

МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ

В даній статті пропонується новий підхід в моделюванні радіоелектронних систем та пристроїв на основі поєднання методів та засобів імітаційного моделювання з можливостями сучасної елементної бази цифрових (мікропроцесорних) систем. Проведений аналіз поставленої задачі показав особливості використання можливих навчальних систем, їх основні можливості та переваги. На їх основі запропоновано використання гібридного лабораторного макету, наведено приклад його побудови, обґрунтовано доцільність використання та здатність відповідати вимогам адекватності модельованих процесів. Наведена модель розширює функціональні можливості, залишаючи незмінними апаратні. Також враховує сучасні методи, що використовуються для передачі даних в каналах зв'язку.

Ключові слова: радіоелектронні системи, макет, імітаційна модель, канал зв'язку, мікроконтролер, лабораторна модель, моделювання.

I.I. CHESANOVSKIY, D.O. LEVCHUNETS, A.S. ZUBKO

Khmelnitsky National University

MODELING OF RADIOELECTRONIC TELECOMMUNICATION SYSTEMS IN THE LABORATORY

Abstract – This article contains a new approach to the modeling of electronic systems and devices based on a combination of methods and tools of simulation modeling with capabilities of digital (microprocessor-based) system modern element base. The analysis of the issue shows peculiarities of possible usage of educational systems, their main features and benefits. Being based on this the usage of the hybrid laboratory layout is suggested, the example of its construction is disposed, the expediency of its usage and the ability to meet the adequacy of the simulated processes are proved. This model extends the functionality with the hardware remaining unchanged. Within it modern methods used for data transmission in channels are also taken into account.

Keywords: Radio-system model, simulation model, the communication channel, microcontroller, laboratory model, modeling.

Враховуючи технічну складність та широку просторову розподіленість сучасних телекомунікаційних радіоелектронних систем, відтворення їх роботи в лабораторних умовах практично неможливе, тому практична підготовка фахівців може здійснюватися лише поетапно на окремих елементах систем. Зважаючи на це, все більшого розповсюдження набувають системи імітаційного моделювання. Недоліком такого підходу є «відчуженість» фахівців від фізичних основ роботи радіоелектронних засобів і, як наслідок, низький рівень їх підготовки саме в практичному аспекті.

Альтернативним виходом із ситуації, що склалась, може бути розробка та застосування гібридних лабораторних макетів (ГЛМ), що містять всі необхідні елементи досліджуваних систем, які в свою чергу мають відповідні точки контролю для підключення вимірювальних приладів, проте в своїй основі представляють собою віртуальні імітаційні моделі (ІМ), що розроблені в певному середовищі моделювання.

Вивчення стану питання. Сучасний «арсенал» з набуття практичних навичок на основі теоретичних знань, як правило, включає в себе лабораторні макети, імітаційні середовища моделювання, та власне радіоелектронні системи (РЕС) в діючому або навчальному режимах. Аналіз кожного з них виявив ряд недоліків, що накладають обмеження їх для використання в навчальних цілях [1].

Проблеми практичного вивчення РЕС:

- великі габарити, що не дають змоги розміщувати їх в лабораторіях;
- використання різних середовищ для передачі даних, що створює певні проблеми по їх відтворенню в обмеженому просторі;
- застосування різних принципів кодування та обробки сигналів, що вимагає застосування складних та вартісних вузлів та елементів лабораторного обладнання і т.д.

Для отримання практичних навичок в ході навчального процесу як правило використовують лабораторні макети, що найчастіше охоплюють лише окремих блок, та мають виділену кількість параметрів із заздалегідь визначеним діапазоном зміни. РЕС мають великий різновид блоків, що відрізняються один від одного як за принципом побудови, так і за виконуваними операціями.

Якщо ж дослідження проводиться у середовищі моделювання, то ситуація дещо краща. Але використовуючи ІМ відсутня можливість «відчувати» роботу з реальним обладнанням, за допомогою вимірювальних пристроїв, власноруч переконатись у вірності відображених даних, тому набуті таким чином знання зазвичай не дають ясної картини розуміння процесів, що відбуваються в реальному блоці, або між його вузлами, та їх взаємовпливу.

Актуальним залишається питання вартості навчального обладнання, що в свою чергу диктується актуальністю, та якістю обладнання. Для гібридного макету це питання стоїть не так гостро, оскільки:

- середовище моделювання встановлюється на розповсюджені персональні комп'ютери (ПК);
- можливість оновлення програмного забезпечення (стійкість до морального зносу);
- використання макету для моделювання різноманітних каналів зв'язку (його універсальність);
- відносно дешева собівартість виготовлення апаратної частини ГЛМ у порівнянні з РЕС;

- малі габарити апаратної частини.

Виклад основного матеріалу. Поєднання лабораторного макету та можливостей середовища моделювання утворює нову платформу для дослідження та моделювання телекомунікаційних РЕС. Оскільки код програми є достатньо об'ємним, споживає багато ресурсів та вимагає вводу великої кількості змінних, чого не може забезпечити макет, доцільно виконувати обчислення та формування ІМ в середовищі моделювання встановленим на ПК. Для виконання практичної роботи як (знімання характеристик та параметрів сигналу з контрольних точок блоків за допомогою діагностичного обладнання) призначений макет. Блок-схема такого макету зображена на рис. 1.

Лабораторний макет у класичному виконанні застосовується для дослідження окремого явища, блока, або вузла, тому показник його морального старіння вищий ніж у гібридного макету, який окрім вище зазначених можливостей охоплює РЕС в цілому. Один ГЛМ цілком здатен замінити декілька звичайних, тим не менш, це не означає для нього більш лояльних вимог на етапі розробки.

Як приклад одного із найрозповсюдженіших і функціональних середовищ моделювання РЕС є MATLAB, оскільки специфіка спрямування програми та її інтенсивне застосування в задачах моделювання РЕС спричинили розробку та накопичення великого об'єму бібліотек моделей елементів, вузлів та специфічних математичних процедур обробки сигналів. Саме через це, на його основі доцільно виконувати розробку імітаційного ядра лабораторної моделі.

Необхідність представлення типової структури ГЛМ, що наведена на рис. 2. пояснюється особливостями роботи запропонованого середовища моделювання.

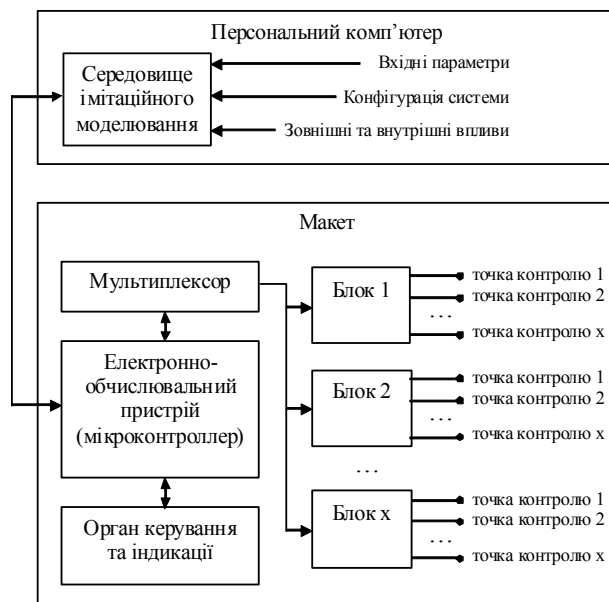


Рис. 1. Блок-схема гібридного макету

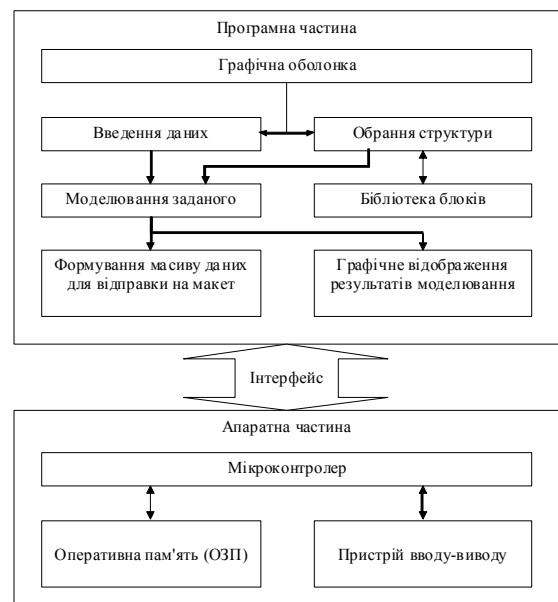


Рис. 2. Структурна схема гібридного макету

Взаємодію та передачу інформації програмної частини, що базується на ПК, та апаратної виконує інтерфейс за рахунок заздалегідь обраного протоколу обміну даними. Та на відміну від реального каналу зв'язку, запропонована модель лише імітує його поведінку. Реалістична поведінка системи при різноманітних початкових значеннях та структурі безперечно найважливіша вимога до системи. Тому на етапі написання коду програми цьому приділяється основна увага, що вимагає знання не лише принципу дії окремих блоків та явищ, що в них виникають, а також розуміння їх взаємовпливу [2].

Сигнал, сформований в середовищі моделювання, має ідентичну форму, характеристики та параметри з його реальною копією. Це дає змогу проводити з ним подальші математичні перетворення, в основі яких лежить фізичний зміст реальних процесів, що протікають в РЕС. Простоту реалізації моделей з використанням вбудованих процедур демонструє фрагмент лістингу програми в середовищі MATLAB рис. 3. на якому приведено формування та аналіз прикладу наведеного сигналу (побудова спектрограми).

На основі наведеного фрагменту лістингу проведено порівняння графіків побудованих у середовищі ІМ та отриманих за допомогою вимірювальних приладів. Рис. 4. наочно демонструє графіки побудовані за допомогою ІМ та ті що отримані за допомогою діагностичної апаратури через точку контролю на макеті.

Порівняльні графіки, приведені на рис. 4, що демонструють осцилограми досліджуваного сигналу (а, в) хоч і отримані з різних джерел, але візуально вони ідентичні. Процес розподілу енергії сигналу у вигляді зображеному на рис. 4. (б) є більш доступними для розуміння, ніж зображення з аналізатора спектру (г), оскільки відображення енергії сигналу відбувається не лише в частотній, а й в часовій області.

```

Fs = 8e3; % частота дискретизації
T = 2; % тривалість сигналу
t = 1/Fs:1/Fs:T; % вектор значень часу
f0 = 0; % початкова частота
f1 = 4e3; % кінцева частота
data=chirp(t, f0, T, f1); % досліджуваний сигнал
% (лінійна частотна модуляція)
subplot(2, 1, 1), plot(t(1:2e3),data(1:2e3));
title('Осцилограма');
xlabel('час (секунд)'); ylabel('амплітуда (Вольт)');
subplot(2, 1, 2), spectrogram(data, [], Fs);
title('Спектрограма');
xlabel('час (секунд)'); ylabel('частота (Герц)');
    
```

Рис. 3. Фрагмент лістингу програми в середовищі MATLAB формування та аналізу прикладу сигналу

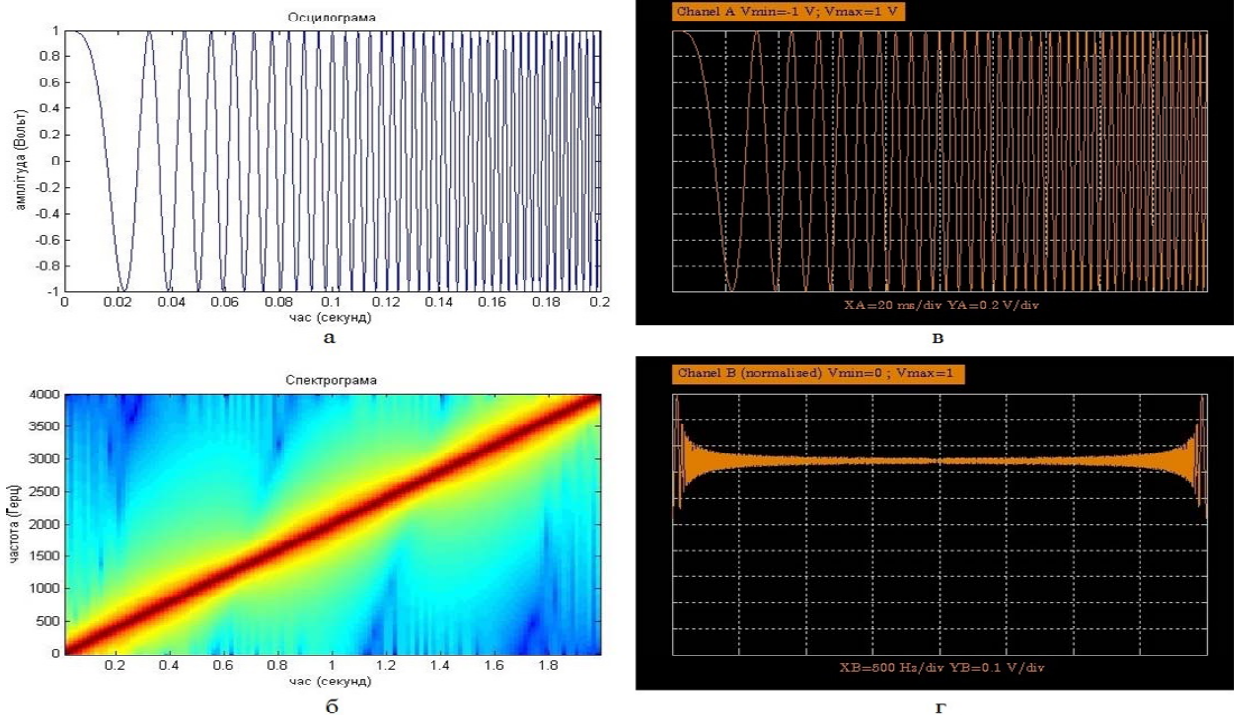


Рис. 4. Характеристики досліджуваного сигналу: а – осцилограма побудованої моделі в MATLAB; б – спектрограма побудованої моделі в MATLAB; в - осцилограма знятого з осцилографа сигналу; г – спектрограма знятого з аналізатора спектру сигналу

Іншим очевидним прикладом, що показує переваги такого підходу, є моделювання фільтра, або навіть каналу зв'язку. В одному класичному лабораторному макеті передбачаються, у кращому разі, декілька фільтрів, тому про детальний розгляд їх типів та особливостей на практиці говорити не можна [3]. Проте їх створення в ІМ, «озброєній» бібліотекою як вбудованих, так і спеціально доповнених функцій, є достатньо легким завданням [4]. Лістинг програми на рис. 5, виконує створення фільтра та зважує ним сигнал отриманий з лістингу на рис. 3. Реакцією системи з вище зазначеним фільтром на вхідний сигнал, зображений на рис. 4, буде відповідна зміна його форми та спектрограми.

```

% створення вікна (використано вікно Кайзера)
beta=20; % параметр
w=kaiser(length(F)/2, beta);
figure('Name', 'Вікно Кайзера', 'NumberTitle', 'off');
plot(f(1:length(w)),w); xlabel('частота (Герц)');
ylabel('нормовані значення амплітуди');
% зваження вікном
FW=[]; % створення порожньої матриці для заповнення фільтрованою АЧХ
i=1;
while i<=length(w);
    FW(i)=F(i)*w(i);
    i=i+1;
end
i=1;
while i<=length(w);
    FW(length(F)-i+1)=F(length(F)-i+1)*w(i);
    i=i+1;
end
Y=real(iffw(FW))+imag(iffw(FW)).*sin(imag(iffw(FW))); % відновлення сигналу
Y=Y(1:length(data)); % видалення надлишкових значень
figure('Name', 'Відновлений сигнал', 'NumberTitle', 'off');
subplot(2, 1, 1), plot(t,Y); title('Осцилограма');
xlabel('час (секунд)'); ylabel('амплітуда (Вольт)');
subplot(2, 1, 2), spectrogram(Y, [], Fs); title('Спектрограма');
xlabel('час (секунд)'); ylabel('частота (Герц)');
    
```

Рис. 5. Фрагмент лістингу програми в середовищі MATLAB формування фільтра та зважування ним сигналу

На рис. 6. показано залежності досліджуваного сигналу який було зважено вікном Кайзера.

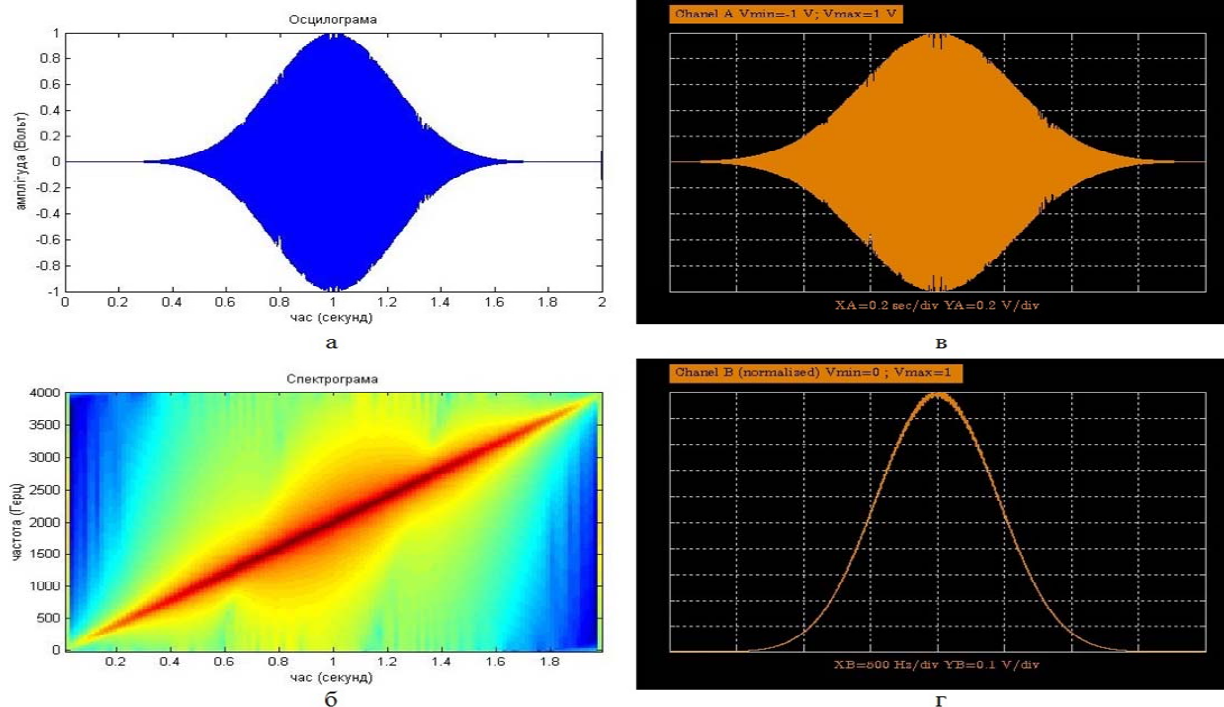


Рис. 6. Характеристики досліджуваного сигналу: а – осцилограма побудованої моделі в MATLAB; б – спектрограма побудованої моделі в MATLAB; в - осцилограма знятого з осцилографа сигналу; г – спектрограма знятого з осцилографа сигналу

Збільшений масштаб осцилограм рис. 6 (а, в) демонструє зміну сигналу на виході системи, представленій у вигляді фільтра, що неодмінно відобразилось на розподілі енергії сигналу (б, г).

Отримані графіки (рис. 4., рис. 6.) є теоретично обґрунтованими та математично коректними, а отже запропонована модель ГЛМ, здатна відповідати вимогам адекватності модельованих процесів. Не дивлячись на віртуальне походження наданих системою даних (що може бути приховано від користувача) вони цілком відповідають дійсності.

Висновок. Проведений аналіз задачі моделювання телекомунікаційних РЕС в лабораторних умовах показав особливості використання можливих навчальних систем, їх основні можливості та переваги. На їх основі запропоновано використання ГЛМ, наведено приклад його побудови, обґрунтовано доцільність його використання. ГЛМ розширює функціональні можливості, залишаючи незмінними апаратні. Також враховує сучасні методи, що використовуються для передачі даних в каналах зв'язку. Але можливості ГЛМ напряму залежать від передбачення можливих комбінацій побудови, обраних вхідних даних, діапазону робочих значень, детальності та обсягу системи. Тобто інформація закладена в бібліотеку блоків, визначає рівень сучасності досліджуваної системи та її актуальність.

Література

1. Радиотехнические системы передачи информации / [В.А. Борисов, В.В. Калмыков, Я.М. Ковальчук, та ін.]. – М. : Радио и связь, 1990. – 304 с.
2. Борисов Ю.П. Математическое моделирование радиосистем : [учеб. пособие для вузов] / Борисов Ю.П. – М., Советское радио, 1976. – 296 с.
3. Тихонов В.И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем : [учеб. пособие для вузов] / В.И. Тихонов, В.Н. Харисов. – М. : Радио и связь, 1991. – 608 с.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов : [учеб. пособие]. – П. БХВ-Петербург, 2011. – 736 с.

References

1. Borisov V.A., V.V.Kalmykov, A.M. Kovalchuk, Y.N.Sebein, A.I. Senin, I.B.Fedorov, I.A.Tsykin Radiotekhnicheskie sistemy peredachi informacii . M. Radio i sviaz. 1990. 304 p. [in Russian]
2. Borisov Y.P. Matematicheskoe modelirovanie radiosistem. M. Sovetskoe radio. 1976. 296 p. [in Russian]
3. Tihonov V.I., Harisov V.N. Statisticheskii analiz i sintez radiotekhnicheskikh ustroystv i sistem. M. Radio i sviaz. 1991. 608 p. [in Russian]
4. Sergienko A.B. Tsifrovaya obrabotka signalov: ucheb. posobie. Piterburg. BHV-Peterburg, 2011. 736 p. [in Russian]

Рецензія/Peer review : 7.3.2013 р. Надрукована/Printed :7.4.2013 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Шинкарук О.М.