

**СЕКЦИЯ 22. ЭЛЕКТРОМАГНИТНА СТІЙКІСТЬ**  
**РАЗРАБОТКА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ РЕЗИСТИВНОЙ СХЕМЫ**  
**ЗАЩИТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ**  
**МОЩНЫХ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ**

**Баранов М.И.**

*Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт” НИПКИ «Молния», г. Харьков*

Представлены результаты разработки новой схемы защиты высоковольтных импульсных конденсаторов зарядно-разрядных цепей мощных емкостных накопителей энергии (ЕНЭ) от аварийных сверхтоков, построенной на основе применения высоковольтных графито-керамических объемных постоянных резисторов типа ТВО-60. Отличительной особенностью этой защитной схемы является разбиение конденсаторной батареи мощного ЕНЭ на отдельные модули, разделенные между собой междумодульными высоковольтными сопротивлениями и каждый из которых содержит ограниченное число параллельно соединенных силовых конденсаторов, на высоковольтных выводах которых размещены указанные защитные графито-керамические резисторы типа ТВО-60. На стадии заряда высоковольтных конденсаторов ЕНЭ от внешнего повысительно-выпрямительного устройства (ПВУ) данные модули за счет междумодульных сопротивлений соединены фактически последовательно, а на стадии разряда конденсаторов ЕНЭ через общий управляемый высоковольтный коммутатор на общую активно-индуктивную нагрузку – параллельно в обход используемых междумодульных сопротивлений с целью исключения их из силовоточной (обычно низкоомной и малоиндуктивной) разрядной цепи мощного ЕНЭ. Осуществляется такое изменение (переключение) режимов работы отдельных модулей конденсаторной батареи ЕНЭ за счет применения в ее модулях и соответственно в ее общей разрядной цепи отдельных силовоточных короткозамыкателей с электроприводами. Разработан инженерно-технический подход по приближенному выбору основных параметров предложенной защитной резистивной схемы, обеспечивающей как существенное ограничение (в десятки раз) амплитуды аварийного сверхтока, протекающего через поврежденный (электрически пробитый) конденсатор того или иного модуля ЕНЭ, так и исключая в аварийном режиме (при пробое внутренней или внешней изоляции силовых конденсаторов) взрывообразное разрушение на стадии заряда от ПВУ высоковольтных конденсаторов отдельных модулей ЕНЭ их защитных графито-керамических резисторов типа ТВО-60. Предложены два инженерных критерия (энергетический и резистивный) для оценки правильности проведенного выбора основных параметров защитной резистивной схемы мощного ЕНЭ. Выполненные численные оценки по предложенным приближенным расчетным соотношениям основных электротехнических параметров рассматриваемой схемы резистивной защиты высоковольтных импульсных конденсаторов мощного ЕНЭ многомодульного исполнения свидетельствуют о практической реализуемости предлагаемой электрической схемы его резистивной защиты, базирующейся на применении в ее составе защитных графито-керамических резисторов типа ТВО-60, в аварийном режиме работы отдельных модулей мощного ЕНЭ.

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОДИНОЧНОГО СТЕРЖНЕВОГО ЗАЗЕМЛИТЕЛЯ В ОДНОРОДНОМ ГРУНТЕ С ИМПУЛЬСНЫМ ТОКОМ РАСТЕКАНИЯ ЛИНЕЙНОЙ МОЛНИИ

Баранов М.И.

*Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт  
“Молния” Национального технического университета  
“Харьковский политехнический институт”, г. Харьков*

Приведены результаты разработки новой математической модели классического одиночного стержневого заземлителя, вертикально размещенного в однородном (однослойном) грунте с апериодическим импульсом тока  $i_c(t)$  растекания линейной молнии (ЛМ). В данной модели, построенной с использованием цилиндрической системы координат и соответственно текущих переменных  $r$  и  $z$ , стержневой заземлитель представлен в виде круглого однородного металлического цилиндра, имеющего конечные геометрические размеры – радиус  $r_3$  и длину  $h_3 \gg r_3$ . Грунт характеризуется постоянной удельной электропроводностью  $\gamma_s$  и постоянной магнитной проницаемостью  $\mu_s = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м своей плохопроводящей линейной структуры. Искровые процессы в структуре грунта при объемном протекании (растекании) по ней импульса тока  $i_c(t)$  ЛМ, вводимого в грунт непосредственно с его наружной плоской поверхности через нормально ориентированный к ней (этой поверхности) металлический цилиндр заземлителя, не учитываются. Принято, что круглый торец металлического цилиндра заземлителя, в который снаружи (например, от металлического молниеотвода технического сооружения или с окружающей воздушной атмосферы прямо от канала грозового сильноточного разряда) вводится импульс тока  $i_c(t)$  молнии, расположен в одной плоскости с наружной поверхностью грунта. Главной отличительной особенностью разработанной математической модели от известных в области техники высоких напряжений моделей одиночных стержневых заземлителей, размещенных в однородном грунте, является то, что в ней учитывается нестационарный характер распределения напряженности  $E_3(r, z, t)$  двумерного импульсного электрического поля в зоне пространственного растекания по грунту апериодического импульса тока  $i_c(t)$  ЛМ. Амплитудно-временные параметры (АВП) вводимого в металлический цилиндр заземлителя импульса тока  $i_c(t)$  молнии в рассматриваемой модели могут характеризоваться произвольными данными. Применительно к электрофизическим задачам, характерным для области промышленной электроэнергетики и защиты инженерных коммуникаций энергообъектов, включая и обслуживающий их персонал, от поражающего прямого (косвенного) действия на них грозовых сильноточных разрядов, автором в рамках данной модели в соответствии с требованиями международного стандарта IEC 62305-1–2010 рассмотрен случай, когда АВП апериодического импульса тока  $i_c(t)$  молнии характеризуются нормированной временной формой 10 мкс/350 мкс и амплитудой  $\pm(100–200)$  кА с соответствующими этому стандарту допусками. Разработанная двумерная модель позволила впервые численно определить импульсное сопротивление  $R_3$  одиночного стержневого заземлителя конечных размеров из круглой стали, размещенного в однослойном грунте ( $\gamma_s \approx 10^{-2}$  См/м;  $\mu_s = \mu_0$ ) с указанным импульсом тока  $i_c(t)$  ЛМ

# ВЫДАЮЩИЕСЯ МАТЕМАТИКИ ХАРЬКОВЩИНЫ И ИХ ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ

Баранов М.И.

*Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт  
“Молния” Национального технического университета  
“Харьковский политехнический институт”, г. Харьков*

Рассмотрены результаты многолетней научной деятельности выдающихся математиков современности – украинских и российских академиков Алексея Васильевича Погорелова, Владимира Александровича Марченко и Виктора Антоновича Садовниченко, имеющих по своей жизни и работе прямое отношение к такому известному региону Украины как Харьковщине. Вкратце указаны истоки возникновения в г. Харькове основных математических школ – геометрии, математической физики и теории функций. Отмечен важный вклад в формирование этих научных школ чл.-корр. АН УССР Наума Ильича Ахиезера и многие годы возглавляемого им (до 1950 г.) научно-исследовательского института (НИИ) математики и механики при Харьковском государственном университете (ХГУ). Показана огромная роль в привлечении ученых НИИ математики и механики при ХГУ к активной работе в математических отделах и в дальнейшем в Математическом отделении Физико-технического института низких температур (ФТИНТ) АН УССР (НАН Украины) его директора, академика АН УССР (НАНУ) Бориса Иеремиевича Веркина. Указаны полученные академиком НАНУ и РАН и Почетным гражданином г. Харькова Погореловым А.В. основные выдающиеся научные результаты в области геометрии. Отмечены его жизненные увлечения вне математической науки. Сформулированы полученные академиком НАНУ и РАН и Почетным гражданином Харьковской области Марченко В.А. основные фундаментальные научные результаты, полученные им за многие десятилетия его неустанного труда в области ряда разделов математики и принесшие ему мировую известность. Отмечены некоторые личные качества Марченко В.А. и стороны образа жизни вне математики у нашего знаменитого харьковского ученого. Вкратце описана жизненная и научная биография известного академика РАН и Почетного гражданина Харьковской области Садовниченко В.А. Приведены основные выдающиеся научные результаты, полученные нашим земляком-академиком Садовничим В.А. за многие годы его плодотворной работы в МГУ им. М.В. Ломоносова в области математического моделирования сложных процессов и математических методов обработки информации. Результаты научной деятельности указанных выдающихся математиков Харьковщины рассмотрены на фоне научных успехов ряда современных продолжателей во ФТИНТе НАНУ известных математических традиций: академиков НАНУ Леонида Андреевича Пастура (выпускника инженерно-физического ф-та ХПИ, 1961 г.) и Евгения Яковлевича Хрусова (выпускника электромашиностроительного ф-та ХПИ, 1959 г.), а также д.ф.-м.н., проф. Аминова Ю.А. (с 2000 г. зав. отделом геометрии), д.ф.-м.н., проф. Котлярова В.П. (с 2002 г. зав. отделом математической физики), д.ф.-м.н., проф. Фельдмана Г.М. (с 2001 г. зав. отделом теории функций) и д.ф.-м.н., проф. Щербины М.В. (с 2003 г. зав. отделом статистических методов в математической физике).

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ МОЛНИЕОТВОДОВ С УНИВЕРСАЛЬНЫМИ ЗАЖИМАМИ К ПРЯМОМУ ДЕЙСТВИЮ ИМПУЛЬСОВ ТОКА ИСКУССТВЕННОЙ МОЛНИИ С НОРМИРОВАННЫМИ АМПЛИТУДНО–ВРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Баранов М.И., Колиушко Г.М., Игнатенко Н.Н., Зиньковский В.М.  
*Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт*

*“Молния” Национального технического университета*

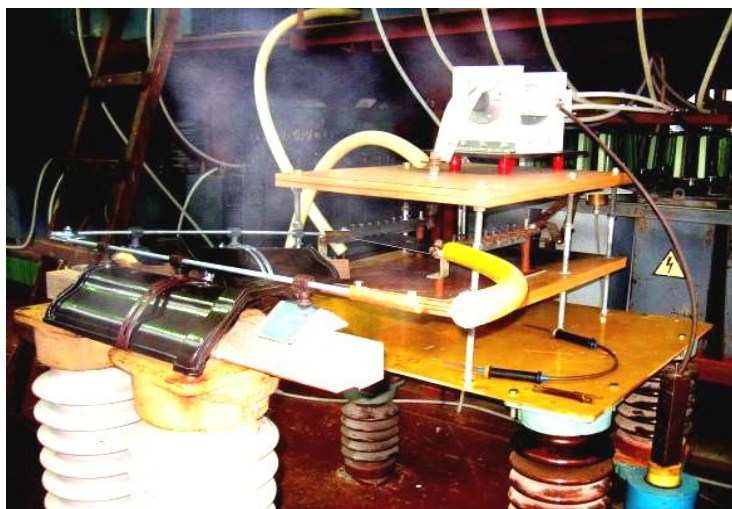
*“Харьковский политехнический институт”, г. Харьков*

*Мысюк Ю.И. ООО “ГРОМОВИК”, г. Львов*

*Кузьминский Е.В. ООО “ЕФ-ЕР-ТІ-ГРУП”, г. Киев*

*Рудаков С.В. Национальный университет гражданской защиты Украины,  
г. Харьков*

Приведены результаты опытной оценки электродинамической и электротермической стойкости круглых медных и оцинкованных стальных молниеотводов ( $\varnothing$  8 мм; длина – 0,8 м) с плоскими медными, оцинкованными стальными и нержавеющей стали универсальными зажимами специального профиля к прямому действию на них апериодических импульсов тока искусственной молнии нормированной по международному IEC 62305-1:2010, российскому национальному ГОСТ Р МЭК 62305-1–2010 и немецкому национальному DIN EN 50164-1:2008 стандартам временной формы 10 мкс/350 мкс и амплитуды (50–100) кА с заданными допусками. При данных экспериментальных исследованиях был использован мощный высоковольтный генератор ГИТМ-10/350 разработки НИПКИ “Молния” НТУ “ХПИ”, обеспечивающий протекание по испытываемым частям указанных молниеотводов импульсов тока искусственной молнии временной формы 10 мкс/350 мкс с амплитудой  $I_m$  в 50 кА ( $N$ -класс) и 100 кА ( $H$ -класс). Выполненные исследования показали, что все испытанные в сборе молниеотводы (рис.) с универсальными зажимами специального исполнения, изоляционными держателями и керамическими элементами “конька” крыши здания выдержали электродинамическое и электротермическое воздействие одиночного короткого удара искусственного грозового разряда.



Общий вид схемы испытаний оцинкованного стального молниеотвода с универсальным оцинкованным стальным зажимом в цепи генератора ГИТМ-10/350

# ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРОВ ИМПУЛЬСОВ НАПРЯЖЕНИЯ ПО СХЕМЕ АРКАДЬЕВА-МАРКСА В РЕЖИМЕ ПОКАСКАДНОГО ОБОСТРЕНИЯ ФРОНТА ИМПУЛЬСОВ

Бойко Н.И., Поддубный А.В.

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

Рассмотрена работа генераторов импульсных напряжений (ГИН) в режиме покаскадного обострения фронта импульсов. Усовершенствована схема срабатывания разрядников в каскадах ГИН.

Режим покаскадного обострения осуществляется при помощи генератора Аркадьева – Маркса, содержащего  $N$  каскадов, емкостные накопители каскадов с емкостями  $C_k$ , которые могут представлять собой длинные линии, энергопровод в виде широкополосной однородной длинной линии с волновым сопротивлением  $Z_3$ , с расстоянием  $h_3$  между прямым и обратным токопроводами энергопровода, диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_{г3}$  диэлектрика (газообразного, жидкого или твердого), заполняющего энергопровод, разрядники каскадов с емкостями ( $C_{рк}$ ) между электродами разрядников и стартовый разрядник с емкостью ( $C_0$ ) между его электродами. Кроме того, ГИН содержит устройство запуска, широкополосную однородную линию передачи с волновым сопротивлением  $Z_n=Z_3$  между устройством запуска и стартовым разрядником, нагрузку с импедансом  $Z_H$ . Энергопровод состоит из  $N$  отрезков, соединенных разрядниками каскадов, причем каждый из отрезков содержит в прямом токопроводе энергопровода разрыв длиной  $h_c$ , в который включен емкостной накопитель каскада.

Генератор по схеме Аркадьева – Маркса, работающий в режиме покаскадного обострения фронта импульсов (ГПО), отличается от традиционного ГИН [1-2] своей разрядной цепью [3].

Разрядная цепь генератора Аркадьева – Маркса представляет собой длинную однородную широкополосную линию (энергопровод), в прямой токопровод которой поочередно включены разрядники и емкостные накопители как указано выше. К входу энергопровода ГПО через передающую линию подключено устройство запуска, а к выходу - нагрузка.

Использование рассмотренного режима позволяет уменьшить длительность фронта импульсов, по крайней мере, до  $5 \cdot 10^{-10}$  с при амплитудах импульсов мегавольтного диапазона, покаскадно увеличивая амплитуду формируемых импульсов и укорачивая их фронт.

## Список литературы:

1. Кремнев В.В. Методы умножения и трансформации импульсов в сильноточной электронике. / Кремнев В.В, Месяц Г.А. - Новосибирск: Наука, 1987.
2. Смирнов С.М. Генераторы импульсов высокого напряжения. / Смирнов С.М., Терентьев П.В. – М. – Л.: Энергия, 1964. –240 с.
3. Бойко Н.И. Генератор по схеме Аркадьева – Маркса в режиме с покаскадным обострением фронта импульсов // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск “Проблеми сучасної електротехніки”. - 2000. - Частина 6. - С. 94-97.

# УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГИТ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Борцов А.В., Вермияш А.В.

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

В работе рассмотрены вопросы:

1. Формирование срезаного импульса внешнего магнитного поля.
2. Ограничение перенапряжения на ключе.

В магнитно-импульсной обработке металлов (МИОМ) раздача цилиндрической заготовки может быть осуществлена при помощи внешнего индуктора, а не традиционным путем при размещении индуктора внутри заготовки. При этом эффективность технологической операции повышается путем формирования срезаного импульса внешнего магнитного поля. Создание магнитно-импульсных установок, генерирующих такие импульсы, является сложной технической задачей. Основной трудностью является защита ключа от перенапряжения, при получении срезаного импульса, когда в индуктивном контуре величина напряжения на отключающем ключе пропорциональна скорости изменения тока. Поэтому исследование электромагнитного поля системы "индуктор – заготовка" в случаях срезанных импульсов удобно выполнять на модели генератора импульсных токов (ГИТ), который позволяет получать как полные так и срезанные импульсы внешнего электромагнитного поля в заданный момент времени (рис). В докладе приведены условия и требования к схемному построению ГИТ и режиму работы, при которых достигается наибольшая эффективность.

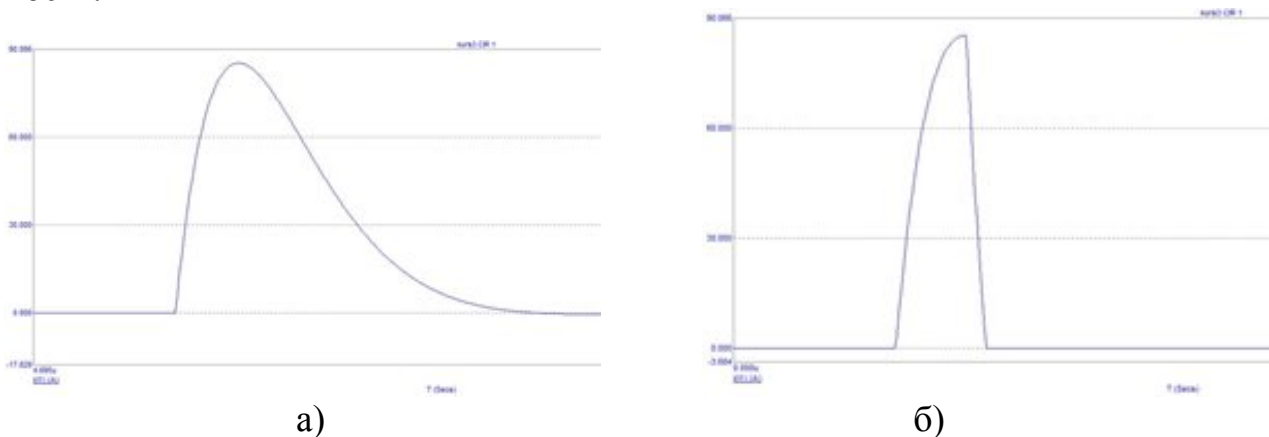


Рис. а) полный импульс электромагнитного поля системы «индуктор-заготовка»;

б) срезанный электромагнитный импульс системы «индуктор-заготовка».

# ПОЛУЧЕНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРЕМНИЕВОГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Борцов А.В., Сухов Е.Ю.

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

Наиболее эффективным и проверенным в условиях длительной эксплуатации на Земле и в космосе способом получения электричества из солнечной энергии является фотоэлектрический метод прямого преобразования с помощью полупроводниковых солнечных батарей [1]. Актуальной проблемой солнечной энергетики является создания эффективных технологий для повышения коэффициента полезного действия солнечных батарей.

Цель работы: Определение параметров вольт – амперной характеристики солнечных батарей.

Для определения параметров вольт–амперной характеристики солнечных батарей использован метод наименьших квадратов. Точность моделирования ВАХ СЭ оценивается с помощью стандартного отклонения:

$$S = \sum_{k=1}^n \left[ a \ln\left(\frac{1-i_k}{i_s}\right) - U_k \right]^2 ;$$

Имея полученные экспериментальные данные различных солнечных батарей, используя метод наименьших квадратов можно аппроксимировать эти данные предлагаемой зависимостью. В результате будет получена система линейных уравнений  $n$  – го порядка с неизвестными параметрами.[3]

Для определения параметра  $a$  необходимо решить систему алгебраических уравнений. Эта система решается численно, используя программный пакет Mathcad, который позволяет выполнять численные и символьные вычисления. Приведены примеры построения уточненных ВАХ солнечных батарей с учетом экспериментальных данных. Проведены оценки точности и погрешности аппроксимации ВАХ. Даны рекомендации по повышению КПД солнечных батарей.

## Список литературы:

1. Новые модели солнечных элементов и перспективы их оптимизации/Н. С. Лидоренко, В. М. Евдокимов, А. К. Зайцева и др.—Гелиотехника, 1978, № 3, с. 3—17..
2. Васильев А.М., Ландсман А.П. Полупроводниковые фотопреобразователи. – М:Советскоерадио, 1971. – 248 с.
3. Пикус Г.Е. Основы теории полупроводниковых приборов. – М: Наука, 1965. – 448с.

# **ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ С ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ РАЗВЯЗКОЙ**

**Гученко А. Н., Резинкин О. Л.**

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

Испытание электрооборудования на электрическую прочность при воздействии атмосферных и коммутационных перенапряжений производится полными и срезанными импульсами напряжений [1]. Для определения амплитудных и временных параметров испытательных импульсов используются емкостные, омические и смешанные емкостно-омические измерительные высоковольтные делители напряжения (ДН). Выбор типа измерительного делителя осуществляется исходя из временных параметров измеряемых импульсов.

Для проведения научно-исследовательских работ в высоковольтной лаборатории НТУ "ХПИ" разработаны и изготовлены два емкостных ДН, обеспечивающих измерение импульсов напряжения микросекундного диапазона длительности с амплитудой до 500 кВ. Конструкция делителей обеспечивает возможность их последовательного подключения для измерения импульсных напряжений до 1 МВ. При проведении импульсных измерений на высоком напряжении значительную трудность представляет селекция полезного сигнала от импульсных электромагнитных помех, возникающих при срабатывании искровых коммутаторов. В тех случаях, когда амплитуда импульсных напряжений составляет сотни киловольт, влияние электромагнитных помех на экраны коаксиальных измерительных кабелей оказывается настолько большим, что уровень наведенных на них потенциалов может быть достаточным для повреждения цифровых измерительных приборов. Решение данной проблемы средствами экранирования измерительного тракта и осциллографического регистратора весьма трудоемко и сопряжено с существенными материальными затратами. Альтернативным путем снижения влияния синхронных электромагнитных помех является использования опто-электронной развязки между ДН и осциллографом.

Разработанные ДН работают в двух диапазонах амплитуд (до 110 кВ и 100 – 500 кВ) с различными коэффициентами деления. Высоковольтная изоляция выполнена из блочного капролона, в котором выточены полости для размещения в них электродов и экранированного блока оптоэлектронной развязки. Для предотвращения возникновения импульсных коронных разрядов все воздушные зазоры между металлическими элементами ДН и капролоновой изоляцией залиты отвержденным кремний-полимерным каучуком. Блок оптоэлектронной развязки обеспечивает передачу импульсов излучения по оптоволоконному кабелю (30 м) в фотоприемник, подключенный к цифровому осциллографическому регистратору. При регистрации полного и срезанного импульсов напряжения приведенная погрешность ДН не превышает 5 %.

**Список литературы:** 1. ГОСТ 1516.2-97 Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение 3 кВ и выше. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции.

# **ИНДУКЦИОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА В ПОЛОСКОВОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ФОРМИРУЮЩЕЙ ЛИНИИ**

**Данилюк А. Р., Резинкин О. Л.**

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

Для оценки стойкости технических средств к импульсным электромагнитным полям необходимо проведение испытаний, в ходе которых испытуемый объект подвергается воздействию мощных импульсов тока со стандартизованными амплитудно-временными характеристиками. В ряде случаев данные испытания необходимо проводить в низкоимпедансных цепях, таких как контуры заземления или различные экранирующие конструкции, сопротивление которых может составлять менее 1 Ом.

Одним из вариантов конструкции оборудования для проведения данных испытаний является высоковольтный генератор наносекундных импульсов тока с низким выходным сопротивлением, основным элементом которого является полосковая нелинейная формирующая линия (ПНФЛ). Благодаря высокой диэлектрической проницаемости нелинейного диэлектрика, ПНФЛ имеет волновое сопротивление порядка 0,65 Ом, а за счет нелинейных свойств, при распространении в ней электромагнитной волны, происходит обострение фронта импульса тока.

В ходе исследования электромагнитных процессов, происходящих в нелинейной длинной линии, возникла необходимость в измерении и регистрации наносекундных импульсов тока в различных сечениях ПНФЛ, для чего был разработан и изготовлен индукционный преобразователь, измеряющий напряженность магнитного поля. Индукционный преобразователь представляет собой двухслойную катушку длиной 5 мм и диаметром 1,6 мм. При проведении измерений индукционный преобразователь располагался на оси симметрии токопровода ПНФЛ, при этом плоскость его витков ориентировалась перпендикулярно линиям индукции магнитного поля. Регистрация осциллограмм напряжения на выходе индукционного преобразователя производилась цифровым осциллографом RIGOL DS1204B, к которому он подсоединялся с помощью измерительного кабеля, согласованного на конце резистором с сопротивлением 50 Ом. Поскольку индуктивное сопротивление измерительной катушки преобразователя намного меньше 50 Ом, измерительный тракт не оказывал существенного влияния на форму измеряемых сигналов.

В результате измерений были зарегистрированы цифровые осциллограммы измеряемого импульса в различных поперечных сечениях ПНФЛ. Для восстановления формы импульса тока, в программной среде Microsoft Excel производилось численное интегрирование сигнала, записанного осциллографом. Для регистрации формы импульсов тока в ПНФЛ был произведен расчет распределения магнитного поля вокруг токопровода в месте расположения катушки индукционного преобразователя и определен коэффициент преобразования датчика по силе тока.

# **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА ГРАФЕНА НА СОРБЦИЮ ВОДОРОДА**

**Долбин А.В.<sup>1</sup>, Винников Н.А.<sup>1</sup>, Баснукаева Р.М.<sup>1</sup>, Хлыстюк М.В.<sup>1</sup>,  
Марценюк В.Е.<sup>2</sup>, Терех А.И.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Физико-технический институт низких температур им. Б.И. Веркина  
НАН Украины, г. Харьков*

<sup>2</sup> *Национальный технический университет «Харьковский политехнический  
институт», г. Харьков*

Термическое восстановление является одним из широко используемых способов получения графеноподобных материалов в промышленном масштабе. Термически восстановленный графен (TRGO) получают из графеноксида (GO), который, в свою очередь, производят из графита с применением различных химических окислителей. Термическое восстановление графена представляет интерес не только ввиду существенного снижения стоимости массового производства графена, но также вследствие отсутствия химических восстановителей, которые невозможно полностью удалить из порошка или пленки оксида графена, что делает его непригодным для ряда биологических и медицинских применений. Термическое восстановление оксида графена – достаточно сложный процесс ввиду термически активированного многоэтапного удаления интеркалированных молекул воды и оксидных групп. Присутствие воды и кислородосодержащих групп весьма сильно влияет на физические свойства оксида графена, в том числе, на его сорбционные характеристики.

В интервале температур 9-290° К исследована сорбция и последующая десорбция водорода порошками оксида графена, термически восстановленного при температурах 200, 300, 500, 700 и 900° С. Полученная зависимость количества сорбированного водорода от температуры восстановления имела немонотонный характер. Максимальные значения количества сорбированного водорода наблюдались для образцов, восстановленных при 300 и 900° С. Сделано предположение, что увеличение сорбционной способности образцов, восстановленных при 300° С, объясняется разупорядочением слоистой структуры оксида графена при удалении интеркалированной воды. Термическая обработка при температуре 900° С также увеличила сорбционную емкость образца за счет образования множественных дефектов углеродных поверхностей при удалении кислородосодержащих групп.

Показаны возможные области применения графена, в том числе в электротехнике и устройствах, использующих результаты современных достижений нанотехнологий, в том числе и аккумулялирования в больших количествах водорода, который рассматривается как перспективный источник энергии будущего энергетике.

# ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГАЗООБРАЗНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Иванов В.М.

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

На основе проведенных исследований создан высоковольтный комплекс, генераторы которого формируют до 50000 импульсов в 1 секунду. Комплекс предназначен для использования при разработке технологии риформинга углеводородов в синтез-газ. Отличительной чертой комплекса является наличие двух независимых устройств, состоящий каждый из генератора исходных импульсов с *IGBT* коммутатором, повышающего высоковольтного импульсного трансформатора работающего на свою нелинейную нагрузку в виде реактора с объёмным коронным или барьерным разрядом. В генераторах предусмотрена плавная независимая регулировка напряжения и частоты следования разрядных импульсов. Генератор коронного разряда формирует исходные импульсы с частотой до 5 тыс.имп./с. Повышающий импульсный трансформатор с коэффициентом трансформации 140 трансформирует импульс на реакторе до напряжения 50 кВ. Генератор барьерного разряда имеет частоту следования до 50 тыс. имп./с и импульсный трансформатор с коэффициентом трансформации 40. Генераторы потребляют от сети мощность до 5 кВт.

В обоих генераторах в качестве коммутирующего элемента выбраны *IGBT* транзисторы. Транзисторные ключи работают в режиме размыкающих коммутаторов. Такой способ передачи энергии в нагрузку позволяет избежать принципиальных ограничений по амплитуде импульсов напряжения на нагрузке, имеющих место, когда транзисторный ключ работает в режиме замыкающего коммутатора. Отличительной чертой режима коммутации энергии в ёмкость реактора из индуктивного накопителя (индуктивности намагничивания трансформатора) путем размыкания транзисторного ключа является возможность полной передачи энергии независимо от величин этих ёмкости и индуктивности. Такая возможность отсутствует, когда транзисторный ключ работает в режиме замыкающего коммутатора, передающего энергию из основного низковольтного накопителя в ёмкость реактора минуя индуктивность намагничивания трансформатора. В последнем случае энергия будет полностью передана в реактор только при равенстве приведенной емкости нагрузочного реактора низковольтного накопителя. При этом напряжение на реакторе пропорционально току намагничивания. Напряжение на реакторе ограничивается напряжением, которое может выдержать без выхода из строя транзисторный ключ при его размыкании. Апробация высоковольтного комплекса проведена на Ясиновском коксохимическом заводе (ЯКХЗ) (город Макеевка, Украина).

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИЕЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПЕРЕДВИЖНЫХ ЭЛЕКТРОЛАБОРАТОРИЙ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Калюжный И.А., Рудаков В.В.

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

Ежедневно в крупных городах происходит по несколько повреждений силовых кабельных линий электропередач. Известны методы обнаружения зоны повреждения (импульсный, петлевой, колебательного разряда) и места повреждения кабеля (индукционный, акустический, индукционно-емкостной, индукционно-коммутационный). В Харькове за последние годы успешно действующими фирмами «Харьковэлектроприбор» и ФЛП «Бутко М.В.» разработано и поставляется ряд современных комплектов оборудования: рефлектометр высоковольтный осциллографический «ИСКРА-3М», генератор звуковой частоты ГЗЧ-2500, приёмник ПОИСК-2006М, генератор акустики ГАУВ-20кВ и ГАУВ-5кВ,- в составе передвижных электротехнических лабораторий на базе грузовых автомобилей для обеспечения этих методов. Лаборатории комплектуются как маломощными электрическими приборами, так и оборудованием с большой кратковременной мощностью (например, высоковольтные конденсаторы), которые работают в режиме длительного накопления энергии и быстрого разряда. В работе приводится расчет солнечной батареи, расположенной на крыше автомобиля и допускающей увеличение площади раскрытия солнечных панелей батареи в стационарном режиме при работе на месте обнаружения места повреждения кабеля, с целью получения дополнительной энергии для электротехнического оборудования вдали от централизованных источников электроэнергии. Учитывая, что  $1\text{ м}^2$  современной солнечной батареи позволяет получить до  $0,35\text{ кВт}$  мощности, то при площади батареи  $25\text{ м}^2$ , например, для высоковольтной лаборатории КЛ-35, можно получить  $8,75\text{ кВт}$  энергии. Рассмотрены



варианты размещения элементов батареи на крыше автомобиля и схемы их раскрытия на месте ремонта. Учтены наклон и углы расположения отдельных элементов батареи относительно положения солнца в дневное время суток с учетом каждого летнего месяца.

## **ПРОЕКТ СИСТЕМИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПРО ГРОЗОВУ НЕБЕЗПЕКУ**

**Князев В.В., Кравченко В.І.**

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

Найбільш розвинута система виявлення блискавок існує у США, де функціонує декілька незалежних мереж. Основною мережею є National Lightning Detection Network (NLDN), яка має понад 100 стаціонарних станцій розташованих по всій території США. Кожна станція оснащена різноманітними сенсорами. Розробники NLDN стверджують, що забезпечується фіксація не менш ніж 80 % усіх розрядів блискавок хмара-земля, струм яких перевищує 5 кА. Похибка локалізації місця влучення не перевищує 500 м. Узагальнення отриманої інформації у перспективі дозволить оцінити значення середньої щільності блискавок ( $N_g$ ) на території США. Цей параметр є важливим для визначення ризиків втрат від наслідків дії блискавки [за стандартом IEC 62305-2:2010], що є основою для прийняття рішення щодо потрібної якості системи блискавкозахисту та рівня страхових внесків. Але, методика такої оцінки ще у стадії розробки [Проект стандарту IEC 62858]. Крім того, NLDN не визначає параметри блискавок, та не в змозі реєструвати блискавки сила струму яких менш ніж 5 кА. Саме такі блискавки є найбільш небезпечними, тому що з високою ймовірністю минають системи блискавкозахисту. Також, що є найбільш важливим з міркувань цього проекту, мережа NLDN, та аналогічні, не в змозі попередити заздалегідь про оперативну грозову небезпеку у конкретному місці.

Ідея проекту, який пройшов конкурсний відбір та фінансується Міносвіти України з 2015 року, полягає у створенні локальної системи попередження про грозову активність (ЛС ПГА) з відкритою архітектурою. Робоча гіпотеза базується на можливості створити систему попередження про виникнення умов які характеризують появу блискавки з достовірністю понад 95%. Реалізація базується на створенні оптимальної комбінації різноманітних сенсорів електромагнітних явищ, що супроводжують грозовий фронт. Найбільш важливий сенсор системи базується на використанні таких фактів, які встановлено у нашому інституті [Чернухін О.Ю.]: а) сила струму кожного стримеру для діапазону напруженості поля від 5 кВ/м до 30 кВ/м та довжини стрижня від 2 м до 4 м змінюється не більш ніж на 50%, а часові параметри менш ніж на 20 %, при цьому спостерігається експоненціальна залежність кількості стримерів за одиницю часу; б) поява стримерів починається при досягненні напруженості електричного поля конкретного порогового значення, яке залежить від форм перетину стрижня та його вершини. Усі ці параметри для конкретного окремого стрижня достатньо стабільні.

# МЕТОД ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ОЦІНКИ СТУПЕНЯ ТЯЖКОСТІ УШКОДЖЕНЬ ПАЦІЄНТІВ З ПОЛІТРАВМОЮ

Колендовська М.М.,

*Харківський національний технічний університет радіоелектроніки,  
м. Харків*

Метод використання нейронних мереж спільно з даними табличного моніторингу названий комплексним методом визначення ступеня тяжкості пацієнтів з політравмою. Він є одним із засобів підтримки ухвалення рішення в медичній інформаційно-аналітичній системі (МІС) "Політравма" і є помічником при рішенні науково-дослідних завдань.

Для визначення пошкоджених АФО і їх міри життєвої важливості була розроблена нейронна мережа. Вхідними змінними в ній були такі параметри як: вік, пол, наявність алкоголю в крові, а також множина  $\{p_i\}$  контрольованих показників, які використовуються в табличному методі динамічного моніторингу пацієнта. Вихідними - анатомо-функціональні області організму і результат (вижив або помер пацієнт). Після навчання мережі була отримана вірогідність характеру ушкодження АФО, помилка при навчанні склала 0,261.

Для оцінки залежності зміни контрольованих показників (множина  $\{p_i\}$ ) від пошкоджених анатомо-функціональних областей і отримання вагових коефіцієнтів  $\lambda_i$  для класифікації  $\{p_i\}$  залежно від набору ушкоджень АФО розроблена і навчена нейронна мережа

Вхідними параметрами цієї мережі є: вік, підлога, наявність алкоголю в крові, ушкодження АФО. Вихідними - результат (вижив або помер пацієнт), а також множина  $\{p_i\}$  контрольованих показників, які були оброблені з використанням табличного методу динамічного моніторингу пацієнта. Обробка показників цим методом дала можливість позбавитися від різномірності даних (наявність кількісних і якісних показників в множині  $\{p_i\}$ ). Після обробки кожен контрольований показник відноситься до якої або з семи категорій. Після навчання нейронної мережі отримані приблизні дані за кожним контрольованим показником.

Таким чином, метод комплексного використання декількох нейронних мереж і табличного моніторингу фактично навіть при малих повчальних вибірках істотно покращує можливості визначення ступеня тяжкості пацієнтів з політравмою. Розроблені нейромережеві моделі використовуються лікарями-дослідниками в науково-дослідних розробках по вивченню політравми, її особливостей при різного роду надзвичайних ситуаціях, а також при виробленні стратегії лікарського рішення при цих поєднаннях травмованих органів і АФО.

# ЭНЕРГООБМЕННЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АКТИВНЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С МОЩНЫМ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫМ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В РЕЖИМЕ ОБРАТИМЫХ ОТКАЗОВ

Коробко А.И., Коробко З.И.

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

Обеспечение стойкости и защищенности радиотехнических систем при взаимодействии с мощным импульсным электромагнитным излучением (ИЭМИ) различного происхождения в режиме обратимым отказов требует анализа процессов внутри элементов, происходящих при этом взаимодействии.

Внутриэлементные процессы взаимодействия характеризуются непосредственным нелинейным взаимодействием радиоэлектронных элементов (РЭЭ) схем (как правило, активных) с ИЭМИ.

При этом под воздействием ИЭМИ происходит обратимое изменение характеристик РЭЭ на время, определяемое длительностью импульса и инерционными свойствами РЭЭ (например, временем рассасывания зарядов).

Индукцированное ИЭМИ обратимое изменение характеристик приводит к появлению в контурах радиотехнических систем ложных сигналов или состояний, не свойственных данной радиотехнической системе. В случае превышения уровнями ложных сигналов предельно допустимых уровней полезного сигнала происходит обратимый отказ.

Энергия ИЭМИ, воздействующая на активный РЭЭ, пропорциональна площади взаимодействия элемента с излучением, и определяется его геометрическими размерами и ориентацией по отношению к векторам полей.

Далее энергия взаимодействия увеличивается за счет усилительных свойств каскадов радиоэлектронной системы и попадает на выходные цепи системы, образуя ложный сигнал.

В пределе, энергия ложного сигнала превышает наводимую энергию на величину определяемую коэффициентом усиления каскадов (энергия ложных сигналов черпается из источника питания радиоэлектронных систем).

Следовательно, предельная энергия ложных сигналов на выходе радиоэлектронной системы может быть оценена, в данном случае, как сумма энергий нелинейного взаимодействия всех активных элементов, умноженных на соответствующий коэффициент усиления по мощности соответствующих направлений радиоэлектронной схемы (активный радиоэлектронный элемент – выходной разъем радиоэлектронной системы).

Из этого следуют основные направления уменьшения уровней ложных сигналов, появляющихся за счет нелинейного взаимодействия активных элементов с ИЭМИ:

- оптимальная ориентация отдельных активных элементов;
- электромагнитное экранирование отдельных активных элементов;
- использование радиопоглощающих покрытий активных элементов.

# **ЭНЕРГООБМЕННЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖЭЛЕМЕНТНЫХ ПРОВОДНИКОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С МОЩНЫМ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫМ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В РЕЖИМЕ ОБРАТИМЫХ ОТКАЗОВ**

**Коробко А.И., Коробко З.И.**

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

Одним из путей образования ложных сигналов, приводящих к обратимым отказам на выходе радиоэлектронных систем (РЭС) при воздействии на них импульсных электромагнитных излучений (ИЭМИ), является линейное взаимодействие (до момента межпроводникового электрического пробоя) ИЭМИ с проводниками печатных плат.

Величина энергии взаимодействия проводников в общем случае зависит от их ориентации по отношению к векторам ИЭМИ, геометрических размеров проводников, характеристик подложки и параметров эквивалентных нагрузок. Энергия взаимодействия проводников с ИЭМИ преобразуется в энергию, воздействующую на эквивалентные нагрузки проводников.

Далее эта энергия усиливается активными элементами РЭС и попадает на ее выход в виде ложного сигнала. Разность энергий на выходе РЭС и энергии взаимодействия проводников с ИЭМИ соответствует дополнительной энергии, потребляемой радиоэлектронной системой от источника питания при воздействии излучения в режиме обратимых отказов.

Максимальная энергия взаимодействия проводников печатной платы с ИЭМИ (определяется площадью самой печатной платы) не может превышать энергию излучения проходящего через контуры печатной платы.

Максимальная энергия ложного сигнала на выходе РЭС не может превышать сумму энергий взаимодействия каждого из проводников, умноженных на коэффициент усиления по мощности каждого из направления радиоэлектронных схем проводник – выход. По величине энергии ложного сигнала на выходе можно оценить величины токов и напряжений ложных сигналов. Следует отметить, что по максимальной величине ложные сигналы на выходе РЭС, обусловленные линейным взаимодействием ИЭМИ с проводниками печатных плат потенциально существенно превышают аналогичные ложные сигналы обусловленные нелинейным взаимодействием ИЭМИ с активными радиоэлектронными элементами. Данный факт обусловлен разницей в величинах их площадей взаимодействия.

Из анализа взаимодействия вытекает один из перспективных путей диагностики факта возможного появления обратимых отказов путем измерения потребляемого РЭС тока при воздействии ИЭМИ.

Данный метод не требует подсоединения измерительных средств к элементам схем, а требует подсоединения измерительных средств исключительно по цепи питания радиоэлектронной системы и к его выходу, что, как правило, не вызывает существенных технических затруднений.

## ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ КОНДЕНСАТОР ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА 10 КВ

Котелевец С.В., Рудаков В.В.

*Национальный технический университет*

*“Харьковский политехнический институт”, г. Харьков*

Силовые конденсаторы высокого напряжения используются в электротехнике для компенсации реактивной мощности с целью уменьшения потерь энергии и увеличения  $\cos\varphi$ . Разработан и испытан высоковольтный электрический конденсатор в пластмассовом корпусе (рис.) из секций на основе трехслойного полипропиленового диэлектрика, выпускаемого заводом Терахим (г. Луцк) в виде однородной однослойной (сплошной) структуры общей толщиной 40 мкм.

Исследованы образцы секций с этой структурой изоляции, расположенной между двумя обкладками из пищевой алюминиевой фольги толщиной 9 мкм каждая. Секции пропитаны кремнийорганической жидкостью. Испытания проводились путем ступенчатого повышения напряжения до (1-1,1)кВ и выдержки под напряжением на каждой ступени ~ 30мин. Параллельно, не снимая напряжения, проводились измерения тангенса угла диэлектрических потерь, который не превышал 0,0004 вплоть до 1,1 кВ. Критерием годности секции считалась неизменность тангенса угла диэлектрических потерь на протяжении всего интервала времени испытаний, а также постоянство температуры и емкости. По результатам испытаний сделаны рекомендации по выбору рабочей напряженности электрического поля. Собран высоковольтный конденсатор переменного напряжения на 10 кВ, содержащий 36 секций, соединённых по 9 групп последовательно и в каждой группе по 4 секции соединены параллельно. Соединения между секциями выполнены в виде паяных луженых медных отводов из каждой секции. Емкость конденсатора составила 1,6 мкФ, а емкость одной секции 3,6 мкФ. Положительными моментами являются низкий тангенс угла диэлектрических потерь, упрощение технологии намотки и пропитки, практически одинаковая стоимость по сравнению с серийно выпускаемыми конденсаторами. Конденсатор смонтирован в типовом полипропиленовом корпусе с габаритами 455x150x326. Вес конденсатора составляет 36кг. Расчетный срок службы конденсатора составляет 20 лет при рабочей напряженности 25-27кВ/мм.



# **ПОРУШЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИЛАДІВ В УМОВАХ ДІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

**Кравченко В.І., Серков О.А., Бреславець В.С., Яковенко І.В.**

*Національний технічний університет  
“Харківський політехнічний інститут”*

*м. Харків*

Визначені кількісні параметри сторонніх електромагнітних полів, що є причиною появи незворотніх відмов напівпровідникових приладів, та приведені існуючі методики визначення кількісних характеристик електричної стійкості напівпровідникових приладів – критичної енергії пошкодження, що визначає межу їх працездатності.

Доведено, що більшість існуючих методик визначення критеріїв незворотніх відмов не враховують ефекти змін робочих характеристик напівпровідникових приладів під дією стороннього випромінювання в умовах, коли межа критичної енергії не досягнута.

Проведено аналіз основних типів порушень працездатності електрорадіовиробів в умовах дії електромагнітного випромінювання – зворотніх та незворотніх відмов.

Запропонована фізична модель появи зворотніх відмов (без втрати працездатності) напівпровідникових приладів в умовах, коли дія стороннього випромінювання приводить до відхилення їх робочих (вольт – амперних) характеристик від норми. Причиною появи таких змін характеристик є процеси трансформації енергії наведених зовнішнім випромінюванням струмів в енергію власних коливань напівпровідникових приладів (встановлення режиму генерації коливань).

У роботі розглядалися електромагнітні коливання, що існують на межі розподілу середовищ, які відрізняються електромагнітними властивостями – поверхневі поляритони (хвилі Фано). При цьому використовувалися рівняння електродинаміки: рівняння Максвелла, 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.

## **ЗГАСАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ПЛАЗМОНІВ В УМОВАХ ДІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

**Кравченко В.І., Серков О.А., Бреславець В.С., Яковенко І.В.**

*Національний технічний університет  
“Харківський політехнічний інститут”  
м. Харків*

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 в глибину середовища.

Розглянуто механізми взаємодії поверхневих електроакустичних хвиль та електронів на межі плазмове середовище – п'єзоелектрик. Показано, що беззіткнувальне згасання поверхневих коливань обумовлено перетворенням їх енергії в енергію ХВК. Одержано вираз дисперсійного рівняння для пов'язаних електроакустичних та плазмових коливань, а також вираз для його декременту, виявлено умови виникнення резонансу, при якому на межі виникає поверхнева плазмово – акустична хвиля, аналогічна хвилі на межі п'єзонапівпровідник - вакуум.

Механізми беззіткнувального згасання поверхневих коливань, що базуються на застосуванні ХВК, обмежено класичним наближенням. Разом з тим, останнім часом в різних галузях радіофізики все більше застосовують структури з великою концентрацією носіїв, де виконуються умови квантового наближення. До них належать: напівпровідникові ґратки, 2D електронні системи, структури МДН, тонкі металеві плівки.

В якості енергетичного критерію оцінки електричної стійкості напівпровідникових приладів в галузі зворотніх відмов в роботі запропоновано величину енергії випромінювання електромагнітних коливань напівпровідникових приладів, яка визначає ступінь відхилення вольт – амперних характеристик напівпровідникових приладів від норми в умовах дії стороннього випромінювання.

# ВПЛИВ СТОРОННІХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ФАКТОРІВ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ЕЛЕКТРОРАДІОВИРОБІВ

Кравченко В.І., Серков О.А., Бреславець В.С., Яковенко І.В.

*Національний технічний університет  
“Харківський політехнічний інститут”*

*м. Харків*

Визначені розрахункові співвідношення для кількісних характеристик зворотніх відмов ( ступеню відхилення ВАХ від норми) напівпровідникових приладів в залежності від параметрів зовнішнього електромагнітного випромінювання та фізичних якостей матеріалів, комплектуючих прилади.

В роботі розглядається взаємодія наведених зовнішнім випромінюванням потік електронів з власними поверхневими коливаннями напівпровідникових структури , коли вектор напруги зовнішнього електричного поля та наведений полем струм ) спрямовані впродовж межі структури , а сама структура оточена напівобмеженими діелектричними середовищами.

Отримані аналітичні рішення задач взаємодії струмів, наведених зовнішнім електромагнітним випромінюванням, з власними електромагнітними коливаннями структур, що комплектують напівпровідникові прилади, в умовах режиму нестійкості ( генерації) коливань.

Внаслідок резонансної взаємодії, в умовах, коли фазова швидкість заряджених частинок наведеного струму дорівнює фазовій швидкості електромагнітних коливань напівпровідникової структури ( умови випромінювання Вавилова – Черенкова ) реалізується механізм трансформації енергії наведеного струму в енергію коливань.

Таким чином, при проходженні потоку заряджених частинок вздовж напівпровідникової структури проходить процес перетворення енергії зарядів в енергію власних ( поверхневих ) коливань.

В роботі розглядалися можливості перетворення енергії поверхневих коливань в енергію хвиль Ван - Кампена (ХВК) в умовах, коли на межі має місце дифузне відбиття електронів. Задача розв'язувалася в класичному наближенні в умовах слабкої просторової дисперсії. Для одержання матеріального рівняння застосовувалося кінетичне рівняння. Його розв'язок дозволяв отримати зв'язок між полем поверхневої хвилі та ХВК за допомогою додаткових умов дифузного відбиття електронів на межі. В роботі одержано вираз для декременту поверхневих плазмонів в умовах дифузного відбиття електронів від межі напівпровідник – вакуум у випадках максвелівського розподілу електронів та виродженого електронного газу.

Проведені в роботі дослідження визначають механізми беззіткнувального згасання поверхневих плазмонів внаслідок їх взаємодії з електронами середовища в діапазоні електронних температур, включаючи квантову межу.

**ВЗАЄМОДІЯ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ  
НАДГРАТКИ З ПОТОКОМ ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК**  
**Кравченко В.І., Серков О.А., Бреславець В.С., Яковенко І.В.**  
*Національний технічний університет*  
*“Харківський політехнічний інститут”*  
*м.Харків*

Досліджено взаємодію власних електростатичних коливань періодичного неоднорідного плазмового середовища ( надгратки ) з моноенергетичним потоком заряджених частинок. Властивості пучка та нерухомого плазмового середовища визначалися рівняннями гідродинаміки. Показано, що наявність періодичності структури обумовлює зв'язок між власними коливаннями потоку – хвилями просторового заряду та плазмовими коливаннями структури.

В роботі визначено механізм беззіткнувального згасання поверхневих плазмонів на межі провідних середовищ. Знайдено декременти коливань в квантовому та класичному наближеннях.

При проходженні через провідну пластину моноенергетичного потоку нестійкості виникають в залежності від параметрів потоку та твердотільної структури.

Показано, що інкремент нестійкостей у гідродинамічному наближенні значно перевищує інкременти кінетичних нестійкостей. В той же час в умовах, коли довжина напівпровідникової пластини значно менша довжини хвилі, нестійкість власних коливань структури виникає тільки в умовах квантового наближення.

Було одержано дисперсійне рівняння для системи потік заряджених частинок – напівпровідникова надгратка в умовах, коли частинки потоку проходять крізь середовище з постійною швидкістю. Знайдено власні частоти коливань, сформульовано умови розвитку нестійкостей та отримано вирази для різних окремих випадків.

З практичної точки зору в роботі вирішено важливе питання про можливість збудження поверхневих коливань в умовах резонансної взаємодії хвиль та частинок, коли потік електронів та періодична структура розділені у просторі.

В роботі були проведені кількісні оцінки втрат енергії наведених струмів на збудження поверхневих коливань. Величина енергії випромінювання власних коливань напівпровідникових приладів ( кількісна характеристика зворотніх відмов) складає  $10^{-7} - 10^{-8}$  Дж та знаходиться в межах сучасних приймачів НВЧ - випромінювання.

Вибір поверхневих коливань в якості каналу трансформації енергії струмів не є випадковим – цей тип коливань локалізований поблизу межі напівпровідникового приладу, що визначає ефективність їх взаємодії зі струмами, наведеними зовнішнім випромінюванням.

## ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ЕЛЕМЕНТА ЄМНІСНОГО ПОДІЛЬНИКА НАПРУГИ НА 1.2МВ

Кравченко В.П., Рудаков В.В., Касаткін В.П.

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

В НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПІ» в складі високовольтної установки ВВС-1.2 для проведення сертифікаційних випробувань технічних об'єктів з електромагнітної сумісності використовується ємнісний подільник напруги на 1,2МВ. В складі подільника використовуються керамічні високовольтні конденсатори К15-10, які залиті трансформаторним маслом. Експлуатація подільника на протязі кількох років довела його недостатню надійність, що доведено кількома вилученнями дільника з установки внаслідок пробоїв керамічних конденсаторів та їх заміни. У данній роботі представлено розробку одного з 6 конденсаторів ємнісного дільника напруги із органічної ізоляції і ємністю кожного конденсатору  $C=1$  нФ при напрузі на ньому 400 кВ. В якості корпусу конденсатора використано комплектуючі з подільника, що вже використовується з керамічними конденсаторами. Корпус конденсатору представляє собою циліндр з паперу, що просочений бакелітом, зовнішнім діаметром  $d_n = 175$ мм, товщиною стінки 7,5мм та висотою без урахування висоти фланців  $h = 420$ мм. Зверху і знизу корпус герметично закрито склопластиковими фланцями діаметром  $d_{кр} = 200$ мм та товщиною 10мм. Було розраховано 4 варіанти робочої ізоляції, а саме папір КОН-ІІ (товщиною 0,1мм) просочений касторовим маслом, папір КОН-І (загальною товщиною 0,1мм) просочений конденсаторним маслом, комбіновані секції з паперу КОН-І та лавсанової плівки (загальною товщиною до 0,085мм) з просоченням касторовим та конденсаторним маслом відповідно. Затребуваний ресурс становить  $10^6$  циклів заряд-розряд при декременті коливань -2, частоті слідування імпульсів – однократні і частоті розрядного струму – 20-100кГц. Порівняння 4 видів ізоляції за ресурсом і ємністю показало, що кращою системою ізоляції є паперова ізоляція, що просочена касторовим маслом. Підвищена імпульсна електрична міцність уздовж зовнішньої поверхні ізоляційного корпусу (робоча імпульсна напруженість уздовж зовнішньої поверхні становить 10кВ/см) забезпечується рівномірним розподілом напруги по висоті послідовно з'єднаних секцій однакової ємності, що є позитивним. Одночасно маємо близький до рівномірного розподіл електричного поля зовні корпусу та високу надійність роботи при ресурсі  $10^6$  циклів заряд-розряд. До негативного признаку можна віднести незадовільне використання активного об'єму в корпусі, що складає 40%.



# **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ГИБРИДНЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ**

**Кулинич И.А, Корнейчук А.Н.**

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

На сегодняшний день существует большое количество гибридных сетей связи. Частным представителем данных сетей являются гибридные спутниковые системы связи (ГССС). Следствием их интенсивного развития является возникновение технологии VSAT (verysmallapertureterminal). Топология системы связи VSAT бывает различной: точка-точка (SCPC), точка-многоточка (star) и полносвязная (mesh). Данные системы связи получили свое развитие благодаря совместному использованию спутникового и наземного каналов связи.

Если оценивать глобальные тенденции, наметившиеся в развитии индустрии VSAT, то можно констатировать, что создаваемые сегодня технологии и системы позволяют доставить потребителю вещательный телевизионный сигнал, речь, данные и мультимедиа-информацию. Используя достижения в области цифровой широкополосной связи, а также технологии IP и DVB, системы VSAT становятся поистине универсальным средством для организации общественных и корпоративных сетей связи и вещания. Благодаря наличию стандартных программно-аппаратных интерфейсов их можно интегрировать с любыми существующими информационно-вычислительными и телекоммуникационными сетями.

Исследования показали, что пропускная способность спутниковой гибридной сети с фиксированной скоростью передачи ухудшается в случае, когда трафик обладает фрактальными свойствами. Оценка эффективности таких систем аналитическим методом представляет значительную сложность.

В докладе предлагается методика оценки характеристик гибридных спутниковых систем связи на основе имитационного моделирования. Рассматривается модель спутникового канала, которая позволяет определить влияние характеристик канала на вероятность битовой ошибки и найти параметры, при которых обеспечивается требуемое значение вероятности ошибки. Также приводится методика моделирования в среде “Альбатрос” позволяющая определить максимальную скорость передачи информации при заданной вероятности ошибки спутниковой линии связи.

# МАКЕТ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ЕФЕКТУ

Марценюк В.Є., Лукашов О.О.

*Національний технічний університет*

*«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

Здійснення електрогідролічного ефекту пов'язано з відносно повільним накопиченням енергії в джерелі живлення і практично миттєвим її виділенням в рідкому середовищі. Основними діючими факторами електрогідролічного ефекту є високі та надвисокі імпульсні гідролічні тиски, які призводять до появи ударних хвиль зі звуковою і надзвуковою швидкостями; значних імпульсних переміщень обсягів рідини зі швидкостями близько сотень метрів в секунду; потужних імпульсних кавітаційних процесів, що здатні охопити відносно великі об'єми рідини; інфра- та ультразвукового випромінювання; механічно резонансних явищ з амплітудами, що дозволяють здійснювати взаємне відшарування один від одного багатокомпонентних твердих тіл; потужних електромагнітних полів (десятки тисяч ерстед); інтенсивних імпульсного світлового, теплового, ультрафіолетового, а також рентгенівського випромінювання; імпульсних гамма - і (при дуже великих енергіях імпульсу) нейтронного випромінювання; багаторазової іонізації сполук і елементів, що містяться в рідині. В роботі приводиться опис розробленого лабораторного макету для дослідження ефектів від дії імпульсного електричного розряду в рідині. Основний фактор дії є підняття тиску у камері в якій буде проводитися випробування і перетворення електричної енергії в механічну для вироблення деталей у виробництві. Під час електрогідролічного ефекту тиск у різних зонах коливається від  $2 \cdot 10^6$  Па до  $2 \cdot 10^{10}$  Па. Слід зазначити можливе підвищення температури до  $4 \cdot 10^4$  К в каналі розряду при проектуванні випробувального макету та його розрахунку. Таким чином для створення умов нормальної експлуатації необхідно розрахувати міцність та жорсткість матриці камери з прикладеним тиском  $P=30$  МПа. Під час розрахунку було внесено ряд конструктивних змін матриці камери та досягнуто значення критичної сили, яка дорівнює  $R_{к.р}=4568$  кН. При модулі пружності для сталевий стійки  $E=2 \cdot 10^{11}$  Па запас міцності буде забезпечений. Макет може використовуватися при випробуваннях в діапазонах дії напруги від  $U=20$  кВ до  $U=50$  кВ, та ємності накопичувача імпульсного джерела живлення у діапазонах від  $C=0,1$  мкФ до  $C=1,0$  мкФ. Середня тривалість розряду складає від 10 до 10000 мкс, при частотах слідування імпульсів 10-1000 Гц. Об'єм робочої камери макету становить 1,5 л.

# МЕТОД БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ С УЧЕТОМ САМОПОДОБИЯ ТРАФИКА

Мерсни Амаль

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», Туніс*

Предлагается метод балансировки трафика в мультисервисных сетях на основе наложенной балансировочной сети и методика экспериментального определения основных параметров качества обслуживания. Исследователи отмечают, что современные сети страдают от недостатка пропускной способности. Согласно проведенным исследованиям около 20-30% соединений в мультисервисных сетях маршрутизируются через перегруженные участки. При этом отмечается значительная неравномерность распределения загрузки канальных ресурсов, свидетельствующая о неэффективности применяемых механизмов управления трафиком. Одним из направлений решения данной задачи является применение специальных методов балансировки нагрузки, позволяющих эффективно распределять нагрузку в соответствии с имеющимися незадействованными ресурсами.

Первая задача состоит в том, что сеть должна передавать максимально-возможную входящую нагрузку. Задача оптимизации в этом случае может быть сформулирована следующим образом:

$$Q(\Lambda^N, C_{1\alpha}, C_{2\alpha}) \rightarrow \max_{U_\alpha}, (1)$$

где  $Q(\bullet)$ —целевая функция,  $\Lambda^N$ — суммарный поток входящего трафика,  $C_{1\alpha}$  и  $C_{2\alpha}$ —пропускные способности узлов и каналов сети, а  $U_\alpha$ —такое управление, при котором возможно использование как прямых, так и обходных маршрутов. В данном случае можно привести задачу оптимизации к следующему виду:

$$\Lambda^N \rightarrow \max_{U_\alpha} | C_{1\alpha}, C_{2\alpha}, (2)$$

Соответственно, решением будет схема управления, обеспечивающая максимальную интенсивность передаваемого трафика.

Вторая задача может быть определена как:

$$\frac{\lambda_1}{\mu_1} \rightarrow \min_{U_\beta} | \Lambda^N = \sum_{l \in L} \lambda_1, \lambda_1 < \mu_1 \forall l \in L, (3)$$

где:  $\lambda_1$ — интенсивность трафика, а  $\mu_1$ — пропускная способность маршрута  $l$ ,  $L$ — множество всех доступных маршрутов в сети,  $U_\beta$ —искомая схема управления. Необходимость выбора схемы управления трафиком с минимальной загрузкой каналов следует из требования минимизации задержек и потерь в рассматриваемой сети, так как данные показатели растут нелинейно с увеличением загрузки.

В докладе предлагается способ экспериментального исследования балансировки трафика и определения параметров качества обслуживания в мультисервисных сетях. Эксперименты проводились на локальной сети, в состав которой входили маршрутизаторы Cisco. Для генерации различных типов трафиков и анализа их статистических характеристики использовалась программа IxChariot.

# ПРОСТОРОВА ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМАХ РАДІОДОСТУПУ

Обод І.І., Гуз О.Ю., Обухов О.В.

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

Одним з важливих напрямів розвитку бездротових систем зв'язку є забезпечення значного збільшення швидкості передачі даних і зростання кількості користувачів. Подальше розширення частотної смуги або збільшення випромінюваної потужності нераціонально через високу вартість додаткових смуг частот і жорстких вимог до електромагнітної сумісності. Альтернативним вирішенням цієї проблеми може бути застосування просторової обробки сигналу. При цьому великий інтерес викликає аналіз характеристик радіоканалів доступу з OFDM/SDMA (orthogonal frequency-division multiplexing / space division multiple access) систем широкосмугового радіодоступу, особливо, коли на базових станціях (БС) є приймальня антенна решітка (АР), а на абонентських терміналах одна передавальна антена.

У доповіді розглядаються питання підвищення якості роботи бездротових систем і мереж при використанні просторової обробки сигналів.

Отримані прості аналітичні вирази для середніх значень відносин сигнал/шум (ВСШ) на виході заданого антенного елемента та пропускну здатності (ПС) системи радіодоступу в умовах релеєвських завмирань сигналів, справедливі при довільних значеннях кількості користувачів. Показано, що збільшення кількості просторово розділених користувачів збільшує повну ПС системи. Однак при цьому зростають втрати в ВСШ на виході каналів, що призводить до зменшення ПС.

Показано, що існує оптимальна кількість користувачів, для яких слід застосовувати просторове розділення користувачів. При такій оптимізації максимізується повна середня ПС системи. Оптимальна кількість користувачів залежить від кількості елементів в антенній решітці на базовій станції, а також від випромінюваної потужності (зростає при її збільшенні).

За умови наближення кількості користувачів до кількості антенних елементів АР продуктивність системи знижується, що обумовлено зменшенням рознесення користувачів і, відповідно, зниженням ВСШ на виході антенних каналів.

# АДАПТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ПРОДУКТИВНІСТЮ СИСТЕМ РАДІОДОСТУПУ

Обод І.І., Жажі Редуан

*Національний технічний університет*

*«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

Бездротові мережі набувають все більшої популярності, вони починають з'являтися в самих різних місцях - від будинків та офісів до громадських точок бездротового доступу в кафе і ресторанах. Однак кількість користувачів, що працюють в неліцензуємому діапазоні частотного спектру, з кожним днем стає все більше, що призводить до посилення перешкод і підвищення рівня шуму в кожній конкретній мережі, що в кінцевому підсумку призводить до різкого зниження швидкості передачі інформації. Слід зазначити, що оскільки прогнозувати стан навколишнього бездротовий пристрій середовища важко, то й майже неможливо заздалегідь вибрати набір параметрів, який гарантував би оптимальну продуктивність всіх додатків.

Метою даної роботи є розробка адаптивних підходів в управлінні параметрами бездротових мереж для оптимізації продуктивності мереж обміну інформацією.

У доповіді розглянуті можливості адаптивної настройки для оптимізації параметрів каналу передачі інформації в залежності від характеристик середовища поширення сигналів.

Розроблені в роботі алгоритми дозволяють бездротового пристрою динамічно оптимізувати відразу кілька параметрів доступу до середовища передачі (MAC-рівень) у відповідь на зміни середовища, в якій працює пристрій. Це означає, що пристрій сам змінює свої параметри, вибираючи найбільш підходящий вузол доступу, мінімізує вплив завад, оптимізує роботу бездротової локальної мережі і покращує умови роботи користувачів.

Показано, що адаптивні алгоритми вирішують завдання різкої зміни стану навколишнього середовища, дозволяючи пристрою самостійно коригувати свої налаштування по мірі зміни середовища; наприклад, якщо раптово зникає перешкода. При цьому слід зазначити, що зміна одного окремо взятого параметра не кращий спосіб адаптації бездротового пристрою до постійних змін навколишнього середовища, так як, покращуючи цей параметр, ми, як правило, знижуємо інший. Адаптивний алгоритм управління MAC-рівнем повинен знайти набір параметрів, який забезпечив би оптимальну загальну пропускну здатність бездротового пристрою.

# ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ МНОЖИННОГО ДОСТУПУ В МЕРЕЖАХ РАДІОДОСТУПУ

Обод І.І., Кадук М.М.

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

У сучасному суспільстві мобільні інформаційні мережі і технології відіграють роль прискорювача розвитку інформаційних (технологічних) економік і переходу до нового рівня якості життя людей. Проте часто виникає ситуація, в якій алгоритм управління доступом до середовища найчастіше представляє собою «вузьке місце» всієї системи зв'язку та суттєво знижує її потенційну продуктивність. Це обумовлює актуальність вдосконалення методів множинного доступу (МД) в інформаційних мережах.

Найбільш перспективними МД, в даний час, є методи засновані на використанні просторової складової, тобто МД з просторовим розділенням каналів (SDMA - Space Division Multiple Access).

Для цих технологій характерно, що для кожного абонента в загальній смузі частот формуються окремі кодовані канали, що дозволяє ефективно використовувати частотний ресурс і, отже, суттєвим чином підвищити пропускну здатність мережі. Застосування ж цифрових антенних решіток дозволяє, відповідно до закладеного алгоритму, формувати необхідні діаграми спрямованості, як на прийом, так і на передачу (наприклад, сформувати максимум ДНА в напрямку на джерело передачі інформації і мінімум на джерело перешкод), що істотно розширює можливості цього методу МД. Дійсно, в цьому випадку забезпечується просторовий метод розділення абонентів (просторовий МД).

Комбіновані методи являють собою комбінації попередніх методів розподілу ресурсу, і реалізують стратегії, в яких вибір методу є адаптивним для різних користувачів з метою отримання характеристик використовуваного ресурсу каналу, близьких до оптимальних. Таким чином, кожен з розглянутих способів розподілу ресурсу володіє достоїнствами і недоліками. На практиці доцільно мати певну сукупність методів і їх комбінацій і здійснювати адаптивний перехід від одного методу до іншого при певних змінах робочих умов.

Отримані результати показали, що найбільш ефективними методами МД є комбіновані (адаптивні) методи з обов'язковим формуванням їх на основі просторового розподілу каналів.

# ЧАСОВО-ЧАСТОТНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ СИСТЕМ РАДІОДОСТУПУ

Обод І.І., Ліщенко Я.І.

*Національний технічний університет*

*«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

Одним з найбільш пріоритетних напрямів досліджень в області цифрових систем бездротового зв'язку є підвищення ефективності такого роду систем, пов'язане в першу чергу зі збільшенням швидкості передачі інформації при збереженні високої якості обслуговування абонентів (низької ймовірності помилки при передачі інформації). Основними перешкодами для досягнення цієї мети є складні умови багатопроменевого поширення сигналів у випадковій середовищі, що розсіює, які викликають глибокі завмирання (федінги) сигналів.

Високий інтерес до систем радіодоступу (РД) пов'язаний з можливістю вирішення завдання забезпечення послугами зв'язку на ділянці між абонентським і комутаційним обладнанням. Для успішної конкуренції радіотехнологій з дротяними засобами зв'язку крім зручності необхідне підвищення ефективності використання доступних ресурсів в мережі, що є важливою технічною задачею.

Часто основним показником якості функціонування систем РД виступає стійкість до зовнішніх завад, у тому числі до завмирань і межсимвольної інтерференції, які викликані багатопроменевим поширенням сигналів. Така стійкість визначається способами обробки сигналів, вибором параметрів модуляції, кодування, синхронізації, протоколів доступу до каналу. З іншого боку ці параметри істотно впливають на частотну ефективність системи радіозв'язку.

У каналах з завмираннями знаходять широке застосування сигнали з розширеним спектром і сигнали з ортогональної частотної модуляцією (OFDM). Слід зазначити, що сигнали з розширеним спектром займають значно більшу смугу, ніж потрібно для передачі простими сигналами. Застосування OFDM-сигналів не призводить до збільшення необхідної смуги частот, що і забезпечило таке широке використання ортогональної частотної модуляції у сучасних системах радіодоступу.

У докладі отримані вирази для оцінки завадостійкості системи радіодоступу з ортогональним частотним розділенням радіоканалів та наведені розрахунки. Показано, що наявність радіозавад від інших абонентських терміналів істотно погіршує завадостійкість прийому і чим вище кратність рознесення прийому, тим ситуація гірша.

# ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МОБІЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Обод І.І., Мазур Є.І., Зоркіна А.В.

*Харківський національний технічний університет радіоелектроніки,  
М. Харків*

У сучасному суспільстві мобільні інформаційні мережі і технології відіграють роль прискорювача розвитку інформаційних (технологічних) економік і переходу до нового рівня якості життя людей. Усі сучасні технології безпроводного зв'язку нині рухаються в одному напрямі — до систем на базі OFDM — MIMO і далі до систем 4-го покоління (чи IMT — advanced в термінології 3GPP).

Ключові особливості радіоінтерфейсу сучасних систем радіодоступу WiMax і LTE заключаються в тому, що обидві ці технології базуються на одному і тому ж радіоінтерфейсі MIMO - OFDM. Для визначення наявних між ними відмінностей в докладі поглиблено розглянути принципи організації радіоінтерфейсу, а саме:

- багатостанційний доступ,
- організація каналних ресурсів,
- диспетчеризація частотних ресурсів,
- адаптація системи до характеристик каналу,
- керування потужністю,
- коефіцієнт перевикористання частот,
- схеми MIMO,
- оцінка місткості соти,
- оцінка радіопокриття.

Як показав проведений аналіз, технології LTE і WiMAX для інформаційних мереж, використовують схожі радіотехнології, але для застосування на транспорті перша має переваги:

- коефіцієнт перевикористання частот в WiMAX дорівнює 3, а у LTE -1 (Менший коефіцієнт, вища спектральна ефективність);
- затримка на обробку пакетів в WiMAX дорівнює 30мС, а у LTE -10 мС (Досягнуто за рахунок спрощеної архітектура мережі LTE);
- адаптація системи до каналу в WiMAX- груба настройка (2-3 дБ), а у LTE - висока точність (1-2 дБ), (Адаптація системи із високою точністю підвищує спектральну ефективність).

Виходячи з результатів проведеного аналізу двох широкосмугових стандартів практично 4 покоління можна зробити висновок про те, що характеристики радіопокриття і місткості мережі LTE значно вищі за характеристики WiMax.

# АДАПТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ЗОНОЮ ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМ РАДІОДОСТУПУ

Обод І.І., Пайл Д.В.

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

Можливо стверджувати, що тільки бездротові мережі та системи забезпечують створення мобільних інформаційних систем. Завдяки чому бездротові інформаційні системи і мережі набувають все більшої популярності. Крім мобільності вони володіють цілим рядом переваг в порівнянні з традиційними дротяними мережами.

Однак велика кількість користувачів, що працюють в неліцензуємому діапазоні частотного спектру, призводить до посилення завад і підвищення рівня шуму в кожній конкретній мережі, що істотно знижує продуктивність мережі. На продуктивність мережі істотно впливають і завади, викликані роботою інших радіотехнічних засобів. Всі ці негативні впливи істотним чином позначаються на зоні обслуговування системи радіодоступу з необхідними показниками якості.

У доповіді наводяться методи збільшення зони обслуговування системи радіодоступу з необхідними показниками якості при дії в каналі передачі флуктуаційних і імпульсних завад різного походження.

Показано, що збільшення зони обслуговування можна досягти шляхом збільшення потужності випромінювання як базової, так і мобільного станціями, зміною швидкості кодування, використанням низькоефективних методів модуляції сигналів, а також використанням сигналів з розширеним спектром. Проведено порівняльний аналіз сигналів з розширеним спектром і показано, що в системах радіодоступу можуть використовуватися як фазоманіпульовані так і частотно-модульовані сигнали в якості переносників інформації. Запропоновано і промоделювати структури використання зазначених сигналів в якості переносників інформації в системах радіодоступу. Отримані енергетичні відносини при використанні складних сигналів в якості переносників інформації в системах радіодоступу, а також оцінені зони обслуговування систем радіодоступу при використанні сигналів з розширеним спектром в якості переносників інформації. Показано, що використання складних сигналів дозволяє управляти зоною обслуговування систем радіодоступу в істотних межах.

Показано, що використання частотно-модульованих сигналів більш доцільно у порівнянні з фазоманіпульованих у зв'язку з можливістю більш плавного управління зоною обслуговування системи радіодоступу

# АДАПТИВНА ОПТИМІЗАЦІЯ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМАХ РАДІОДОСТУПУ

Обод І.І., Полянская М.А.

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

Бездротові системи і мережі набувають все більшої популярності, оскільки володіють цілим рядом переваг в порівнянні з традиційними дротяними мережами. Зокрема, користувачі бездротових локальних мереж отримують безліч переваг, включаючи підвищення продуктивності, економію часу, гнучкість мережевого доступу практично з будь-якого місця, а також на новому місці може бути дешевше розгорнути бездротову локальну мережу, ніж традиційну дротову.

Основні проблеми під час проектування телекомунікаційних радіосистем виникають при визначенні характеристик радіоканалу в результаті особливостей поширення радіохвиль, а також впливу завад, в каналі, особливо в зоні складної забудови великих міст. Радіохвилі в складних умовах, як правило, через відбиття від перешкод одночасно поширюються по декількох шляхах і в точці прийняття складаються, що призводить до посилення перешкод і, як наслідок, до зниження реальної швидкості передачі інформації. На продуктивність мережі істотно впливають і перешкоди, викликані роботою інших радіотехнічних засобів. Всі ці негативні впливи істотним чином позначаються на швидкості передачі інформації в системах радіодоступу.

У доповіді проводиться порівняльний аналіз методів часової обробки інформації в системах радіодоступу та представляється оригінальний спосіб передачі інформації, що базується на адаптивній часової обробки інформації, який дозволяє підвищити реальну швидкість передачі інформації.

Спосіб базується на адаптивному управлінні обсягу інформаційного пакета, переданого повідомлення, за рахунок оцінки якості середовища передачі в обох напрямки. На основі оцінки відношення сигнал/шум в каналі радіозв'язку оптимальним чином вибирається обсяг переданого повідомлення з урахуванням виду модуляції сигналів, швидкості кодування, дальності між базовою і мобільною станціями, максимального числа перезапитів повторення передачі та апаратних параметрів систем радіодоступу.

# МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМАМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

Обод І.І., Стрельницький О.О., Андрусевич В.А.

*Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків*

Основним джерелом інформації про повітряну обстановку в системі контролю використання повітряного простору (СКВПП) є системи спостереження (СС) до яких входять первинні та вторинні (запитальні) СС. Дійсно, радіотехнічні СС значною мірою визначають рішення задач котрі стоять перед військами Повітряних Сил. Сучасний інформаційний комплекс для надання інформаційних послуг споживачам СКВПП, як правило, містити в собі первинну та вторинні СС із вбудованою апаратурою первинної та вторинної обробки інформації.

Широке використання інформаційних технологій з етапу первинної обробки інформації посилює задачу сумісної оптимізації обробки інформації на подальших етапах обробки і дозволяє сформуванати структуру та ввести інтегральний показник якості (ІПЯ) інформаційного забезпечення (ІЗ) користувачів. Пошук шляхів та методів підвищення якості ІЗ є актуальною задачею.

В докладі надано класифікацію методів підвищення якості інформаційного забезпечення СС повітряного простору.

Показано, що підвищити якість ІЗ можливо за рахунок підвищення якості ІЗ первинних та запитальних СС, зокрема за рахунок оптимізації обробки сигналів відповіді запитальних СС та оптимізації сумісної обробки сигналів первинних та запитальних СС. Однак ці методи не вирішують головної проблеми ІЗ, пов'язаної з низкою завадозахищеністю первинних та запитальних СС, розв'язати котру можливо завдяки спадкоємному переходу до єдиної інформаційної мережі СС.

Запропоновані у докладі методи дозволяють підвищити якість ІЗ користувачів за рахунок:

- спадкоємного переходу до мережної побудови первинних та запитальних СС, що призведе до підвищення завадостійкості та завадозахищеності зазначених СС;

- спадкоємного переходу до єдиної інформаційної мережі СС у якій розв'язується проблема сумісного функціонування первинних та запитальних СС.

# ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДВОХ МЕТОДІВ ЗБІЛЬШЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МЕРЕЖ РАДІОДОСТУПУ

Обод І.І., Стрельницький О.О., Буланій О.А.

*Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків*

Сумарна пропускна спроможність (ПС) мереж радіодоступу (РД) залежить від кількості використовуваних частотних присвоєнь, способу розподілу частотно-територіального ресурсу, можливостей повторного використання частотних каналів, умов поширення радіохвиль, заводої обстановки та інших, уже перерахованих вище, факторів і, у загальному вигляді, визначається як :

$$C = \sum_{i=1}^{N_b} \sum_{j=1}^{N_c} C_{ij} (N_k, \vec{P}_{dost}, \vec{P}_{dupl}, K_{povt}),$$

де  $N_b$  – кількість базових станцій у мережі;  $N_c$  – кількість секторів на одну базову станцію;  $N_k$  – число каналів на одну базову станцію (сектор);  $C_{ij}$  – ПС на один сектор;  $\vec{P}_{dost}$  – вектор параметрів протоколу доступу до каналів;  $\vec{P}_{dupl}$  – вектор параметрів дуплексного розділення каналів;  $K_{povt}$  – коефіцієнт повторного використання частот.

В докладі наводиться порівняльний аналіз двох методів підвищення ПС мереж радіодоступу: за рахунок збільшення частотного ресурсу та збільшення просторового розділення.

Наведені в докладі розрахунки наглядно показують, що збільшення частотного ресурсу з 5 МГц до 10 МГц призводить збільшення ПС з  $5 \cdot 10^5$  біт/с/Гц до  $10^6$  біт/с/Гц при 100 абонента, у той час коли збільшення число просторових секторів з 3 до 6 призводить збільшення ПС з  $5 \cdot 10^5$  біт/с/Гц до  $3 \cdot 10^6$  біт/с/Гц при той ж кількості абонентів.

Крім того ПС мереж РД з технологією просторового доступу може бути збільшена:

- за рахунок можливості одночасного незалежного обслуговування декількох користувачів;
- вибором оптимальної кількості обслуговуваних користувачів, за рахунок збільшення повної ПС системи при незмінній потужності передавача БС.

Таким чином у роботі показано, що використання технології множинного доступу з просторовим поділом абонентів дозволяє досягнути значно більшої повної ПС мереж РД у порівнянні зі збільшенням частотного ресурсу

# АДАПТИВНА ЧАСОВА ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМАХ РАДІОДОСТУПУ

Обод І.І., Шепелева А.В.

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

Бездротові системи і мережі набувають все більшої популярності, оскільки володіють цілим рядом переваг в порівнянні з традиційними дротяними мережами. Зокрема, користувачі бездротових локальних мереж отримують безліч переваг, включаючи підвищення продуктивності, економію часу, гнучкість мережевого доступу практично з будь-якого місця, а також на новому місці може бути дешевше розгорнути бездротову локальну мережу, ніж традиційну дротову.

Основні проблеми під час проектування телекомунікаційних радіосистем виникають при визначенні характеристик радіоканалу в результаті особливостей поширення радіохвиль, а також впливу перешкод, в каналі, особливо в зоні складної забудови великих міст. Радіохвилі в складних умовах, як правило, через відбиття від перешкод одночасно поширюються по декількох шляхах і в точці прийняття складаються, що призводить до посилення перешкод і, як наслідок, до зниження реальної швидкості передачі інформації. На продуктивність мережі істотно впливають і перешкоди, викликані роботою інших радіотехнічних засобів. Всі ці негативні впливи істотним чином позначаються на швидкості передачі інформації в системах радіодоступу.

У доповіді проводиться порівняльний аналіз методів тимчасової обробки інформації в системах радіодоступу та представляється оригінальний спосіб передачі інформації, що базується на адаптивній тимчасової обробки інформації, який дозволяє підвищити реальну швидкість передачі інформації.

Спосіб базується на адаптивному управлінні обсягу інформаційного пакета, переданого повідомлення, за рахунок оцінки якості середовища передачі в обох напрямки. На основі оцінки відношення сигнал/шум в каналі радіозв'язку оптимальним чином вибирається обсяг переданого повідомлення з урахуванням виду модуляції сигналів, швидкості кодування, дальності між базовою і мобільною станціями, максимального числа перезапиту повторення передачі та апаратних параметрів систем радіодоступу.

# **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОМЕХ НА КАЧЕСТВО ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЯХ**

**Обод И.И., Яценко И.Л.**

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

Беспроводные информационные системы и сети приобретают все большую популярность, так как они обладают целым рядом преимуществ по сравнению с традиционными проводными сетями.

Однако большое количество пользователей, работающих в нелицензируемом диапазоне частотного спектра, приводит к усилению помех и повышению уровня шума в каждой конкретной сети, что существенно снижает производительность сети. На производительность сети существенным образом влияют и помехи, вызванные работой других радиотехнических средств.

В докладе приводится оценка влияния флуктуационных и импульсных помех различного происхождения на качество работы широкополосных систем передачи данных при различных методах модуляции сигналов, для различных скоростей кодирования, дальностей между мобильной и базовой станциями, различных режимов формирования автоматического запроса на повторную передачу и использования широкополосных сигналов.

Показано, что повышение качества работы беспроводных сетей не может осуществляться на основе корректировке какого-либо одного параметра MAC-уровня, так как беспроводная среда может страдать от множества факторов, начиная с помех и низких уровней сигнала и заканчивая коллизиями пакетов, в результате которых резко увеличивается количество попыток, необходимых для отправки каждого пакета. Действительно, динамическая среда порождает многомерные проблемы, которые невозможно разрешить корректировкой одного параметра. Показано, что при высоком уровне помех простое снижение скорость передачи информации, действительно позволяет улучшить пропускную способность системы. Однако снижение скорости передачи означает, что каждый пакет будет проводить больше времени в радиоканале. Это приводит к увеличению вероятности коллизий с другими информационными пакетами. Следовательно, при изменении скорости передачи может потребоваться одновременное изменение другого параметра MAC-уровня во избежание коллизий пакетов. Изменение лишь одного параметра, скорее всего, дает лишь частичное повышение производительности.

# СПОСОБ РЕАЛИЗАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ХЭНДОВЕРА В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

Остап М.В., Марченко Д.И.

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

Традиционный механизм горизонтального хэндовера базируется на оценке мощности сигнала (англ. - RelativeSignalStrength (RSS)).

Вертикальный хэндовер осуществляется в три этапа: сбор информации о существующих сетях, принятие решения по сети назначения и собственно осуществление хэндовера.

В данной работе спроектирован алгоритм работы блока инициации и выбора сети - процессы сбора данных и аппаратная реализация не рассматриваются, однако рекомендуется строить такую систему на базе SDR -устройств. Блок инициации хэндовера должен решать, является ли хэндовер в данный момент необходимым.



Функциональная архитектура системы управления вертикальным хэндовером.

- Когда МС обнаруживает доступность новой беспроводной сети выходит из зоны покрытия обслуживающей сети ;

- Когда МС обнаруживает изменение приоритетов пользователей (например, пользователь решает переключиться на более защищенную сеть) ;

- Когда МС обнаруживает новый запрос на услугу или когда параметры QoS текущего соединения ухудшаются;

- При значительном ухудшении или полной потере сигнала от текущей сети.

Блок инициации хэндовера состоит из следующих функциональных модулей:

- Прогнозирование RSS по алгоритму GPT (GreyPredictionTheory);

- Оценки необходимости хэндовера (VHO - фактор) с помощью параллельных фаззи - регуляторов с учетом RSS , скорости передвижения МС (v), взвешенных параметров QoS для различных типов трафика, стоимости услуг (C) в сети, а также ее загруженности (L) и безопасности (S), приоритетов пользователя (U<sub>p</sub>).

В докладе приводится имитационная модель управления вертикальным хэндовером на основе нечеткой логики в среде Matlabи результаты моделирования.

# ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО И АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ MEMS

Постельник И.А., Князев В.В.

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

Измерение электростатического поля является предметом многих исследований уже больше полувека. Измерения атмосферного электрического поля проводятся для изучения таких погодных феноменов как удары молний.

Цель работы проанализировать возможность применения датчиков на базе технологии MEMS (Micro Electro Mechanical Sensor) для измерения электростатического поля.

В инерционных датчиках таких как акселерометры и гироскопы построенных на основе MEMS-технологии, известный электрический сигнал прикладывается к модулирующему емкостному элементу, чтобы определить неизвестное отклонение. Работа этой схемы в обратном порядке может быть применена для измерения электростатического поля.

Принцип работы MEMS электростатического измерителя поля (ЭИП) приведен на рис. 1. ЭИП использует движущиеся экранирующие электроды (1) которые перекрывают измерительные электроды (2). Следовательно, когда присутствует электрическое поле  $E$ , количество зарядов  $Q_i$  индуцируется на чувствительных электродах. Согласно закону Гаусса, количество зарядов пропорционально площади плоскости  $A_e$ .

Когда происходит периодическое движение экранирующих электродов изменяется эффективная площадь  $A_e$  на которую действует поле  $E$ . Это поле генерирует ток  $i_e$ :

$$i_e = \frac{dQ_i}{dt} = \varepsilon_0 |E| \frac{dA_e}{dt};$$

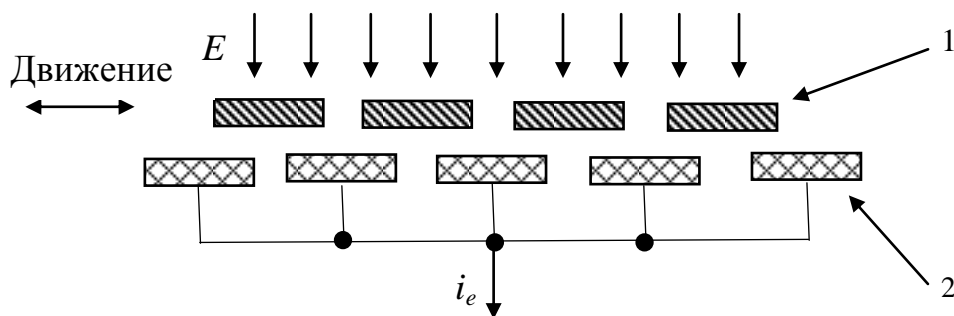


Рисунок 1. – Принцип работы MEMS измерителя.

В работе обосновано целесообразность применения технологии MEMS для измерения электростатического поля и электрического поля, сопутствующего грозovým разрядам.

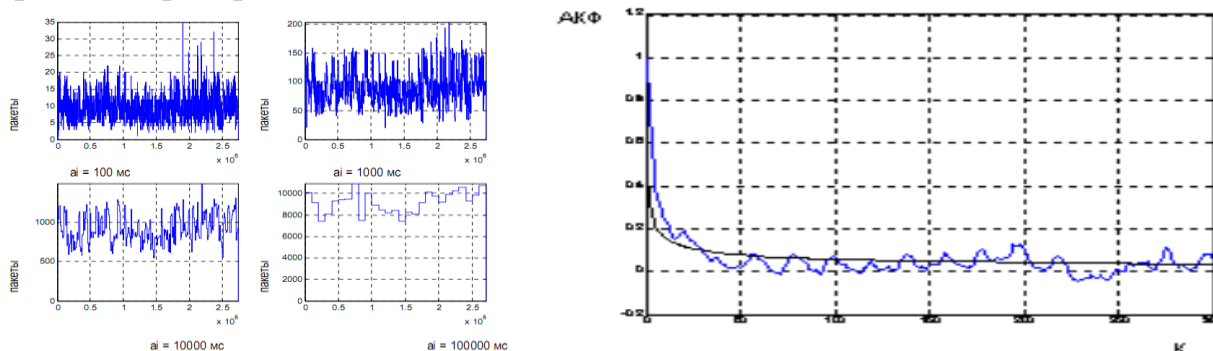
# СПОСОБ ОЦЕНКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК САМОПОДОБНЫХ ТРАФИКОВ СЕТИ

Поштаренко В.М., Натриашвили Н.Н.

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

Трафик является одним из важнейших показателей мониторинга мультисервисной сети. В таких сетях трафик имеет явно выраженный всплесковый характер, что повышает вероятность перегрузок в узлах сети, которые ведут к переполнению буферов и вызывают потери и задержки пакетов. Известно, что в мультисервисных сетях число событий на заданном временном интервале зависит от прежних, весьма отдаленных событий. Это означает, что при больших масштабах сети трафик обладает свойством самоподобия, т.е. выглядит качественно одинаково при любых достаточно больших масштабах временной оси.

В докладе предлагается способ и методика экспериментального исследования свойств информационных потоков в мультисервисных сетях. Эксперименты проводились на локальной сети, в состав которой входили маршрутизаторы Cisco. Для генерации различных типов трафиков и анализа их статистических характеристик использовалась программа IxChariot. Оценка свойств самоподобия трафиков осуществлялась параметром Херста и автокорреляционной функцией исследуемого потока. Проведенный экспериментальный анализ трафика внутренней сети показал, что трафик реального времени имеет существенные самоподобные свойства при существенно нагруженной сети, а также является длительно зависимым процессом, который целесообразно учитывать при оценке эффективности МС. Результаты исследований мультисервисного трафика представлены на рисунках 1-2. На рис.1 показаны реализации трафика при интервалах агрегирования ( $a_i$ ) 100мс, 1000мс, 10000мс, 100000мс.



с.1.Реализации трафика Рис.2. Автокорреляционная функция

В докладе приводится способ и методика экспериментального исследования свойств информационных потоков в мультисервисных сетях с построение графиков реализации трафика и автокорреляционной функции.

# СОПОСТАВЛЕНИЕ АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ФОРМИРУЮЩЕЙ ЛИНИИ

Ревуцкий В.И.

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

В работе рассмотрены одни из наиболее распространенных типов моделей нелинейных формирующих линий (НФЛ), используемых при изучении процессов, происходящих в средах с нелинейной зависимостью диэлектрической проницаемости от напряженности электрического поля. Выбранные по критериям точности и возможности внесения корректировок (последние необходимы при использовании различных нелинейных материалов) модели в дальнейшем будут использованы для сравнения с результатами, полученными при физическом моделировании на макете высоковольтного генератора с НФЛ.

Исследования образцов нелинейных керамических материалов [1,2] показали, что внесение допирующих элементов в твердые растворы сегнетокерамики на основе титанатов бария-стронция оказывает значительное влияние на их электрофизические характеристики и структуру. Происходит изменение диэлектрической проницаемости, электрической прочности, плотности, пористости и др. Также включение в составы сегнетокерамик определенных примесей позволяет сместить значение температуры Кюри сегнетоэлектрического материала в более удобную с технической точки зрения область. Поэтому для повышения точности модели желательно, чтобы как можно большее число изменяющихся параметров моделируемого объекта находило адекватное отражение в схемах замещения.

Преимущества некоторых схем замещения [3] и соответствующих им математических моделей перед другими [4] могут заключаться в возможностях учета омических потерь в материале (что позволяет более точно оценить амплитуду выходного импульса), определения максимальной мощности и частоты следования импульсов, генерируемых в НФЛ, и др.

Сложность обеспечения повторяемости свойств исследуемых образцов, связанная с погрешностью методов воспроизведения материалов и структур, приводит к дополнительным расхождениям в результатах математического и физического моделирования.

**Список литературы:** 1 Резинкин О. Л. Экспериментальное исследование процессов импульсной поляризации образцов сегнетокерамики / О. Л. Резинкин // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. Темат. вып. : Проблемы усовершенствования электрических машин и аппаратов. Теория и практика. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 28. – С. 105-109. 2 Вытришко В. В. Исследование свойств сегнетокерамик  $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$  допированных Zr, Pb и Sn в сильных электрических полях / В. В. Вытришко, О. Л. Резинкин, Е. В. Христинич // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. Темат. вып. : Техника и электрофизика высоких напряжений. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 21. – С. 33-43. 3 Ikezi, et al., "Soliton Generation at 10 MW Level in the very high frequency band", Appl. Phys. Lett., 58 (9), pp. 986-987 (Mar. 4, 1991) 4 Transient Electronics - Pulsed Circuit Technology (Wiley 2002) by Paul W. Smith, pp. 245 – 264.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗРЯДА В ДЛИННЫХ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКАХ С УЧЕТОМ НАЛИЧИЯ КОРОНЫ НА ВЕРШИНАХ ЗАЗЕМЛЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ

Резинкина М.М., Резинкин О.Л., Светличная Е.Е., Ревуцкий В.И.

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

Исследования процессов, связанных с продвижением лидерного канала молнии к земле и «выбором» места удара, представляют существенные трудности. В связи с этим в высоковольтных лабораториях мира проводятся экспериментальные исследования разрядов в длинных воздушных промежутках. Хотя происходящие при этом электрофизические процессы, как и в экспериментах по искусственному иницированию молний [1], отличаются от процессов, происходящих в естественных молниях, такие исследования [2], как правило, лежат в основе действующих норм по молниезащите [3]. В ряде публикаций (см. например [4]) отмечается, что наличие коронного разряда на заземленном электроде при приближении к нему лидерного канала отрицательной полярности влияет на условия развития от него восходящего встречного лидера. Имеются также публикации, описывающие исследования зависимости тока короны от конфигурации заземленного электрода [5].

Представляет интерес проведение экспериментальных исследований по определению влияния интенсивности коронного разряда на заземленном электроде на величину пробивного напряжения промежутка «высоковольтный стержневой электрод отрицательной полярности (имитирует нисходящий лидер молнии) – заземленный стержневой электрод (имитирует молниеотвод)». Для проведения таких экспериментов в высоковольтном зале НТУ «ХПИ» создана физическая модель, которая включает генератор импульсных напряжений, позволяющий получить импульс напряжения отрицательной полярности  $U_{\text{имп}} \sim 1$  МВ, и генератор постоянного напряжения  $U_{\text{=}} \sim -200$  кВ, напряжение с которого подается на проводящую плоскость (размеры  $3 \times 3$  м), подвешенную на высоте 2.5 м над заземленной плоскостью. Напряженность электрического поля, вызванная наличием подвешенной плоскости, имитирует условия предгрозовой обстановки. В результате подачи  $U_{\text{=}}$  до начала высоковольтного пробоя, на вершинах расположенных на заземленной плоскости электродов высотой 1 м возникают коронные разряды, интенсивность которых характеризуется измеряемыми токами. Затем к высоковольтному электроду, помещенному на расстоянии 1 м над заземленными электродами, подается напряжение  $U_{\text{имп}}$ . Высоковольтный электрод проходит через отверстие в находящейся под напряжением  $U_{\text{=}}$  подвешенной плоскости. В результате описанных экспериментов будет определена степень влияния интенсивности предпробойных процессов образования короны на вероятность поражения заземленных электродов лидером отрицательной полярности.

**Литература.** 1. Rakov V.A. // Int. J. of Plasma Environmental Science & Technology. 2010. Vol.4. No.1. P. 80-85. 2. Акопян А.А. // Труды ВЭИ. 1940. Вып. 36. С. 94—159. 3. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. М.: Энергоатомиздат, 1989. 24 с. 4. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. М.: Физматлит, 2001. 319 с. 5. D'Alessandro F., Berger G. Laboratory studies of corona emissions from air terminals // J. Phys. D: Appl. Phys. — 1999. — N 32 — P. 2785—2790.

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КОМПОЗИТНЫХ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЯХ

Резинкина М.М., Резинкин О.Л., Сосина Е.В., Данилюк А.Р.

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

Использование композитных диэлектрических материалов в качестве радиопоглощающих покрытий позволяет достичь совокупности электрофизических, механических и термодинамических характеристик, которыми не обладают однородные материалы. Факторами, определяющими характеристики радиопоглощающих композитов, являются выбор электрических параметров составляющих их компонентов, а также технологии получения из этих компонентов материалов с заданной внутренней структурой.

Используя покрытия, состоящие из слоев материалов, обладающих заданной последовательностью электрических характеристик, можно добиться расширения диапазонов частот поляризации и направленностей, при которых будет наблюдаться эффективное поглощение электромагнитного излучения, а также существенного уменьшения их общей толщины.

Области применения радиопоглощающих покрытий различны. Преимущественно они используются для радиолокационной маскировки различных объектов, оснащения специальных исследовательских камер, создания экранов для радиоприемных устройств и осуществления защиты биологических объектов от электромагнитного излучения.

Учитывая сложности при изготовлении опытных образцов композитных покрытий, при выборе их параметров целесообразным представляется применение математического моделирования. Для исследования электрофизических процессов в неоднородных средах с проводящими включениями может быть использован метод конечного интегрирования, который является эффективным инструментом расчета электромагнитных полей (ЭМП) в неоднородных средах. Формулировка задачи в терминах модифицированного векторного магнитного потенциала позволяет в 2 раза уменьшить порядок решаемой системы уравнений. Для определения параметров конструкций радиопоглощающих композитных покрытий, обеспечивающих требуемые условия эксплуатации, разработаны алгоритмы нахождения распределений электромагнитных полей, характеризующиеся минимальными требованиями к вычислительным ресурсам при сохранении необходимой точности расчетов и детализации исследуемого объекта. Применение данных алгоритмов позволяет существенно сократить время, необходимое для получения распределений напряженностей ЭМП, а значит исследовать электрофизические процессы при различных комбинациях слоев композитных сред, входящих в исследуемые радиопоглощающие покрытия, а также включений в них. Таким образом, могут быть определены состав и конструкции покрытий, обеспечивающих заданные режимы поглощения ЭМП.

## ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ФИЛЬТРОВЫЙ КОНДЕНСАТОР НАПРЯЖЕНИЕМ 100кВ

Рудаков В.В., Кравченко В.П., Щуров Б.С.

*Национальный технический университет*

*«Харьковский политехнический институт», г. Харьков*

В рамках научно-технического сотрудничества с кафедрой техники и электрофизики высоких напряжений Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», разработан малогабаритный высоковольтный конденсатор напряжением 100кВ емкостью 26нФ, допускающий наличие пульсаций глубиной до 10%. Конденсатор выполнен в корпусе из оргстекла (рис.). Габаритные размеры конденсатора составляют 65x275x410 /490 мм (высота с учетом выводов). Секции выполнены из конденсаторной бумаги КОН-2-10, пропитанной касторовым маслом, и алюминиевых обкладок толщиной 9мкм. Толщина изоляции составила 100мкм (10 лент бумаги толщиной 10мкм каждая). Внутренний пакет состоит из трех групп плоскомотанных секций, каждая из которых включает последовательно - параллельное соединение секций. Верхняя и нижняя группы состоят из 18 секций каждая, соединенных по 3 параллельно и 6 последовательно, средняя группа – по 3 параллельно и 7 последовательно. Особенностью конденсатора является способ соединения секций путем контактного прижима обкладок без выводных планок в каждой группе. Надежный зажим групп достигнут за счет оборачивания каждой группы скотчем в сжатом состоянии. Группы между собой соединены последовательно с помощью контактных планок из алюминиевой фольги толщиной 40мкм, которые скреплены с помощью стиплера. Достигнутое таким образом размещение секций по высоте конденсатора обеспечивает равномерное распределение электрического потенциала вдоль поверхности корпуса. В результате при испытательном постоянном напряжении 120кВ в течение минуты достигается высокая электрическая прочность вдоль гладкой поверхности корпуса в воздухе 3кВ/см. Испытательное значение напряженности электрического поля в диэлектрике составило 63,2кВ/мм, а рабочее 52,6кВ/мм. Расчетный ресурс составляет  $10^4$  часов. Выводы из конденсатора в виде одиночных шпилек диаметром 8мм расположены снизу и на крышке. На крышке также имеется штуцер для соединения с расширителем. Конденсатор выдержал приемосдаточные испытания и принят к эксплуатации.



## ОЦЕНКА ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ САМОРАЗРЯДА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

Рудаков В.В., Япрынцева Е.

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

Для обеспечения стабильности и надежности функционирования электрических сетей требуется соблюдение баланса между генерацией и потреблением. Возобновляемые источники энергии, такие как например солнечная и ветровая генерация обладают свойством неравномерности выработки электрической энергии, а также непредсказуемостью периодов генерации, что вносит свой вклад в нестабильность электрической сети. Поэтому по этой причине при использовании данных источников энергии необходимы устройства, позволяющие накапливать энергию и получать стабильные характеристики. В качестве накопителей энергии чаще всего применяют химические источники тока (аккумуляторные батареи). Однако для обеспечения получения больших мощностей на нагрузке лучшими являются емкостные накопители энергии (ЕНЭ). Они надежны в работе, обладают высокой эффективностью передачи накопленной энергии в нагрузку, допускают возможность изменения в широких пределах параметров импульса. Основным недостатком таких накопителей энергии является малое время хранения энергии. Значение  $\tau$  ( $\tau$  – постоянная времени) энергоемких конденсаторов с диэлектриком из органических материалов колеблется от  $10^3$ с до  $10^5$ с [1,2], что позволяет использовать их в кратковременных режимах для преобразования мощности возобновляемых источников энергии, когда время заряда намного больше времени разряда, составляющего менее 1-10с. Из низковольтных конденсаторов наибольшей постоянной времени обладают электролитические конденсаторы и конденсаторы с двойным электрическим слоем (ионисторы) [3,4]. Постоянная времени этих конденсаторов может колебаться от нескольких дней до нескольких месяцев, что вполне приемлемо для аккумуляторных систем, выдерживающих большое количество циклов заряда-разряда без потери рабочих свойств. В докладе приведены результаты измерений постоянных времени нескольких типов высоковольтных конденсаторов с пропиткой нефтяным и касторовым маслом в зависимости от напряжения и емкости. Представлены рекомендации их использования как преобразователей повышения мощности возобновляемых источников, имеющих по своей природе небольшую мощность.

1. Справочник по электрическим конденсаторам. Справочник. Под редакцией Ермуратского В.В, Кишинев Штеница 1982г. 310 с.
2. Кучинский Г. С. Высоковольтные импульсные конденсаторы. Л., «Энергия», 1973, - 176.
3. Родькин Д.И., Корнет В.Н. К теории электропривода с емкостным накопителем // Труды КДПУ, 2000, Вып. 2. – 149-151.
4. Бут Д.А., Алиевский Б.Л., Мизюрин С.Р., Васюкевич П.В. Накопители энергии: Учеб. пособие для вузов. Под ред. Д.А. Бута. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 400 с.

## К ВОПРОСУ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЕЙСТВУЮЩИХ ПОДСТАНЦИЙ УКРАИНЫ

Руденко С.С., Колиушко Д.Г.

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

В Украине эксплуатируются подстанции, заземляющее устройство (ЗУ) которых в подавляющем большинстве не соответствует требованиям нормативных документов. Реконструкция ЗУ может производиться по одному из двух направлений: выполнение ЗУ по требованиям к допустимому значению напряжения прикосновения  $U_{\text{прик}}$  или к допустимому сопротивлению  $R_{\text{зу}}$ . Следует отметить, что в последнем случае к конструктивному выполнению ЗУ предъявляются жесткие требования: укладка продольных и поперечных горизонтальных заземлителей (ГЗ) осуществляется на строго регламентированном расстоянии друг от друга. В результате ремонтно-восстановительные работы требуют значительных материальных затрат.

В работе проведен анализ разработки рекомендаций для реконструкции ЗУ на примере подстанции классом напряжения 110 кВ. Исходными данными для определения нормируемых параметров ЗУ были: реальная схема ЗУ, находящегося в эксплуатации, электрофизические характеристики грунта (удельное электрическое сопротивление двух слоев грунта и мощность первого слоя), значение тока однофазного короткого замыкания. До выполнения реконструкции ЗУ превышение допустимого значения напряжения прикосновения наблюдалось на 50% оборудования, хотя величина сопротивления ЗУ не превышала допустимого значения 0,5 Ом.

Для сравнения в табл.1 приведены материальные затраты по укладке дополнительных ГЗ при выполнении ЗУ по требованиям к допустимому сопротивлению  $R_{\text{зу}}$  или к допустимому значению напряжения прикосновения  $U_{\text{прик}}$ .

Таблица 1

	ЗУ выполнено по требованиям к $R_{\text{зу}}$	ЗУ выполнено по требованиям к $U_{\text{прик}}$
Длина дополнительных ГЗ, м	450	99
Длина ГЗ в грунте 5 категории, м	151	33

Таким образом, реконструкция ЗУ, находящегося в эксплуатации, в соответствии с требованиями к допустимому значению напряжению прикосновения является предпочтительной не только с точки зрения обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала и надежности работы оборудования, но и с точки зрения экономии материальных затрат.

# ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ІНФОРМЦІЇ В ЄДИНІЙ ІНФОРМАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

Свид І.В., Обод І.І.

*Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків*

Основні елементи процедури контролю повітряного простору (ПП) - аналіз повітряної обстановки й прийняття рішень. Рішення приймає особа на основі аналізу відповідним чином підготовленої інформації про стан повітряної обстановки. Правильне рішення може бути прийнято лише тоді, коли є досить повна, точна, достовірна й безперервна інформація про повітряну обстановку в зоні управління. Підвищення надійності інформаційного забезпечення (ІЗ) користувачів системи контролю ПП неможливо без використання інформаційних технологій у процесі отримання, збору, обробки, зберігання й розповсюдження аеронавігаційних даних. ІЗ базується на широкому застосуванні систем спостереження (СС), навігації та зв'язку. Очевидно, що колишні СС все менш і менш задовольняють сучасним вимогам. Тому, в усьому світі ведуться розробки перспективних систем, що враховують сучасні вимоги. Однією з таких систем є система мультілатерації MLAT. Система мультілатерації MLAT являє собою незалежну кооперативну СС нового рівня. Система використовується з вже існуючим обладнанням запитальних СС і не потребує додаткової бортової апаратури. Вона не тільки гарантує високу точність визначення місця розташування і траєкторії, порівнянну з моноімпульсними запитальними СС, але і представляє такі нові характеристики, як більш висока точність, швидкість оновлення та 3D стеження.

Метою даної роботи є розробка вимог щодо синхронності шкал часу в єдиній синхронній інформаційній мережі СС.

Одночасне вимірювання дальності до ПО, що спостерігається, дозволяє вимірювати висоту польоту ПО, що значно покращує інформаційне забезпечення користувачів. Однак відомо, що точність вимірювання висоти польоту ПО у цьому випадку залежатиме як від точності вимірю похилої дальності, так і від точності часового забезпечення. Крім того, слід зазначити, що геометрія інформаційної мережі при вимірі висоти польоту ПО, тобто геометричний фактор, має вплив у результатуючу точність вимірю. В докладі розглянуто геометричний фактор при вимірі висоти польоту ПО за даними вимірю похилої дальності, на основі якого вдалося розробити вимоги до потрібної точності формування шкал часу на приймальних пунктах СМ.

# ОПТИМІЗАЦІЯ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ ЗАПИТУ В ЛІТАКОВИХ ВІДПОВІДАЧАХ ЗАПИТАЛЬНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Свид І.В., Штих І.А.

*Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків*

Основою інформаційного забезпечення споживачів системи контролю використання повітряного є первинні системи спостереження (СС), тобто системи, що працюють з ехо-сигналами, та вторинні СС, тобто системи працюють за сигналами відповіді (СВ). Основним елементом, який істотно знижує завадостійкість запитальних СС, є літаковий відповідач (ЛВ). Наявність багатоканальності в прийомі СЗ розширює структурні можливості при побудові виявлювачів СЗ, зокрема, в варіантах об'єднання попередніх рішень каналів виявлення. Однак в існуючих ЛВ реалізований квазіоптимальний виявлювач СЗ при багатоканальному прийомі з об'єднанням каналних рішень виявлення СЗ.

У докладі показано, що виявлювач СЗ в ЛВ є багатоканальним. Це обумовлено наявністю декількох антенних систем, що працюють як на прийом СЗ, так і випромінювання СВ. Після порогових пристроїв і дешифраторів сигнали підсумовуються елементом об'єднання. Однак слід враховувати, що параметри прийнятих СЗ, прийняті різними каналами істотно відрізняються, що не враховується при побудові виявлювачів сигналів в існуючих ЛВ. Крім того, в існуючих ЛВ об'єднанню підлягає попередні рішення про виявлення СЗ, здійснені, як правило, дешифратором, тобто квазіоптимальним виявлювачем. Ці обставини дозволяють синтезувати оптимальний виявлювач СЗ в двох різних постановках:

- виявлення СЗ з ваговим міжканальним об'єднанням каналних рішень про виявлення СЗ;
- виявлення СЗ з ваговим міжканальним об'єднанням каналних імпульсів СЗ.

Показано що міжканальне об'єднання результатів виявлення імпульсів дозволяє отримати переваги в пороговому відношенні с/ш (близько 1 дБ) порівняно з міжканальним об'єднанням результатів виявлення СЗ;

- збільшення значності використовуваних СЗ запитальних СС дозволяє підвищити ймовірність виявлення їх в ЛВ.

# МЕТОДИКА ВИМІРУ НАПРУЖЕНОСТІ КВАЗІСТАТИЧНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

Серков О.А., Князев В.В., Постільник І.О.

*Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»*

*м. Харків*

Існуючі методи виміру квазістатичних електричних полів засновані на застосуванні генераторного принципу. Система електродів утворює конденсатор. Періодично змінюючи механічним шляхом його ємність, виникають зрівнювальні струми, які пропорційні рівню напруги квазістатичного електричного поля. Однак пристрої, які використовують цей метод, мають великі похибки.

Пропонується в основу методики виміру квазістатичних електричних полів покласти зворотній п'єзоелектричний ефект, який полягає у тому, що електрична поляризація кристала супроводжується його стиском чи розтягом, в залежності від знака заряду. Кварцовий резонатор у складі генератора працює у автоколивальному режимі, створюючи сигнал відповідної частоти. При розміщенні кварцового резонатору в електростатичному полі на обкладинках кристалу з'являються заряди, які змінюють геометричні розміри кристалу та, відповідно, частоту коливань. Таким чином зміна частоти коливань є мірою рівня квазістатичного електричного поля. На рис. 1 наведено конструкцію кварцового резонатора, а на рис. 2 – його еквівалентну схему. Конструкція резонатора еквівалентна послідовному коливальному ланцюгу  $L_1, r_{кв}, C_1$ , які зашунтовані статичною ємністю електродів, держака та монтажу  $C_0$ . Аналіз еквівалентної схеми свідчить про те, що мають місце дві характерні частоти. Частота  $f_1$  відповідає послідовному резонансу, де реактивна провідність нескінченно велика. Частота  $f_2$  відповідає паралельному резонансу, де реактивна провідність дорівнює нулю. Величина інтервалу між резонансами є тим робочим діапазоном, в межах якого можливі зміни частоти в залежності від рівня квазістатичного електричного поля. Дослідним шляхом встановлено, що найбільше рознесення частот послідовного та паралельного резонансів складає близько 0,4 %  $f_1$ . Підключення реактивних елементів до резонатора викликає зсув його паралельного чи послідовного резонансів.

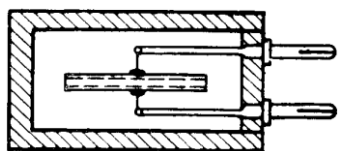


Рис. 1. Конструкція

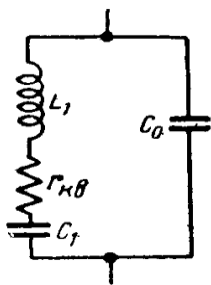


Рис. 2. Схема

Так, підключення індуктивності послідовно з кварцом розширює інтервал між частотами паралельного і послідовного резонансів ланцюга за рахунок зниження останнього. У той же час паралельне підключення індуктивності підвищує частоту паралельного резонансу, розширюючи проміжок між резонансами. Відносна зміна частоти у цьому випадку сягає 0,8 %  $f_1$ .

# ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ У ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

Стрельницький О.О.,

*Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків*

Однією зі складових системи контролю використання повітряного простору є інформаційна мережа систем спостереження повітряного простору (ІМССПП), на базі існуючих СС країни. Еволюція будь-яких інформаційних систем приводить до їхнього об'єднання в мережу. Мережевий принцип організації інформаційних систем показав свої переваги при рішенні широкого кола завдань.

Несанкціоноване втручання в роботу ІМССПП може здійснюватись з метою порушення процесу її функціонування (припинення польотів, погіршення її ефективності, в тому числі порушення безпеки польотів), зведення конкурентних рахунків комерційного характеру, порушення обороноздатності держави тощо.

Порушення роботи ІМССПП може також виникати внаслідок ненавмисних дій певних осіб, негативного впливу природних факторів, недостатньої надійності технічних та програмно-технічних засобів, системи енергоживлення тощо.

Для запобігання ненавмисних чи навмисних дій на роботу ІМССПП, природних факторів та ненадійності її складових слід вирішити проблему інформаційної захищеності системи. Це проблема багатогранна і достатньо складна. Це важливо тому, що від інформаційної захищеності ІМ СС ПП залежать такі важливі характеристики, як безпека держави, безпека, економічність, регулярність, безперервність, екологічність повітряного руху, авторитет нашої держави як надійного авіаційного перевізника, як держави, в повітряному просторі якої можна ефективно здійснювати польоти.

В докладі розглянути питання захисту інформації ІМССПП на двох етапах:

- отримання інформації про повітряну обстановку;
- користування інформацією споживачами.

Така постановка питання захисту інформації є доцільною, так як навмисні дії як зацікавленої сторони, так і нСС системах можуть привести до суттєвого перекручування інформації про повітряну обстановку на етапі отримання інформації, що призводить до трагічних наслідків.

Створення системи захисту інформації ІМССПП повинно розглядатися як важлива компонента загальної системи управління безпекою польотів.

# ОЦІНКА ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Цопа О.І., Мальцев О.С.,

*Харківський національний технічний університет радіоелектроніки,  
м. Харків*

У сучасному суспільстві мобільні інформаційні мережі (МІМ) відіграють роль прискорювача розвитку інформаційних технологій. Однією з вимог розвитку МІМ є забезпечення значного збільшення швидкості передачі даних при зростанні кількості користувачів. Вирішення цієї актуальної задачі можливе тільки при широкому використанні адаптивної просторово-часової обробки сигналів, а також реалізації комбінованих (адаптивних) методів множинного доступу (МД) в основу яких покладено МД з просторовим розподілом каналів (SDMA – Space Division Multiple Access).

Специфікою МІМ є те, що абоненти можуть мати тільки одну антену, що, як правило, визначено габаритами мобільної станції. Це природно звужує можливість просторової технології, при якій тільки базова станція (БС) може мати або багатоелементну антену, або адаптивну антенну систему (AAS – Adaptive Antenna System).

У доповіді наводяться вирази для оцінки пропускної здатності (ПЗ) мобільних інформаційних мереж при використанні технологій просторового множинного доступу. Показано, що інформаційна ефективність систем та мереж з використанням технології просторового доступу значно збільшена за рахунок як одночасного обслуговування декількох користувачів, так і з урахуванням вибору оптимального їх числа.

Показано що ПЗ системи з технологією просторового доступу може бути збільшена:

- за рахунок можливості одночасного незалежного обслуговування декількох користувачів;
- вибором оптимальної кількості обслуговуваних користувачів, за рахунок збільшення повної ПЗ системи при незмінній потужності передавача БС.

Встановлено, що існує оптимальна кількість абонентів, для яких слід застосовувати просторове розділення абонентів. При такій оптимізації максимізується повна середня пропускна здатність системи, а оптимальна кількість абонентів повністю визначається енергетикою радіолінії.

# ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ СТРИМЕРНЫХ ВСПЫШЕК ДЛЯ СТЕРЖНЕЙ, НАХОДЯЩИХСЯ В СИЛЬНОМ ПОСТОЯННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Чернухин А.Ю.

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

В работе представлены результаты экспериментального исследования зависимости количества стримерных вспышек от формы молниеприемника и напряженности электрического поля, в котором он находится.

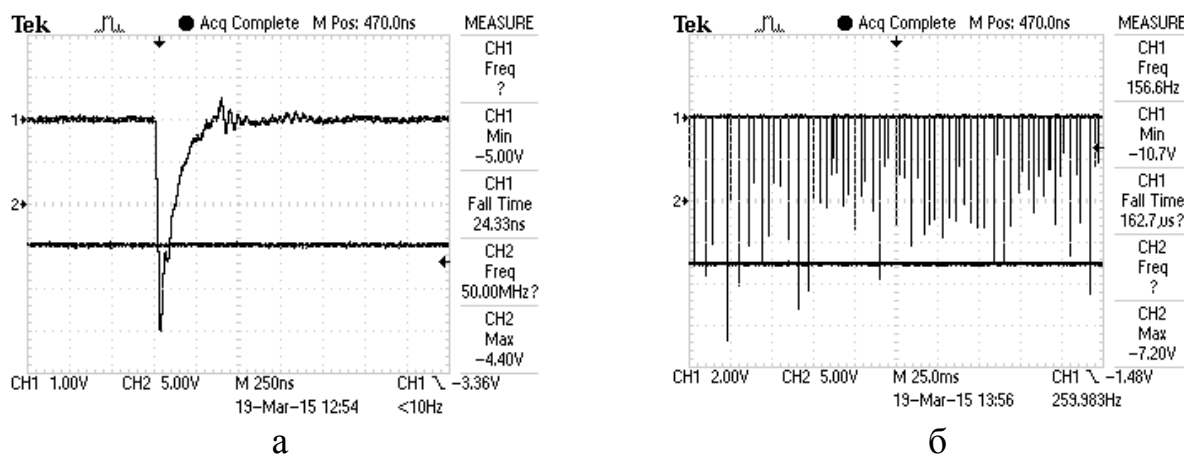
В качестве молниеприемников использовались металлические стержни двух видов, а именно:

- а) Квадратного сечения, со стороной 12мм и плоской вершиной;
- б) Круглого сечения, Ø10мм с заостренной вершиной.

Образцы имели высоту 3400 мм, и устанавливались в полеобразующей системе «плоскость-плоскость» с расстоянием между электродами 5000 мм.

Для данных образцов определена напряженность возникновения стримерных вспышек короны, а так же количество этих вспышек за секунду при различном приложенном к испытательной системе электродов напряжении. Установлены амплитудно-временные параметры импульсов короны.

Типичные осциллограммы одиночного импульса тока короны и серии этих импульсов для стержня квадратного сечения приведены на рисунке 1.



- а – одиночный импульс при напряжении начала короны;
- б – серия импульсов при воздействующем напряжении 75 кВ.

Рисунок 1 – Осциллограммы тока стримеров

Поскольку частота следования импульсов и их амплитуда не постоянны, требуется статистическая обработка полученных для каждого уровня напряженности электрического поля серий осциллограмм. Установлено, что сила тока одиночного стримера зависит от формы вершины молниеприемника, а число стримерных вспышек в единицу времени растет с увеличением напряженности электрического поля.

# РАЗРАБОТКА ИНДУКЦИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Шаламов С.П.,

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»,*

*г. Харьков*

Первичный преобразователь магнитного поля состоит из двух индукционных преобразователей (ИП), один из которых предназначен для измерения фронтальной (высокочастотной) части импульса, а другой – для спадовой (низкочастотной) части. Для восстановления формы измеряемого сигнала к выходу ИП подключается RL-интегратор или RC – интегратор. Интегратор обеспечивает достоверную передачу формы измеряемого импульса в диапазоне  $0 \leq t \leq 0,1T_u$ . Коэффициент преобразования измерителя магнитного поля определяется по формуле [1]:

$$k_m = \frac{U_0(t)}{H(t)} = \frac{\mu_0 S W \cos \varphi}{T_u}$$

где  $S$  – площадь сечения катушки;  $W$  – число витков катушки;  $T_u$  – постоянная интегрирования.

Так как параметры  $k_m$  и  $T_u$ , определяющие амплитудно-временные характеристики выходного сигнала обратно пропорциональны друг другу, то при расчетах измерителей необходимо ограничивать то ли чувствительность, то ли временные характеристики измерителей за счет преимущественного использования одного из параметров. Поэтому невозможно создать высокочувствительный измеритель с очень широкой полосой пропускания на базе одной катушки. В конструкции с целью измерения сверхширокого временного диапазона применен комплект из двух измерителей ИНМП-Ф и ИНМП-С. Электрическая схема приведена на рис 1.

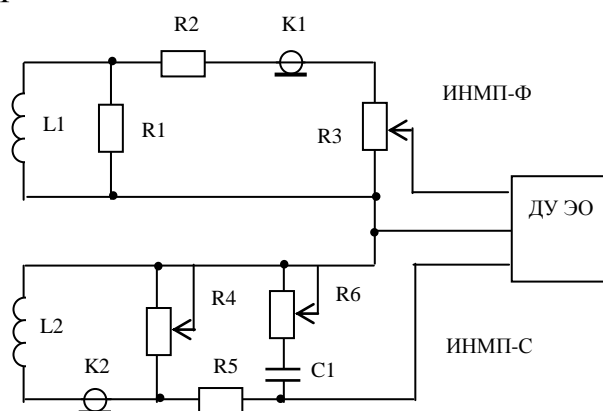


Рис. 1 – Электрическая схема ИНМП

## Список литературы:

1. Панин В.В. Измерение импульсных магнитных и электрических полей / Панин В.В., Степанов Б.М. – М. : ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1987. – 120 с.