

## Висновки

Побудовані алгоритмічні математичні моделі для компонентного рівні розробки АМ, що дасть змогу підвищити рівень автоматизації розробки елементів МЕМС. Розроблені ММ базуються на РЧП з використанням МСР, що дозволяє врахувати нелінійні та нестационарні процеси в конструкціях інтегральних пристроїв і анізотропію пружного елемента пластинчастих конструкцій МЕМС.

1. *Лысенко И.Е.* Проектирование сенсорных и актюаторных элементов микросистемной техники. – Таганрог: Изд. ТРТУ. – 2005. – 103 с.
2. *Horowitz S.B. et al.* AMEMS acoustic energy harvester // Journal of Micromechanics and Microengineering. – 2006. Vol. 16. P. 174-181.
3. *Allan R.* MEMS Microphone-Amp chips breaks acoustics ground // Electronic Design Online ID #5149. - 2003.
4. *Neumann J.J., Gabriel K.J.* CMOS-MEMS membrane for audio-frequency acoustic actuation // Sensors and actuators A: Physical. – 2001.- Article 3122.
5. *Подгорный А.Н., Марченко Г.А., Пустынников В.И.* Основы и методы прикладной теории упругости: Учеб. пособие для вузов. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1981. – 328 с.
6. *Писаренко Г. С.* Сопротивление материалов. Изд-во:Техника. –Киев.– 1967.– С.791.
7. *Тамм И.Е.* Основы теории электричества: Учеб. Пособие для вузов.-10-е изд., испр.- М.: Наука. Гл. Ред. Физ.-мат. Лит., 1989. – 504 с.
8. *Клокова Н.П.* Тензорезисторы: Теория, методики расчета, разработки. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
9. *Вольнский Б.А., Бухман В.Е.* Модели для решения краевых задач. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960.–452с.

*Поступила 16.02.2009р.*

УДК 621.3

Ю.О.Головін, к.т.н., доц., ІСЗЗІ НТУУ «КПІ»

## АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ОЦІНКИ ЕМС РЕЗ

**Вступ.** Широке впровадження електротехнічних і радіоелектронних засобів (РЕЗ) приводить до зростання рівнів електромагнітних полів, які створюються ними в навколишньому просторі. Ці поля є завадами для інших подібних пристроїв, погіршуючи умови їхнього функціонування й знижуючи ефективність застосування. У цьому процесі неважко побачити характерні риси діалектичного розвитку - прогрес у даній області техніки став усе більше стримуватися негативними явищами, породженими її кількісним ростом. Нині в Таблиці розподілу смуг частот значиться тільки близько 40

166 © Ю.О.Головін

різних служб радіозв'язку, конкретні визначення яких наведені в Регламенті радіозв'язку. Забезпечення спільної роботи РЕЗ, а саме *електромагнітної сумісності(EMC)*, відноситься до однієї з найбільш актуальних сучасних проблем, тому що процес розвитку телекомунікацій та радіоелектроніки підсилює залежність результатів застосування нових засобів від умов їхнього спільного функціонування.

Використання радіочастотного спектру ведеться в умовах інтенсивного росту завантаження діапазонів частот, який можна пояснити наступними основними причинами:

- введення нових систем рухомого радіозв'язку з часовим, кодовим та просторовим розподілом каналів між користувачами;
- збільшення кількості стаціонарних та мобільних радіостанцій і передавачів із фіксованим розподілом частот;
- навмисне чи ненавмисне використання неліцензійних РЕЗ та радіовипромінювальних пристроїв (РВП);
- відхилення параметрів окремих радіостанцій від заданих;
- зростання кількості радіозавад промислового походження.

**Основна частина.** При системному описі сукупності РЕЗ, що функціонують в одному територіальному районі й загальних смугах частот, використовуються три рівні опису [1]:

- *морфологічний*, коли опис системи відображає те, що відомо про структурні властивості системи, розчленованої на прості структурні складові – окремі РЕЗ і/або прилади й блоки із вказівкою порядку й способів їхньої взаємодії;

- *функціональний*, коли опис дається з позицій цільової функції (критерію ефективності) системи і її елементів, охоплює основні процеси в системі, виділяючи й фіксуючи стосовно до завдань EMC небажані (паразитні) електромагнітні зв'язки, що виникають між структурними складовими в процесі її функціонування;

- *інформаційний*, коли опис стосується внутрішнього й зовнішнього інформаційного обміну між користувачами радіочастотного спектра, що відображає невизначеність стану системи й послідовність зменшення апріорної невизначеності щоб уникнути завадових ситуацій (небажаних електромагнітних зв'язків).

При функціональному описі системи її елементи замінюються деякими математичними моделями, властивості яких враховують їхнє цільове призначення, умови функціонування й взаємодії при наявності небажаних електромагнітних зв'язків.

Об'єктом дослідження можуть бути радіосистеми, що відрізняються розмірами, складом елементів (РЕЗ) і особливостями взаємодії між елементами.

Виходячи з морфологічного опису системи і їх розмірів, обумовлених сукупністю РЕЗ і місцем розміщення, для аналізу EMC систем можливе

надання наступної класифікації (рис. 1).

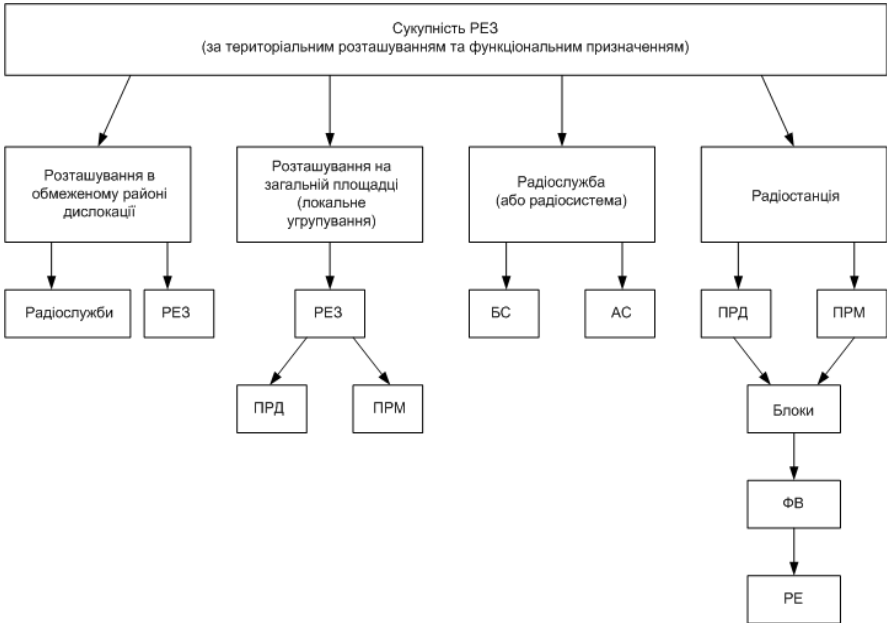


Рис. 1.Класифікація сукупності РЕЗ

ПРД - передавач; ПРМ - приймач; ФВ - функціональний вузол; РЕ-радіоелемент,  
 БС - базова станція; АС - абонентська станція

Прикладом морфологічної (структурної) моделі може служити граф стану забезпечення ЕМС для сукупності РЕЗ, що характеризує топологічні властивості (відсутність або наявність паразитних електромагнітних зв'язків) структури станів елементів (рис. 2). Для спрощення подання граф ЕМС може не охоплювати елементи системи, які не є джерелами й (або) об'єктами впливу ненавмисних завад.

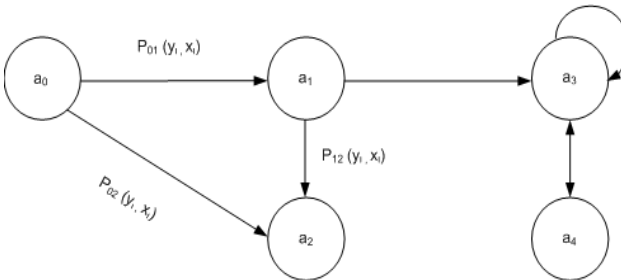


Рис.2. Граф стану забезпечення ЕМС сукупності РЕЗ

Наявність небажаних зв'язків між блоками одного РЕЗ (об'єкта) позначено у вигляді петлі. Стрілка на ребрі вказує, чим є елемент: об'єктом впливу, або джерелом ненавмисних завад, або тим і іншим. Граф ЕМС визначає склад елементів системи, які є об'єктами впливу й (або) джерелами завад.

Топологічні властивості графа ЕМС дозволяють визначити порівняно невелике число типових структур, комбінації яких можуть відобразити все різноманіття можливих ситуацій у системі між споживачами РЧС і намітити послідовність компромісів для їхнього усунення. Як видно з рис. 2, граф ЕМС може включати наступні елементарні структури: лінійну, кільцеву, зіркову, змішану.

Розглянута топологічна модель показує на необхідність узгодження її з функціональним описом системи і, зокрема, з математичною моделлю кожного елемента у формі, придатної для оцінки показників якості функціонування окремого елемента, зображеного вершиною, при наявності небажаних електромагнітних зв'язків.

Наявність взаємозв'язків між морфологічною (структурною) і функціональною (математичною) моделями, що впливають на вірогідність прийнятих рішень за критеріями (показникам) якості спільного функціонування РЕЗ, визначає необхідність розробки моделі інформаційних потоків у ВРС і поза нею. У зв'язку із цим очевидна необхідність узгодження описів функціональної й морфологічної моделей з описом, моделі інформаційного обміну в системі.

Аналіз ЕМС містить у собі якісне й кількісне вивчення різних аспектів загальної проблеми ЕМС. Через її складність і велику кількість практичних ситуацій загальний аналіз ЕМС розпадається на ряд окремих завдань, які представляють самостійне значення для практики. При аналізі ЕМС необхідно вирішення наступних груп завдань:

- дослідження показників ЕМС РЕЗ і їх елементів(блоків, вузлів тощо);
- дослідження електромагнітної обстановки;
- дослідження виконання ЕМС у конкретній групі засобів.

Вони проводяться з метою встановлення факту електромагнітної сумісності й при її порушенні – знаходження конкретних причин несумісності, включаючи виявлення джерел ненавмисних завад і шляхів їх впливу.

Аналіз ЕМС у групі засобів базується на результатах дослідження електромагнітної обстановки й параметрів, що впливають на ЕМС. Аналіз електромагнітної обстановки дозволяє з'ясувати, які саме завади діють у конкретному випадку і які їх енергетичні, спектральні й статистичні характеристики. Для вирішення питання про наявність або відсутність сумісності необхідно встановити характер впливу цих завад і оцінити результати цього впливу на якість функціонування РЕЗ у даній групі.

Аналіз ЕМС для конкретної ситуації проводиться на основі

використання моделей взаємодії[2]. Їх можливо розрізняти:

- а) по виду оцінки ЕМС – парна оцінка, групова й комплексна;
- б) по характеру функціональних зв'язків, що враховуються, між аналізованими засобами – проста й складна логіка впливу;
- в) по характеру оцінки електромагнітної обстановки – детерміновані й імовірнісні;
- г) по характеру оцінки якості функціонування – детерміновані й імовірнісні.

Можливі різні комбінації перерахованих моделей. Вибір конкретної моделі визначається метою аналізу, вимогами до його точності, деталізацією та вірогідністю вихідних даних.

Під час створення певного РЕЗ розроблювача в першу чергу цікавить, як радіоелектронний пристрій(РП) буде функціонувати при впливі на нього того або іншого джерела завад(ДЗ), тобто парна оцінка ЕМС РЕЗ.

Для вибору станцій, що характеризують електромагнітну обстановку в місці розташування РП, необхідно визначити розміри розрахункової зони. Для цього необхідно окреслити коло з центром в точці з координатами РП і радіусом, рівним подвоєному радіусу зони обслуговування, яка заявляється, або відповідній відстані згідно до стандарту для даного виду зв'язку і діапазону частот. Всі станції, що потрапили в простір, обмежений цим колом (рухомі, спільно зі своїми базовими, навіть якщо останні не потрапили в цю область), вибираються для подальшого аналізу на виконання частотних вимог.

Висока швидкодія сучасних обчислювальних засобів у сполученні з раціонально побудованими алгоритмами дозволяє вирішувати задачі ЕМС для сукупності з великою кількістю РЕЗ. При побудові алгоритму необхідно, в першу чергу, враховувати наступні фактори: призначення алгоритму й обсяг задачі, що розв'язується з його допомогою.

Для зменшення часу аналізу в алгоритмі використано кілька етапів добору потенційно небезпечних випромінювань і виключення з аналізу джерел завад, які не представляють небезпеки нормальному функціонуванню РЕЗ. Перш за все, якщо рівень корисного сигналу не відомий, розраховується його очікуване значення для приймачів, що аналізуються.

На *першому етапі* проводиться добір потенційно завданебезпечних РЕЗ за критерієм максимального частотно-територіального рознесення. Таким чином, із усього угруповання РЕЗ виділяються РЕЗ, які підлягають аналізу ЕМС. При оцінці рівня завад проводиться послідовний аналіз впливу завад окремих випромінювачів на кожний приймач в угрупованні РЕЗ.

На *другому етапі* аналізу ЕМС для обраної пари передавач - приймач оцінюється рівень сигналу, що заважає, на вході приймача і поріг добору. Селективні властивості приймача по частоті до уваги не беруться. Порівнюючи рівень завади з порогом, алгоритм виключає з розгляду випромінювачі, сигнали яких лежать нижче порогу. На цьому ж етапі

виділяються і запам'ятовуються сигнали, які можуть бути причиною нелінійних ефектів у приймачі.

На *третьому етапі* встановлюються можливі канали проникнення завади (основний або побічні канали), розраховується рівень завади, приведений у смузі приймача до його входу, з урахуванням селективних властивостей приймача і знову виконується порівняння з порогом. При цьому слід відмітити, що нелінійні ефекти (гармоніки, інтермодуляція і т. і.) можуть проявлятися при розміщенні РЕЗ на локальних об'єктах. Із-за значних трудовитрат їх моделювання при аналізі ЕМС РЕЗ, на практиці ці ефекти небажаних випромінювань враховуються за допомогою, так званого, рівня побічних випромінювань передавача. Математично цей рівень апроксимується пологою частиною спектральної характеристики (маски), звичайно на рівні порядку -60 дБ.

Сигнали, які заважають і пройшли цей етап відбору, підлягають додатковому аналізу і їхній рівень коригується з урахуванням наявних у приймачі засобів подавлення або захисту від завад. Для завад, які визнані потенційно небезпечними, після всіх етапів добору, розраховується необхідне захисне відношення і прогнозоване відношення сигнал/завада. Потім, виконується їхнє порівняння. Якщо відношення сигнал/ завада менше необхідного захисного відношення, то розраховується необхідне додаткове ослаблення завади. Інформація про небезпечний випромінювач, канал проникнення завади і необхідне її ослаблення виводиться оператору ЕОМ.

Після завершення аналізу впливу окремих випромінювачів по основному і побічним каналах прийому алгоритм переходить до дослідження нелінійних ефектів, які можуть виникнути в приймачі від сигналів, що заважають, виділених на першому етапі аналізу. Несприятливі результати аналізу, у тому числі й аналізу взаємодії сигналів, що заважають, виводяться з зазначенням виду нелінійного ефекту і джерел завад, які їх породжують.

Алгоритм закінчує роботу після завершення аналізу якості роботи всіх приймачів угруповання РЕЗ.

**Висновки.** Різноманітність завдань аналізу ЕМС забезпечуються широким арсеналом засобів, які включають:

- *аналітичні методи* дослідження, що дозволяють одержати необхідні результати розрахунковим шляхом на основі використання математичних моделей досліджуваних явищ;

- *методи імітаційного моделювання*, що дозволяють одержати результати шляхом математичного моделювання цих явищ за допомогою ЕОМ;

- *експериментальні методи* (в тому числі з застосуванням сучасних програмно-апаратних комплексів радіотехнічного контролю), що дозволяють одержати результати шляхом вимірів фізичних величин в реальних умовах.

При прогнозуванні ЕМС РЕЗ на етапі розробки використовуються аналітичні методи, у тому числі реалізовані програмно. Завдання визначення реакції РЕЗ на вплив сигналів і завад на наступних етапах можуть успішно вирішуватися методами імітаційного моделювання й експериментальних методів. Нарешті, для визначення характеристик ЕМС різних пристроїв доцільніше використовувати експериментальні методи аналізу.

1. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем // Под ред. Н.М. Царькова. – М.: Радио и связь, 1985, 271 с.
2. В.И. Петровский, Ю.Е. Сидельников. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. – М.: Радиосвязь, 1986 г.
3. ГОСТ 23872-79. Совместимость радиоэлектронных средств. Электромагнитная номенклатура параметров и классификация технических характеристик.

*Поступила 9.02.2009р.*

УДК 539.293

В.В. Гоблик, к.ф.-м.н., доц., НУ "Львівська політехніка"  
І.В. Ничай, аспірант, НУ "Львівська політехніка"

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЛАСТИНИ З ПОДВІЙНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОНИКНОСТІ**

A mathematical model, as a branched continual fraction, of periodically nonuniform dielectric plate, is considered. The numerical results of spatial distribution of the field for the different values of period of the followings of nonuniformities are got. The features of the field distribution which arise up as a result of modulation of dielectric conductivity of structure by the two periodic sequences of rectangular functions are analysed.

### **Вступ**

Періодично-неоднорідні структури (ПНС) у вигляді пластини з модульованою діелектричною проникністю широко використовуються в якості елементів інфокомунікаційних систем завдяки своїм унікальним властивостям: просторово-частотної фільтрації, комутації та каналізації інформаційних потоків; просторового мультиплексування каналів передачі інформації; розчеплення спектру випромінювання квантових генераторів; покривати інформаційним полем задані області простору. В основі таких властивостей лежать ефекти взаємодії сторонніх джерел поля з ПНС, які досліджувались як експериментальними так і методами математичного моделювання в роботах [1-8]. В роботі [1] в строгій електродинамічній постановці розв'язана задача збудження плоскої діелектричної пластини (ДП)