

МОДЕЛЬ НВЧ ПОЛЬОВОГО ТРАНЗИСТОРА З БАР'ЄРОМ ШОТКІ

В роботі розглянуто переваги використання нейромережевого підходу для створення моделей електронних компонентів, підсистем та систем. Зокрема розроблено модель для НВЧ польового транзистора з бар'єром Шоткі, характеристики якого відрізняються нелінійністю. Проаналізовано S параметри транзистора, отримані експериментально та в результаті моделювання.

Ключові слова: польовий транзистор, нейронна мережа, модель, нелінійність, похибка.

The advantages of neural network approach using for creating of electronic component, subsystem and system models, are described in article. In particular, the model of microwave frequency unipolar transistor with Schottky junction, it has nonlinear behavior. S parameters experimentally obtained and as result of simulation are analyzed.

Keywords: field-effect transistor; a neural network model, nonlinearity, uncertainty.

Вступ. Розробка електронних засобів на сьогоднішній день вимагає використання сучасних засобів комп'ютерного моделювання з метою зменшення вартості та часу проектування. Основною проблемою моделювання є зміни електронних елементів та систем, пов'язані з постійним вдосконаленням апаратури. Коли мова йде про напівпровідникові елементи та пристрої на їх основі, маємо справу з динамічними системами, які неперервні, однак мають значну нелінійність. Це спричиняє труднощі для точного та ефективного моделювання складних аналогових систем. Дуже часто таке моделювання на рівні елементів та пристроїв є занадто повільним для моделювання дуже великих електронних схем, що містять тисячі пристроїв. Поряд з важливістю розробки ефективних та точних моделей для пристроїв та підсистем також важливо мати більш потужні алгоритми для моделювання великих нелінійних систем. [1] В моделюванні аналогових кіл використовується декілька підходів, які відображено на рис. 1.

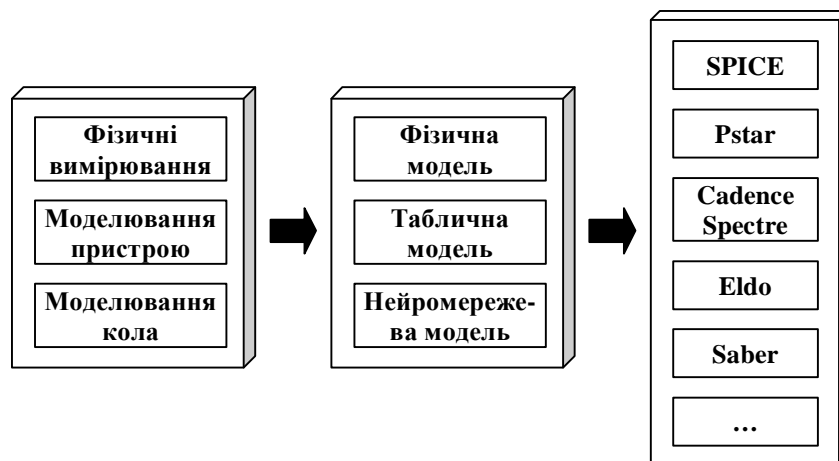


Рис. 1. Моделювання електронних компонентів та систем

В моделюванні виділяються два основних завдання, які відрізняються поставленими вимогами. По-перше, створення моделей елементів та систем, яких ще не існує. По-друге, створення більш точних та ефективних моделей існуючих електронних систем, тобто макромоделей. Класичним підходом є розробка чисельної моделі на основі отриманих експериментальних даних.

Нейромережевий підхід до моделювання електронних пристроїв та систем. Останнім часом все більше уваги приділяється різного роду застосуванням нейронних мереж. Для розв'язку задачі апроксимації функцій можуть застосовуватись різні архітектури нейронних мереж: багатошарові мережі прямого розповсюдження, радіально-базисні нейронні мережі, нейронні мережі із зворотними зв'язками, нейронні мережі Кохонена і т.д. [2] В даній статті розглядається можливість побудови нейронної мережі таким чином, щоб вона представляла статичну та динамічну поведінку електронного пристрою чи системи. Використання нейромережевих моделей може дати наступні переваги: нейронна мережа може бути використана для забезпечення загального зв'язку між вимірюваннями та моделюванням пристрою; можливість автоматичного генерування моделей пристроїв у вигляді нейромережевих моделей; отримання більш компактних моделей з більшою кількістю кінцевих відліків; можливість автоматичного знаходження структур у цільових даних та використання їх для спрощення моделі; стабільність нейромережевої моделі, що забезпечується стабільністю кожного окремого нейрона.

Доведено, що будь-яка неперервна функція n змінних може бути апроксимована з будь-яким рівнем точності трьохшаровою нейронною мережею прямого розповсюдження із сигмоїдальною функцією активації у прихованому шарі і лінійною функцією активації у вихідному шарі з алгоритмом зворотного розповсюдження похибки в якості навчального алгоритму [3]. Один або декілька шарів нейронів з

нелінійною функцією перетворення дозволяє мережі встановлювати нелінійні зв'язки між вхідним та вихідним векторами. Прийемо, що шари рахуються, починаючи з вхідного шару як нульового, тоді нейронна мережа із K вихідними шарами фактично буде містити $(K+1)$ шар. Шар k за визначенням містить N_k нейронів. Вектор вказує на врахування усіх нейронів окремого шару, таким чином нейронна мережа має вхідний вектор $\bar{x}^{(0)}$ і вихідний вектор $\bar{x}^{(k)}$. Диференційне рівняння для виходу, або функція активації, y_{ik} одного окремого i -го нейрона k -го шару ($k>0$) буде

$$\tau_{2,ik} \frac{d^2 y_{ik}}{dt^2} + \tau_{1,ik} \frac{dy_{ik}}{dt} + y_{ik} = F^{(ik)}(s_{ik}, \delta_{ik}), \quad (1)$$

$\tau_{1,ik}$, $\tau_{2,ik}$ – сталі часу; $F^{(ik)}$ – нелінійна функція із оптимальним перехідним параметром δ_{ik} . Зважена сума s_{ik} результатів попереднього шару далі визначається як

$$s_{ik} = \bar{w}_{ik} \cdot \bar{y}_{k-1} - \theta_{ik} + v_{ik} \frac{d\bar{y}_{k-1}}{dt} = \sum_{j=1}^{N_{k-1}} w_{ijk} y_{j,k-1} - \theta_{ik} + \sum_{j=1}^{N_{k-1}} v_{ijk} \frac{dy_{j,k-1}}{dt} \quad (2)$$

для $k>1$, включаючи вагові коефіцієнти w_{ijk} та v_{ijk} ; θ_{ik} – параметр зміщення, для шару $k=1$ приєднаного до входу нейронної мережі $x_j^{(0)}$

$$s_{ik} = \bar{w}_{ik} \cdot \bar{x}^{(0)} - \theta_{ik} + v_{ik} \frac{d\bar{x}^{(0)}}{dt} = \sum_{j=1}^{N_{k-1}} w_{ijk} x_j^{(0)} - \theta_{ik} + \sum_{j=1}^{N_{k-1}} v_{ijk} \frac{dx_j^{(0)}}{dt}. \quad (3)$$

В результаті для довільного діапазону вихідних значень у випадку обмеженої функції $F^{(ik)}$ лінійна масштабована змінна додається до вихідного значення $x_i^{(k)} = \alpha_i y_i K + \beta_i$, повертаючи вихідний вектор нейронної мережі $\bar{x}^{(k)}$.

На рівні пристрою практично завжди можливо отримати числові експериментальні дані. Для аналогового кола необхідне представлення стану кола за будь-якої комбінації вхідних змінних. З метою моделювання необхідно мати модель, яка виходить за межі експериментальних даних, але відповідає роботі досліджуваного пристрою.

Модель, що використовується для моделювання, звичайно складається з множини аналітичних функцій, які в системі визначають модель у постійному вхідному просторі IR^n . Функції мають бути згладжені, це означає, що похідні першого та вищого порядків неперервні для множини вхідних змінних. Крім того, для врахування ефекту на зразок затримки розповсюдження сигналу, модель пристрою може бути побудована з декількох квазістатичних моделей. Квазістатична модель складається з функцій, що описують статичну роботу, і доповнена функціями першої похідної, які відображають швидкість зміни вхідного сигналу. Наприклад, квазістатична MOSFET модель містить нелінійні багаторозмірні функції статичних струмів та нелінійні багаторозмірні функції еквівалентних зарядів. Похідні за часом зарядів відображають струми ємностей.

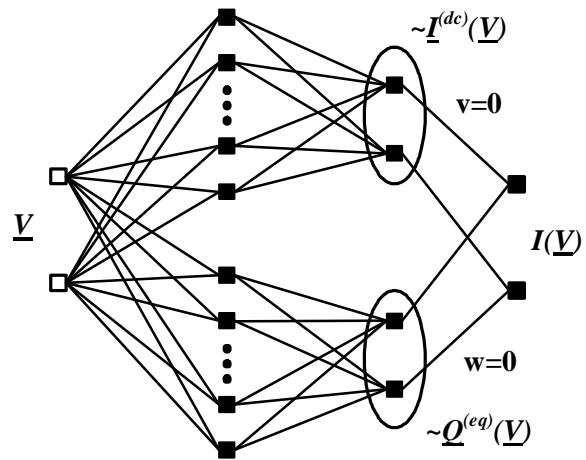


Рис. 2. Представлення квазістатичної моделі нейронною мережею прямого розповсюдження

Постійні струми $I^{(dc)}$ і так звані еквівалентні заряди $Q^{(eq)}$ пристрою безпосередньо та однозначно визначаються прикладеною зовнішньою напругою $V(t)$, яка є функцією часу.

Квазістатичні струми моделі пристрою з параметрами p визначаються з

$$I(t) = I^{(dc)}(V(t), p) + \frac{d}{dt} Q^{(eq)}(V(t), p) \quad (1)$$

Неперервна багаторозмірна поведінка пристрою може бути змодельована статичною нейронною мережею прямого розповсюдження з одним прихованим шаром. Таким чином, враховується будь-яка функція моделі для струму $I^{(dc)}(V)$. Більше того, додаючи паралельно іншу нейронну мережу, можна також представити будь-яку функцію $Q^{(eq)}(V)$ мережею, що містить не більше одного прихованого шару. Однак, відповідно до рівняння (1) необхідно враховувати похідну за часом від $Q^{(eq)}$, це можна зробити із використанням додаткового нейронного шару. Приклад структури нейронної мережі із двома входами та двома виходами наведено на рис. 2.

Макромодель НВЧ польового транзистора. В системах зв'язку, що працюють в НВЧ діапазоні широко застосовуються польові транзистори з бар'єром Шоткі (ПТШ) на арсеніді галію. Їх використання дозволяє суттєво покращити масо-габаритні характеристики апаратури наземного та бортового базування.

На ПТШ може бути сконструйована різноманітна прийнятно-підсилювальна апаратура. Кращі зразки польових транзисторів з арсеніду галію характеризуються коефіцієнтом шуму 0,5 – 1,4 дБ н частотах 0,5 – 18 ГГц та 5 – 6 дБ на частотах міліметрового діапазону. Завдяки більш простій та досконалій технології виготовлення ПТШ має менший діапазон відхилень електричних параметрів. Струм в них протікає не через p-n переходи, а між омичними контактами однорідного середовища каналу.

Для дослідження було використано ПТШ MGF1303, зокрема його S-параметри отримані експериментальним шляхом та шляхом нейромережевого моделювання. Для нейромережевого моделювання неважливо з якого типу системи отримано навчальну вибірку. Дані можуть бути отримані для окремого транзистора або для цілої (під)системи. Тому коли йдеться про розробку моделі кола або його частини, мається на увазі макромодельовання, і результатом є макромодель. Основною метою є заміна складного опису системи – такого як електричне коло – більш простим – макромоделлю – що зберігає основні характеристики, тобто зв'язок між входами-виходами. Було побудовано нейронну мережу прямого розповсюдження із двома прихованими шарами (рис. 3), кожний з яких містить 4 нейрони з сигмоїдальною функцією активації $F(s_{ik}) = \tan \text{sig}(s_{ik})$, вихідний шар містить два нейрони із лінійною функцією активації $F(s_{ik}) = s_{ik}$.

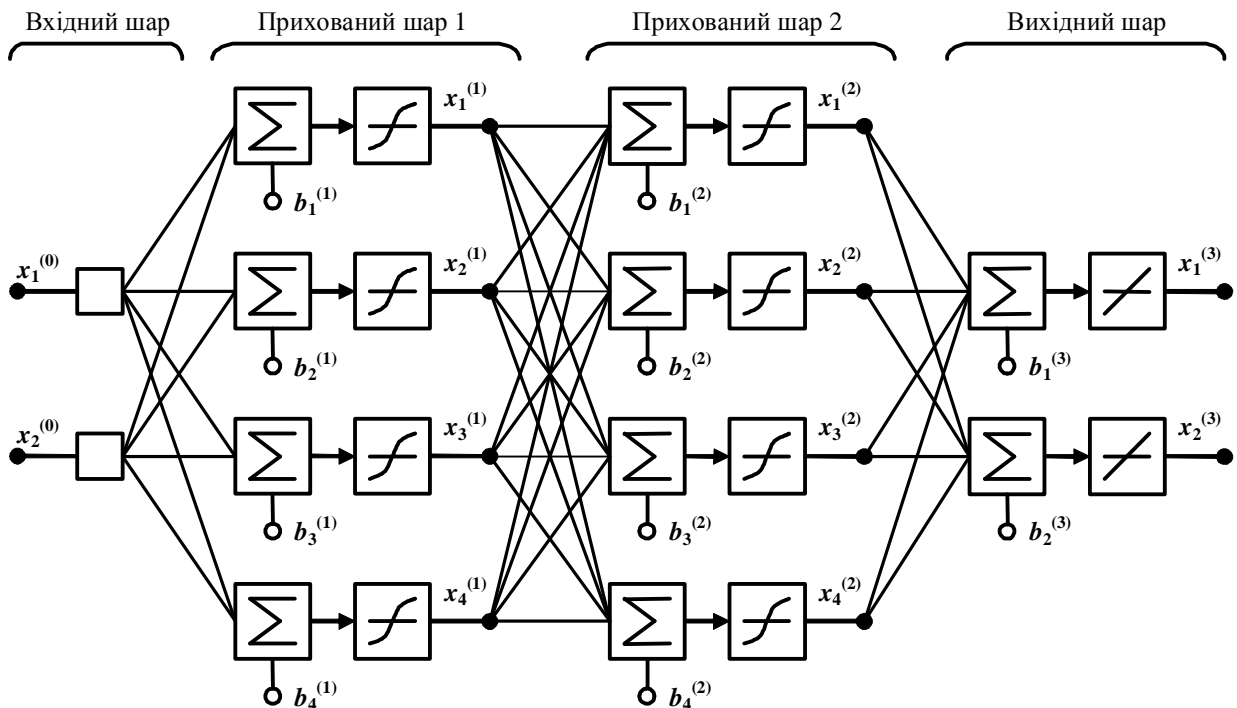


Рис. 3. Нейронна мережа прямого розповсюдження, використана для побудови моделі польового транзистора із бар'єром Шоткі

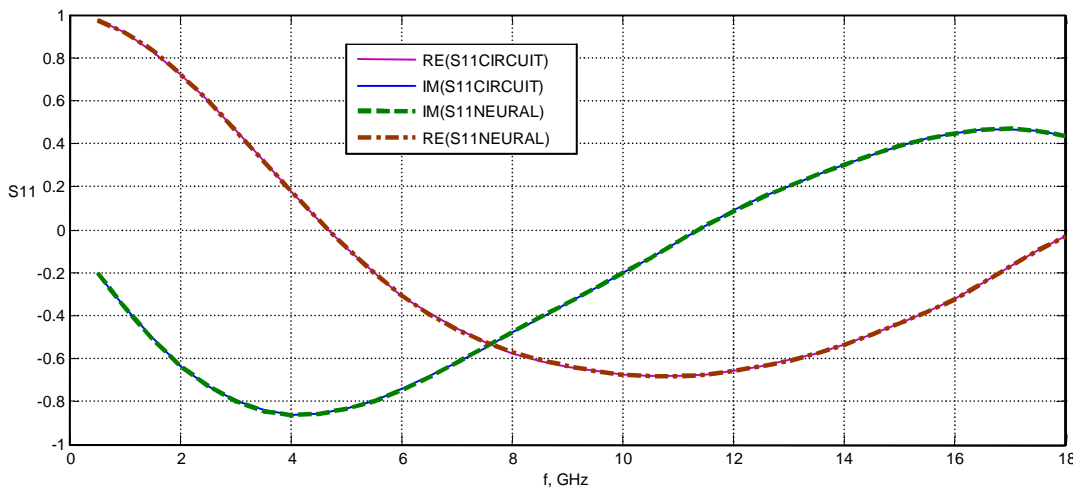
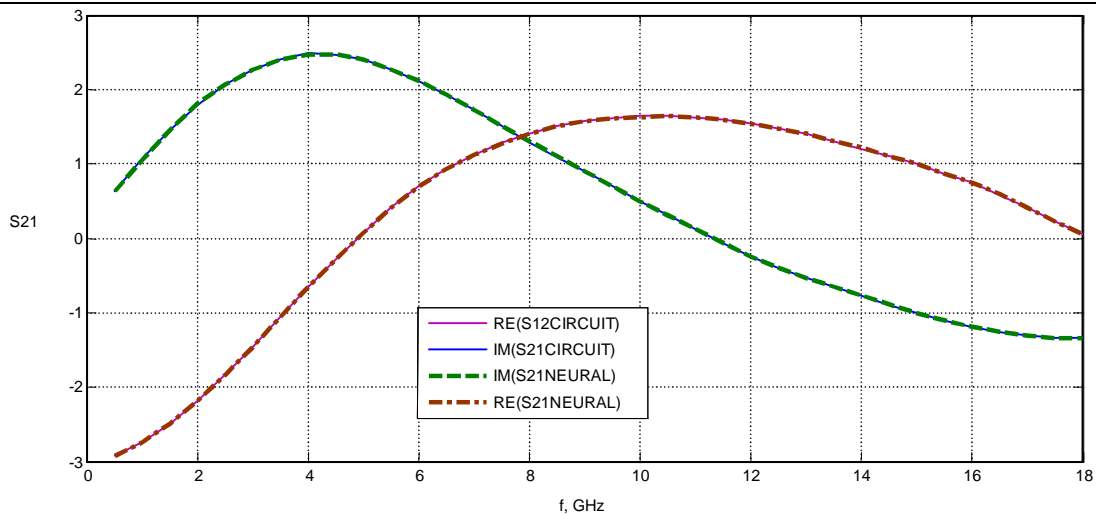
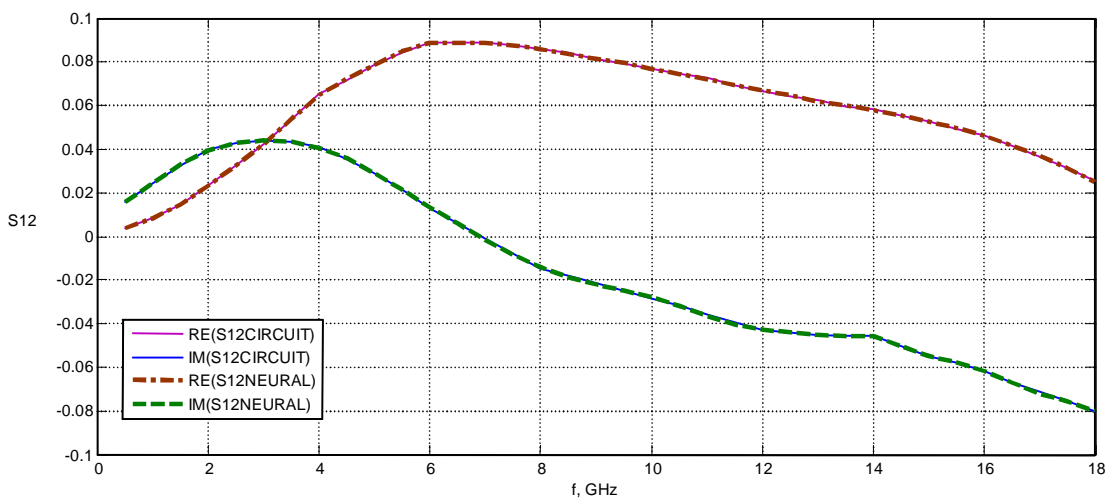
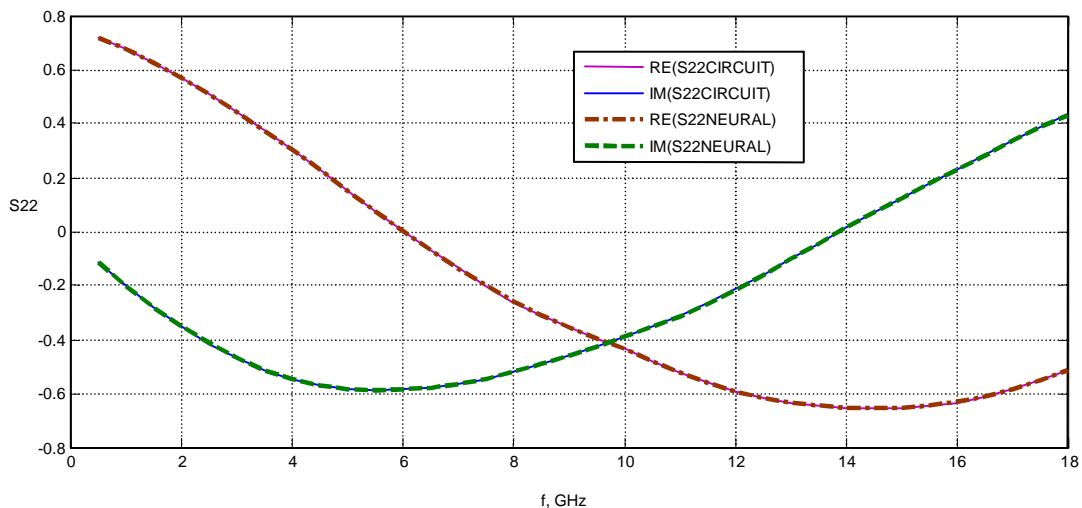


Рис. 4. Параметр S_{11} польового транзистора з бар'єром Шоткі MGF1303 та нейронної моделі

Рис. 5. Параметр S_{21} польового транзистора з бар'єром Шоткі MGF1303 та нейронної моделіРис. 6. Параметр S_{12} польового транзистора з бар'єром Шоткі MGF1303 та нейронної моделіРис. 7. Параметр S_{22} польового транзистора з бар'єром Шоткі MGF1303 та нейронної моделі

Два входи та два виходи нейронної мережі необхідні для отримання матриці параметрів \bar{S} . Експериментальні дані для ПТШ MGF1303 та нейронмережевої моделі подано на рис. 4 – рис. 7. На графіках показано залежності S параметрів від частоти в діапазоні від 0,5 до 18 ГГц, криві відображають збіг експериментальних залежностей і залежностей, отриманих в результаті моделювання. Середньоквадратична похибка моделювання відносно експериментальних даних складає $2,492e-04$.

Висновки. Нейронмережевий підхід до розробки та генерації макромоделей дає можливість отримувати моделі для динамічних багаторозмірних систем зі значною нелінійністю, зокрема для електронних компонентів та кіл. Такі моделі можуть бути використані для моделювання аналогових

пристроїв. По-перше, це дозволяє зменшити час, необхідний для досягнення точного моделювання нових компонентів, таких як транзистори. По-друге, складна фізична модель НВЧ транзистора може бути замінена більш простою макромоделлю із, як мінімум, збереженням точності. Отримані в результаті нейромережевого моделювання залежності матриці параметрів \bar{S} відповідають отриманим експериментально, що свідчить про достовірність побудованої моделі.

Література

1. Chua L. Linear and Nonlinear Circuit / Chua L., Desoer C., Kuh E. – McGraw-Hill, 1987.
2. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation. – 2nd Ed. – Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1999.
3. Harvik K. Multilayer feedforward networks are universal approximators / Harvik K., Stinchcombe M., White H. – Neural Networks, 1989. – Vol. 2. – P. 359–366.

Надійшла 17.11.2012 р.

Рецензент: д.т.н. Шинкарук О.М.

УДК 621.396.96

Л.В. КАРПОВА

Хмельницький національний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗОНДУЮЧИХ СИГНАЛІВ З УРАХУВАННЯМ АМПЛІТУДНИХ ТА КУТОВИХ ФЛУКТУАЦІЙ

В статті на основі теоретичного аналізу процесів, що протікають в імпульсних генераторах НВЧ та експериментального дослідження імпульсних передавачів НВЧ діапазону на основі цих генераторів, удосконалено математичну модель імпульсного зонduючого радіосигналу з урахуванням статистичних моделей амплітудних та куткових спотворень в його комплексній обвідній.

Ключові слова: некогерентний сигнал, кореляція, функція невизначеності, закон розподілу, комплексна обвідна сигналу.

The article is based on a theoretical analysis of the processes occurring in the pulsed microwave generators and experimental study of pulsed microwave transmitter range based on these generators, improved mathematical model of the probe pulse signal based on statistical models and angular distortion in its complex envelope.

Keywords: incoherent signal correlation function of the uncertainty distribution, the complex envelope of the signal.

Застосування некогерентних джерел зонduючих сигналів, через недосконалість елементної бази генераторів НВЧ, призводить до того, що потенційні можливості активних радіолокаційних станцій володіють значними обмеженнями. З теоретичної точки зору, це можна пояснити не оптимальністю кореляційних властивостей моделі зонduючих сигналів, яка закладається в алгоритмах обробки сигналів в приймачі і має вигляд радіосигналу без внутрішньої куткової модуляції з прямокутною амплітудною. Проте, навіть простими логічними роздумами, можна прийти висновку, що в дійсності прямокутна обвідна теоретично не можлива, через наявність в радіолокаційному каналі цілого ряду ефектів обмежуючих спектр сигналів, а це вже означає згладжування форми. Наявність же куткової нестабільності генератора НВЧ [5], обумовленої цілим рядом факторів, призводить ще й до «розмиття» спектру і робить його п'єдесталоподібним як при лінійно частотній модуляції. Проте, якщо в першому випадку форму спотворень ще можна спрогнозувати, то в другому випадку це практично неможливо. Єдиним можливим рішенням в даному випадку при потребі формування більш точної удосконаленої моделі радіолокаційного сигналу, може бути статистична оцінка флуктуацій та встановлення їх законів розподілу.

В основу змісту цієї моделі покладено загальноприйнятий вираз, що описує імпульсний зонduючий радіосигнал в комплексній формі:

$$i\&(t) = U\&(t) \exp j(\omega_0 t), \quad (1)$$

де $U\&(t) = U(t) \exp j(\phi(t) + \phi_0)$ – комплексна обвідна; $U(t)$ – модулюючий по амплітуді сигнал; $\phi(t)$ – кутова модулююча складова; ϕ_0 – початкова фаза носійного коливання.

При здійсненні радіолокації сигналами з малою базою ($B \approx 1$), як правило, використовують імпульсні зонduючі радіолокаційні сигнали з прямокутною амплітудною обвідною і без внутрішньої куткової модуляції. Форма комплексної обвідної, а відповідно і кореляційні властивості такої моделі сигналу, визначаються виключно формою модулюючого по амплітуді імпульсу. Зрозуміло, що саме така форма комплексної обвідної є основою для синтезу узгодженого алгоритму обробки в приймачі, і, як відомо, потенційне розрізнення сигналів з такою кореляційною функцією комплексної обвідної можливе лише у тому випадку, коли вони не перекриваються у часі, або коли частково перекриваються, що відомо як потенційне Релеєвське розрізнення (рівень 0,7 основної пелюстки кореляційної функції комплексної обвідної).