

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕДАЧІ  
QAM СИГНАЛІВ У СУПУТНИКОВОМУ КАНАЛІ  
З НЕЛІНІЙНИМИ СПОТВОРЕННЯМИ

Цезарук М. Ф., студент; Калюжний А. Я., д. ф.-м. н., професор.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Транспондери супутникових каналів зв'язку працюють у режимах, що забезпечують мінімальне енергоспоживання та максимальну довговічність потужних каскадів передавача. Але для таких режимів характерні нелінійні спотворення сигналів, які знижують ефективність передачі, що особливо помітно при збільшенні позиційності модуляції. Для зменшення вказаних негативних ефектів застосовується низка методів, один із яких досліджується у даній роботі.

Для вирішення поставленого завдання було обрано традиційну модель Салеха (Saleh) [2], в якій вплив нелінійності передавача досягається амплітудним (1) та фазовим (2) перетвореннями.

$$F_{AM/AM} = \frac{\alpha_a \cdot u}{1 + \beta_a \cdot u^2}; \quad (1)$$

$$F_{AM/PM} = \frac{\alpha_p \cdot u^2}{1 + \beta_p \cdot u^2}. \quad (2)$$

Модель використовує чотири параметра:  $\alpha_a$  і  $\beta_a$  для АМ/АМ перетворення та  $\alpha_p$  і  $\beta_p$  для АМ/РМ перетворення. Значення цих параметрів за Салехом [1] становлять  $\alpha_a = 2,1587$ ,  $\beta_a = 1,1517$ ,  $\alpha_p = 4,0033$  і  $\beta_p = 9,1040$ . Наслідком цих нелінійних перетворень є спотворення констеляційної діаграми (рис. 1б). Демодуляція такого сигналу пов'язана з дуже значними втратами ефективності передачі навіть за відсутності завад у каналі передачі. Усунення даної проблеми можливо досягти шляхом покращення характеристик потужного підсилювача, що пов'язано зі значними додатковими матеріальними затратами, або використанням передспотворення, що в економічному аспекті виглядає більш привабливо.

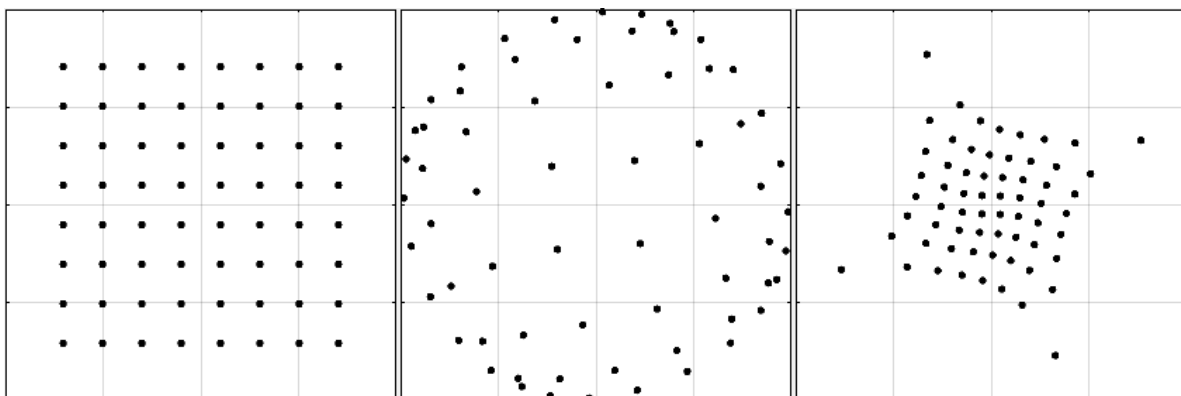


Рисунок 1. Констеляційні діаграми модульованого сигналу після модулятора (а), після моделі Салеха (б), після блоку передспотворення (в)

В даній роботі досліджується другий зі вказаних шляхів. Для дослідження його ефективності була створена модель супутникового каналу передачі в обчислювальному середовищі Matlab-Simulink, що представлена на рис. 2.

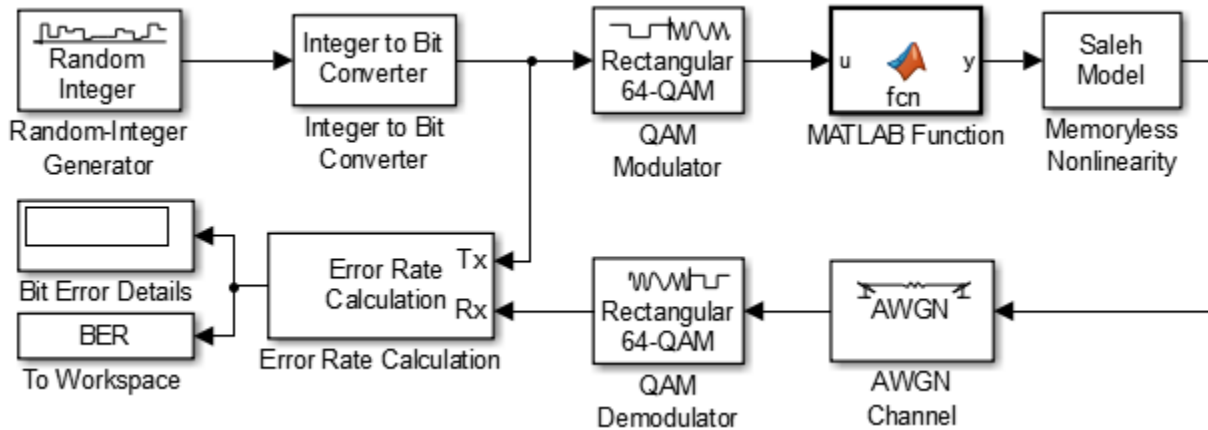


Рисунок 2. Досліджувана модель системи передачі цифрових даних

Блок передспотворення переставлений функцією MATLAB. Функція змінює сигнал після модулятора таким чином (рис. 1в), що після проходження крізь модель Салеха, на її виході ми отримуємо сигнал з правильною решітковою констеляційною діаграмою (рис. 1а).

Робота блоку можна представити формулами (3) і (4):

$$f_{AM/AM}(\dot{u}) = \frac{\alpha_a - \sqrt{\alpha_a^2 - 4 \cdot \beta_a}}{2 \cdot \beta_a}; \quad (3)$$

$$f_{AM/PM}(\dot{u}) = \arg(\dot{u}) - \frac{\alpha_p \cdot (f_{AM/AM}(\dot{u}))^2}{(1 + \beta_p \cdot (f_{AM/AM}(\dot{u}))^2)}; \quad (4)$$

За допомогою моделі рис. 2 та використанні програмного засобу BERTool можна дослідити ефективність передачі, тобто значення бітової помилки BER від відношення сигнал/шум на біт ( $E_b/N_0$ ), параметрів моделі Салеха і блоку передспотворення.

При відсутності передспотворення передача інформації взагалі не відбувається ( $BER=0,5$ ). Якщо ж використовувати передспотворення, то значення BER буде таке ж як й при відсутності нелінійних спотворень. Але цей результат поки що показує лише те, вирази (3), (4) дійсно зворотні до виразів (1), (2). В реальності така оберненість може й не мати місця внаслідок невідповідності їх параметрів  $\alpha_a$  і  $\beta_a$  та  $\alpha_p$  і  $\beta_p$ . Однією з головних причин такої невідповідності може бути зміна параметрів підсилювачів в наслідок старіння. Отже, виникає завдання дослідити чутливість методу передспотворення до неузгодженості параметрів моделі з фактичними параметрами підсилювача.

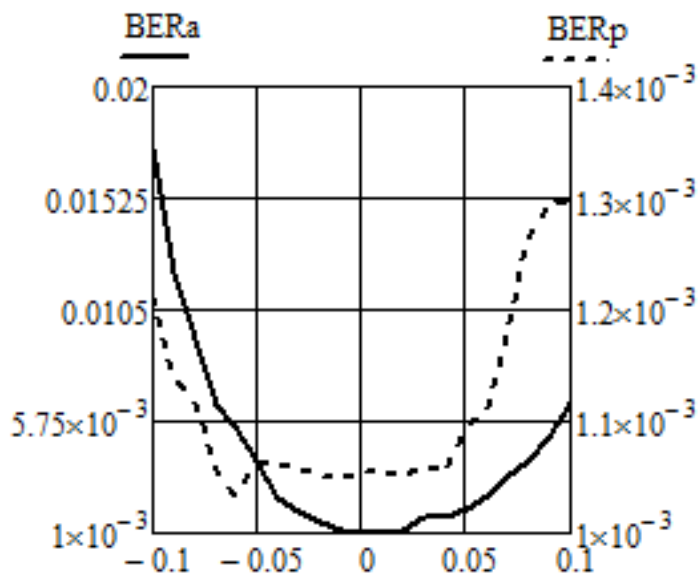


Рисунок 4. Вплив відхилення на BER

Для вирішення цього завдання вводилась неузгодженість параметрів виразів (1), (2) з параметрами, що “закладені” в блок передспотворення, тобто, у виразах (3), (4). Ступінь неузгодженості була прийнята в межах  $\pm 10\%$ . Досліджувалось зростання BER від проценту відхилення для AM/AM (BERa) і AM/PM (BERp) перетворення (рис. 4). Номінальне значення  $BER_0$  було прийнято 0,001, якому відповідає значення

$E_b N_0 = 18,7$  дБ.

При збільшенні відхилення параметрів BER зростає і як наслідок ефективність передачі падає. Кожне перетворення впливає на результат з різною ступеню: при неузгодженості лише в амплітудному перетворенні BER зростає значно швидше, ніж при неузгодженості у фазовому перетворенні. Аналіз показує, що метод передспотворення є задовільним, якщо межі неузгодженості параметрів не перевищують  $\pm 5\%$ .

#### Перелік посилань

1. Saleh, A.A.M., “Frequency-independent and frequency-dependent nonlinear models of TWT amplifiers,” IEEE Transactions on Communications, vol. COM-29, pp. 1715–1720, November 1981.

#### Анотація

У статті досліджена модель системи передачі QAM сигналів з використанням методу передспотворення, а також вплив неузгодженості параметрів передавача та блоку передспотворення.

**Ключові слова:** QAM, нелінійність, передспотворення.

#### Аннотация

В статье исследована модель системы передачи QAM сигналов с использованием метода предискажения, а также влияние рассогласования параметров передатчика и блока передспотворення.

**Ключевые слова:** QAM, нелинейность, предискажения.

#### Abstract

In article the model of a transmission system of QAM of signals with use of a method of predistortion, and also influence of a mismatch of parameters of the transmitter and unit передспотворення is probed.

**Keywords:** QAM, nonlinearity, predistortions.