливу розподілу хвилевого опору на невизначеність відтворення одиниці напруженості електромагнітного поля в GTEM-камері
Васильєва О.М., Макаров О.В.
А13. Експериментальні дослідження розподілу електромагнітного поля в GTEM-камері для проведення випробувань з електромагнітної сумісності.
Васильєва О.М, Макаров О.В.

Секція В (14^{00} - 15^{00}) (Бібліотека НТУ "ХПІ" кім. 63 (4 поверх))

В1. Базові терміни та визначення у ДСТУ EN 62305.
Коліушко Д.Г., Руденко С.С., Кіприч С.В., Глєбов О.Ю.
В2. Проблеми блискавкозахисту об'єктів збройних сил України.
Кулаков О.В.
В3. Розрахунок уземлювальних пристроїв за допомогою програмного комплексу "LIGRO".
Руденко С.С., Коліушко Д.Г., Істомін О.Є.
В4. Математическая модель удара молнии в элементы наземного стартового космического комплекса.
Дронов В.Н., Князев В.В.
В5. Расчетная оценка наведенных токов и напряжений на коммуникациях ракеты-носителя при ударе молнии.
Мельник С.И., Князев В.В.
В6. Автономный индикатор опасности грозового разряда. Князев В.В., Лещенко В.М.
В7. Обговорення проекту міждержавного стандарту ГОСТ «Блискавкозахист. Захист будівель та відкритих зон від блискавки із застосуванням блискавко приймачів зі стримерною емісією».

ДЛЯ ПРИМІТОК

17 Жовтня 2019 (четвер)

Секція С (10^{00}- 13^{00}) (Бібліотека НТУ "ХПІ" кім. 63 (4 поверх)

С1. Генераторы тока искусственной молнии НИПКИ “Молния” НТУ “ХПИ” и их практическое применение. Баранов М.И., Буряковский С.Г., Колиушко Г.М., Рудаков С.В.

С2. Lightning Inductive Overvoltage Protection of Distribution Power Lines.
Chrzan K.L., Musiał E., Rezynkina M.M.

С3. Линия с намагниченным ферритом как источник питания стенда для тестирования на электромагнитную совместимость сигналом сверхкороткой длительности со сложным спектральным составом.
Карелин С.Ю., Магда И.И., Мухин В.С.

С4. Физическое и математическое моделирование электрофизических процессов в системах молниезащиты с учетом появления коронных разрядов.
Резинкина М.М., Резинкин О.Л., Литвиненко С.А.

С5. Методика побудови фракталізованого надпровідного антенного захисту радіоелектронної апаратури приймальних засобів від ураження потужними електромагнітними завадами.
Фик О.І.

С6. Electrical Shunt for Measurement of Parameters of Current of the Model Lightning.
Chernukhin O.Yu., Shalamov S.P.

С7. Измерительные преобразователи для регистрации параметров электромагнитных импульсов наносекундного диапазона.
Чернухин А.Ю., Немченко Ю.С.

С8. Основные теплофизические характеристики плазмы при электрическом взрыве металлической проволочки в воздухе. Баранов М.И.

С9. Поверхневі хвилі у напівпровідниках в умовах дії електромагнітного випромінювання блискавки.
Яковенко І.В.

ДЛЯ ПРИМІТОК

С10. Механізми збудження власних коливань напівпровідників електромагнітним полем.
Яковенко І.В.
С11. Результаты измерения напряжения на линиях связи при протекании тока по макету наземной пусковой установки.
Плиско В.Р., Сидоренко Н.Н.
С.12. Підвищення енергоефективності маневрового тепловоза шляхом застосуванням накопичувачів енергії.
Буряковский С.Г., Маслій А.С., Помазан Д. П., Сафронов О.Е., Туренко О.Г.
С.13.Математичне моделювання вентильно-індукторного електроприводу для маневрового тепловозу.
Маслій А.С., Карпенко Н.П., Туренко О.Г., Сафронов О.Е., Головко П.А.
С.14. Діагностична модель швидкісного електропоїзда.
Крашенінін О.С., Буряковський С.Г., Одєгов М.М., Гузь В.В.
С.15. Застосування методу кінцевих елементів для розрахунку магнітних полів електромеханічних перетворювачів.
Буряковський С.Г., Маслій А.С., Карпенко Н.П., Маслій Н.В., Помазан Д.П.2)
С.16. Применение перспективных электромеханических преобразователей на тяговом подвижном составе.
Буряковский С.Г., Маслий А.С., Помазан Д.П., Сафронов О.Э.

Круглий стіл (14^{00} - 16^{00}) (НДПКІ „Молнія” ауд. 303)
Обговорення таких питань:

- Обмін досвідом щодо неоднозначності у стандартизованих методиках проведення випробувань.
- Калібрування ЗВТ;
- Верифікація випробувального обладнання.
- Угода про між лабораторні порівняльні випробування в сфері ЕМС.
- Сумісні політики відношень з НААУ.

ДЛЯ ПРИМІТОК

<u>18 жовтня 2019 (п’ятниця)</u>

1. Ознайомлення з можливостями ННЦ «Інститут метрології» щодо калібрування ЗВТ. (зустріч о 9^{45} біля входу до ННЦ «Інститут метрології» за адресою: м. Харків, вул. Мироносицька, 42).

2. 12^{30} - 13^{30} Заключне засідання. Прийняття рішення конференції.

ДЛЯ ПРИМІТОК

НЕОБХІДНІСТЬ РОЗРОБКИ НАЦІОНАЛЬНИХ ДОДАТКІВ ДО СТАНДАРТІВ ЩОДО ЗАХИСТУ ВІД БЛИСКАВКИ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД, ЯКІ ПРИЙМАЮТЬСЯ МЕТОДОМ ПІДТВЕРДЖЕННЯ

Баранник Є.

ТОВ «ОБО Беттерманн Україна», м. Харків

Нинішній етап гармонізації нормативної бази України характеризується прийняттям стандартів, ідентичних європейським та міжнародним. Ці процеси регулюються ДСТУ 1.7:2015 Правила та методи прийняття міжнародних і регіональних нормативних документів (ISO/IEC Guide 21-1:2005, NEQ; ISO/IEC Guide 21-2:2005, NEQ). З наведених там методів використовується переважно метод визнання завдяки його простоті. Адже передрук та/або переклад (для якого важко відшукати кошти) не виконується. За існуючого рівня володіння іноземними технічними мовами у середовищі проєктувальників систем захисту від блискавки (LPS), виникають труднощі з користування такими НД. Спроба виконання ідентичного перекладу ДСТУ IEC/EN серії 62305, прийнятого методом визнання 2012 р., наштовхнулася на труднощі фінансування. Зокрема, значну вартість складають обов'язкові послуги УкрНДНЦ з перевіряння та технічного редагування ідентичних перекладів. Компромісним рішенням може бути метод передруку, за якого робочий (або чорновий) переклад може бути додано як довідковий національний додаток. Вже маємо успішний досвід широкого практичного застосування робочих перекладів ДСТУ EN 62305-1:2012 та ДСТУ EN 62305-3:2012.

З відміною ДСТУ Б В.2.5-38:2008 як такого, що не є ідентичним міжнародному, втрачає силу Додаток «А», який допомагав визначити клас захисту LPS для ряду типових об'єктів. Разом з тим, процедура добору заходів захисту, наведена у ДСТУ IEC 62305-2:2012 видається обтяжливою. Є можливість впровадити національний додаток (за подобою Додатку «А») за прикладом Німеччини, але для цього належить виконати певні розрахунки ризиків та обговорити результати належним чином перед їхнім впровадженням.

Прогресивним технічним рішенням є влаштування фундаментних уземлювальних електродів LPS. За відсутності загальноєвропейського НД, широко використовуються положення стандарту ФРН DIN 18014:2014-03, головні положення якого можуть бути основою для ще одного національного додатку до ДСТУ IEC/EN серії 62305.

Відомим шляхом зменшення вартості LPS є використання природних компонентів. Разом з тим, залишається відкритим питання щодо надійності та довговічності електричних з'єднань цих компонентів, що є неодмінною умовою ДСТУ EN 62305-3:2012. Тоді як «штучні» з'єднувальні компоненті мають відповідати вимогам майбутнього ДСТУ EN 62561-1:2020, для з'єднань природних компонентів міжнародними НД не передбачено випробувань. За приклад для розроблення національного додатку щодо з'єднань природних компонентів LPS може бути взято додаток 1:2012-10 до стандарту ФРН DIN VDE 0185-305-3. Проте його впровадження у якості національного додатку може потребувати додаткових випробувань.

ГЕНЕРАТОРЫ ТОКА ИСКУССТВЕННОЙ МОЛНИИ НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» И ИХ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Баранов М.И.[1], Буряковский С.Г.[1], Колиушко Г.М.[1], Рудаков С.В.[2]

[1]Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», г. Харьков
[2]Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков

Приведены результаты разработок в НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» и практического применения мощных высоковольтных генераторов тока молнии (ГТМ), предназначенных для натурных испытаний объектов энергетики, авиационной и ракетно-космической техники на молниестойкость. Показано, что в 2007 г. в данном институте на его экспериментальном полигоне (с. Андреевка, Харьковской обл.) был создан уникальный мощный высоковольтный ГТМ типа УИТОМ-1 энергоемкостью до 1,21 МДж (рис. 1), способный в полевых условиях на открытом воздухе проводить испытания объектов авиационной и ракетно-космической техники на молниестойкость в соответствии с требованиями руководящих документов США SAE ARP 5412: 2010 и SAE ARP 5416: 2010.

Рис. 1. Общий вид ГТМ типа УИТОМ-1

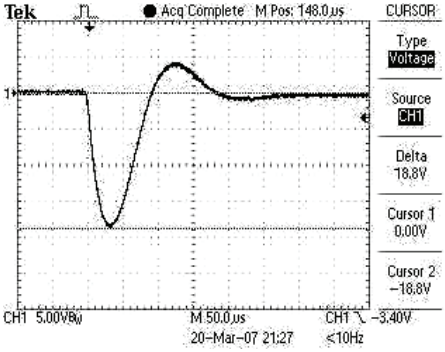


Рис. 2. Осциллограмма *A*- компоненты тока

Из приведенной на рис. 2 осциллограммы импульсной *A*- компоненты тока искусственной молнии с нормированными амплитудно-временными параметрами (АВП) в сильноточной разрядной цепи высоковольтного генератора ГИТ-*A* мощного ГТМ типа УИТОМ-1, содержащего в своем составе пять параллельно и синхронно работающих генераторов ГИТ-*A* (для имитации импульсной *A*- компоненты тока), ГИТ-*B* (для имитации промежуточной *B*- компоненты тока), ГИТ-*D* (для имитации повторной импульсной *D*- компоненты

тока), ГИТ-*C* (для имитации длительной *C* – компоненты тока) и ГИТ-C^* (для имитации модифицированной длительной C^* – компоненты тока), следует, что при зарядном напряжении U_{3A}≈–29,7 кВ параллельно соединенных 111 шт. конденсаторов типа ИК-50-3 генератора ГИТ-*A* первая амплитуда *A*- компоненты тока искусственной молнии на электрической нагрузке (объекте испытаний) с активным сопротивлением ~0,1 Ом и индуктивностью ~1 мкГн составляет около I_{mA1}≈–212 кА (при интеграле его действия J_A≈2,09·10^6 Дж/Ом, времени его первого максимума t_{mA1}≈32 мкс и полной длительности протекания τ_{pA}≈500 мкс). На рис. 3 и 4 приведены результаты прямого воздействия представленной на рис. 2 импульсной *A*- компоненты тока искусственной молнии с нормированными по требованиям SAE ARP 5412: 2010 и SAE ARP 5416: 2010 АВП на опытную модель отечественной авиационной приемно-передающей антенны. Из экспериментальных данных рис. 3 и 4 следует, что разработанная и созданная без учета требований по молниезащите опытная модель приемно-передающей антенны авиационной техники натурных испытаний согласно нормативных технических документов США SAE ARP 5416: 2010 и SAE ARP 5416: 2010 не выдержала. Прямым ударом мощного плазменного канала с большим импульсным током искусственной молнии она была полностью разрушена и выведена из строя.

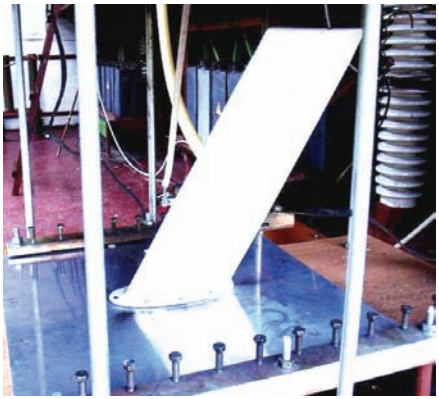


Рис. 3. Вид антенны до удара в нее молнии

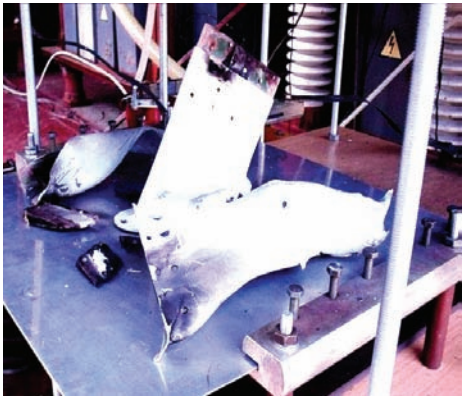


Рис. 4. Вид антенны после удара в нее молнии

Показано, что в 2014 г. на указанном экспериментальном полигоне НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» был введен в опытную эксплуатацию другой уникальный высоковольтный ГТМ типа ГТМ-10/350 с энергоемкостью до 1,15 МДж (рис. 5), предназначенный для прямого воздействия нормированного по международному стандарту IEC 62305-1: 2010 апериодического импульса тока короткого удара искусственной молнии временной формы T_1/T_2=10/350 мкс (T_1, T_2 − соответственно длительность фронта и длительность полуспада импульса тока молнии) с соответствующими допусками на его АВП на назем-

ные объекты энергетики (ОЭ). Согласно требованиям указанного международного стандарта АВП такого импульса тока молнии для I уровня молниезащиты ОЭ характеризуются следующими численными значениями: амплитудой тока I_{mL}=200 кА (при допуске ±10 %); интегралом действия тока (удельной энергией) J_L=10·10^6 Дж/Ом (при допуске ±35 %); количеством протекшего электрического заряда q_L=100 Кл (при допуске ±20 %). Для II уровня молниезащиты ОЭ рассматриваемые АВП тока молнии имеют нижеследующие численные значения: амплитуду тока I_{mL}=150 кА (при допуске ±10 %); интеграл действия тока (удельную энергию) J_L=5,6·10^6 Дж/Ом (при допуске ±35 %); количество протекшего электрического заряда q_L=75 Кл (при допуске ±20 %). Для наиболее низких III−IV уровней молниезащиты ОЭ указанные АВП тока грозового разряда должны соответствовать следующим техническим требованиям: амплитуде тока I_{mL}=100 кА (при допуске ±10 %); интегралу действия тока (удельной энергии) J_L=2,5·10^6 Дж/Ом (при допуске ±35 %); количеству протекшего через испытываемый технический объект электрического заряда q_L=50 Кл (при допуске ±20 %).

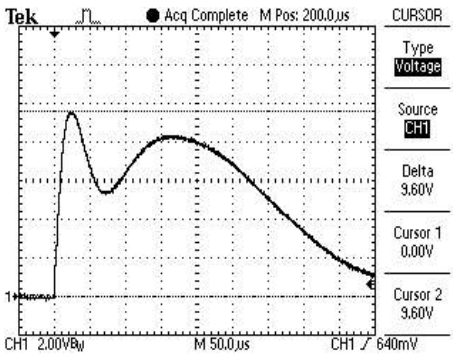


Рис. 5. Внешний вид генератора типа ГТМ-10/350 Рис. 6. Осциллограмма тока 15/315 мкс

В соответствии с данными рис. 6 амплитуда апериодического импульса тока искусственной молнии временной формы 15/315 мкс, полученного в разрядной цепи генератора ГТМ-10/350, составляет I_{mL}≈100 кА (в этом случае интеграл действия тока был равен J_L≈2,32·10^6 Дж/Ом, а протекший электрический заряд через испытываемый сетевой провод марки АППВнг2х6 длиной 0,5 м с алюминиевой жилой сечением 6 мм^2 и ПВХ изоляцией составлял q_L≈44,2 Кл). На рис. 7 и 8 приведены общие виды провода марки АППВнг2х6 до протекания через него указанного тока короткого удара молнии и после подобного удара.

Опытные данные рис. 8 наглядно демонстрируют явление электрического взрыва (ЭВ) алюминиевой жилы сечением 6 мм^2 сетевого провода марки АППВнг2х6, по которому протекает апериодический импульс тока искусст-

венной молнии временной формы 15/315 мкс положительной полярности с указанными выше нормированными АВП (I_{mL}≈100 кА; J_L≈2,32·10^6 Дж/Ом; q_L≈44,2 Кл). Видно, что приведенные АВП тока короткого удара искусственной молнии соответствуют требованиям III−IV уровней молниезащиты ОЭ согласно нормам указанного международного стандарта IEC 62305-1: 2010. Эти экспериментальные результаты указывают на то, что сетевой провод марки АППВнг2х6 с алюминиевой жилой сечением 6 мм^2 и ПВХ изоляцией не удовлетворяет действующим требованиям даже для наиболее низких III−IV уровней молниезащиты ОЭ. В этой связи электрические сети наземных электроэнергетических объектов с рассматриваемой кабельно-проводниковой продукцией должны снабжаться соответствующими ограничителями перенапряжений и тока.

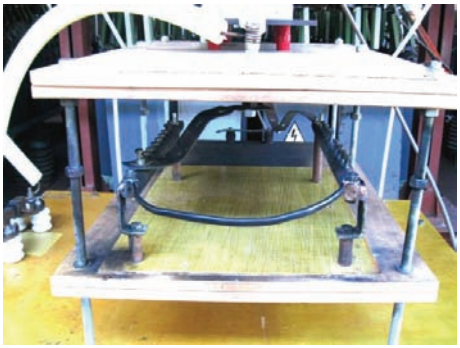


Рис. 7. Провод АППВнг2х6 до удара тока

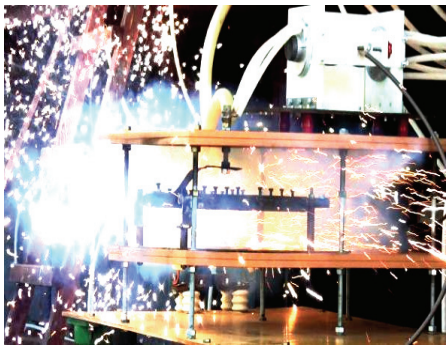


Рис. 8. ЭВ провода АППВнг2х6 током молнии

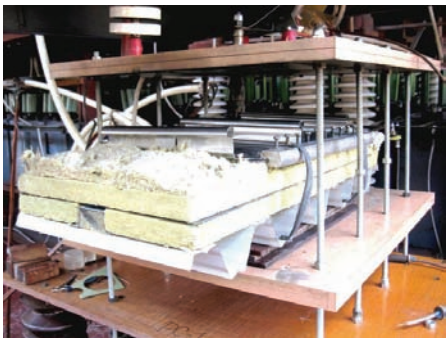


Рис. 8. Вид фрагмента кровли до удара тока

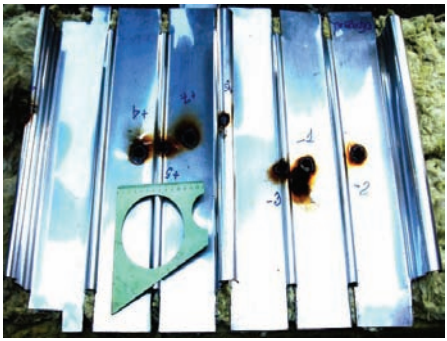


Рис. 9. Фрагмент кровли после ударов молнии

Отмечено, что в 2016 г. на экспериментальном полигоне НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» с помощью уникального генератора тока молнии типа ГТМ-10/350 для компании VINCI Construction Grand Projets i Bouygues Travaux Publics (Франция) были успешно выполнены сертификационные испытания на

молниестойкость тонкостенной стальной кровли (толщиной ~0,6 мм) с толстостенным утеплителем (толщиной ~250 мм) Нового Безопасного Конфайнмента 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС. На рис. 8 и 9 приведены общие виды фрагмента испытываемой на молниестойкость на мощном высоковольтном генераторе тока искусственной молнии типа ГТМ-10/350 данной кровли как до, так и после прямого воздействия на нее импульсов тока искусственной молнии с нормированными согласно требований международного стандарта IEC 62305-1: 2010 АВП. Полученные в ходе проведенных на генераторе тока искусственной молнии типа ГТМ-10/350 натурных сильноточных испытаний экспериментальные данные подтвердили молниестойкость указанной кровли с утеплителем Нового Безопасного Конфайнмента 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС.

Приведены технические характеристики измерительных средств (в частности, сильноточных коаксиальных шунтов и цифровых запоминающих осциллографов), используемых при определении АВП импульсов тока искусственной молнии, генерируемых в разрядных цепях ГТМ типа УИТОМ-1 (рис. 10 и 11).

Рис. 10. Измерительный шунт ШК-300М1

Рис. 11. Цифровые осциллографы Tektronix TDS

ОСНОВНЫЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМЫ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВЗРЫВЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПРОВОЛОЧКИ В ВОЗДУХЕ

Баранов М.И.

Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», г. Харьков

Приведены результаты инженерного расчета максимальных значений температуры T_m, давления P_m и скорости v_m распространения ударной волны в «металлической плазме», образующейся при воздушном электрическом взрыве (ЭВ) тонкой металлической проволочки под электротермическим действием протекающего по ней большого импульсного тока (БИТ). Показано, что при ЭВ в атмосферном воздухе тонкой медной проволочки, включенной в разрядную цепь высоковольтного генератора БИТ микросекундного временного диапазона, максимальные расчетные значения температуры T_m, давления P_m и скорости v_m в плазменных продуктах взрыва этой проволочки могут достигать численных значений соответственно в несколько десятков тысяч градусов кельвина, сотен атмосфер и тысяч метров в секунду. Сформулированы технические условия для получения при ЭВ в атмосферном воздухе тонкой металлической проволочки «рекордных» (наибольших) значений температуры T_m, давления P_m и скорости v_m ударной волны в локальной зоне ее взрыва под воздействием БИТ. Данные условия касаются как геометрических параметров металлической проволочки, так и электрических параметров разрядной цепи высоковольтного генератора БИТ. Полученные при определенных допущениях теоретические результаты для искомых величин температуры T_m, давления P_m и скорости v_m хорошо коррелируют с известными экспериментальными данными из области ЭВ тонких металлических проволочек под воздействием БИТ нано- и микросекундной длительности. Приведенные результаты будут способствовать определенному расширению возможностей электротехнологического применения явления ЭВ в атмосферном воздухе тонких металлических проволочек под действием импульсного тока большой плотности.

Получены новые формулы для приближенного расчета максимальных значений температуры T_m, давления P_m и скорости v_m распространения ударной волны в «металлической плазме», возникающей при ЭВ в атмосферном воздухе тонкой металлической проволочки под воздействием протекающего по ней БИТ. Показано, что для случая воздушного ЭВ круглой медной проволочки радиусом $r_0 \approx 0{,}1$ мм и длиной $l_0 \approx 110$ мм в разрядной цепи высоковольтного генератора с мощной конденсаторной батареей ($W \approx 147$ кДж), формирующего на активно-индуктивной нагрузке затухающий синусоидальный БИТ микросекундной длительности ($I_{m1} \approx 190$ кА; $\omega \approx 26{,}18 \cdot 10^3$ с$^{-1}$; $\delta \approx 16{,}76 \cdot 10^3$ с$^{-1}$), расчетные значения T_m, P_m и v_m могут достигать численных значений, равных соответственно $92{,}67 \cdot 10^3$ К, $343{,}7 \cdot 10^5$ Па и. 4020 м/с.

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗА ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯМ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ

Буряковский С.Г.[1], Маслій А.С.[2], Помазан Д.П.[2], Сафронов О.Е.[2], Туренко О.Г.[2]

[1]Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків
[2]«Український державний університет залізничного транспорту», м. Харків

З точки зору специфіки роботи певних накопичувачів енергії [1, 4], на транспорті можливе застосування наступних їх видів: пневматичні, надпровідні індуктивні, інерційні, електрохімічні (АКБ), суперконденсатори і проточні редокс-накопичувачі. Пропоновані накопичувачі енергії можливо застосовувати, як в системах електропостачання, так і безпосередньо на рухомому складі. При цьому існують свої переваги і недоліки. Основною перевагою застосування накопичувачів енергії на рухомому складі є зменшення втрат в контактній мережі при передачі енергії від рухомого складу до накопичувачів в режимі рекуперації і назад в режимі тяги, а також автономність транспортного засобу, що особливо важливо в разі аварії в системі електропостачання, можливість його використання на стикових ділянках з різними видами електрифікації або взагалі її відсутність.

Огляд існуючих різновидів систем гібридного тягового приводу локомотивів [2, 3] показав, що в таких системах використовують різноманітні схеми і елементи. Виходячи з аналізу цих систем, пропонується наступна узагальнена функціональна схема гібридного маневрового тепловозу (рис. 1).

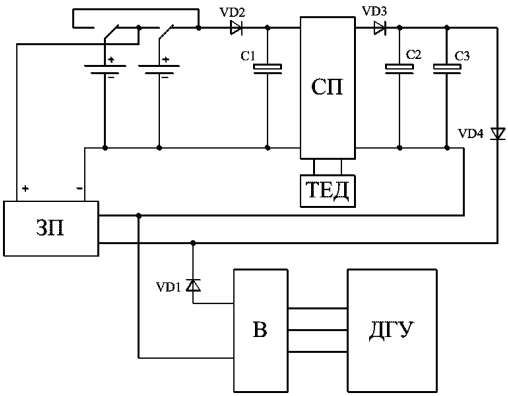


Рис. 1. Узагальнена функціональна схема гібридного маневрового тепловозу

Запропонована схема складається з дизель-генераторної установки ДГУ, випрямляча В, зарядного пристрою ЗП, статичного перетворювача СП, тягового двигуна ТЕД та двох накопичувачів енергії – акумуляторної та конденсато-

рної батарей. Дослідження роботи гібридного тепловоза пропонується виконувати з базовими ТЕД. На основі загальної функціональної схеми (рис. 1) в середовищі Matlab було складено імітаційну модель роботи гібридного тепловоза, де був застосований тяговий двигун постійного струму з широтно-імпульсною системою керування. Модель руху поїзда розроблена на основі структурної схеми з використанням профілю, що відповідає ділянці шляху Харків-Мерефа. При дослідженні роботи гібридного тепловозу на імітаційній моделі задавались тахограми з максимальними швидкостями в інтервалі 40-80 км/год з кроком 10 км/год. Використовуючи данні розрахунків побудовано залежності у вигляді тривимірних поверхонь витрати палива (рис. 2):

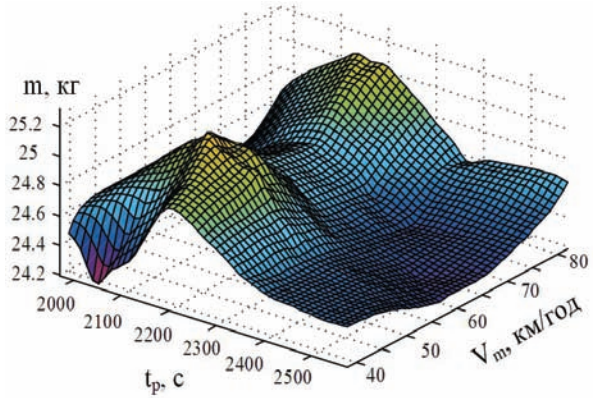


Рис. 2. Зміна витрат палива гібридним тепловозом в залежності від максимально швидкості

Отримана залежність витрат палива (рис. 2) дає змогу стверджувати, що тепловоз із гібридною силовою установкою є більш енергоефективним, ніж традиційний. Спостерігаються два явних максимуми при швидкостях 80 км/год та 50 км/год для трикутної діаграми з максимальною швидкістю 90 км/год. Величини цих екстремумів складають 25,11 та 25,09 кг відповідно. Зменшення витрат палива тепловозом знаходиться у межах 5,62-11,2 кг у порівнянні з традиційною системою, що складає від 18,7% до 31,3%.

Список літератури: 1. Офіційний сайт компанії «International Rectifier». URL: www.irf.com (дата звернення : 25.06.2018). 2. Собенін Л. А. «Устрій та ремонт тепловозів»: Підручник для поч. проф. освіти / Л. А. Собенін, В. І. Бахолдін, О.В. Зінченко, А.А. Воробйов. – М .: Видавничий центр «Академія», 2004. – 416 с. 3. Деніс І. В. Обґрунтування необхідності модернізації тепловозу ЧМЕ3 із використанням гібридної силової установки / С.Г. Буряковський, А.С. Маслій, Д.П. Помазан, І.В. Деніс // Електрифікація транспорту. – Дніпро: ДНУЗТ, 2016. – №12. – С. 82-85. 4. Любарський Б.Г. Порівняльний аналіз накопичувачів енергії для транспортних засобів / Б.Г. Любарський, В.П. Шайда, С.Г. Буряковський // Залізничний транспорт України, – 2015. – №2 – С.13-21.

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ТЯГОВОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ

Буряковский С.Г.[1], Маслий А.С.[2], Помазан Д.П.[2], Сафронов О.Э.[2]

[1] Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния», Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»», г. Харьков
[2]Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков

В качестве тяговых для маневрового тепловоза могут быть использованы двигатели постоянного тока (ДПТ), асинхронные (АД) и вентильно-индукторные (ВИД) двигатели. Каждый из представленных типов электромеханических преобразователей энергии имеет ряд преимуществ и недостатков, и, определив коэффициент желательности, можно наглядно определить наиболее приемлемый тип привода для данного конкретного случая. В качестве критериев, влияющих на показатель желательности, нами выбраны: 1 КПД тягового электропривода; 2 Электромагнитная совместимость; 3 Простота обслуживания и эксплуатации машин; 4 Простота изготовления; 5 Массогабаритные показатели.

На рис. 1 показана лепестковая диаграмма желательности для каждого из представленных типов электродвигателей.

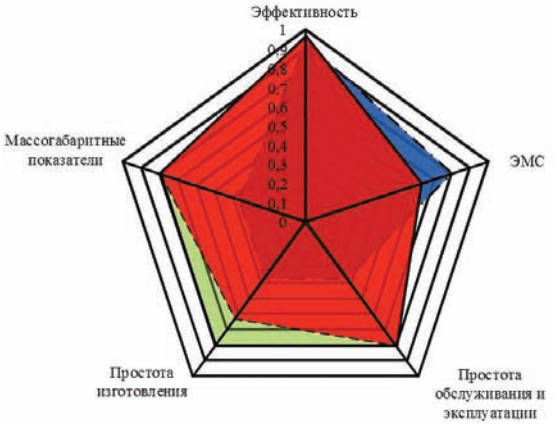


Рис. 1. Лепестковая диаграмма желательности

Список літератури: 1. Овчинников И.Е. Вентильные электрические двигателе и привод на их основе : учеб. пособие / И.Е. Овчинников. – СПб.: КОРОНА-Век, 2006. – 336с. 2. Ротанов Н.А. Электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями. : учеб. пособие / Н.А. Ротанов, А.С. Курбасов, Ю.Г. Быков и др. – М.: Транспорт, 1991. – 336 с. 3. Чиликин М.Г. Основы автоматизированного электропривода. : учеб. пособие / М.Г. Чиликин. – М.: Энергия, 1974. – 567 с.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕТІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ МАГНІТНИХ ПОЛІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Буряковський С.Г.[1], Маслій А.С.[2], Карпенко Н.П.[2], Маслій Н.В.[2], Помазан Д.П.[2]

[1] Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків
[2]Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

Дослідження нелінійних і неоднорідних магнітних полів зі складною геометрією пов'язано з величезним обсягом обчислень. З одного боку, зі збільшенням числа елементів дискретизації зростає точність наближення до безперервної області дослідження і, отже, точність рішення крайової задачі, з іншої – підвищується порядок розв'язуваної системи рівнянь, що підвищує трудомісткість обчислень.

Постійне магнітне поле, створене електричним струмом, підпорядковується рівнянням Максвелла:

$$rotH = \delta,\ H = \nu B,\ divB = 0\ , \tag{1}$$

де H – напруженість магнітного поля,
δ – щільність струму,
B – магнітна індукція.

Визначимо векторний магнітний потенціал A, який характеризується наступними рівняннями:

$$B = rotA,\ ,\ divA = 0\ . \tag{2}$$

Тоді (1) приймає вигляд:

$$rot(\nu rotA) = \delta,\ divA = 0\ . \tag{3}$$

До диференціального рівняння (3) необхідно додати крайову умову. Зазвичай ця умова береться у вигляді задачі Діріхле – краї досліджуваної області беруться досить далеко від струмопровідних підобластей, так що величину потенціалу на краях можна прийняти рівною нулю..

Список літератури: 1. Ruppert J. A Delaunay Refinement Algorithm for Quality 2-Dimensional Mesh Generation. NASA Ames Research Center, Submission to Journal of Algorithms, 1994. 2. Колобов М. Г. Гибридный накопитель энер-гии для транспорта / М. Г. Колобов, В. И. Климов, А. В. Дубинин, М. В. Москалев // Электричество. – 2011. – № 10. – С. 26–30.

ВИКОРИСТАННЯ ІНДУКТИВНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Буряковський С.Г.[1], Маслій А.С.[2], Помазан Д.П.[2], Туренко О.Г.[2]

[1] Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків
, [2]Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

Недоліком електричної енергії як енергоносія є неможливість накопичення енергії у достатній кількості. З розвитком електроенергетичних систем, зростанням потужностей агрегатів, що генерують енергію, стає все більш гострою проблема накопичення та зберігання енергії. Виправити цей недолік можливо шляхом створення накопичувачів енергії – реверсивних пристроїв для часткового або повного розподілення у часі вироблення та споживання енергії, що надходить з електроенергетичної системи, її зберігання та видача, за необхідності, зворотно до енергосистеми.

Надпровідникові індуктивні накопичувачі енергії у загальному випадку дозволяють отримати граничні значення щільності струму у активній зоні і тому мають найкращі масогабаритні показники. Такі типи накопичувачів можуть використовуватись як у автономних установках, так і у великих енергосистемах, оскільки вони здатні зберігати енергію довгий час.

Використання накопичувачів енергії у електроенергетиці дозволяє вирішити дві важливі задачі: знизити витрати на виробництво електроенергії та підвищити надійність енергосистем в цілому. Накопичувачі дозволяють демпфування піків навантаження (як імпульсних, так і довгострокових), що сприяє підвищенню стійкості енергосистем та підвищує їх надійність. Надійність та якість електроенергії, що досить важливо для енергетиків. Витрати зменшуються за рахунок згладжування піків навантаження та підтримання тим самим режиму турбогенераторів у області найвищого ККД (найменші витрати та найбільша продуктивність). Демпфування піків навантаження сприяє підвищенню стійкості енергосистем і, як наслідок, підвищує надійність, що є досить важливим аспектом роботи залізничного транспорту.

Список літератури: 1. Омельяненко В. И. Накопители энергии – перспективная технология для железных дорог / В. И. Омельяненко, В. Е. Бондаренко, Г. В. Омельяненко, Л. В. Оверьянова // Міжнародний інформаційний науково-технічний журнал «Локомотив-інформ». – Харків : Техностандарт, – 2011. – № 4. – С. 4–9. 2. Колобов М. Г. Гибридный накопитель энергии для транспорта / М. Г. Колобов, В. И. Климов, А. В. Дубинин, М. В. Москалев // Электричество. – 2011. – № 10. – С. 26–30.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗПОДІЛУ ХВИЛЕВОГО ОПОРУ НА НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВІДТВОРЕННЯ ОДИНИЦІ НАПРУЖЕНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ В GTEM-КАМЕРІ

Васильєва О.М., Макаров О.В.

ННЦ «Інститут метрології», м. Харків

Структурна схема відтворення напруженості електромагнітного поля в GTEM-камері наведена на рис. 1. Невизначеність цього відтворення складається з невизначеностей, пов'язаних з вимірюванням радіочастотної потужності, визначення характеристичного імпедансу GTEM-камери, відстані між центральним провідником і заземленою площиною, орієнтацією і розташуванням зонда. Неузгодженості збільшують невизначеність вимірювання переданої потужності.

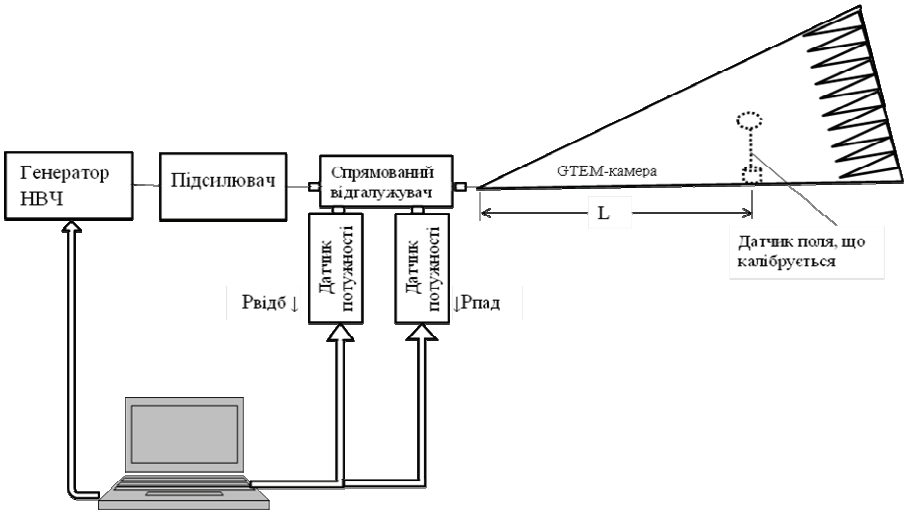


Рис. 1. Структурна схема еталонної установки відтворення одиниці напруженості електромагнітного поля у діапазоні частот від 10 кГц до 1 ГГц

Відтворене електромагнітне поле (ЕМП) обчислюється за формулою

$$E\frac{\sqrt{P\cdot Z_0}}{h}, \qquad (1)$$

де E – напруженість електричного поля;

P – потужність, що подається до входу GTEM-камери;

Z – хвильовий імпеданс GTEM-камери;

h – висота перетину робочої зони.

Відносну сумарну невизначеність напруженості E можна оцінити за формулою

$$\frac{u_C(E)}{E} = \sqrt{\left(\frac{u(P)}{2P}\right)^2 + \left(\frac{u(Z)}{2Z}\right)^2 + \left(\frac{u(Z)}{2Z}\right)^2 + \left(\frac{u(h)}{h}\right)^2 + \left(\frac{u(on)}{on}\right)^2}, \qquad (2)$$

де $u(k_f)$ – невизначеність визначення коефіцієнта корекції k_f на розподіл стоячої хвилі;

$u(on)$ – невизначеність, пов'язана з неточним визначенням положення on та орієнтації об'єкта (зонда) у GTEM-камері;

$u(P)$ – невизначеність визначення потужності P, що подається до входу GTEM-камери;

$u(Z)$ – невизначеність визначення хвильового імпедансу Z GTEM-камери;

$u(h)$ – невизначеність визначення висоти h перетину робочої зони.

Бюджет невизначеності для калібрування в GTEM-камері, представлено у табл. 1.

Таблиця 1 – Бюджет невизначеності для калібрування в GTEM- камері

Внесок	Похибка	Розподіл ймовірності	Ваговий коефіцієнт	Стандартне відхилення
Вимірювач потужності	±6,2 %	Прямокутний	0,5	3,6%
Неузгодженість 1	±0,9 %	U-образний	0,5	0,7%
Неузгодженість 2	±0,9 %	U-образний	0,5	0,7%
Загасання атенюаторів	±3,5 %	Прямокутний	0,5	2,1%
Характеристичний імпеданс	±2 %	Прямокутний	0,5	1,2%
Корекція розподілу стоячої хвилі	±2 %	Прямокутний	0,5	1,2%
Відстань розділу	±0,4 %	Прямокутний	1	0,3%
Орієнтація та позиціонування зонду	±1 %	Прямокутний	1	0,6%
Сумарний				2,4%

Як випливає з таблиці, основний внесок у невизначеність вносить вимірювання потужності, а також визначення хвилевого опору камери.

Здійснено оцінку невизначеності, що внесена характеристичним опором GTEM – камери. Існує два способи перевірки 50 Ом-го характеристичного імпедансу моделі TEM. Одним з них є використання аналітичних формул для отримання імпедансу з відомих геометрій. Інший – це збудження однократним одиночним імпульсом у вхідному порті моделі GTEM і спостерігання поширення імпульсів по лінії передачі. Результат аналітичного підходу є наближе-

ним і дає результати, які не обов'язково відображають реальну поведінку моделі GTEM. Другий метод є кращим, оскільки він безпосередньо пов'язаний з модельованою структурою. При моделюванні трапецієподібні імпульси напругою 1 В подають до вхідного порту моделі GTEM. Час зростання імпульсу – 1 нс, тривалість вершини – 10 нс, час спадання 1 нс, шпаруватість імпульсів – 1 мкс. Ці імпульси напруги показані на рис. 2. Отримані імпульси величиною 0,5 В вказують, що опір камери був близьким до опору джерела.

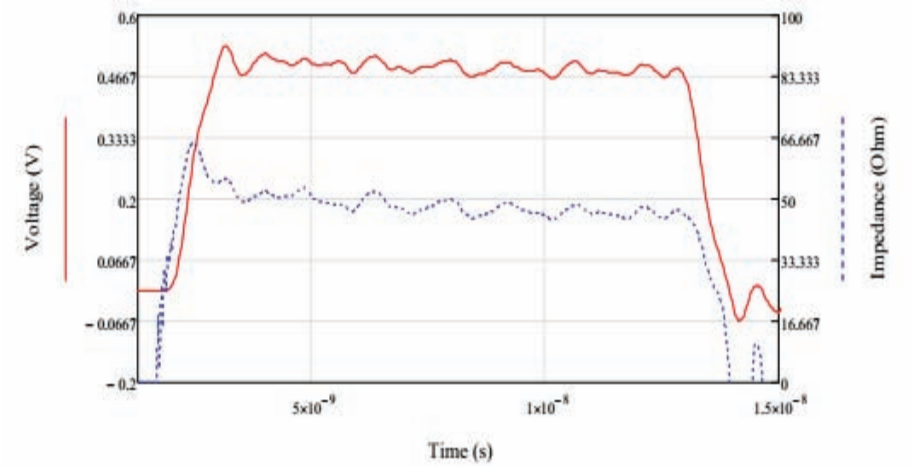


Рис. 2. Поширення трапецієподібних імпульсів напругою 1 В вздовж GTEM-камери

Напруга між перегородкою і підлогою була змодельована в місцях уздовж довжини перегородки, щоб дослідити амплітуду трапецієподібного сигналу, коли він рухається по перегородці до кінцевого резистора. Модель GTEM відповідає всім критеріям, оскільки: напруга 0,5 В поширювалася уздовж перегородки від ближнього кінця до далекого кінця, з чого можна заключити, що імпеданс моделі GTEM узгоджений з джерелом і лінією передачі. По-друге, фіксується лише незначний відбитий імпульс. Інформація про напругу, отриману при моделюванні, показує, що опір лінії передачі в моделі GTEM очікується приблизно на рівні 50 Ω.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ В GTEM-КАМЕРІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ

Васильєва О., Макаров О.В.

ННЦ «Інститут метрології», м. Харків

Розробник GTEM-камери фірма TESEQ, що використана для створення еталона в діапазоні частот 10 кГц – 1 ГГц, надає наведені нижче характеристики імпедансу камери.

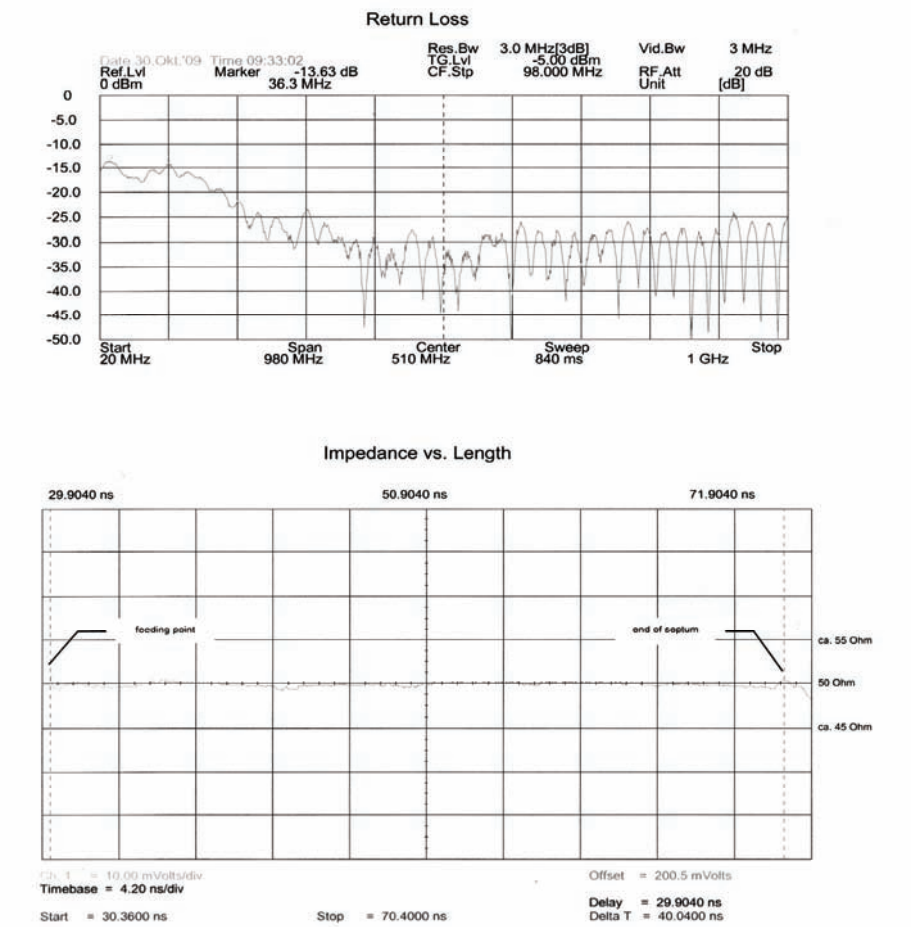


Рис. 1. Імпеданс GTEM-камери, наданий виробником

Наведений імпеданс близький до 50 Ом, але використання цих значень в розрахунку невизначеності відтворення напруженості електромагнітного поля без належного експериментального підтвердження неможливе.

Хвильовий опір GTEM камери здебільшого залежить від її геометричних розмірів (співвідношення висоти та ширини перегородки). Внаслідок недотримання співвідношення між висотою та шириною перегородки камери за рахунок технології виготовлення та неточного збирання камери величина хвильового опору має різні значення вздовж камери. Тому для зменшення невизначеності відтворення одиниці напруженості електромагнітного поля в камері GTEM, яка викликана відхилення хвильового опору камери від значення 50 Ом, необхідно провести дослідження розподілу хвильного опору вздовж камери GTEM та визначити ділянки камери, де значення хвильового опору має незначну нерівномірність.

Дослідження проводилися за допомогою аналізатора ланцюгів Keysight N9951A з функцією TDR (Time Domain Reflectometry) – рефлектометрії у часовій області. На рис. 2 подано скріншот розподілу значення хвильового опору вздовж усієї довжини камери GTEM 1500.

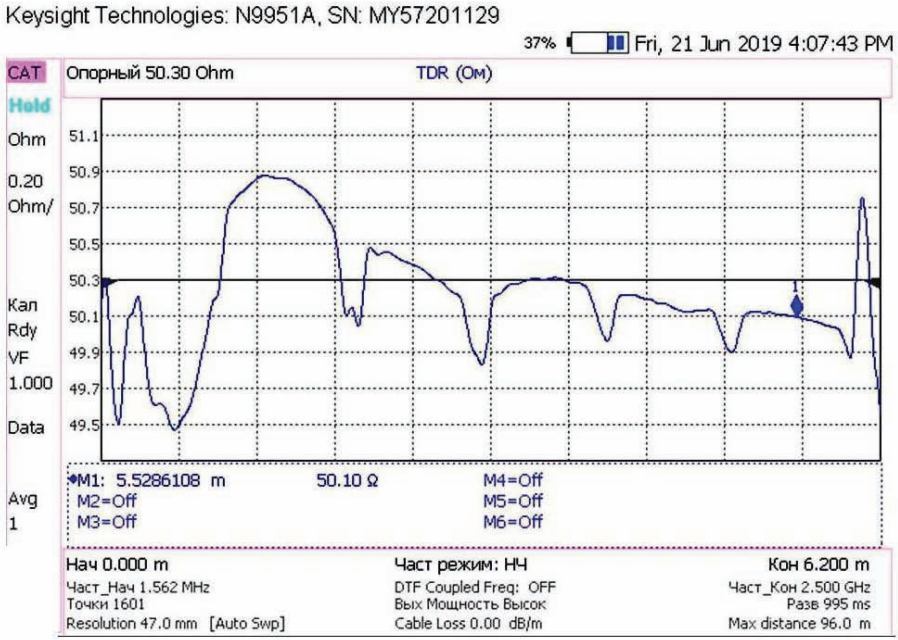


Рис. 2. Розподіл значення хвильового опору вздовж камери GTEM1500 TESEQ

Найбільш рівномірний розподіл значення хвильового опору камери спостерігається на відрізку від трьох до шести метрів від початку камери. Періодичні провали хвильового опору, які спостерігаються на рисунку 2, обумовлені технологією виготовлення камери, а саме способом з'єднання листів металу, з яких виготовлена перегородка камери.

На підставі проведення аналізу розподілу значень хвильового опору вздовж камери GTEM1500 зроблено висновок, що для зменшення невизначеності відтворення одиниці напруженості ЕМП необхідно використовувати ділянки перегородки камери на відстані від початку камери (дивись рис. 3):

– від 4,14 м до 4,85 м;

– від 5,12 м до 5,85 м.

Як видно з рисунку 3, нерівномірність значень хвильового опору на визначених ділянках складає менше 0,1 Ом. Це також підтверджує виміряні значення хвильового опору на цих ділянках, що наведені в табл. 1.

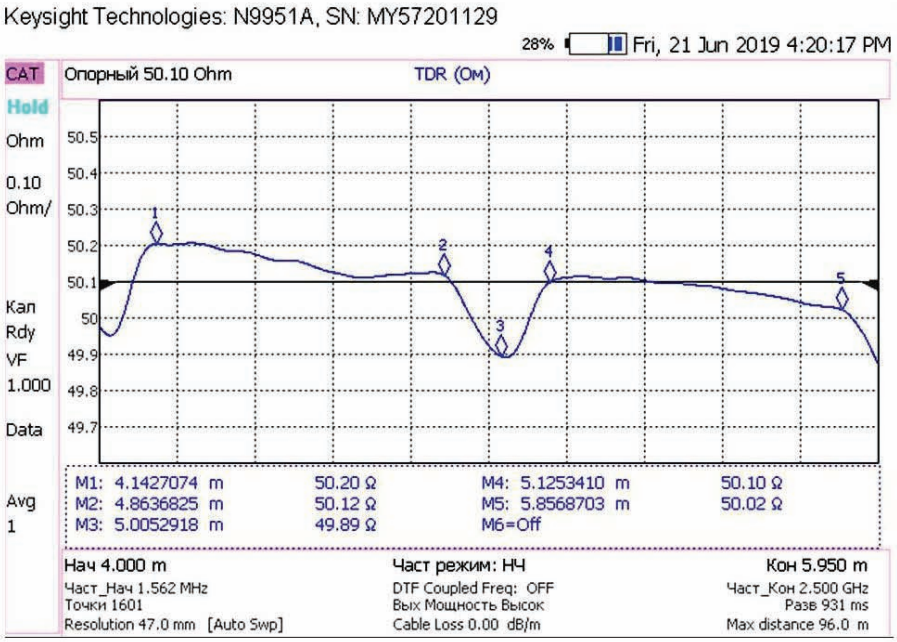


Рис. 3. Ділянки перегородки з незначною нерівномірністю хвильового опору

В ході досліджень також було вивчено вплив об'єктів калібрування на розподіл значення хвильового опору. Так в камеру GTEM 1500 поміщалися можливі об'єкти калібрування – датчик поля FL7006 та вимірювач напруженості поля NARDA NBM550 з датчиком EF0391. Якщо у випадку розміщення датчика FL7006 розподіл хвильового опору практично не змінювався завдяки

малому розміру датчика, то у випадку розміщення вимірювача NARDA NBM550 розподіл хвильового опору змінювався досить суттєво, що представлено на рис. 4.

Таблиця 1 – Значення хвильового опору на відстані від 4,14 м до 5,85 від початку камери

Відстань, м	Хвильовий опір, Ом	Відстань, м	Хвильовий опір, Ом
4,14	50,204	5,12	50,092
4,15	50,203	5,15	50,109
4,20	50,203	5,20	50,114
4,25	50,204	5,25	50,110
4,30	50,190	5,30	50,110
4,35	50,183	5,35	50,106
4,40	50,171	5,40	50,097
4,45	50,158	5,45	50,096
4,50	50,155	5,50	50,090
4,55	50,135	5,55	50,083
4,60	50,122	5,60	50,074
4,65	50,111	5,65	50,067
4,70	50,115	5,70	50,057
4,75	50,120	5,75	50,044
4,80	50,123	5,80	50,034
4,85	50,124	5,85	50,026

Ділянка між маркерами 1 і 3 (рис. 4) відповідає збуренню, викликаному розміщенням в камері вимірювача NARDA NBM550. Як видно з рис. 4, розміщення вимірювача в камері викликало зменшення хвильового опору приблизно на 0,3 Ом. З цього можна зробити висновок, що при відтворенні одиниці напруженості ЕМП в камері GTEM, з метою зменшення невизначеності відтворення, обумовленої відмінністю реального хвильового опору від номінального, необхідно провести вимірювання хвильового опору в площині вимірювань (тобто там де буде розміщено об’єкт калібрування) та врахувати отримане значення при визначенні еталонного рівня напруженості ЕМП.

Для проведення цієї процедури необхідно відкрити опцію TDR (опція 215) у аналізаторі ланцюгів N9951A. Проведені дослідження щодо врахування впливу об’єкта калібрування на розподіл хвильового опору і відповідно напруженості електромагнітного поля, результати яких визначають необхідність постійного контролю значення хвильового опору під час роботи еталонної установки, дають змогу мінімізувати невизначеність відтворення напруженості електромагнітного поля в камері GTEM. За результатами експерименту розширена невизначеність значення хвилевого опору може бути обмежена 0,1 Ом.

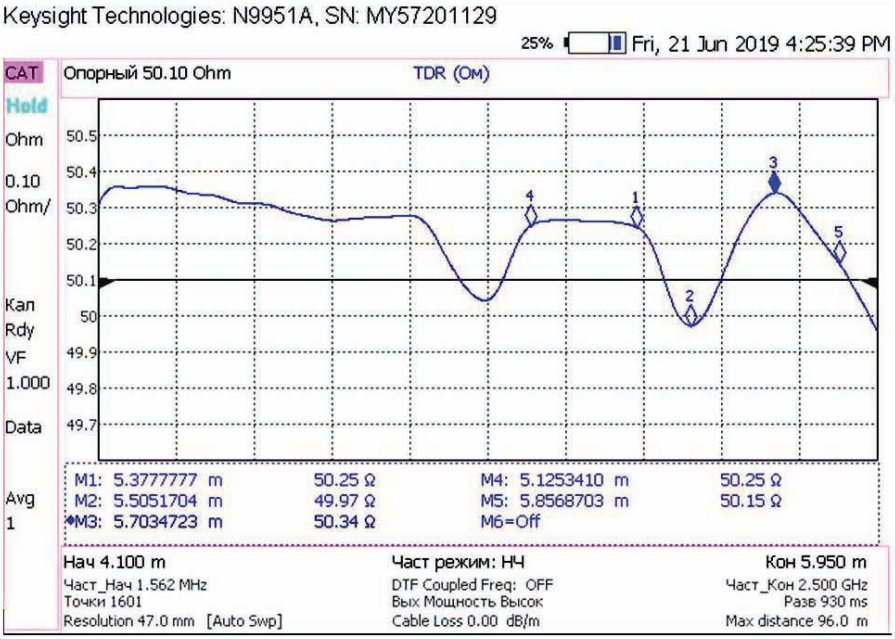


Рис. 4. Розподіл хвильового опору

Оцінювання невизначеності відтворення напруженостіеталонрної установки, що розробляється, в діапазоні частот 10 кГц – 1 ГГц

На основі приведеного розрахунку проведено оцінювання невизначеності відтворення напруженості еталона, що розробляється, з урахування особливостей передбачуваної методики проведення вимірювань.

При цьому були зроблені такі припущення щодо розподілу невизначеностей окремих складових:

– оскільки на даному етапі розробки можливо дати оцінки лише максимальних похибок вимірювань окремих складових, обрано прямокутний закон розподілу;

– вплив неузгодженості окремих елементів вимірювального тракту добре апроксимується U-образним розподілом.

СОСТОЯНИЕ И ПЛАНЫ ГАРМОНИЗАЦИИ БАЗОВИХ И РОДОВИХ СТАНДАРТОВ по ЭМС ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ, ВКЛЮЧАЯ ПРОДУКЦИЮ ЭНЕРГЕТИКИ В ТОМ ЧИСЛЕ АЭС

Горбенко И.В., Горбенко В.Н.

ООО НПП «СИГМА-М», г. Харьков

В докладе изложено следующее:

Действующие в настоящее время базовые и родовые стандарты по ЭМС (ДСТУ по ЭМС) для продукции всех отраслей промышленности (электронное и электротехническое оборудование), в том числе для продукции энергетики, включая продукцию для АЭС.

Состояние с гармонизацией базовых ДСТУ по ЭМС и планы по их гармонизации. Действующие в Украине методы по гармонизации ДСТУ к стандартам Европейского Союза: методом подтверждения (стандарт на языке оригинала – английский) и методом перевода.

Принцип включения заявок Национальным органом стандартизации (НОС) по гармонизации ДСТУ по ЭМС методом подтверждении, методом перевода в «Программу национальной стандартизации». Показано, как сформирована «Программа национальной стандартизации на 2019 г.» по гармонизации ДСТУ по ЭМС. Гармонизация базовых ДСТУ по ЭМС осуществляется методом подтверждения, что по нашему мнению принципиально неправильно, что будет показано в докладе, и будет предложено обратиться в НОС и Министерство экономического развития и торговли (МЭРТ) от имени конференции о необходимости гармонизации базовых ДСТУ по ЭМС методом перевода.

К чему привела ликвидация СОУ НАЕК 029:2012 «Сумісність технічних засобів електромагнітна. Технічні засоби для атомних станцій. Вимоги та методи випробувань» и планы по разработке нового СОУ НАЕК «Електромагнітна сумісність електротехнічного обладнання. Електротехнічне обладнання для атомних станцій. Вимоги та методики випробування».

О соответствии СОУ НАЕК 100:2016 «Інженерна, наукова і технічна підтримка. Інформаційні та керуючі системи, важливі для безпеки атомних станцій. Загальні технічні вимоги» действующим в настоящее время базовым стандартам по ЭМС.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УДАРА МОЛНИИ В ЭЛЕМЕНТЫ НАЗЕМНОГО СТАРТВОГО КОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Дронов В.Н., Князев В.В.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков

Разряд молнии чрезвычайно мощное электромагнитное явление, оказывающее дестабилизирующее влияние на все системы космодрома, содержащие в своей основе электронные, радиоэлектронные и электрические компоненты. Наиболее уязвимыми и опасными с точки зрения возможных негативных последствий являются системы автоматизированного контроля и управления. Кроме того, прямой удар молнии в ракету-носитель может привести к воспламенению топлива, в результате чего неминуемы значительные материальные потери и возможна гибель людей. Молниезащита космодрома создается с учетом всех возможных каналов воздействия. Однако, используемые технические средства в виде системы стержневых и тросовых молниеприемников не могут полностью исключить возможность прорыва молнии в ракету – носитель.

В работе представлена методика расчета вероятности удара молнии в различные элементы космодрома. Технический облик стартовой площадки принят аналогичным стартовой площадке космодрома Alcantara (Бразилия). Мачты размещены по углам квадрата со стороной 72 м. Каждая мачта имеет высоту 80 м и выполнена в форме пирамиды. Размер основания пирамиды 9х9 м. Между мачтами протянуты тросовые молниеприемники, имеющие провис 2 м. В центре стартовой площадки размещена башня обслуживания рядом с которой установлена ракета-носитель Циклон-4.

Расчетная оценка проведена с использованием программы «Защита-2» [1]. Установлено, что максимально возможная сила тока молнии, которая может поразить ракету, установленную на стартовом комплексе, с учетом всех его особенностей, достигает 6 кА. Вероятность прорыва молнии, у которой сила тока находится в диапазоне от 1 кА до 6 кА не превышает 0,05, в соответствии с данными о распределении вероятности появления молний с заданной силой тока, приведенными в стандарте IEC 62305-1:2011 [2]. Полученные в работе данные позволяют провести анализ устойчивости систем ракеты-носителя к прямому удару и обеспечить необходимый уровень устойчивости.

Список литературы: 1. Дронов В.М., Князєв В.В. Комп’ютерна програма «ЗАХИСТ-2». Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 63631 від 21.01.2016. Державна служба інтелектуальної власності України. 2. IEC 62305-1:2010 (Ed.2) Protection against Lightning – Part 1: General principles. – 72 p.

ЛИНИЯ С НАМАГНИЧЕННЫМ ФЕРРИТОМ КАК ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ СТЕНДА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ СИГНАЛОМ СВЕРХКОРОТКОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СО СЛОЖНЫМ СПЕКТРАЛЬНЫМ СОСТАВОМ

Карелин С.Ю., Магда И.И., Мухин В.С.

Институт плазменной электроники и новых методов ускорения ННЦ ХФТИ НАН Украины, г. Харьков

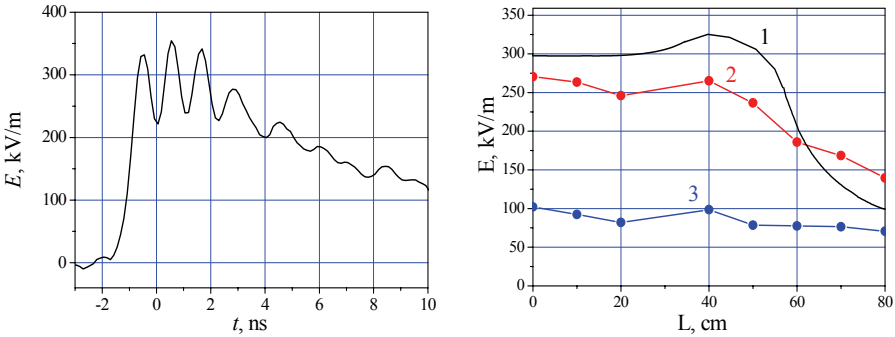
Исследования последних лет в области импульсной электроники привели к созданию уникальных устройств, производящих прямое преобразование энергии импульсных электрических сигналов в СВЧ колебания. При прохождении электрического импульса с крутым передним фронтом через передающую линию, частично заполненную ферритом, на ее выходе происходит образование ударной волны и ВЧ колебаний типа затухающей синусоиды [1, 2]. В работе [3] предложено использовать источник высоковольтного импульсного напряжения, основанный на данном эффекте, для питания стенда для тестирования на электромагнитную совместимость и стойкость (ЭМСиС), что даёт возможность тестировать объект не только видеоимпульсом, но гармоническим либо комбинированным сигналом сверхкороткой длительности (СКД). Комбинированный сигнал представляет собой однополярный импульс СКД с ВЧ компонентой типа затухающей синусоиды, его форма приведена на рис.1.

В основу создаваемого испытательного стенда ЭМСиС положена структурная схема стенда TS-6, описанного в [4]. Новый стенд также представляет собой полосковую линию с широким (0,5 м) заземленным нижним электродом, в которой с помощью высоковольтного источника импульсов СКД формируется импульсное ЭМП, имеющее структуру бегущей ТЕМ волны со сверхширополосным частотным спектром. Размер области полосковой линии, предназначенной для ЭМСиС тестов ДхВхШ – 1.1×0.7×1.0 м.

Модификация испытательного стенда TS-6 состоит в замене источника высоковольтного импульса на основе трансформатора Тесла и ДФЛ, создающего однополярный импульс СКД, на формирователь на основе линии с ферритом [2], создающий комбинированный сигнал СКД. При напряжении постоянной составляющей импульса на уровне 150…300 кВ амплитуда и частота переменной компоненты может задаваться в пределах 0…100 кВ и 0,8…1,5 ГГц, соответственно. На нижнем электроде ТЕМ ячейки установлены емкостные датчики электрического поля с кабельной линией передачи, регистрирующие вертикальную компоненту напряженности электрического поля ТЕМ волны.

Измеренная в эксперименте напряженность электрического поля в центре ТЕМ ячейки (рис. 1, *а*) соответствует форме импульса, формируемого ис-

точником высоковольтного напряжения на основе линии с ферритом [2], что свидетельствует, что сопряжение источника и ТЕМ ячейки выполнено удовлетворительным образом (коэффициент отражения 1.22). Напряженность электрического поля однородна в центре ТЕМ ячейки (рис. 1, *б*), увеличивается вблизи края земляного электрода и затем монотонно спадает во внешней области. Это соответствует результатам расчёта с помощью пакета CST Microwave Studio, приведенным на том же рис. 1, *б*.



а *б*

Рис. 1. Импульс комбинированного сигнала напряженности электрического поля вблизи (5 см) от поверхности нижнего электрода ТЕМ ячейки (а) и зависимость постоянной и переменной компонент сигнала от расстояния от центра ТЕМ ячейки в поперечном направлении (б): 1 – постоянная составляющая (расчёт), 2 – постоянная составляющая (эксперимент), 3 – переменная составляющая (эксперимент)

Таким образом, экспериментально и численными методами продемонстрирована возможность использования устройства на основе линии с намагниченным ферритом как источника питания стенда для тестирования на электромагнитную совместимость сигналом сверхкороткой длительности со сложным спектральным составом.

Список литературы: 1. J.E. Dolan. Simulation of shock waves in ferrite-loaded coaxial transmission lines with axial bias. J. Phys. D: Appl. Phys. 32, 1999, pp. 1826–1831. 2. J.-W. Ahn, S.Y. Karelin, H.-O. Kwon, I.I. Magda, V.G. Sinitsin. Exciting high frequency oscillations in a coaxial transmission line with a magnetized ferrite, Korean J. Magnetics, 2015, Volume 20, pp. 460–465. 3. S.Yu. Karelin, I.I. Magda, V.S. Mukhin. Stand for electromagnetic compatibility tests using a signal of ultrashort duration with a complex spectral composition. Problems of atomic science and technology. 2017. №6 (112), pp. 47–51. 4. B.V. Zagvozdkin, S.Yu. Karelin, I.I. Magda, V.S. Mukhin, I.M. Shapoval. The impact of impulse electromagnetic fields on personal computer and components. Problems of Atomic Science and Technology. 2017. Vol. 3 (68).

ВИМОГИ ЩОДО ОЦІНЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ РІВНЯ СТІЙКОСТІ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ДО ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД

Князєв В.В.

Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія» Національного технічного університету «*Харківський політехнічний інститут*», м. Харків

Багаторічний досвід випробувань свідчить про високу ймовірність нештатного функціонування зразків озброєння та військової техніки в наслідок впливу різноманітних електромагнітних завад. Визначення рівня несприйнятливості та його забезпечення є обов'язковим у зв'язку із широким застосуванням електронних систем керування, обробки даних, автоматизованого прийняття рішень тощо. Україна спроможна проектувати та створювати новітні зразки озброєння, військової техніки, унікальні зразки авіаційно-космічної техніки, які за технічними параметрами перевищують аналогічні зразки світових лідерів. Сучасні вимоги світового ринку включають обов'язкове експериментальне підтвердження рівня стійкості об'єктів до дії різноманітних електромагнітних впливів, параметри яких регламентовано відповідними стандартами. Інтеграція до світового ринку озброєння потребує впровадження в Україні повного циклу випробувань за стандартами ДСТУ НАТО АЕСТР 500:2017 та ДСТУ НАТО АЕСТР 250:2017, які набули чинності з 01.02.2018 року, та їх аналогами військовими стандартами США MIL STD 461G та MIL STD 464C, відповідно.

Значною мірою (за 14 основними видами) в нашому інституті вже реалізовано випробування підсистем та обладнання зразків озброєння та військової техніки за стандартом ДСТУ НАТО АЕСТР 500:2017. Це надає можливість здійснити перший етап оцінки відповідності, виявити «слабкі місця» та надати можливість розробнику своєчасно їх усунути. Для випробувань платформи в цілому (літак, пускова установка тощо) потрібен суттєво інший рівень обладнання – імітатори потужних електромагнітних завад з великими розмірами робочої зони. Серед випробувань, що регламентує ДСТУ НАТО АЕСТР 250:2017, у першу чергу слід реалізувати такі:

– Високоенергетичні високочастотні електромагнітні хвилі визначені у розділу 257;

– Електромагнітна електрика та блискавка. Ефекти блискавки (розділ 254);

– Електромагнітний імпульс висотного ядерного вибуху, параметри якого регламентує розділ 256.

Саме ці розділи є найбільш важливими для забезпечення високого рівня несприйнятливості систем озброєння та військової техніки до впливу будь яких електромагнітних завад. Без проведення відповідного комплексу випробувань не можливо гарантувати збереження боєздатності жодного зразку сучасної військової техніки в умовах бойових дій, особливо за використання засобів радіоелектронної боротьби.

МОЖЛИВОСТІ ВИПРОБУВАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ НДПКІ «МОЛНІЯ» ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ОБ‘ЄКТІВ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ В ГАЛУЗІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ

Князев В.В., Кравченко В.І.

Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків

В усіх розвинутих країнах активно проводяться дослідження щодо створення потужних деструктивних електромагнітних завад, спроможних виводити з ладу системи керування об’єктів озброєння та військової техніки (ОВТ). Крім того, об’єкти ОВТ піддаються інтенсивним електромагнітним впливам, наприклад, від радарів аеродромів, радіо та телепередавачів, прямого удару блискавки. Для космічної апаратури потужним деструктивним фактором є електростатичний розряд, що накопичується на обшивці в наслідок дії іонізуючих випромінювань космічного простору. Враховуючи принципову важливість, результати досліджень щодо параметрів таких електромагнітних завад узагальнено у відповідних міжнародних стандартах зокрема стандартах НАТО.

Об’єкти ОВТ, зазвичай, мають системи керування, які є високо інтегровані, тому в них важко розбити проблему на окремі частини з електромагнітної точки зору. Це обумовлює наявність складних проблем щодо забезпечення необхідного рівня стійкості до впливу потужних електромагнітних завад. Тому, достовірний висновок про фактичний рівень стійкості ОВТ до впливу завад природного та штучного походження можливо зробити лише на підставі відповідних випробувань об’єкту в цілому.

В НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПІ» створено та експлуатується комплекс імітаторів різноманітних потужних електромагнітних завад. Наявне унікальне високовольтне устаткування, що перебуває в розпорядженні випробувальної лабораторії, внесене до переліку наукових об’єктів, що становлять національне надбання України.

Технічне оснащення та компетентність фахівців НТУ «ХПІ» підтверджує той факт, що в інституті функціонує випробувальна лабораторія, яка має найвищий в Україні ступінь акредитації як незалежний та компетентний орган з оцінки відповідності технічних засобів вимогам електромагнітної сумісності. Випробувальна лабораторія НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПІ» акредитована Національним агентством з акредитації України за ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 (атестат акредитації № 20484 дійсний до 15 вересня 2024 року). Загальна кількість видів випробувань за параметрами ЕМС, які здійснюються на теперішній час становить 88. Наприклад, наразі в Україні випробування бортового авіаційного обладнання цивільного та військового призначення, систем керування процесами на атомних електричних станціях (СОУ НАЕК 100:2016) за параметрами електромагнітної сумісності здійснюється тільки в нашій випробувальній лабораторії.

ОТКРЫТАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ПЛОЩАДКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Князев В.В., Коваль А.Д.

Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» Национального технического университета «Харківський політехнічний інститут», г. Харьков

Измерение уровня электромагнитных полей, излучаемых транспортными средствами (далее испытываемое оборудование – EUT) с двигателями внутреннего сгорания, регламентируются рядом нормативных документов [1-3]. В рамках доклада рассмотрены требования к измерительной площадке.

Стандарт [1, приложение 4] регламентирует требования к открытой измерительной площадке (ОИП) в соответствии с рисунком 1. Стандарт [2, п.5.2.1] устанавливает, что ОИП должна быть зоной свободной от электромагнитных отражений в пределах круга радиусом не меньше 30 м с центром в средней точке между испытываемым транспортным средством и измерительной антенной. В этом случае, расстояние между антенной и транспортным средством должно быть 10 м, а пластина заземления не нужна.

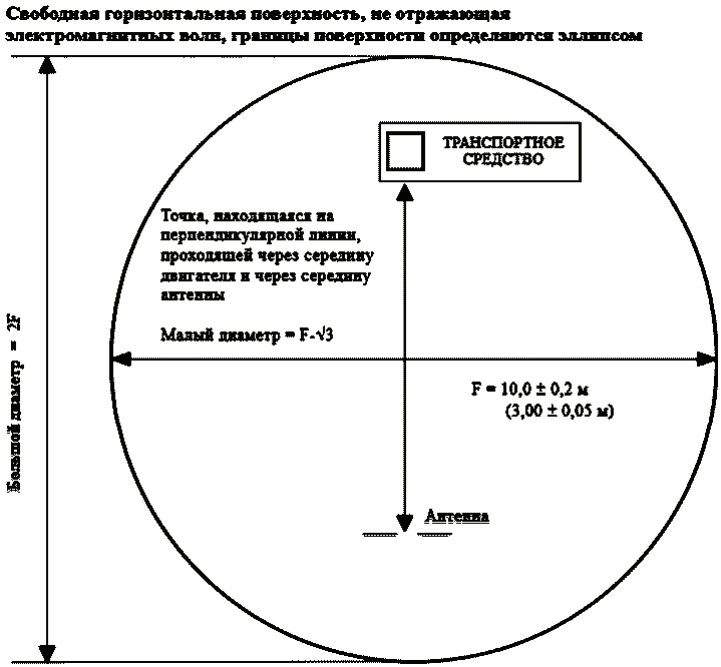


Рис. 1. ОИП по стандарту [1]

Базовые рекомендации для ОИП даны в стандарте [3]. Стандарт [3, п.5.2] устанавливает, что ОИП - это территория, характеризующаяся ровной поверхностью и наличием металлической заземленной плоскости. На таком испытательном участке не должно быть зданий, линий электропередач, заборов, деревьев и т.п. а также подземных кабелей, трубопроводов и т.п., за исключением случаев, когда это требуется для подачи и эксплуатации EUT. Одновременно, указывается, что, поскольку величина поля, рассеянного от объекта, зависит от многих факторов (размер объекта, расстояние от EUT, ориентация относительно EUT, проводимость и диэлектрическая проницаемость объекта, частота и т.д.), нецелесообразно указывать зону без препятствий, которая необходима и достаточна для всех применений. Размер и форма зоны, свободной от препятствий, зависят от расстояния измерения и от того, может ли быть повернуто EUT. Если площадка оборудована поворотным столом, рекомендуемой зоной отсутствия препятствий является эллипс с приемной антенной и EUT на двух фокусах, имеющий большую ось, равную двойному расстоянию измерения, и малую ось, равную произведению расстояния измерения на квадратный корень из 3 (см. рис. 2).

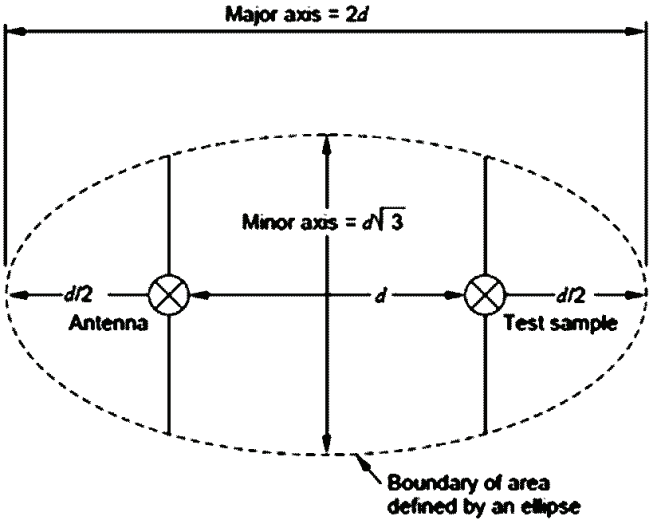


Рис. 2. ОИП при наличии поворотного стола [3, п.5.2]

Если площадка не оборудована поворотным столом, то есть EUT является стационарным или крупногабаритным, рекомендуемая площадь свободная от посторонних объектов является круговой областью, так что радиальное расстояние от границы EUT до границы области больше или равно расстоянию измерения, умноженному на 1,5 (см. рис. 3). В этом случае антенна перемещается вокруг ИО на расстоянии измерения.

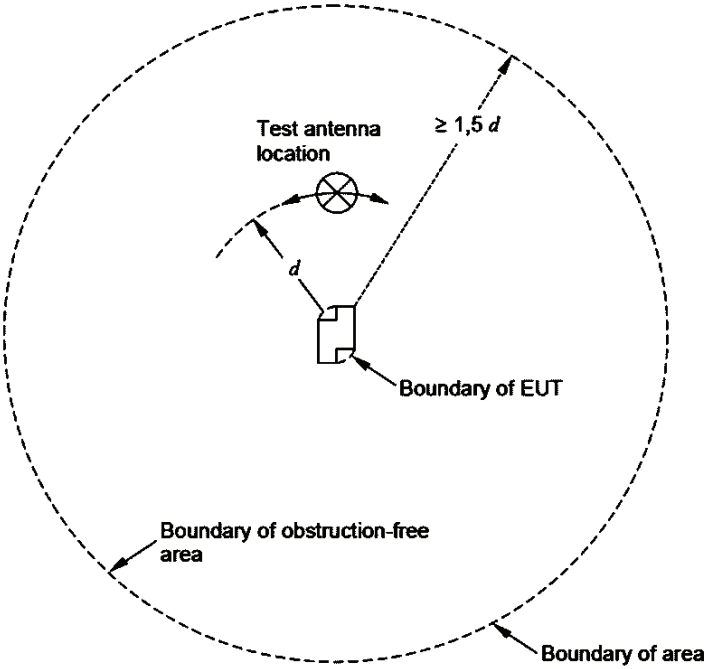


Рис. 3. ИОП для крупногабаритных EUT

С целью обеспечения возможности проведения измерений и испытаний независимо от погодных условий нами принято решение ИОП реализовать по варианту, представленному на рис. 3. При этом учтены следующие дополнительные условия.

Испытания могут проводиться в закрытых помещениях, если можно подтвердить соответствие между результатами, полученными в закрытом помещении, и результатами, полученными на открытой площадке. Закрытые помещения для испытаний могут не соответствовать требованиям в отношении размеров, предъявляемых к открытой площадке, за исключением требований, касающихся расстояния от антенны до EUT (транспортного средства) и высоты антенны.

Стандарт [3, D.2.1] рекомендует заземляющую плоскость выполнять из металла. Однако по практическим соображениям металлические заземляющие плоскости нельзя указывать для измерения всего оборудования. Допускается изготовление заземленных плоскостей, которые включают в себя сплошные металлические листы, металлическую фольгу, перфорированный металл, проволочную сетку и металлическую решетку. На заземляющей плоскости не должно быть пустот или промежутков с линейными размерами, которые составляют значительную долю длины волны при самой высокой частоте измерения. Рекомендуемый максимальный размер отверстия для перфорированных

металлических и решетчатых поверхностей заземления составляет 1/10 длины волны при самой высокой частоте измерения (около 3 см при 1000 МГц). Материал, состоящий из отдельных листов, рулонов или кусков, должен быть спаян или сварен по швам предпочтительно непрерывно, но ни в коем случае с зазорами, длина которых превышает 1/10 длины волны. Толстые диэлектрические покрытия, такие как песок, асфальт или древесина поверх металлических заземленных поверхностей, могут привести к неприемлемым характеристикам затухания на площадке.

В стандарте [3, D.2.2] указано, что критерий шероховатости Рэлея 0,15λ (λ минимальная длина волны) дает полезную оценку максимально допустимых величин. Для большинства практических испытательных площадок, особенно для 3-метровых расстояний, шероховатость до 4,5 см невелика для целей измерения в диапазоне до 1 ГГц. Еще большая шероховатость разрешена для участков 10 м и 30 м.

В [3, п.5.3.1] оговорено, что существует множество различных испытательных центров и сооружений, которые были сконструированы и использованы для проведения измерений излучения. Большинство из них защищены от погодных условий и неблагоприятных воздействий радиочастотной среды. Рекомендуется все стены и потолок оснащать соответствующим поглощающим материалом. Пол состоит из металлической плоскости заземления для эмуляции ОИТ. Тем самым обеспечивается изоляция приемной антенны от окружающей среды ВЧ и позволяет тестировать EUT независимо от погодных условий.

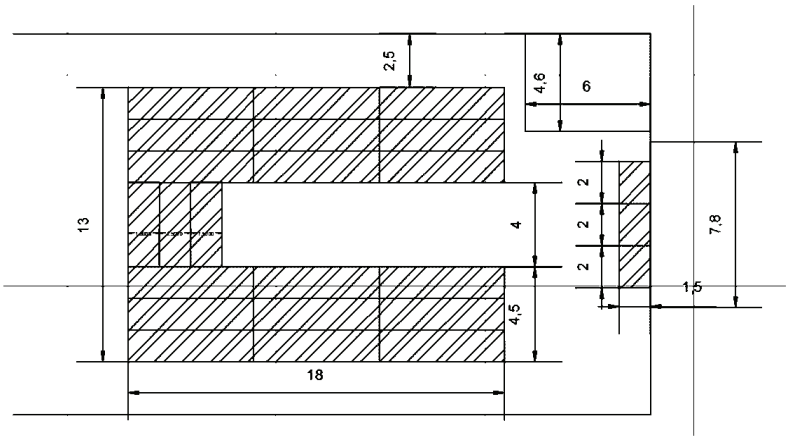


Рис. 4. Размещение заземленной плоскости внутри корпуса

Для размещения измерительной / испытательной площадки, предназначенной для крупногабаритных EUT (например, пусковая ракетная установка наземного базирования) выбрано помещение, расположенное в корпусе №4 на экспериментальной базе института вблизи поселка Андреевка Балаклеевского

района Харьковской области. Чертеж заземленной плоскости представлен на рис. 4, а фотография ее вида – на рис. 5.

Рис. 5. Фотография заземленной плоскости

Плоскость изготовлена из стальных листов размером 1,5х6 м^2 толщиной 5 мм. Листы сварены между собой сплошным швом. В нескольких местах прикреплены к полу анкерами. В средней части оставлена свободная зона, в которую будет заезжать транспортное средство. По результатам верификации площадки, возможно потребуется:

– эту зону накрыть сплошным металлическим листом. Учитывая значительный вес транспортного средства (до 40 т) потребуется толщина листа не менее 10 мм;

– стены и потолок помещения покрыть радиопоглощающим материалом вокруг зоны проведения измерений. Высота помещения 14 м, поэтому покрывать потолок нет необходимости.

Список литературы: 1. E/ECE/324/Add.9/Rev.5−E/ECE/TRANS/505/Add.9/Rev.5. Правила № 10 Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении электромагнитной совместимости. Организация объединенных наций. 2014.-172 с. 2. ДСТУ EN 55012:2017 Транспортні засоби, моторні човні та пристрої з двигунами внутрішнього згорання. Характеристики радіозбурень. Норми та методики вимірювання для захисту приймачів, розміщених поза рухомими засобами. – Київ, ДП «УкрНДНЦ, 2019. – 34 с. 3. CISPR 16-1-4:2017 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements. IEC, Geneva, Switzerland. – 532 p.

ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА TI-NRS01. СТРУКТУРА И ВЕРИФИКАЦИЯ

Князев В.В., Лесной И.П., Немченко Ю.С., Сомхиев С.Б.

Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», г. Харьков

Отечественные и зарубежные стандарты на ЭМС отдельных видов техники имеют множество одинаковых видов испытаний. Для их реализации используется уже имеющееся испытательное оборудование (ИО). Но в стандартах MIL-STD-461 (США) [1] и AECTP-500 (НАТО) [2] есть несколько видов испытаний, которые отсутствуют в других стандартах, и поэтому для этих видов испытаний необходимо создавать новое ИО. Одним из таких видов является вид RS101 (США) или NRS01 (НАТО). Содержание этих видов – испытания на стойкость ОВТ при воздействии на них синусоидальных магнитных полей в диапазоне частот от 30 Гц до 100 кГц.

Схема испытаний приведена на рис. 1. По этой схеме генератор G−NRS01 создает в петле излучения TI-NRS01-RL магнитные поля с уровнями по рис. 2 на расстоянии 5 см от ОВТ. Параметры петли излучения (w = 20, D = 12 см) приведены в стандартах, поэтому проектировать надо только генератор G-NRS01. Генератор вырабатывает синусоидальные токи, эквивалентные магнитным полям по рис. 2 (табл. 1).

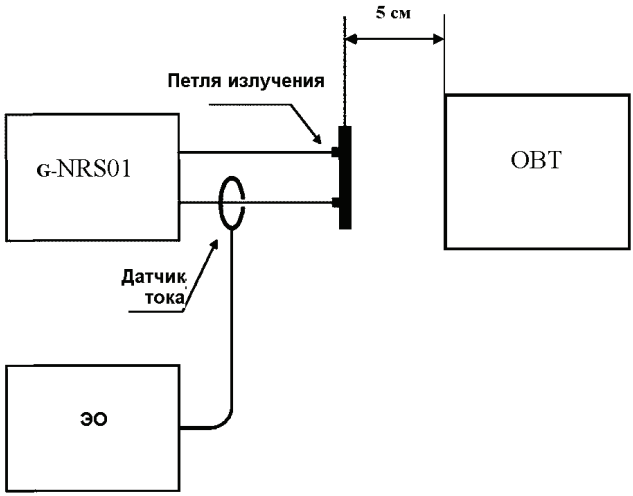


Рис. 1. Структурная схема установки TI-NRS01 для испытаний по виду NRS01

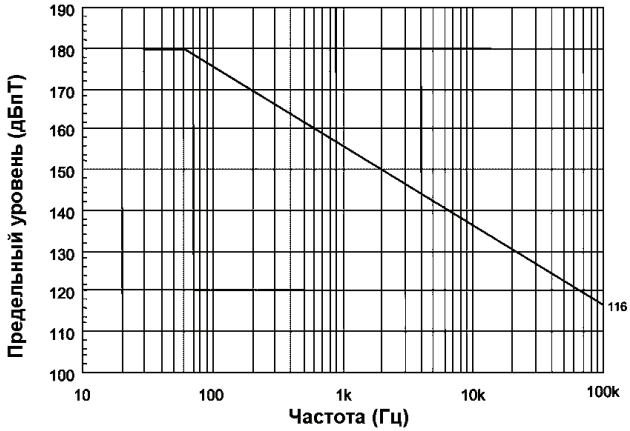


Рис. 2. Уровни испытательных низкочастотных магнитных полей

Таблица 1– Зависимость испытательных токов от частоты

f, Гц	30 – 60	100	200	1000	2000	10000	20000	50000	100000
B, дБ/рТ	180	176	170	155	150	136	131	123	116
B, рТ	10^9	$0{,}631\cdot10^9$	$0{,}316\cdot10^9$	$56{,}24\cdot10^6$	$31{,}62\cdot10^6$	$6{,}31\cdot10^6$	$3{,}55\cdot10^6$	$1{,}41\cdot10^6$	$0{,}631\cdot10^6$
I_B, А	10,526	6,642	3,326	0,592	0,332	0,066	0,037	0,015	0,0066

Структурная схема генератора G-NRS01 приведена на рис. 3. Генератор состоит из задающего генератора TI-NRS01-SS, усилителя мощности (УМ-400) и омической загрузки (САН). Контроль тока осуществляется при помощи измерительного резистора TI-NRS01-CP.

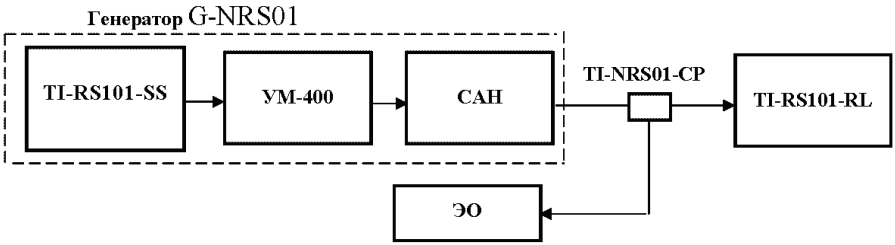


Рис. 3. Структурная схема генератора G-NRS01

Внешний вид установки TI-NRS01 приведен на рис. 4.

Так как в установке отсутствует прибор для прямого контроля испытательного магнитного поля, то применяется схема косвенного измерения, регламентируемая стандартом, при помощи петли измерения TI-NRS01-FML и селективного микровольтметра Unipan 237. При этом петля измерения (w = 51, D = 4 см) располагается на расстоянии 5 см от петли излучения (рис. 5).

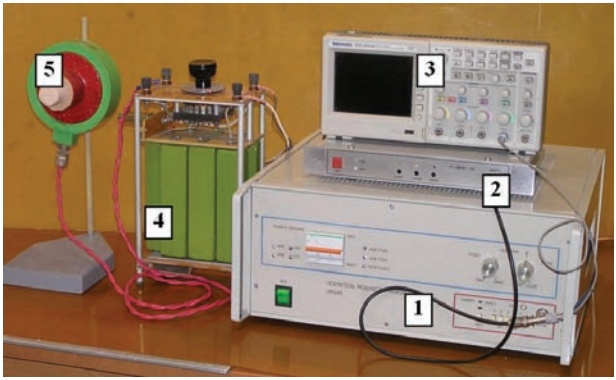


Рис. 4. Внешний вид испытательной установки TI-NRS01: 1 – усилитель мощности TI-NRS01-CP; 2 – задающий генератор испытательных токов TI-NRS01-SS; 3 – осциллограф; 4 – согласующая активная нагрузка САН; 5 – петля излучения TI-RS101-RL

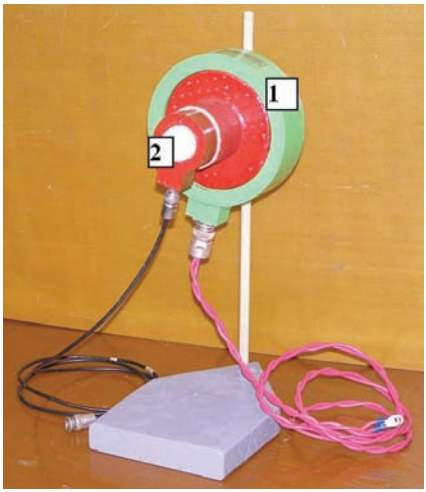


Рис. 5. Размещение излучающей петли (1) и измерительной петли (2)

Для легитимизации испытательной установки проведена ее верификация по СОУ 71.2–14102968–001:2018 [3] путем экспериментального определения НТХ выходных сигналов. Для синусоидальных магнитных полей НТХ характеризуются двумя величинами – F (Гц) и среднеквадратичным значением их величины $A_{СКЗ}$.

Процедура верификации заключается в измерении НТХ не менее чем на 10 частотах в диапазоне от 30 Гц до 100 кГц по 3 раза на каждой частоте. Результаты измерений заносятся в табл. 2.

По результатам измерений рассчитывают неопределенности:

– стандартную неопределенность категории А (u_A) – по формуле (1)

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{3}\left(A_i - \widetilde{A}\right)^2}{3(3-1)}}. \qquad (1)$$

где $\widetilde{A}$ – среднеарифметическое значение измеряемой величины;

– стандартную неопределенность категории В (u_B) – по формуле (2)

$$u_B = \frac{\theta}{\sqrt{3}}, \tag{2}$$

где Θ – систематические погрешности измерительных приборов;

– суммарную стандартную неопределенность (u_C) – по формуле (3):

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}\ , \tag{3}$$

– расширенную неопределенность U – по формуле (4):

$$U = 2u_C\ . \tag{4}$$

Установка TI-NRS01 прошла верификацию по вышеизложенной методике. Результаты верификации:

$$F = \widetilde{F} \pm 1\ \%\ ; \qquad A_{СКЗ} = \widetilde{A}_{СКЗ} \pm 2\ \%\ ;$$

при допуске на выходные параметры испытательного магнитного поля по частоте ± 2 %, а по величине ± 10 %.

Таблица 2 – Результаты измерений

Частота	$U_{СКЗ}$, В	F, Гц
F1	$U_{1\text{-}1}$	$F_{1\text{-}1}$
	$U_{1\text{-}2}$	$F_{1\text{-}2}$
	$U_{1\text{-}3}$	$F_{1\text{-}3}$
F2	$U_{2\text{-}1}$	$F_{1\text{-}1}$
	$U_{2\text{-}2}$	$F_{1\text{-}2}$
	$U_{2\text{-}3}$	$F_{1\text{-}3}$
F3	$U_{3\text{-}1}$	$F_{1\text{-}1}$
	$U_{3\text{-}2}$	$F_{1\text{-}2}$
	$U_{3\text{-}3}$	$F_{1\text{-}3}$
-	–	–
Fn	$U_{n\text{–}1}$	$F_{n\text{–}1}$
	$U_{n\text{–}2}$	$F_{n\text{–}2}$
	$U_{n\text{–}3}$	$F_{n\text{–}3}$

Список литературы: 1. MIL-STD-461G:2011 Department of defense interface standard. Requirements for the control of electromagnetic interference. Characteristics of subsystems and equipment. 2. AECTP 500:2016 Electromagnetic environmental effects tests and verification. Edition E Version 1 December 2016. 3. СОУ 71.2–14102968–001:2018 Верифікація випробувального обладнання, яке використовується для проведення випробувань на електромагнітну сумісність. Методика.

АВТОНОМНЫЙ ИНДИКАТОР ОПАСНОСТИ ГРОЗОВОГО РАЗРЯДА

Князев В.В., Лещенко В.М.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков

Развитие систем предупреждения о молниевой опасности в настоящее время в общемировом тренде. Возможные варианты построения таких систем описаны в работе [1]. Весьма перспективным направлением является использование индикатора грозовой обстановки, основанного на измерении числа стримеров с металлического стержня. Основные соотношения, связывающие число импульсов с напряженностью электрического поля тучи, изложены в работе [2]. В отличие от системы предупреждения представляется полезным разработка индивидуальных устройств, которые могут использоваться при массовых мероприятиях на открытой местности, в загородных коттеджах, на малых судах и тому подобных случаях. В основу индивидуального устройства положен микропроцессорный счетчик, который обеспечивает подсчет количества коронных разрядов в единицу времени на металлическом стержне определенной формы сечения и длины (условно названным антенной). На основании проведенных измерений выдается контактный сигнал о высокой вероятности возникновения грозовых разрядов.

Счетчик импульсов представляет собой отдельный электронный модуль (ML-FCSH) с автономным питанием, размещенный в металлическом герметичном корпусе, с установленными на нем разъемом входного сигнала и выходным сигнальным разъемом. Должен располагаться в непосредственной близости от приемной антенны коронного разряда. Также, счетчик содержит разъем для изменения параметров устройства (розетка Miro-USB 2.0) и два сигнальних светодиода, расположенных внутри корпуса под герметичной крышкой. Источником сигнала для счетчика импульсов, подаваемого на входной разъем, является датчик тока (шунт, трансформатор тока, пояс Роговского), установленный в цепи заземления приемной антенны.

В качестве цифрового управляющего устройства в схеме счетчика импульсов применен однокристальный микроконтроллер STM32F072. Этот элемент, помимо цифрового 32-разрядного вычислительного ядра, содержит все необходимые в данном случае периферийные устройства: аналого-цифровые преобразователи, аппаратный интерфейсный модуль USB, высокоскоростные цифровые порты ввода-вывода, внутреннюю флеш-память для хранения программ и данных. При этом обладает достаточно низким энергопотреблением.

Список литературы: 1. Kniaziev V.V. Thunderstorm warning system /V.V. Kniaziev, I.A. Postelnik // 8th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impuls Signals. -September 5 − 11, 2016 Odessa. 2. Князев В.В. Эффекты коронирования в условиях предразрядной обстановки / В.В. Князев, А.Ю. Чернухин // Сборник докладов IV Международной конференции по молниезащите. Санкт-Петербург, 27-29 мая 2014.- СПб.: Изд-во Политехн. ун-та., 2014. – с.62-70.

БАЗОВІ ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ У ДСТУ EN 62305

Коліушко Д.Г., Руденко С.С., Кіприч С.В., Глєбов О.Ю.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків

В Україні гармонізовано та введено у дію міжнародний стандарт з блискавкозахисту ДСТУ EN 62305: 2012. Окрім зміни підходів щодо розрахунку системи блискавкозахисту за цим стандартом, його повна імплементація ускладнюється відсутністю автентичного та затвердженого державними органами перекладу. Тому створення технічно грамотного автентичного перекладу вказаного стандарту є актуальною задачею.

Цій проблемі була присвячена низка публікацій співробітників НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПІ» (наприклад [1]). Авторам відомо, що наразі створенням такого перекладу займається ТК 315 «Засоби техногенної безпеки будівель і споруд». Проте, під час ознайомлення із запропонованим варіантом перекладу [2], виникла низка питань у частині узгодження термінології для існуючих в українських стандартах термінів. Порівняльний аналіз лише деяких з них наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз термінології у стандартах

п.	Англомовний варіант ДСТУ EN 62305	Існуюча термінологія в Україні (ПУЕ [3], ДСТУ [4] тощо)	У запропонованому в [2] перекладі
3.47	earth-termination system	заземлювальний пристрій, система заземлення	система земляного закінчення
3.46	down-conductor system	система струмовідводів	система доземних провідників
3.10	earth electrode	заземлювач	електрод уземлення; уземлювальні електроди
3.41	lightning protection	блискавкозахист	блискавкозахист
3.42	lightning protection system (LPS)	система блискавкозахисту (СБЗ)	система захисту від блискавки (LPS)
3.6	air-termination system	блискавкоприймач; система блискавкоприймачів	система перехоплення
3.15	natural air-termination	природний блискавкоприймач	природний блискавкоприймач
3.34	lightning electromagnetic impulse	електромагнітний імпульс блискавки	електромагнетний імпульс блискавки
3.27	.... electric discharge	електричний розряд	електрична виснага
3.3	..... to cloud	... до хмари	..... до тучі
3.49	..... by direct conductive connections	... безпосередньо провідниками	.... безпосередньо електричними злучниками
5.2.5	Metal sheets covering the structure to be protected provided that	Листи металу, які покривають будівлю (конструкцію), що захищається, за умови	Бляха, що покриває будівлю (споруду), яка захищається, за умови

Окрім того, що запропонований варіант перекладу вводить термінологію 20-х років минулого століття без широкого обговорення у суспільстві й узгодження з Міністерством освіти та науки, він суперечить сучасним термінам, які вже затверджені у базових стандартах України [3, 4] з інших галузей. Це створює небезпечний прецедент наявності неузгодженої термінології, а отже й двоякі тлумачення як стандартів, так і проектно-конструкторської документації у сфері забезпечення електробезпеки людей та надійності роботи обладнання.

До того ж, не проводилося широке обговорення за участю провідних організацій, наприклад НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПІ». При тому, що за останні 50 років наші спеціалісти здобули значний досвід роботи в указаній сфері: розроблено та впроваджено унікальні випробувальні установки, що імітують прямий удар блискавки, вперше в Україні розроблено стандарт СОУ 31.2-21677681-19:2009 «Випробування та контроль пристроїв заземлення електроустановок. Типова інструкція» (затверджений Міністерством палива та енергетики), за участю наших співробітників було вдосконалено глави 1.7 та 4.2 ПУЕ:2017 (які присвячені заземлювальним пристроям, у тому числі для системи блискавкозахисту), нашими фахівцями за останні 20 років виконано діагностику та розроблено рекомендації для реконструкції заземлювальних пристроїв та систем блискавкозахисту понад 1200 електричних станцій та підстанцій України (у тому числі чотирьох АЕС, 15 ТЕС, п'яти ГЕС, 90 підстанцій класом напруги 220 кВ – 750 кВ НЕК «Укренерго» та понад 900 підстанцій класом напруги 35 кВ – 150 кВ). Цінність досвіду та професіоналізм фахівців НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПІ» підтверджується запрошенням у 2019 р. зі сторони Білорусі для участі в обговоренні їхнього стандарту з блискавкозахисту (запрошення від ТК 315 для обговорення національного стандарту – не надходило).

Вважаємо, що затвердження україномовного варіанту ДСТУ EN 62305 неможливе при ігноруванні існуючої української термінології та думки вітчизняних фахівців, у тому числі з експлуатуючих організацій.

Список літератури: 1. Глєбов О. Ю., Кіприч С. В., Коліушко Д. Г., Коліушко Г. М., Резінкіна М. М. Терміни та визначення щодо блискавкозахисту ДСТУ EN 62305-Х діє до: 2012 // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка та електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – №51 (1160). – С. 25 – 40; http://vestnik.pp.ua/View/53203/ 2. Переклад ДСТУ EN 62305:2012 Режим доступу: http://tdsb.com.ua/dstu-en-62305/ 3. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х. : Видавництво «Форт», 2017. – 760 с. 4. ДСТУ 3429-96. Електрична частина електростанції та електричної мережі. Терміни

ТОПОЛОГИЯ ГРОЗОВЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ ЗЕМЛИ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗРЯДА МОЛНИИ

Кравченко В.И.

Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» Национального технического книверситета «Харьковский политехнический институт», г. Харьков

Определение грозовой электромагнитной обстановки (ГЭМО) формируемой грозовыми разрядами является одним из основных этапов в процессе обеспечения требований грозовой электромагнитной стойкости технических средств (ТС). В подавляющем большинстве случаев, определение ГЭМО сводится к определению ее параметров у поверхности земли. Однако, для объектов, таких как летательные аппараты, объекты ракетно-космической техники, эксплуатируемых в воздушном пространстве в процессе полета, важными являются определение значений параметров ГЭМО по высоте над поверхностью земли на всех этапах формирования грозы от ее начальной фазы предразрядного периода до завершающей стадии послесвечения.

Электрические поля предразрядного периода включают в себя поля предгрозового периода и лидерной стадии молнии.

Источником напряженности электрического поля предгрозового периода являются грозовые облака (тучи), несущие в себе скопление зарядов той или иной полярности, занимающих объемы в несколько кубических километров. Как правило тучи содержат три объемных заряда различной полярности, которые располагаются в грозовом облаке на различных высотах относительно поверхности земли. Обычно верхняя часть облака заряжена преимущественно положительно, а нижняя часть – отрицательно и у самой нижней кромки грозового облака в относительно небольшой области сконцентрированы заряды положительной полярности.

Наибольшее значение напряженность электрического поля *предгрозового периода* возникают непосредственно под облаком. По мере приближения к грозовому облаку напряженность электрического поля увеличивается и их значения в грозовом облаке колеблются в пределах от 10^5 В/м до $8{\cdot}10^5$ В/м. Значения напряженности электрических полей у поверхности земли под грозовым облаком составляют от 5 до 15 кВ/м.

При этом, электрическому полю предгрозового периода свойственно изменение не только в пространстве, но и во времени. В основном, изменение напряженности электрического поля предгрозового периода во времени связано с перемещением грозовых облаков над поверхностью земли за счет горизонтальных воздушных потоков (ветра) и восстановления зарядов в облаке

после разряда молнии. Как правило, перемещение грозового облака над поверхностью земли в горизонтальном направлении происходит со средней скоростью 40 км/час, и изменение напряженности электрического поля составляет $\Delta E_г$ = 10 кВ/м на расстоянии 2 км от облака. Тогда, $\left|\Delta E/\Delta t\right|_{ср} \approx 0{,}08$ кВ/(м·с).

Большие значения и скорости изменения во времени напряженности электрического поля характерны для *лидерной стадии* молнии.

Для первичного нисходящего лидера со среднестатистическими параметрами $\rho_л = 10^{-3}$ Кл/м, $H = 3\cdot10^3$ м и $v = 3\cdot10^5$ м/с величина $\Delta E_л$ у земли, непосредственно под лидером достигает значений порядка 200 кВ/м за время 100 мс, в течение которого головка лидера опускается до высоты 100 м над землей. Таким образом, средняя скорость изменения напряженности электрического поля в лидерной стадии имеет порядок $2\cdot10^5$ кВ/(м·с).

Следовательно, в предразрядный период можно ожидать возникновение напряженности электрического поля с максимальным значением от 5 до 200 кВ/м и средней скоростью изменения во времени от 0.1 до $2\cdot10^5$ кВ/(м·с).

В основу оценки грозовой электромагнитной стойкости летательных аппаратов в процессе их эксплуатации закладываются параметры ГЭМО, формируемой разрядом главной стадии молнии в ближней зоне до 100 м.

Методика определения параметров ГЭМО главной стадии молнии, разработанная в НИПКИ «Молния», позволяет регламентировать изменение по высоте значения напряженности электрического поля. Так, для среднестатистических параметров грозового разряда, на расстоянии 100 м от его канала значения его вертикальной составляющей изменяется в пределах от – 25 кВ/м у поверхности земли до +20 кВ/м на высоте 3 км от земли. Значения горизонтальной составляющей, соответственно, будут изменяться в пределах от +20 кВ/м до +7 кВ/м на высоте 0,5 км и, затем, возрастать до +20 кВ/м на высоте 3 км. Соответственно, значения горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля у поверхности земли имеет значение 30 А/м , а на высоте 3 км – 12 А/м.

Скорость изменения напряженности электрического поля на расстоянии 100 м составляет порядка $2\cdot10^{11}$ В/м·с при скорости обратного разряда $v = 10^7$ м/с и токе молнии 20 кА. Для магнитного поля результаты расчета скорости изменения имеют значения около $5\cdot10^7$ А/м·с при вышеприведенных параметрах тока молнии.

ДІАГНОСТИЧНА МОДЕЛЬ ШВИДКІСНОГО ЕЛЕКТРОПОЇЗДА

Крашенінін О.С., Буряковський С.Г., Одєгов М.М., Гузь В.В.

«Український державний університет залізничного транспорту», м. Харків

В останні роки досить інтенсивно Україна освоює швидкісний рух. На залізницях з'явився новий швидкісний рухомий склад (ШРС) що надійшов з-за кордону наряду з вітчизняним. Особливості конструкції і систем утримання цих локомотивів відрізняється від традиційної що прийнята в нашій країні.

Відповідно до цього в статті проаналізовано питання, щодо системи діагностування ШРС HYINDAI і запропоновано математична модель діагностування систем електропоїзда.

Затяжна економічна криза в Україні призвела до того, що залізничний транспорт почав ставати загрозою, що виражається втратою керованості, наростанням техногенної небезпеки для життя і здоров'я населення та навколишнього середовища.

Застаріла ремонтна база і втрата привабливості професії залізничника виникла не за один день. Цьому сприяла неспроможність до проведення не тільки декларативних реформ, а і перебудови основи залізниць – локомотивного господарства.

Світовий досвід показує, що без інвестицій реформування залізниць майже не можливе. Нехтування переозброєнням локотивобудівництва країни і одночасного переозброєння ремонтної бази призвело нинішньої ситуації.

Керівництво Укрзалізниці бачить вихід у придбанні закордонного ШРС і вантажних локомотивів, що в умовах падіння обсягів перевезення і конкуренції інших видів транспорту не гарантує ефективності цих кроків. В цих умовах залишається небагато шляхів виходу з кризи. На наш погляд, це інвестування вітчизняний рухомий склад і реанімація тих досягнень, що не справедливо забуті: комплексні системи діагностування, поточне діагностування обладнання рухомого складу.

Аналіз останніх досліджень. Закордоні фірми виробники рухомого складу все більше схиляються до рішення, щодо охоплення ремонтної інфраструктури підприємств, що експлуатують їх рухомий склад. За цих умов широко запроваджується моніторинг технічного стану обладнання рухомого складу, розробка вбудованих систем діагностування і само діагностування системи GPS і безпеки руху.

Фірми активно співпрацюють з академічними вишами, як з наукового боку так і підготовки фахівців для експлуатації ремонту і наукових досліджень [1].

В нашій країні питання підвищення техніко-економічних показників роботи залізничного транспорту впровадження ресурсозберігаючих технологій, висвітлені в дослідженнях Бутько Т.В., Бабаніна О.Б., Басова Г.Г., Боднара

Б.Є., Гетьмана Г.К., Голубенка О.Л., Горбунова М.І., Капіци М.І., Кельриха М.Б., Пузиря В.Г., Тартаковського Е.Д., Устенка О.В. та інших вчених.

Під керівництвом Тартаковського Е.Д., виконано цикл наукових робіт, щодо розробки методології визначення витрат життєвого циклу локомотивів.

За нинішніх умов актуальна стає задача для діючих і нових локомотивів визначати наукові підходи щодо технології ТО та ПР. Велика роль в цьому належить в комплексному обстежені технічного стану обладнання локомотивів за допомогою діагностичного обладнання.

Аналіз існуючих системи діагностування ШРСна прикладі HYINDAI [2] (рис. 1) і розробка математичної модель діагностування систем електропоїзда, яка дозволить отримувати необхідні дані щодо вибору системи обслуговування та ремонту в умовах України.

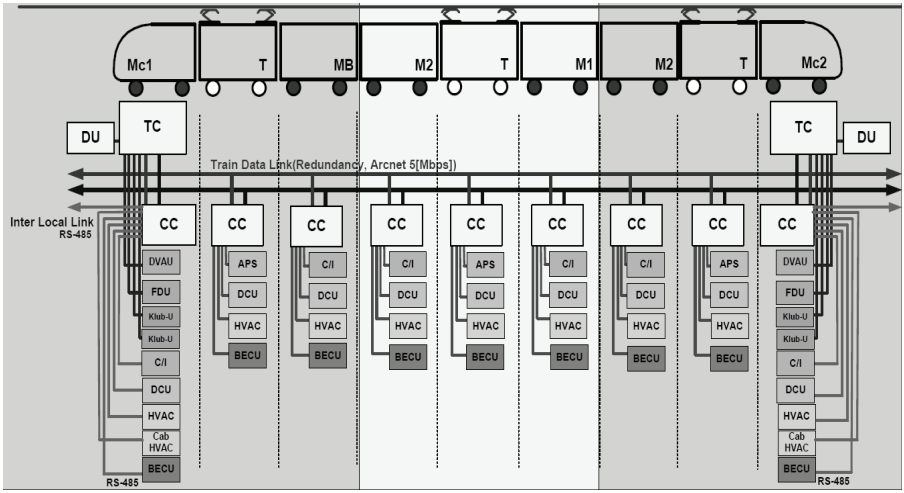


Рис. 1. Структура збору діагностичних даних для відтворення протоколів службам технічного обслуговування

Вважаємо, що інтеграція сучасного діагностичного обладнання з системою ТО та ПР надає можливості скорочення витрат часу простою рухомого складу. Підвищую ефективність його використання. За рахунок систем плинного діагностування обладнання та надання рекомендацій щодо виконуваних робіт обслуговуючим персоналом.

Список літератури: 1. Крашенінін, О.С. Обгрунтування тактики організації ремонту обладнання ТРС при подовженні терміну його експлуатації [Текст] / О.С. Крашенінін, М.М. Одєгов // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. - Харків, 2017. – Випуск 172. – С. 4-13.; http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/94
2. Система діагностики поїзда (TSM); http://scbist.com/tyagovyi-podvizhnoi-sostav/15946-obuchenie-dlya-ukrainskogo-elektropoezda-hyundai-rotem.html

ПРОБЛЕМИ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Кулаков О.В.

Національний університет цивільного захисту України, м. Харків

Резонансні пожежі на арсеналах та складах боєприпасів Збройних Сил України вимагають підвищеної уваги до забезпечення їх пожежної безпеки, зокрема захисту від влучення блискавки.

Відповідно з вимогами п.1.18 Правил [1] будинки, споруди та зовнішні установки у військових частинах повинні бути обладнані блискавкозахисними пристроями відповідно до вимог [2] та РД 34.21.122-87. З 01 січня 2009 року замість РД 34.21.122-87 введено національний стандарт ДСТУ Б В.2.5-38:2008, якій також запропонований до скасування з 26 серпні 2019 року на засіданні ТК 315 «Засоби техногенної безпеки будівель і споруд» (Протокол № 2-D від 21 травня 2019 року). З 01 серпня 2012 року «методом підтвердження» в Україні введено Європейські норми з улаштування блискавкозахисту [3-6]. Таким чином, блискавкозахист об'єктів Збройних Сил України здійснюється за вимогами норм [2] та [3-6].

Проведемо дослідження діючих методів розрахунку зовнішнього блискавкозахисту об'єктів Збройних Сил України.

Стандарт [4] пропонує управління ризиком для пошкодження об'єктів внаслідок влучення блискавки. Управління ризиком означає вибір можливих заходів захисту від блискавки з метою зниження ризику до допустимого або більш низького значення.

За рекомендаціями таблиці 5 стандарту [3] ймовірність того, що можливі параметри струму блискавки відповідають мінімально та максимально припустимим значенням для I рівня захисту складає 0,99, II рівня – 0,97 та 0,98, III рівня – 0,91 та 0,95, IV рівня – 0,84 та 0,95 відповідно.

Стандарт [5] пропонує застосування розрахункових методів захисного кута (protection angle design method), та сфери, що котиться (rolling sphere design method). В якості ефективного методу захисту пласких поверхонь, пропонується застосування захисних сіток (mesh method). Найбільш точним, з методів, що перелічено, вважається метод сфери, що котиться, який може буди застосований при проектуванні системи блискавкозахисту (або оцінці надійності існуючої) для будівель та споруд будь-якої складної форми. В основу цього методу покладено науково обґрунтоване уявлення про фізичну природу процесу орієнтування блискавки на об'єкт ураження. Дистанція, з якої блискавка може уразити об'єкт, залежить від величини потенціалу на головці лідеру блискавки, та знаходиться в межах від 10 м до 200 м. При цьому, зона ураження має форму півкулі.

Аналіз норм [2] дозволяє зробити висновок, що використаний в них ме-

тод слід вважати різновидом ймовірнісного методу, побудованим на принципах, що застосовувалися у скасованому РД 34.21.122-87. Але іншими є введені класифікації та математичний апарат.

Згідно [2] будівлі та споруди загальновійськового та спеціального призначення за ступенем необхідності блискавкозахисту поділяються на три категорії (I, II, III), при цьому найвищою є I категорія. Категорія об'єкту визначається залежно від його призначення, інтенсивності грозової діяльності в районі його розташування та очікуваної кількості поразок блискавкою в рік.

Для стрижневих та тросових блискавковідводів встановлюється тип зони захисту: А, Б або В, при яких будівля або споруда є захищеною з надійністю 0,9999, 0,999 або 0,99 відповідно. Розрахунок форми та розміру зон захисту, проводиться за оригінальними математичними формулами.

Для практичного порівняння при приблизно однакових умовах визначимо форму та розрахуємо розміри зони захисту одиничного стрижньового блискавковідводу (стрижня Франкліну згідно [3-6]) методом сфери, що котиться, [5], методом захисного кута [5] та ймовірнісним методом [2].

Припустимо, що висота одиничного стрижньового блискавковідводу $h = 20$ м.

За стандартом [5] найвищим є I клас системи блискавкозахисту. При застосування методу сфери, що котиться, радіус цієї сфери дорівнює $r_C = 20$ м (табл. 2 [5]).

При застосуванні методу захисного кута для блискавковідводу висотою $h = 20$ м I-го класу системи блискавкозахисту захисний кут $\alpha \approx 23°$ (рисунок табл. 2 [5]). З геометричних міркувань при цьому радіус конусу зони захисту $r_K = 7{,}6$ м.

I клас системи блискавкозахисту згідно [5] приблизно відповідає I категорії блискавкозахисту об'єкту, зоні захисту Б (надійність захисту 0,999) [2]. За вимогами розділу 5.2 [2] зона захисту одиничного стрижньового блискавковідводу висотою h являє собою круговий конус висотою h_{02} з радіусом основи r_{02}. Для блискавковідводу висотою $h = 20$ м конус зони захисту Б має розміри: $h_0 = (0{,}85 - 0{,}0009 \cdot h) \cdot h = 16{,}6$ м, $r_0 = (1 - 0{,}002 \cdot h) \cdot h = 19{,}2$ м.

На рис. 1 приведено переріз у вертикальній площині зони захисту одиничного стрижньового блискавковідводу, що розраховано:

– методом сфери, що котиться, [5] – вертикальний штрих,

– методом захисного кута [5] – нахильний вправо штрих,

– ймовірнісним методом [2] – нахильний вліво штрих.

Можливо зробити висновок, що найбільшим є захищуваний об'єм, що розраховано ймовірнісним методом [2], якій є обов'язковим для будинків, споруд та зовнішніх установок у військових частинах. Тобто вимоги до улаштування зовнішнього блискавкозахисту об'єктів Збройних Сил України є найменш жорсткими, що не є логічним – виходячи зі специфіки таких об'єктів, вимоги до улаштування їх блискавкозахисту повинні бути найбільш жорсткими з усіх відомих.

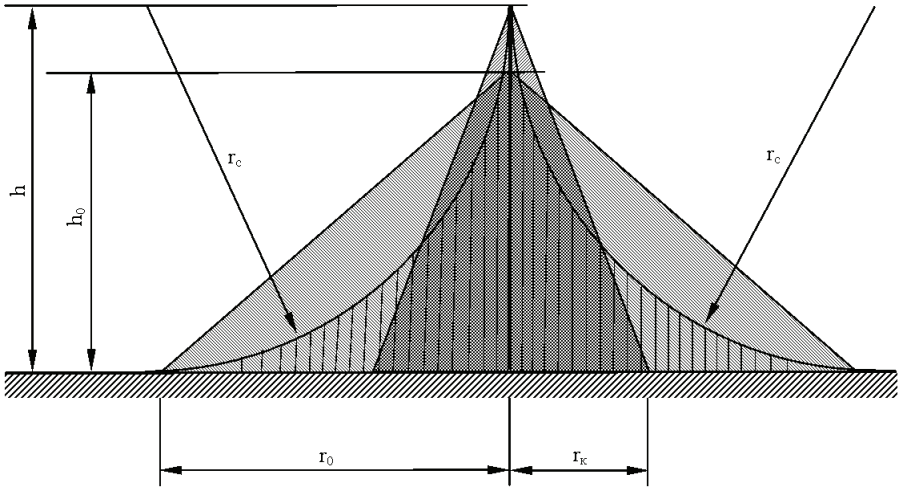


Рис. 1. Переріз у вертикальній площині зони захисту одиничного стрижньового блискавковідводу, що розраховано різними методами: метод сфери, що котиться, [5] – вертикальний штрих; метод захисного кута [5] – нахильний вправо штрих; ймовірнісний метод [2] – нахильний вліво штрих

Список літератури: 1. НАПБ 01.042-2007. Правила пожежної безпеки для військових частин, закладів, установ та організацій Збройних Сил України. Затверджено Наказом № 372 Міністра оборони України від 25.06.2007. 2. Инструкция по проектированию, устройству и эксплуатации молниезащиты и защиты от статического электричества зданий и сооружений Министерства обороны: ВСН 58-87. – [Введен 1987-11-01]. – Москва: Министерство обороны, 1987. – 113 с. – (Ведомственные строительные нормы). 3. Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи (EN 62305-1:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-1:2012. – [Чинний від 2012-08-01]. — (Національний стандарт України). 4. Захист від блискавки. Частина 2. Керування ризиками (EN 62305-2:2010, IDT): ДСТУ EN 62305-2:2012. – [Чинний від 2012-08-01]. — (Національний стандарт України). 5. Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні руйнування споруд та небезпека для життя людей (EN 62305-3:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-3:2012. – [Чинний від 2012-08-01]. — (Національний стандарт України). 6. Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах (EN 62305-4:2010, IDT): ДСТУ EN 62305-4:2012. – [Чинний від 2012-08-01]. — (Національний стандарт України

СПЕЦИФІКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕМС ЗАСОБІВ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Лазебний В.С., Оникієнко Ю.О., Пілінський В.В.

Національний технічний Університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Термін Інтернет речей (Internet of Things – IoT) означає систему, в якій різні пристрої та об'єкти, обладнані засобами мережної взаємодії, з'єднані з об'єднаною мережею Інтернет для обміну інформацією про стан об'єктів та сигналами керування в автоматичному або інтерактивному режимі.

Для з'єднання з мережею Інтернет застосовують як проводові з'єднання так і безпроводові з'єднання, наприклад із застосуванням технологій Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth, мобільного зв'язку різних поколінь тощо. Більшого поширення набули безпроводові з'єднання. Поява великої кількості безпроводових з'єднань призводить до ускладнення електромагнітної обстановки і, як наслідок, обумовлює необхідність забезпечити електромагнітну сумісність для пристроїв різних систем. Елементами Інтернету речей можуть бути певні функціональні вузли охоронних систем і системи в цілому, функціональні вузли засобів підтримування мікроклімату в приміщеннях різного призначення, лічильники води, тепла, електроенергії, системи керування автомобілів і інших транспортних засобів і інші прилади і системи. Це призводить до того, що щільність розташування пристроїв Інтернету речей в окремих місцях житлових і промислових районів може бути дуже великою, що призводить до дуже складної електромагнітної обстановки. Така ситуація на тепер нормативно ще не врегульована.

У цій роботі охарактеризовано деякі особливості забезпечення ЕМС стосовно широкого впровадження технологій IoT.

Розвиток системи IoT створює кілька нових завдань забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС). IoT, принципово стосується всіх шарів діяльності суспільства: розумні будинки і міста, електронне здоров'я, розумні мережі, розумне сільське господарство, інтелектуальні транспортні системи, логістика, промисловий контроль, моніторинг середовища, освіта, розваги та засоби масової інформації тощо.

Прогнозовано, що до 2020 року кількість відповідних пристроїв, які будуть розміщені майже скрізь у суспільстві досягне близько 25 мільярдів, що значно підвищить щільність їх розташування на одиницю площі до 10000 / км^{2,} а безпроводова частина глобального інтернет-трафіку може зрости до 75% [1].

Основні напрямки розгортання технологій IoT та виклики, які вони створюють у аспектах забезпечення ЕМС такі:

Робочі частоти. За прогнозом пристрої IoT працюють на значно вищих частотах, ніж наразі проводять стандартні випробування на емісію та несприйнятливість. У найбільш високочастотних системах передбачають радіо покриття у навколишньому середовищі на частотах приблизно до 30 ГГц і у приміщенні орієнтовно до 90 ГГц. Сьогоднішні стандарти з ЕМС визначають,

за окремими винятками, тестування на емісію та несприйнятливість до 18 ГГц. Таким чином, для широкого діапазону частот необхідно розробляти та модифікувати нормативні документи та обладнання, щоб охопити необхідні смуги частот [2].

Неліцензовані смуги частот. Неліцензовані смуги частот не потребують дозволу на використання. Такі діапазони завжди вимагають особливої уваги в аспектах забезпечення ЕМС, оскільки вони є відкриті для всіх без обмежень. Тому електромагнітна обстановка може бути суттєво відмінною між різними географічними районами і локальними зонами. У міських, промислових та інших зонах ці смуги, як правило, дуже насичені радіосигналами, що може створювати електромагнітні завади різного характеру, наприклад спотворення або часові затримки переданих даних.

Малопотужні широкосмугові мережі Малопотужні широкосмугові мережі (LPWAN – Low Power Wide Area Network) охоплюють велику кількість пристроїв, забезпечують низьке споживання енергії, та низькі експлуатаційні витрати. З аспектів забезпечення ЕМС пристрої малої потужності, близько розташовані із високою щільністю, є проблемними з двох причин. По-перше, висока щільність кількості пристроїв призводить до ускладнення електромагнітної обстановки. По-друге, пристрої малої потужності матимуть менше значення відношення сигнал-шум (SNR) для безпроводових з'єднань, що може характеризувати більшу вразливість до електромагнітних завад.

Таки виклики можуть бути найважливішими у сфері забезпечення ЕМС у зв’язку зі стрімким впровадженням технології IoT:

• Збільшення кількості безпроводових мереж малої потужності означає більшу вразливість до електромагнітних завад і більш високий рівень завад через більшу концентрацію пристроїв, розташованих поруч.

• Значне розширення робочих частотних діапазонів до кількох десятків гігагерц для IoT вимагає подальшого розроблення методології та обладнання для стандартних випробувань на випромінювання та несприйнятливість щодо ЕМС.

• Збільшення кількості безпроводових пристроїв зробить смуги неліцензованих частот значно більшими, ніж сьогодні.

Отже проблема забезпечення ЕМС у такому непередбачуваному середовищі, як IoT, потребуватиме нових способів і методів дослідження та планування додатково до традиційних - специфічних моделей електромагнітних завад [3], тобто вимагатиме особливої уваги з боку ЕМС-фахівців.

Список літератури: 1. Kia Wiklundh, Peter Stenumgaard, EMC Challenges of the Internet of Things, Electronic Environment, no. 1, 2017, pp. 13-15. 2. Beniamino Gorini [Електронний Ресурс] : ETSI TC-EE/ITU-T SG5 Workshop on “Towards Setting Environmental Requirements for 5G” / 23-11-2017 – Режим доступу: https://docbox.etsi.org/Workshop/2017/20171123_ITU_ETSI_ENV_REQ_5G/S02/EMC_FOR_5G_GORINI_EE-ITU.pdf 3. A. P. Mynster and P. T. Jensen, EMC for the IoT, Proceedings International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE - 2016, pp. 144-149, Wroclaw, Poland.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ ЗРАЗОК ГЕНЕРАТОРА TI- NCS08

Лісной І.П., Немченко Ю.С.

Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків

Принципово важливе значення для реалізації Концепції Державної цільової програми реформування та розвитку оборонно-промислового комплексу України на період до 2020 року, яку схвалено Розпорядженням КМУ №19-р від 20.01.2016 р., має впровадження в Україні стандартів НАТО, зокрема з електромагнітної сумісності (ЕМС). Ці стандарти регламентують вимоги за параметрами ЕМС до об'єктів військової техніки (ОВТ) та їх складових частин з урахуванням родів військ та призначення ОВТ. Забезпечення необхідного рівня несприйнятливості зразків ОВТ до дії потужних електромагнітних завад обумовлює підвищення обороноздатності України та сприятиме просуванню продукції національних виробників на міжнародні ринки.

Наказом Національного органу стандартизації від 26.12.2017 року №471 «Про прийняття національних нормативних документів, гармонізованих з нормативними документами НАТО» встановлено таке:

Прийняти національні нормативні документи, гармонізовані з нормативними документами НАТО, методом підтвердження як пробні з наданням чинності з 01 лютого 2018 року до 01 лютого 2021 року. У тому числі два стандарти в галузі ЕМС:

1. ДСТУ-П STANAG 4370 AECTP-250 Ed. C:2017.
2. ДСТУ-П STANAG 4370 AECTP-500 Ed. E:2017.

Слід відзначити, що вимоги вказаних стандартів НАТО значною мірою співпадають з вимогами аналогічних військових стандартів США [1, 2]. Таким чином, реалізація випробувань за стандартами НАТО, фактично забезпечить можливість оцінки відповідності ОВТ вимогам стандартів США, які є найбільш поширені у світі.

Стандарт AECTP 500:2016 узагальнює вимоги до обладнання ОВТ для таких родів військ: наземних, військово-морських, військово-повітряних, субмарин та космічних систем. Цей стандарт визначає 25 видів випробувань обладнання, яке встановлюється в ОВТ. Частина випробувань (у кількості від 5 до 10 видів, залежно від типу ОВТ) можуть бути проведені виробником обладнання, а інші (від 20 до 15 видів) повинні проводитись у незалежній акредитованій випробувальній лабораторії. Стандарт AECTP 500:2016 має таки чотири пакети видів випробувань: NCE (емісія власних кондуктивних радіозавад від обладнання у мережу електроживлення та комунікацій); NRE (емісія власних радіозавад у «ефір»), NCS (несприйнятливість до електромагнітних впливів кондуктивних завад) та NRS (несприйнятливість до електромагнітних полів).

Кількість випробувань у кожному пакеті залежить від виду ОВТ і складає взагалі для бортового обладнання літаків та субмарин 15 видів, для обладнання наземних та морських ОВТ – 13 видів, а для космічних систем – 7 видів.

Аналіз випробувальних можливостей НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПІ» свідчить про те, що зараз є спроможність виконувати у повному обсязі 14 видів випробувань, які регламентуються стандартом АЕСТР 500:2016. Реалізація інших 9 видів випробувань потребує створення нового випробувального обладнання, частина з якого вже знаходиться у стадії розробки. У тому числі, завершується розробка імітатора електромагнітного імпульсу висотного ядерного вибуху з такими амплітудно-часовими параметрами: напруженість електричного поля 50 кВ·м$^{-1}$, форма хвилі 2/23 нс, які у повної мірі відповідають вимогам виду випробувань NRS03.

В якості прикладу на рисунку представлено загальній вигляд експериментального зразка випробувального генератора, які розроблено у рамках виконання науково-дослідного проекту «Забезпечення відповідності озброєння та військової техніки України сучасним вимогам стандартів НАТО з електромагнітної сумісності», що фінансується Міністерством освіти і науки України на протязі 2017-2018 років.

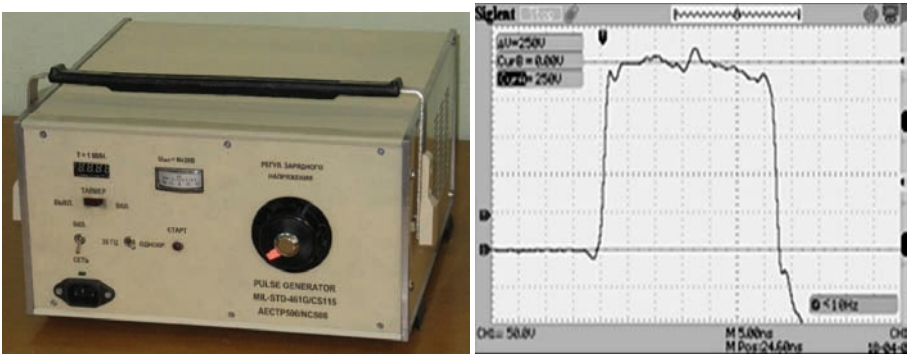


Рис. 1. Експериментальний зразок генератора TI- NCS08 та вихідний імпульс (час наростання та спадання 2 нс)

Список літератури: 1. MIL STD 464C:2010 Department of Defense Interface Standard – Electromagnetic Environmental Effects Requirements for Systems. – 165 p. 2. MIL-STD-461G:2011 Department of defense interface standard. Requirements for the control of electromagnetic interference. Characteristics of subsystems and equipment. – 269 p.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДЛЯ МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗУ

Маслій А.С., Карпенко Н.П., Туренко О.Г., Сафронов О.Е., Головко П.А.

Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

З розвитком напівпровідникової електроніки все більш широкого застосування знаходять вентильно-індукторні двигуни (ВІД). ВІД відноситься до класу синхронних реактивних машин з вентильним керуванням [1]. ВІД представляє собою сукупність електромеханічного перетворювача енергії – індукторної машини (рисунок 1,а) і електронного блоку керування. Необхідними частинами блоку керування є:

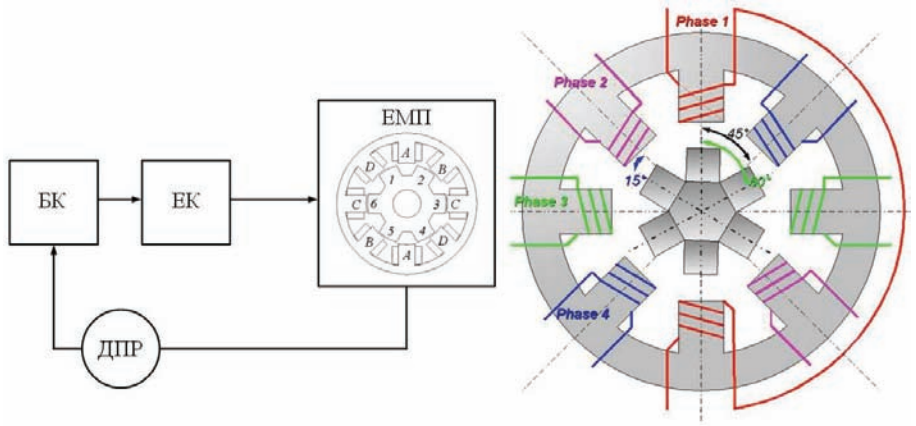
– блок керування (БК) комутацією, що містить алгоритм і систему керування електронним комутатором;

– датчики положення ротора (ДПР) і струму фази, які можуть виконуватися інтегрованими із блоком керування;

– електронний комутатор (ЕК), що забезпечує підключення обмоток індукторної машини до джерела живлення.

Принцип дії ВІД [3] базується на реактивній взаємодії зубців статора й ротора. Зубці ротора, під дією струму, що протікає в котушках фази, намагаються зайняти положення, що відповідає найбільшому значенню енергії магнітного поля, що відповідає режиму двигуна.

В якості електромеханічного перетворювача енергії був обраний чотирифазний ВІД, який має конфігурацію 8/6 та представлений на рис. 1, *б*.



а *б*

Рис. 1. Структура ВІД (*а* – функціональна схема, *б* – чотирифазний ВІД конфігурації 8/6)

Для математичного опису [2] такого ЕМП використовуємо систему диференційних рівнянь на основі рівнянь Лагранжа:

$$
\begin{cases}
\dfrac{di_A}{dt} = \dfrac{1}{\dfrac{\partial \Psi_A(i_A,\theta)}{\partial i_A}}\left(e_A - r_A i_A - \dfrac{\partial \Psi_A(i_A,\theta)}{\partial \theta}\cdot\omega\right); \\
\dfrac{di_B}{dt} = \dfrac{1}{\dfrac{\partial \Psi_B(i_B,\theta)}{\partial i_B}}\left(e_B - r_B i_B - \dfrac{\partial \Psi_B(i_B,\theta)}{\partial \theta}\cdot\omega\right); \\
\dfrac{di_C}{dt} = \dfrac{1}{\dfrac{\partial \Psi_C(i_C,\theta)}{\partial i_C}}\left(e_C - r_C i_C - \dfrac{\partial \Psi_C(i_C,\theta)}{\partial \theta}\cdot\omega\right); \\
\dfrac{di_D}{dt} = \dfrac{1}{\dfrac{\partial \Psi_D(i_D,\theta)}{\partial i_D}}\left(e_D - r_D i_D - \dfrac{\partial \Psi_D(i_D,\theta)}{\partial \theta}\cdot\omega\right); \\
M_{дв} = f(i_A, i_B, i_C, i_D, \theta); \\
\dfrac{d\omega}{dt} = \dfrac{M_{дв} - M_c}{J}; \\
\dfrac{d\theta}{dt} = \omega,
\end{cases}
\tag{1}
$$

де i_A, i_B, i_C, i_D – струми відповідних фаз статора;
ψA, ψB, ψC, ψD – потокозчеплення відповідних фаз;
eA, eB, eC, eD – напруга джерел живлення;
θ – кут повороту ротора;
ω – кутова швидкість;
Мдв – рушійний момент;
Мс – момент опору;
J – момент інерції ротора.

Для стаціонарного магнітного поля метод кінцевих елементів в двомірній розрахунковій моделі і прямокутній системі координат полягає в мінімізації нелінійного енергетичного функціонала. Для вирішення поставленого завдання використовувався програмний комплекс FEMM, що дозволяє розрахувати стаціонарні плоскопаралельні магнітні поля. За результатами розрахунку магнітного поля методом кінцевих елементів можна визначити потокозчеплення обмоток, а також величину електромагнітного моменту для подальшого їх використання в імітаційному моделюванні.

Список літератури: 1. Маслий А. С. Микропроцессорный вентильно-индукторный электропривод стрелочного перевода моношпального типа : дис. канд. техн. наук : 05.09.03 «Электротехнические системы и комплексы» / Артём Сергеевич Маслий. – Харьков, 2014. – 192 с., 2. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем / С. Г. Герман-Галкин. – Санкт-Петербург : КОРОНА-принт, 2007. – 320 с., 3. Рымша В. В. Моделирование и синтез реактивных и индукторных электромеханических преобразователей: дис. д-ра техн. наук : 05.09.01 / Виталий Викторович Рымша. – Одесса, 2004. – 336 с.

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА НАВЕДЕННЫХ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ НА КОМУНИКАЦИЯХ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ ПРИ УДАРЕ МОЛНИИ

Мельник С.И.[1], Князев В.В.[2]

[1] Институт радиофизики и электроники имени А. Я. Усикова НАНУ
[2] Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» НТУ «ХПИ» г. Харьков

Актуальность рассмотрения вопросов, связанных с методологией проведения расчетных оценок устойчивости элементов ракетно-космической техники, которые содержат в своей основе электронные, радиоэлектронные и электрические компоненты, к действию электромагнитных эффектов, сопровождающих молнию, обуславливается рядом объективных обстоятельств. Во-первых, широкое применение электронных компонент с постоянно снижающимся уровнем устойчивости в результате использования слаботочной элементной базы. Во-вторых, все более ответственные функции, которые возлагаются на устройства, содержащие эти компоненты.

В докладе представлены процедуры расчетной оценки наведенных токов и напряжений на кабельных линиях ракеты-носителя (РН) типа «Циклон-4» от воздействия молниевых разрядов (прямого и непрямого удара в ракету). Алгоритм действий при осуществлении расчетной оценки параметром токов и напряжений, которые могут с определенной вероятностью возникнуть на портах оборудования РН, аналогичен представленному в руководстве [1] (подраздел 5.3.1.5). Алгоритм включает следующие основные этапы: определение максимальной силы тока молнии, которая может миновать систему молниезащиты и ударить прямо в РН; расчет распределения тока молнии по конструкции РН; расчет электрического и магнитного полей, создаваемых внутри корпуса РН и непосредственно воздействующих на кабельные линии (КЛ); усреднение напряженностей полей вдоль трассы конкретной КЛ; расчет величины наведенного тока на КЛ; расчет напряжения на порту оборудования, к которому КЛ подключена. Вариант косвенного воздействия, рассчитывается с этапа расчета полей внутри корпуса РН.

Максимально возможная сила тока молнии, которая может поразить ракету, установленную на стартовом комплексе, с учетом всех его особенностей, достигает 6 кА [2]. Напряжение на согласованном порте для РК 75-4-11 (сопротивление связи 0,011 Ом/м – определено экспериментально) при длине КЛ 10 м, достигает 17 В.

Важно, что разработанная методология и примененные методы позволяют учесть реальную геометрию РН и трасу, по которой проложена КЛ.

Список литературы: 1. ECSS-E-HB-20-07A:2012 Hand Book for EMC / ECSS Secretariat ESA-ESTEC Requirements & Standards Division Noordwijk, the Netherlands. 2012. - P.228. 2. Дронов В.Н. Математическая модель удара молнии в элементы наземного стартового космического комплекса /В.Н. Дронов, В.В. Князев // настоящий сборник тезисов.

АПРОБАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗРАЗКА ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ВИПРОБУВАНЬ NCS10 ЗА СТАНДАРТОМ НАТО AECTP 500:2016

Мельников П.М., Чернухін О.Ю.

Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків

У доповіді містяться результати апробації експериментального зразку випробувального генератору, який забезпечує можливість проведення випробувань складових частин об'єктів озброєння та військової техніки на стійкість до впливу імпульсного електричного струму з амплітудно-часовими параметрами, що задані у стандарті [1] для виду NCS10. Під час апробації реалізовано комплексний підхід, який включає комп'ютерне моделювання процесів у розрядному колі та експериментальні дослідження нормованих параметрів струму генератору.

Вид випробувань NCS10 стосується оцінки несприйнятливості портів складових частин (EUT) об'єктів озброєння та військової техніки до перехідного процесу викликаного блискавкою (довга хвиля). Параметри імпульсного процесу такі: максимальне значення сили струму до 10 кА; максимальне значення напруги не більш ніж 2 кВ (внутрішній опір генератору має бути 0,2 Ом); час досягнення пікового значення 50 мкс; час на спаді при досягнені 50% від пікового значення 500 мкс. Для реалізації генератору використані конденсатори ИМ 2-5-140, у кількості 28 одиниць. Загальна ємність батареї 3920 мкФ. Для мінімізації внутрішнього опору генератору використано кільцеву схему з'єднання за роботою на одну навантагу. Особливість випробувань полягає у тому, що імпульс потрібно ввести до порту заземлення EUT. При цьому має бути досягнуто одного з вказаних лімітних значень, або сили струму, або напруги.

Розроблений генератор з усім допоміжним обладнанням успішно пройшов верифікацію за процедурою регламентованою стандартом [2].

Список літератури: 1. STANAG 4370 AECTP 500:2016 Ed. E v.1 Electromagnetic environmental effects test and verification // NATO Standardization Office, Brussels.-2016, 1125 P. 2. СОУ 71.2 – 14102968 – 001:2018 Верифікація випробувального обладнання, яке використовується для проведення випробувань на електромагнітну сумісність. Методика.

ВЕРИФИКАЦИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Немченко Ю.С., Князев В.В., Лесной И.П

Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», г. Харьков

До настоящего времени все испытательное оборудование (ИО) до начала эксплуатации проходило аттестацию по ГОСТ 24555 [1]. При этом определялись НТХ испытательного сигнала и погрешности воспроизведения, которые должны были соответствовать нормам испытаний с учетом допусков.

С 01.01.2019 в Украине действие стандарта [1] прекращено. Попытки разработать и внедрить аналогичный вариант ДСТУ не увенчались успехом. Аттестацию ИО заменили на верификацию, что обуславливается требованиями ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 для испытательных и калибровочных лабораторий. Верификация – это предоставление объективных доказательств того, что данное ИО соответствует требованиям стандартов на испытания. В основу этой процедуры также лежит требование – определение НТХ выходных сигналов, на основании которых рассчитываются неопределенности.

В Украине отсутствуют документы, регламентирующие порядок верификации ИО. Для устранения этих разногласий в НИПКИ «Молния» разработан стандарт СОУ 71.2 – 14102968 – 001:2018 [2].

Перед началом разработки СОУ проведен анализ отечественных и зарубежных стандарты на ЭМС, который показал, что для всех видов испытательных воздействий используются только 2 типа испытательных сигналов (ИС) – импульсные или синусоидальные различных видов. Импульсные сигналы характеризуются амплитудно-временными параметрами (АВП), а синусоидальные амплитудно-частотными характеристиками (АЧХ). Именно они и являются основными при определении НТХ.

Основным разделом СТП является экспериментальный раздел, в котором изложена методика определения НТХ по АВП или АЧХ. Для их определения в виду статистического характера ИС ИО, проводится серия генерирования этих ИС. На основании полученных результатов составляются таблицы для последующего определения НТХ и расчета по ним неопределенностей.

По результатам экспериментов выпускается протокол верификации, предлагаемое содержание которого содержится в СОУ, и результатом которого является выпуск аттестата о верификации ИО, форма которого также содержится в СОУ. Предполагается, что СОУ носит временный характер до появления Национальных стандартов по верификации ИО.

Список литературы: 1. ГОСТ 24555-81 СГИП. Порядок аттестации испытательного оборудования. Основные положения. 2. СОУ 71.2 – 14102968 – 001:2018 Верифікація випробувального обладнання, яке використовується для проведення випробувань на електромагнітну сумісність. Методика.

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ ПРИСТРОЇВ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ У ПРИМІЩЕННІ

Пілінський В. В., Ратушний О.С., Тітков Д.В.

Національний технічний Університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Теперішнім часом внаслідок стрімкого розвитку безпроводових технологій обміну даними зростає кількість пристроїв, що використовують ці технології, як основній вид передавання й приймання інформації, тому проблема забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) радіоелектронних засобів безперервно зростає [1]. Застосування радіоелектронних пристроїв у технології Інтернету Речей (IoT), що набуває широке впровадження – ще один суттєвий фактор у сфері забезпечення ЕМС.

2015 ріку орієнтовно 14 мільярдів пристроїв реалізують взаємний зв'язок, на 2018 рік їх кількість досягла 20 мільярдів. За такими темпами зростання можна припустити що на 2020 рік їх кількість досягне 25 мільярдів, або й більше [2].

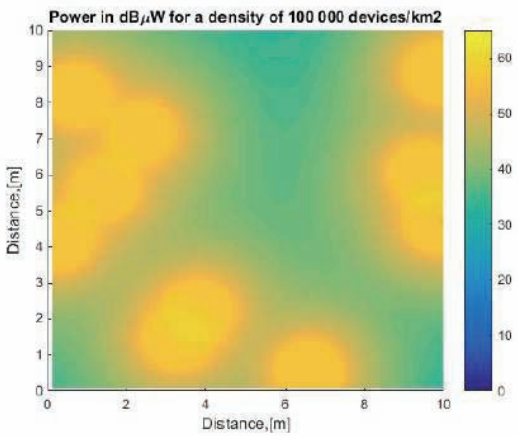


Рис. 1. Розподіл електроманітної потужноісті на площі 10 х10 м^2

На рис. 1 показано приклад електромагнітній обстановці за спільного розташування 100 000 пристроїв на 1 км^2 на частоті 5.8 ГГц з потужністю 200 мВт на площі 10х10 м^2. На відстані 10 метрів потужність від пристроїв сягає значення понад 60 дБмкВт [2].

У даній роботі наведено спосіб оцінення електромагнітній обстановки у конкретному приміщенні на основі програмного забезпечення Tamograph Site Survey. URL:[3].

Список літератури: 1. Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів. Курс лекцій/ Автор і укладач В.В. Пілінський. – К. НТУУ «КПІ», 2009 р. 425 с. 2. Kia Wiklundh and Peter Stenumgaard. EMC Challenges for the Internet of Things. Proc. of the 2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE 2017, Angers, France, September 4-8, 2017. 3. Офіційний сайт розробника Tamograph Site Survey. URL: https://www.tamos.ru/products/wifi-site-survey/ (дата звернення 05.07.2019).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЛИНИЯХ СВЯЗИ ПРИ ПРОТЕКАНИИ ТОКА ПО МАКЕТУ НАЗЕМНОЙ ПУСКОВОЙ УСТАНОВКИ

Плиско В.Р., Сидоренко Н.Н.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков

Разработка методологии определения параметров наведенных напряжений на бортовой сети наземных мобильных стартовых комплексов (НМСК) в результате прямого удара молнии является актуальной задачей. Математическое моделирование процесса протекания тока молнии по корпусу НМСК осуществляется в среде программы COMSOL 5.4. С целью экспериментальной проверки адекватности результатов математического моделирования проведены исследования на масштабном макете НМСК (масштаб 1:10). Внешний вид НМСК представлен на рис. 1, на котором показана на ближней стороне прокладка кабельной линии (коаксиальный кабель РК-75-4-11). Аналогичная прокладка витой пары выполнена на дальней стороне (на рис. 1 не показана). Длины кабельных линий равны 0,8 м.

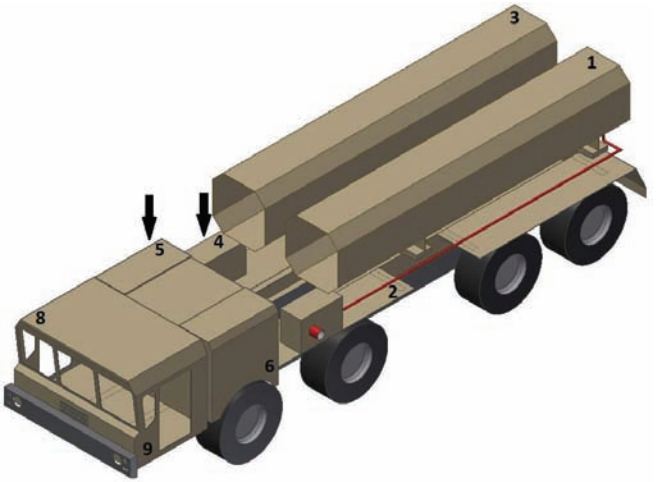


Рис. 1. Внешний вид НМСК

Ввод тока в корпус НМСК и выход осуществлялись в разных точках. В рамках доклада рассмотрены только точки ввода 1 и 3, а выхода 2 и 4. Линии с одной стороны нагружены на согласующие сопротивления (75 Ом и 100 Ом, для РК-75 и вытой пары, соответственно). Напряжение с коаксиального разъема, установленного на другом конце линии, подавалось на высокоомный (1 Мом) вход осциллографа.

Исследования проведены в двух режимах: частотном и импульсном. Изменение частоты тока в диапазоне от 50 Гц до 200 кГц обеспечивалось генератором ГЗ 56/1. Сила тока регистрировалась с помощью шунта сопротивлением 8,6 Ом, являвшегося одновременно нагрузкой генератора. Выбранный диапазон частот полностью перекрывает спектральный состав среднестатистической молнии. Результаты измерений для коаксиального кабеля представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты измерения наведенного напряжения при протекании гармонического тока в диапазоне 0,1-180 кГц (коаксиальный кабель РК-75-4-11)

Частота, кГц	Напряжение с шунта, В	Сила тока*, А	Напряжение на линии, мВ	Коэффициент преобразования, мВ/А
0,1	2.12/-1,76	0,25	0,96	3,84
0,5	2,04/-1,72	0,24	1,6	6,67
1	2,04/-1,72	0,24	1,68	7,0
50	2,2/-1,96	0,26	1,92	7,38
100	2,2/-1,96	0,26	2,24	8,62
150	2,12/-1,96	0,25	1,84	7,36
180	2,16/-1,96	0,25	1,68	6,72

Исследования в импульсном режиме проведены с использованием генератора КИГ-МИП, осциллографа TDS 2024 B, шунта коаксиального ШК-50 (сопротивление 0,024 Ом). Типовая осциллограмма тока (канал CH4) и наведенного напряжения (канал CH2) представлена на рис. 2.

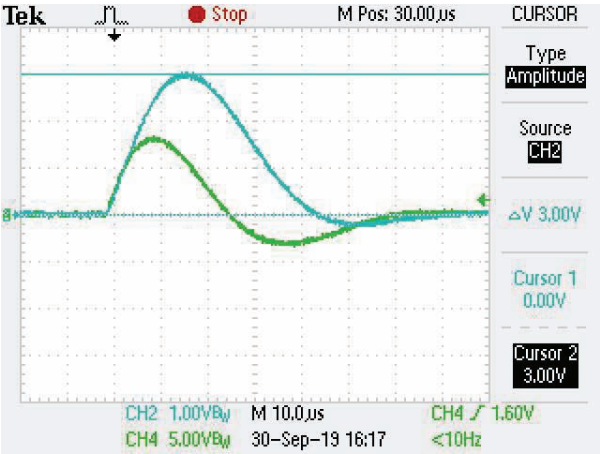


Рис. 2. Типовая осциллограмма тока (канал CH4) и наведенного напряжения (канал CH2)

Коэффициент связи равен 15 мВ/А, что примерно вдвое превышает значения, полученные в частотном диапазоне.

ФИЗИЧЕСКОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ МОЛНИЕЗАЩИТЫ С УЧЕТОМ ПОЯВЛЕНИЯ КОРОННЫХ РАЗРЯДОВ

Резинкина М. М., Резинкин О. Л., Литвиненко С. А.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков

При выборе средств молниезащиты важной является оценка вероятности поражения молнией молниеотводов и защищаемых объектов. Исследование электрических параметров лидерного канала молнии представляет существенные трудности, поэтому широкое распространение получило физическое и математическое моделирование электрофизических процессов, сопровождающих разряд молнии [1].

Известно, что в ряде случаев в условиях грозовой обстановки от заземленных объектов к лидерному каналу молнии развиваются восходящие лидеры (см. например, [2]). Это связано с тем, что большинство молний в средних широтах имеют отрицательную полярность [1,2]. Средняя напряженность электрического поля (ЭП), необходимая для развития лидерного канала положительной полярности (E_+), составляет $E_+ \approx 5$ kV/cm, что примерно в 2 раза меньше средней напряженности ЭП, необходимой для развития лидерного канала отрицательной полярности ($E_- \approx 10$ kV/cm) [2]. Поэтому наличие ЭП, связанное с продвижением лидерного канала отрицательной полярности, может вызвать развитие коронных разрядов и встречных лидеров положительной полярности от заземленных объектов.

Проведены исследования влияния интенсивности процессов образования короны на вершинах стержневых заземленных электродов на вероятность их поражения высоковольтным разрядом. Эксперименты проводились с помощью системы, состоящей из вертикального высоковольтного стержневого электрода, имитирующего лидерный канал молнии, и двух заземленных стержневых электродов, имитирующих молниеотводы со сферической и с заостренной вершинами, отстоящих от высоковольтного электрода на 0.4 – 1 м при наличии и отсутствии условий для возникновения короны вокруг заземленных стержневых электродов. Исследования проводились при наличии и при отсутствии в разрядном промежутке постоянного электрического поля. Определялась влияние интенсивности короны у вершин заземленных электродов на вероятность попадания в них высоковольтного разряда. Эксперименты показали, что наличие короны на вершине электрода достоверно увеличивает вероятность попадания в него высоковольтного разряда начиная с достижения некоторой критической напряженности ЭП в промежутке и связанного с этим тока короны. Для интерпретации полученных экспериментальных данных использовалось математическое моделирование распределений ЭП в рассмотренных электродных системах.

Список литературы: 1. Cooray V. Lightning Protection. London: The Institution of Engineering and Technology, 2010. 1036 p. 2. Bazelyan E. M., Raizer Yu. P. Lightning Physics and Lightning Protection. CRC Press, 2000, 325 p.

РОЗРАХУНОК УЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ «LIGRO»

Руденко С.С., Коліушко Д.Г., Істомін О.Є.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків

Безпечна експлуатація й нормальна робота енергетичних об'єктів (електричних станцій та підстанцій, промислових підприємств тощо) у значній мірі визначаються працездатністю заземлювального пристрою (ЗП). В якості її оцінки використовують нормовані параметри (НП), що періодично контролюються протягом всього строку експлуатації електроустановки. До них відносять: опір ЗП, напругу на ЗП та напругу дотику. На ці величини впливають наступні фактори: конструктивне виконання ЗП, електрофізичні характеристики ґрунту та власні характеристики енергооб'єкту.

В роботі створено новітній програмний комплекс «LiGro» (див. рис.1) для визначення НП при імітації режимів короткого замикання (КЗ) на основі розробленої математичної моделі нееквіпотенційного ЗП, розташованого у тришаровому ґрунті. Показано, що за своїми параметрами комплекс відповідає світовим аналогам, а за рядом функцій та властивостей перевищує їх, що дозволяє використовувати його як інструмент при контролі стану ЗП діючих та проектованих енергетичних об'єктів.

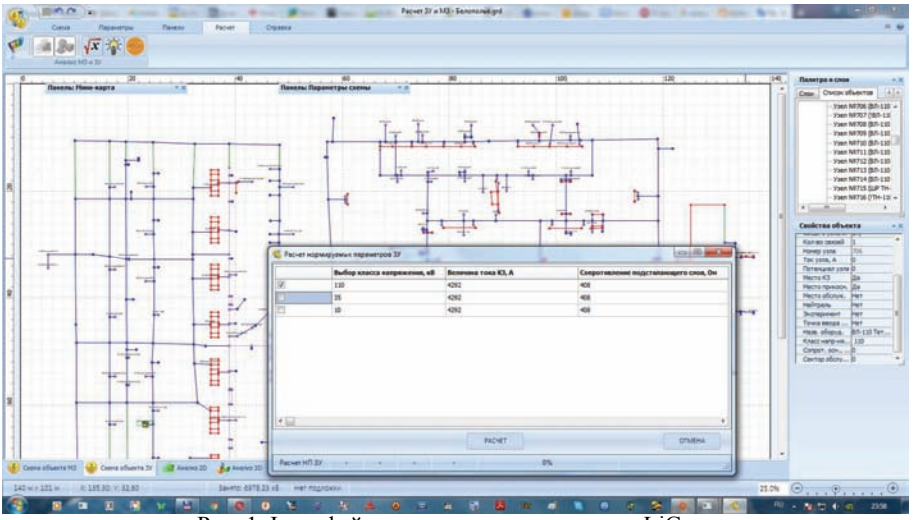


Рис. 1. Інтерфейс програмного комплексу «LiGro»

Була доведена адекватність створеного програмного комплексу на основі порівняння результатів експериментальних досліджень для діючих високовольтних енергооб'єктів України з результатами розрахунку. Показано, що середня похибка визначення опору ЗП не перевищує 10 %, а при визначенні напруги дотику фіксується потрапляння у розрахунковий діапазон для понад 94 % експериментальних точок.

Список літератури: 1. Колиушко Д.Г., Руденко С.С. Определение электрического потенциала, создаваемого заземляющим устройством в трехслойном грунте. Технічна електродинаміка. 2018. № 4. С. 19-24.

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ СУЧАСНИХ СИСТЕМ БЕЗПРОВОДОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

О.А. Серков[1], К.А. Трубчанінова[2]

[1]Національний технічний університет«Харківський політехнічний інститут», м. Харків
[2] Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

Основною тенденцією розвитку сучасних інфокомунікаційних технологій є уніфікація персональних засобів комунікації, що означає можливість використання одного терміналу для з'єднання з інформаційними службами в різноманітних середовищах. Це викликає потребу в отриманні високошвидкісних безпроводових систем зв'язку, що, у свою чергу, вимагає ефективного використання електромагнітного спектру. Таким чином актуальною стає задача забезпечення вимог електромагнітної сумісності (ЕМС) мобільних безпроводових пристроїв, що обумовлено вимогами до високої щільності каналів зв'язку на один квадратний метр робочої зони, їх пропускної здатності та завадостійкості в умовах дії ненавмисних та навмисних завад.

Особливість забезпечення вимог ЕМС в системах безпроводового зв'язку обумовлена необхідністю організації радіодоступу багатьох користувачів до обмеженого ресурсу – середовища передачі. Існує низка методів, які базуються на розподілі між окремими засобами мобільного зв'язку таких параметрів, як частота, час, код і простір із мінімумом взаємних завад та максимальним використанням характеристик середовища передачі [1].Однак основним методом забезпечення ЕМС в системах безпроводового зв'язку є зниження рівня електромагнітних полів [2, 3].

Знизити рівень завадової електромагнітної обстановки дозволяє застосування технології надширокосмугових сигналів, у яких співвідношення між шириною смуги частот сигналу та його центральною частотою більше одиниці [2]. При цьому інформаційний сигнал розподілене рівномірно у безперервному частотно-часовому просторі, суть технології полягає у передачі малопотужних кодованих імпульсів в дуже широкій смузі частот без несучої частоти. Найбільш привабливим для безпроводового зв'язку, завдяки мінімальним втратам, є смуга частот 2-10 ГГц. У якості кодового сигналу пропонується використання гаусівського моноциклу з подальшим кодуванням інформації шляхом часової позиційно-імпульсної модуляції (PPM – кодування). Таким чином кожен інформаційний біт кодується часовим зсувом гребінки імпульсів відносно еталонної (рис. 1) в залежності від того, що кодується – нуль чи одиниця [4]. Причому кожний інформаційний біт кодується кількома сотнями надкоротких імпульсів, що надходять з певною послідовністю.

Для організації незалежних каналів в одній смузі частот доцільно додатково застосовувати систему ортогональних кодів. При цьому одну й ту саму частоту використовують усі канали одночасно, однак сигнали практично не впливають один на одного. Найбільш повно умовам ортогональності відпові-

дають сигнали, що є строками матриці Адамара, які частіше називають функціями Уолша. Таким чином, розширення спектру цифрового інформаційного сигналу здійснюють за допомогою спеціальної кодової послідовності.

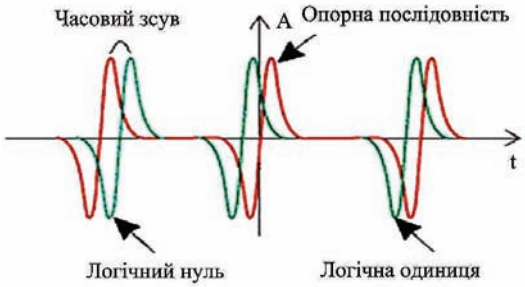


Рис.1. Метод PPM – кодування

При цьому кожному користувачу привласнюють свою унікальну кодову послідовність, яка дозволяє виділити з ефіру тільки йому належний сигнал. В результаті спектр цифрового інформаційного сигналу розширюється шляхом прямого множення на псевдовипадкову послідовність, в результаті чого стає шумоподібним, а потужність сигналу розподіляється в широкій смузі частот. Причому, ширину спектру інформаційного сигналу визначає спектр псевдовипадкової послідовності та розширюється в $10^1 \div 10^4$ разів. Настільки ж зменшується амплітуда імпульсного електромагнітного поля, що дозволяє забезпечити вимоги ЕМС.

Накопичені в кореляторі приймача кілька сотень надкоротких імпульсів, що кодують кожен з інформаційних бітів, дають можливість суттєво підвищити співвідношення сигнал/шум, забезпечуючи можливість передачі інформації в широкому частотному діапазоні значно нижче рівня білого шуму. За рахунок різних шляхів розповсюдження радіохвиль (багатопроменеве розповсюдження) виникає інтерференція сигналів та створюється складна електромагнітна обстановка в місці прийому сигналу. Цифровий кодований сигнал надходить у вигляді зсунутих у часі декількох копій. Однак, коли різниця зсуву більше за тривалість одного надкороткого кодуючого імпульсу, то приймач синхронізується із найбільш потужною складовою прийнятого сигналу, а інші відкидаються. Крім того, застосування надкоротких кодуючих імпульсів попереджує виникнення міжсимвольних спотворень. Це виникає завдяки тому, що енергія прийнятого імпульсного сигналу практично завжди встигає розсіюватися до моменту прийому його наступної копії. Таким чином, можливість роботи із невеликою потужністю сигналу та висока його проникливість крізь перешкоди дозволяють ефективно передавати інформацію всередині приміщень та об’єктів, які мають складну архітектуру та забезпечити вимоги ЕМС в умовах багатопроменевого розповсюдження сигналів.

Організація зв’язку в системі рухомих пристроїв накладає певні обмеження, що обумовлені невизначеністю у часі та просторі розташування вектору поляризації інформаційного сигналу відносно висі приймальної антени. Так, у випадку їх ортогонального розташування рівень прийнятого сигналу буде дорівнювати нулю. Тому пропонується запровадити мерехтливу поляризацію, за якою кожний із надкоротких імпульсів, кодуючих інформаційний біт, по черзі подається на одну чи іншу антену, які в антенному блоці розташовані ортогональне. У якості складових елементів кожного з двох антенних блоків

застосовано надширокосмугові антени TSA [5].У свою чергу два ідентичних антенних блока створюють антенну систему (рис. 2), в якій вісі симетрії блоків розташовано ортогональне. Надходження надкоротких імпульсів, кодуючих інформаційний біт, до іншого антенного блоку здійснюють аналогічно першому. Таке розташування обох антенних блоків забезпечує прийом електромагнітного випромінювання довільної поляризації.

Рис. 2. Антенна система з мерехтливою поляризацію

Застосування в системах зв'язку рухомих пристроїв запропонованої технології надширокосмугових сигналів, мерехтливої поляризації сигналу та конструкції наведеного антенного блоку дозволяє більш ніж у 1,4 рази підвищити рівень прийнятого інформаційного сигналу, що дозволяє, відповідно, зменшити рівень випромінювання для забезпечення ЕМС сучасних систем безпроводового зв'язку. Одним з важливих критеріїв, що характеризують ефективність систем безпроводового зв'язку є висока потенційна щільність каналів зв'язку на один квадратний метр робочої зони, який зараз сягає 1 Мбіт/С/м^2. При цьому можлива одночасна беззавадова робота в одній частотній смузі як вузькосмугових систем зв'язку, так і систем зв'язку, які використовують надширокосмугові сигнали, за рахунок зменшення рівня інформаційного сигналу на 42 дБ відносно рівня білого шуму в робочому діапазоні частот[3].Таким чином, зниження рівня електромагнітного випромінювання дозволяє гарантовано забезпечити виконання вимог електромагнітної сумісності на усіх етапах розробки та реалізації систем безпроводового зв'язку.

Список літератури: 1. Климаш М.М. Технології мобільного зв'язку / М.М. Климаш, В.О. Пелішок, П.М. Михайленич. – Львів: НВЕД УАД, 2007. – 615 с. 2. Serkov A. Noise-like signals in wire lessin for mation transmission systems / A. Serkov, V. Breslavets, M. Tolkachov, G. Churyumov, Issam Saad // Advanced Information Systems. – 2017. – Vol. 1, №2 – P. 33-39. doi: 10.20998/2522-9052.2017.2.06. 3. Серков А. Перспективы развития систем беспроводной связи / А.А. Серков, Б.А. Лазуренко // Проблемы информатизации. Тез. доп.VI МНТК, (14 -16 листопада 2018р., Черкаси-Баку-Бельские-Бяла-Харків). – Х.: НТУ «ХПІ», 2018. – С. 22. 4. Serkov A. Method of coding information distributed by wireless communication lines under conditions of interference / A. Serkov, V. Breslavets, M. Tolkachov, V. Kravets // Advanced Information Systems. – 2018. – Vol. 2, Nr 2. – P. 145-148. doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.25. 5. Серков О.А. Модель TSA / О.А. Серков, Г.І. Чурюмов, В.С. Бреславець, М.Ю. Толкачов // Труды XVIIМНК «ПИМ-2017». – Х.: НТУ «ХПИ», 2017. – С.76.

МЕТОДИКА ПОБУДОВИ ФРАКТАЛІЗОВАНОГО НАДПРОВІДНОГО АТЕННОГО ЗАХИСТУ РАДІОЕЛЕКТРОНОЇ АПАРАТУРИ ПРИЙМАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ВІД УРАЖЕННЯ ПОТУЖНИМИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМИ ЗАВАДАМИ

Фик О.І.

Національная академія Національної гвардії України, м. Харків

Фрактальний сигнал має високу ступінь захищенності інформації завдяки сильній надлишковісті, яка визначається ієрархічною, «самовкладеною» спектральною структурою. І тому, для вирішення проблеми побудови системи захисту РЕА від сбоїв або електромагнітного ураження необхідно визначитись або з фракталізованою геометричною структурою елементів антени, або з параметрами корисного фракталізованного широкосмугового сигналу, який буде збуджувати ці елементи та формувати випромінювання з самоподібною спектральною структурою. Можливо також використовувати одночасно фракталізацію, як елементів антени так і форми токів, які їх збуджують.

Розглянуто алгоритм побудови комплексного антенного захисту приймальних систем радіотехнічних засобів від потужних імпульсних завад на основі фрактальної фазованої антени яка може працювати у двох режимах: співпадіння частоти робочого сигналу та частоти, на якій зосереджена основна потужність завади та коли частота робочого сигналу перевищує частоту, на якій зосереджена основна потужність завади.

Фрактальна антена, що випромінює (або приймає) уявляє собою фракталізовану просторову багатоелементну надпровідну структуру, яка відрізняється від традиційної решітки меншою кількістю елементів, та законом їх розподілу на по поверхні решітки, а також конфігурацією елементарного надпровідного випромінювача. Просторова фрактальність решітки, фрактальність спектру, надпровідність елементарних випромінювачей антенної решітки дозволяє використовувати фракталізовану надпровідну систему приймальних антен у якості захисних пристроїв не тільки від електромагнітного ураження, а і від малопотужних інформаційних сбоїв елементів РЕА приймача радіотехнічного засобу.

Висновки:

1. Запропонований алгоритм побудови фрактальної надпровідної антенної решітки може бути використаним для захисту високочутливих радіотехнічних систем від поразки потужними імпульсними впливами.

2. Запропонована фрактальна захисна система, від потужних завад має наступні переваги:

– малий час спрацьовування захисту;

– висока електрична стійкість.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ НАНОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА

Чернухин А.Ю., Немченко Ю.С.

Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», г. Харьков

В настоящее время, во всех развитых странах активно проводятся исследования по созданию мощных деструктивных электромагнитных помех, способных выводить из строя системы управления различных объектов [1]. Нельзя полностью исключить вероятность использования для достижения таких целей ядерного оружия, как источника мощного электромагнитного импульса. Электромагнитный импульс при высотном взрыве (НЕМР) может накрыть площади размером более миллиона квадратных километров. Поэтому, все стратегически важные и экологически опасные системы должны быть устойчивы к такого рода внешним электромагнитным воздействиям [2]. С целью унификации требований при оценке уровня устойчивости систем и их элементов разработаны соответствующие стандарты МЭК, военные стандарты США и НАТО.

Наиболее достоверный результат оценки фактического уровня стойкости технических средств к воздействию мощных электромагнитных помех может быть получен только путем проведения соответствующих испытаний. Украиной принята концепция Государственной целевой программы реформирования и развития оборонно-промышленного комплекса на период 2020 года, которая одобрена Распоряжением КМУ №19-р от 20.01.2016 г. В числе первоочередных задач рассматривается введение в действие стандартов [3-6]. Указанные стандарты содержат требования по устойчивости к действию НЕМР. Естественно, что проведение таких испытаний предполагает наличие испытательного оборудования и соответствующего метрологического обеспечения. Установленные стандартами параметры НЕМР таковы: максимальное значение напряженности электрического поля $E = 50$ кВ·м$^{-1}$, время достижения максимального значения $T_м = 2\cdot10^{-9}$ секунды, длительность на полуспаде $T_и = 23\cdot10^{-9}$ секунды. Поскольку, НЕМР является плоской ТЕМ волной, то напряженность магнитного поля определяется в соответствии с волновым сопротивлением воздушного пространства, а форма сигнала совпадает с формой электрического поля. Следовательно, временные характеристики средств измерения параметров НЕМР должны удовлетворять таким требованиям: время переходной характеристики менее $0{,}5\cdot10^{-9}$ секунды, а постоянная интегрирования более 10^{-7} секунды.

В докладе описаны конструктивные особенности первичных преобразователей электрического и магнитного полей, обеспечивающие заданные требования. Рассмотрены варианты использования традиционных кабельных линий передачи информации и современных оптических линий.

Рассмотрена процедура метрологической аттестации средств измерения с использованием Эталона единиц напряженности импульсных электрического и магнитного полей, описанного в работе [7].

Список литературы: 1. Kniaziev V.V. Standard parameters of the high-power ultrawideband electromagnetic phenomena / V.V. Kniaziev, V.I. Kravchenko // Proc. Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals, 15-19 September, 2014, Kharkiv, Ukraine. – P. 1-6. 2. IEC/TR 61000-1-3:2002 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 1-3: General - The effects of high-altitude EMP (HEMP) on civil equipment and systems. Geneva, Switzerland, 2002. – 46 p. 3. MIL STD 461G:2011 Department of Defense Interface Standard – Electromagnetic Interference and test methods for Aircraft. – 269 p. 4. MIL STD 464C:2010 Department of Defense Interface Standard – Electromagnetic Environmental Effects Requirements for Systems. – 165 p. 5. STANAG AECTP 500:2016 Electromagnetic environmental effects test and verification. NATO Standardization Agency, 2016. – 1125 p. 6. STANAG AECTP 250:2014 Electrical and electromagnetic environmental condition. NATO Standardization Agency, 2014. – 253 p. 7. Князев В.В. Поиск альтернативных методов метрологической аттестации средств измерения высоких импульсных напряжений / И.И. Князев, Ю.С. Немченко, В.И. Кравченко, И.П. Лесной // Сборник докладов Национального научного симпозиума с международным участием «Метрология и Метрологическое Обеспечение 2009», 10-14 Сентября 2009 г., Созополь, ТУ – София, Болгария 2009. – С. 456-460.

ПОВЕРХНЕВІ ХВИЛІ У НАПІВПРОВІДНИКАХ В УМОВАХ ДІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ БЛИСКАВКИ

Яковенко І.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків

В роботі розглядалися електромагнітні коливання, що існують на межі розподілу середовищ, які відрізняються електромагнітними властивостями – поверхневі поляритони (хвилі Фано). При цьому використовувалися рівняння електродинаміки: рівняння Максвела, матеріальні рівняння та граничні умови, за допомогою яких визначаються закони дисперсії поверхневих електромагнітних коливань. Спектр поверхневих поляритонів визначався в умовах наближення холодної плазми та відсутності їх зіткнувального затухання.

Для знаходження механізму згасання поверхневих плазмонів, обумовленого їх взаємодією з електронами провідності на межі розподілу середовищ, застосовувалися рівняння електродинаміки в умовах нехтування ефектами запізнювання. Це пов'язано з тим, що швидкість носіїв заряду відносно швидкості світла мала. Для знаходження матеріального рівняння застосовувалось кінетичне рівняння для електронів з самоузгодженим полем. Задача розв'язувалася в умовах слабкої просторової дисперсії, коли глибина проникнення поля поверхневого коливання перевищує дебаєвський радіус електронів плазми.

Для розкриття механізму беззіткнувального згасання поверхневих плазмонів в роботі застосовано поняття хвилі Ван – Кампена (ХВК). У попередніх роботах припускалось , що це згасання аналогічно згасанню Ландау в безмежному середовищі. При цьому поле поверхневої хвилі в умовах дзеркального відбиття електронів від межі розподілу подавалося у вигляді набору просторових гармонік, що поширюються в безмежному середовищі. Згасання кожної гармоніки відбувалося внаслідок черенковського резонансу (рівності швидкості частинки та фазової швидкості гармоніки). Повне згасання поверхневих коливань є наслідком підсумовування згасання просторових гармонік. При цьому підході роль межі виявляється тільки у формуванні поверхневих хвиль. Такий метод використовується, як правило, в умовах дзеркального відбиття електронів від межі. На межі розподілу середовищ виникає перетворення поверхневих коливань у ХВК, які поширюються вглиб середовища. Таким чином, беззіткувальне згасання плазмонів обумовлено збудженням ХВК, які відносять їх енергію від межі.

МЕХАНІЗМИ ЗБУДЖЕННЯ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ НАПІВПРОВІДНИКІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПОЛЕМ

Яковенко І.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків

В роботі розглянуто питання взаємодії потоку частинок із поверхневими плазмонами на межі напівпровідник – вакуум. Властивості електронів пучка визначались кінетичним рівнянням. Показано, що енергія поверхневих плазмонів перетворюється в енергію потоку частинок, які виносять її вглиб простору. Це призводить до згасання поверхневих коливань. В роботі одержано вираз для спектру та декременту поверхневих плазмонів .

У попередніх роботах задачі такого роду розв'язувались в умовах гідродинамічного опису, що вимагало додаткових умов на межі для хвиль просторового заряду потоку частинок. При цьому на межі крім електродинамічних умов виконувались дві додаткових умови для потоків частинок та їх імпульсів. Амплітуда однієї з хвиль просторового заряду була наростаючою при збільшенні відстані від межі, що не задовольняє умовам на нескінченність. Тому, при гідродинамічному описі враховувалася тільки хвиля поверхневого заряду , амплітуда якої зменшується при збільшенні відстані від поверхні розподілу середовищ. Застосований у роботі метод виявляється більш коректним, оскільки при отриманні декремента, всі величини виявляються скінченними величинами при збільшенні відстані від межі. При цьому застосовується єдина додаткова умова на поверхні розподілу середовищ.

В роботі проведено дослідження еволюції початкового стану холодної напівобмеженої плазми та електронного моноенергетичного пучка, що перетинає поверхню. Таким чином розв'язується початково – гранична задача. Нестійкість обумовлюється взаємодією частинок електронного пучка та коливань холодної плазми (нестійкість Ахієзера – Файнберга). При цьому амплітуда поля зменшується за експонентою при віддаленні від межі в область. Виникнення коливань на ленгмюрівській частоті у цій області обумовлено трансформацією на межі пов'язаних об'ємних коливань холодної плазми та електронного пучка.

Вирази для інкрементів нестійкості власних коливань дозволяють отримати розрахункові співвідношення для визначення кількісних характеристик зворотніх відказів в залежності від типу структури – величини випромінювання поверхневих коливань (ступеню відхилення вольт – амперних характеристик від норми) в умовах дії зовнішнього імпульсного поля.

ELECTRICAL SHUNT FOR MEASUREMENT OF PARAMETERS OF CURRENT OF THE MODEL LIGHTNING

Chernukhin O.Yu., Shalamov S.P.

R&D Institute "Molniya" National Technical University "KhPI", Kharkiv

Operation of generators of pulsed currents which simulating action of natural lightning, presupposes necessity of measuring current up to 200 kA with time characteristics of pulse front 10 μs, half-amplitude duration more than 350 μs. For these purposes, it is efficient to use low-ohmic electric shunts of different designs including the coaxial type. Resistive elements, as a rule, are made in the form of discs [1]. In the framework of the report, a design of the rod type is presented. Comparison of metrological characteristics of the new shunt of the rod type IS-200 with characteristic of disc shunt SC-300M was performed.

Ohmic resistance of the new rod shunt IS-200 to direct current was 0.132 mΩ. Analysis of electrophysical phenomena arising during flowing of electric current for both designs of shunts is presented. Optimization of the number and diameter of the conductors to decrease influence of skin-effect is performed for the rod shunt. The resistive element of the shunt is performed with use of 80 nichrome conductors with diameter d_0 = 2 mm (Fig.1). The distance between the conductors was selected so that the proximity effect should not introduce significant influence (more than 1 %) on the total ohmic resistance of the shunt at frequency 100 kHz. It is natural that for the pulsed process, the degree of influence will be lower. A calculation assessment of dependence of resistance of the resistive element of the shunt R on the distance between the conductors d_1 for frequency 100 kHz showed that when the distance between the conductors was $d_1 = 1.75\ d_0$, resistance R increased less than by 1%; if $d_1 = d_0$, the resistance increased by 1.8 %; when $d_1 = 0.5\ d_0$, the resistance increased by 2.3%; at $d_1 = 0.25\ d_0$ the conductor resistance increased by 3 %.

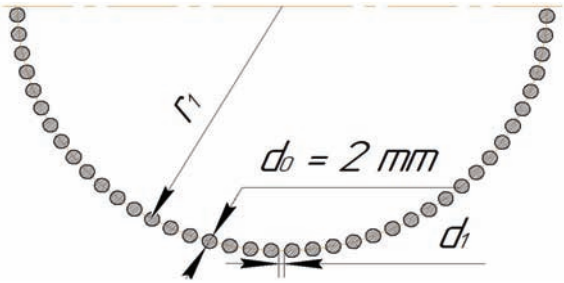
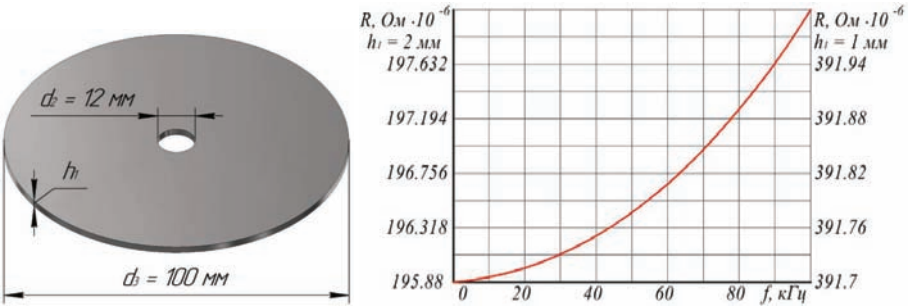


Fig. 1. Design of the resistive element of the shunt IS-200

For the disc shunt, the resistive element is performed in the form of disc shown in Fig. 2, *a*. To measure currents up to 200 kA, the disc thickness is from 1 mm to 2 mm. For the resistive element with inside diameter d_2 = 12 mm and outside diameter d_3 = 100 mm, calculation of the resistance by finite element method taking into account skin-effect was performed. The calculation was performed for material of nichrome with resistivity 1.1 10^{-6} Ω m for two thicknesses h_1 = 1 mm and 2 mm. For the disc with h_1 = 1 mm, the ohmic resistance is R = 0.39176 mΩ, for h_1 = 2 mm, R = 0.19588 mΩ. Dependence of resistance of the resistive disc element on frequency is presented in Fig. 2, *b*.



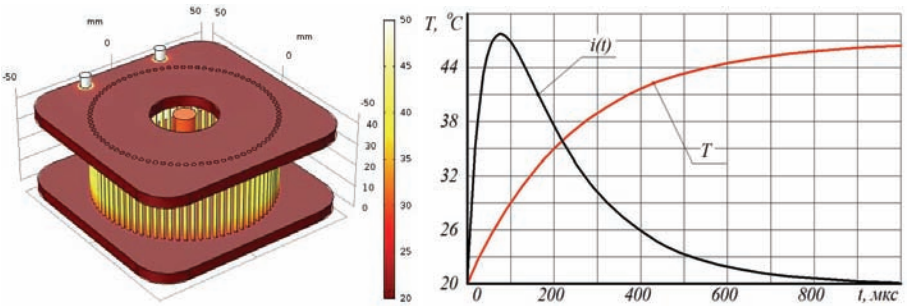
a *b*

Fig. 2. The disc resistive element and dependence of resistance of the resistive element on frequency

For frequency 100 kHz and thickness of the resistive disc h_1 = 2 mm, the conductor resistance increases by 1.1 % comparing to the value for direct current. Skin-effect for the both considered designs introduces insignificant error (lower than 1%) during measurement of parameters of current with frequency up to 100 kHz and, therefore, of current pulses with front time 10 μs and more.

Analysis of influence of temperature mode on accuracy of the measurements was performed. To analyze the temperature mode of operation, the following parameters of nichrome were taken: molar mass 0.056 kg / mol; material density 8400 kg/m^3; resistivity 1.1 10^{-6} Ω m; molar isobar heat capacity 25.2 J/(mol K); specific heat 450 J / (kg K).

For the design of the resistive element of the shunt which consists of 80 nichrome conductors with radius r_0 = 1 mm, calculation of temperature of heating of the conductor by the finite element method taking into account skin-effect and proximity effect was performed. In so doing, the action integral takes the value $10 \cdot 10^6$ A^2 s, which corresponds to current pulses with amplitude 200 kA, front time 10 μs and decay time 350 μs. Temperature of heating of the resistive element reaches the value ΔT = 46.7 °C. Temperature distribution in the shunt construction is shown in Fig. 3, *a*. The plot of dependence of temperature T on time is presented in Fig. 3, *b*.

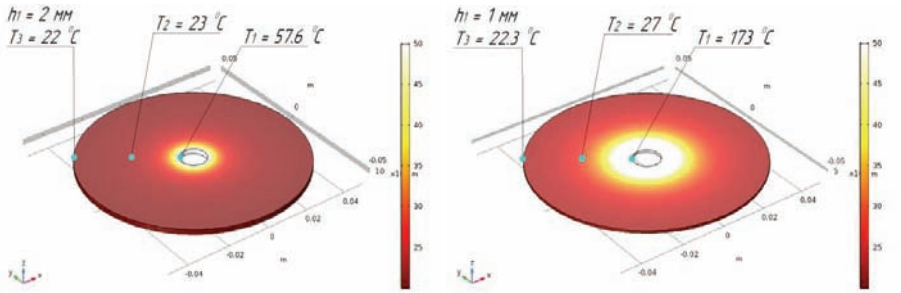


a *b*

Figure 3 – Temperature field of the shunt

The results show that the design of the shunt provides the possibility not to exceed the temperature of the resistive element above 100 °C.

For the resistive disc made of nichrome, calculation of the temperature of heating of the conductor by the finite element method taking into account skin-effect for the action integral of current J = 10 10^6 A^2 s was performed. The average value of ΔT = 70 °C was obtained in the simulation. The temperature field of the disc element of the shunt for the time instant 1 ms is shown in Fig. 4. Distribution of temperature along the radius for different instants of time is presented in Fig. 5.



а *б*

Figure 4 – Distribution of temperature over the disc

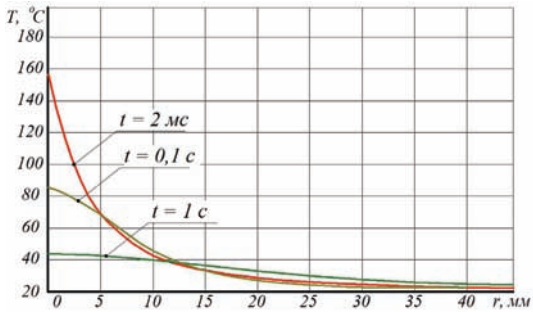


Figure 5 – Temperature field of the shunt

The current flows nonuniformly along the resistive element. This leads to nonuniform heating, and, when the disc thickness $h_1 \leq 1$ mm and the resistance of the resistive element of about 0.2 mΩ, there is a local overheating with temperature higher than 150°C. This leads to nonlinear dependence of ohmic resistance of the shunt under action of current pulse of model lightning, and to burning of the contact with the central electrode.

The conclusions obtained as a result of the mathematical simulation were checked experimentally with use of generator of pulsed currents, the resistive disc and infrared imager.

Reference. [1] Baranov M.I. The Coaxial Shunt for Measurement of Current Pulses of Artificial Lightning with the Amplitude up to ±220 kA / M. I. Baranov, V. V. Kniaziev, S. V. Rudakov / Instruments and Experimental Techniques, 2018, Vol. 61, No. 4, pp. 501–505.

LIGHTNING INDUCTIVE OVERVOLTAGE PROTECTION OF DISTRIBUTION POWER LINES

Chrzan K. L.[1], Musiał E.[1], Rezynkina M. M.[2]
[1] Wroclaw University of Science and Technology, Wroclaw; [2] National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv

1. Introduction

In Poland and some European countries the following principle was introduced, the grounding wires were installed on 110 kV, 220 kV and just built 400 kV power lines. At the same time the application of grounding wires on distribution power lines was admitted to be from economical perspective groundless. The shielding wires are mounted on medium voltage lines 200-300 m before substations to limit overvoltage amplitudes caused by direct lightning strokes to the lines. The grounding current compensation and auto reclosing can limit the longer automatic cut-offs after insulator flashovers.

However, these principles are not universal and in some countries the HV power lines without grounding wires or medium voltage power lines with grounding wires are used. The great weight of grounding wires on HV power lines (mainly against direct lightning strokes) was many times in Polish literature described [1, 2]. On the other hands, the protection effect of grounding wires on medium voltage lines became less known. Therefore, in this paper this issue is discussed or actually reminded.

The direct impulse to writing of this paper was observation of the 20 kV power line between Otmuchow and Skorochow near Nysa. The untypical line with the length of 4,5 km has even two grounding wires. On the initial pole in Otmuchow and on the final pole in Skoroszow the line turns into cable lines (Fig. 2).

2. 20 kV power line between Otmchow and Skorochow (state from 10.08.2019)

The 20 kV line from Otmuchow to Skoroszow ist very rare because its phase wires hang on two porcelain cap and pin insulators an a metal traverse. Additionally, the line is protected by two grounding wires (Fig. 1). For a distance of 4 km, the line runs along the road Otmuchow-Nysa number 46. The line has 4 nodes with two cable line and two overhead lines attached.

The following convention was adopted: The pole in Otmuchow is the pole No 1 (Fig. 3) and the pole in Skorochow, standing at Akacjowa street is the end pole of the overhead line (Fig. 6). Figure 4 shows the node No. 1 with the attached overhead line. You can see that (same like in node 2) the attached line has rod insulators and has no grounding wire. A cable line is attached at node 3 (like at node 4 only 25 m away, Fig. 5). Three gapped surge arresters with porcelain housing are mounted on these poles (old type arresters with silicone carbide varistors). The shielding wires reach the node 3 but do not pass to the node 4. From the node 4, the grounding wires are connected to only two further poles (Fig. 2, Fig. 5). **It is not clear why two adjacent nodes are not connected by grounding wires. What for is this**

break? At node 4, one of three surge arresters is disconnected and the other connected with middle phase wire, has broken two sheds.

On the final strong pole consisting of two round concrete poles, standing near Akacjowa Street in Skorochow a cable line is attached. A new design pole (Fig. 6) is equipped with a radio-controlled recloser (switchgear), inductive transformer and medium voltage surge arresters. However, the end post and 4 adjacent posts do not have grounding wires. The posts adjacent to the end post are old-type posts and are equipped with booms for hanging grounding wires. Probably when replacing the old-type pole with a new one, the grounding wires were shortened because the new pole is not adapted to hang the grounding wires.

Figure 1 – The intermediate pole No. 2

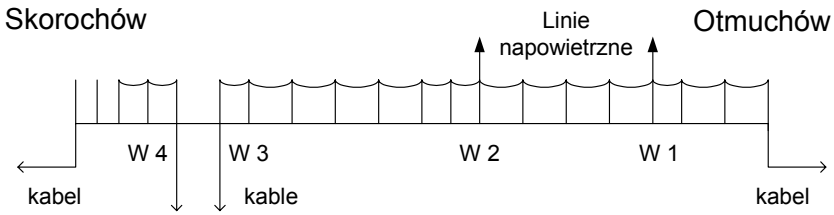


Figure 2 – The overhead 20 kV line Otmuchow – Skorochow with marked nodes and grounding wire

Figure 3 – The first pole in Otmuchow

Figure 4 – Node 1

Figure 5 – Node 4

Figure 6 – The final pole in Skorochow near Akacjowa street.

3. Inductive overvoltage protection on distribution power lines

Lightning protection of overhead power lines is secured by: insulators with appropriate sparking distance (impulse flashover), one or more grounding wires, poles with small earthing resistance. Furthermore, the additional means are the auto-reclosing system and the grounding current compensation. The so called line surge arresters are sometimes used on sites with very high lightning activity or in mountains with rocky ground. It is difficult to achieve there a small earting resistance of poles. All these methods, including line surge arresters (called that time as the expulsion protective gaps [3]) were already applied before the WW II. These issues, especially dealing with direct lightning strokes are well known and therefore will be later not described.

4. Inductive overvoltages mitigation by grounding wires

The first lightning overvoltage theories were proposed by Petersen, Wagner and Peek at the beginning of XX century. They took into account the electrical charge caused by electrical field of storm cloud. The charge accumulated on phase wires is suddenly released after the lightning stroke. This process is associated by current and voltage waves. The protection value of grounding wire consists in

charge and potential mitigation of phase wire [4]. In 1940. the theory included the magnetic field changes.

The current changes in the main discharge channel of the close lightning stroke induce currents in grounding and phase wires. Next, the current in a grounding wire induces the current with the opposite turn decreasing their potential [5]. The induced overvoltage can be calculated according to the known Rusck formula [6]:

$$U_{\max} = Z_O \frac{I_{\max} \cdot h}{d}; \tag{1}$$

$$Z_0 = \frac{1}{4}\pi\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 30\ \Omega, \tag{2}$$

where $U_{\max}$ – induced voltage amplitude [kV]; $I_{\max}$ – lightning return current amplitude [kA]; h – the height of the wire above the ground [m]; d – the lightning channel distance from the wire [m].

The calculations and field measurements have shown that inductive overvoltages in high voltage lines are smaller than 400-500kVand therefore are not dangerous for these lines. On the contrary, the impulse flashover voltage of 20 kV insulators is in the range of 150-200 kV that leads to flashovers caused by inductive overvoltages. However, from economical perspective, the inductive overvoltage-proof distribution lines are unprofitable [7]. Insulators of such hypothetical lines should have longer height (higher impulse flashover voltage), a grounding wire and small grounding resistance of poles.

In this paper a very simple model of inductive overvoltages was shown. There are more involved models taking into account other factors like corona and ground resistivity [8, 9].

Conclusion

The common approved rule “the shielding wires on distribution lines are unprofitable” in some cases can be groundless. The distribution line with a grounding wire is an interesting solution in some rare cases (e.g. feeders to industrial plant, were even a short break in power delivery could lead to very high losses).

Reference. [1] Duda D., Gacek Z., Przepięcia w sieciach elektroenergetycznych i ochrona przed przepięciami. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2015. [2] Moszczyński S., Aktualne poglądy na stosowanie przewodów odgromowych w liniach 110-400 kV. Energetyka Nr 5/1966, s. 141-144. [3] Chrzan K.L., High voltage surge arresters (in Polish) Wysokonapięciowe ograniczniki przepięć. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2003. [4] Grabowski Z., O pojemnościach linij napowietrznych i wartości ochronnej przewodów odgromowych. Przegląd Elektrotechniczny, zeszyt 18, Rok 12, 1930, s. 485-495. [5] Szpor S., Uzupełnienie teorii przepięć atmosferycznych indukowanych dla linii z przewodami odgromowymi. Archiwum Elektrotechniki, Tom II, Zeszyt 1-2, 1953, s. 179-187. [6] Chrzan K.L., Pollution flashovers and lightning induced flashovers of traction insulators in Poland (in Polish), Problemy Kolejnictwa, zeszyt 144, Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa, Warszawa 2007, s. 103-117. [7] Heller W., Jaczewski M., Mikulski J., Awaryjność burzowa linii napowietrznych wysokiego napięcia w latach 1953-193. Energetyka, Nr 5, 1966, s.144-150. [8] Yokoyama S., Lightning protection of overhead power distribution lines. Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol. 2, 2007, pp. 491-496. [9] Piantini A., Janiszewski J.M., The Effectiveness of Shield Wires in Reducing Induced Voltages from Lightning Electromagnetic Fields. 7th Asia-Pacific International Conference on Lightning, Nov., 2011, Chengdu, China, pp. 666-672.

ДЛЯ ПРИМІТОК

ДЛЯ ПРИМІТОК

ДЛЯ ПРИМІТОК

ДЛЯ ПРИМІТОК