

## МЕТОДИ АДАПТИВНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ФАЗОВОГО СПЕКТРУ З ПРЯМОКУТНОЮ ОБВІДНОЮ АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНОГО СПЕКТРУ І МІНІМАЛЬНИМ ПІК-ФАКТОРОМ

В даній статті запропоновано адаптивний метод знаходження мінімального пік-фактора спектру сигналу шляхом зміни кута фази сигналу для кожної гармоніки, що в результаті дає змогу зменшити амплітуду передавального сигналу, що забезпечить значну енергоефективність передачі даного інформаційного сигналу. Один з головних результатів даних перетворень сигналу – те, що за тої ж потужності передавача за рахунок запропонованого перетворення можна значно підвищити пропускну спроможність каналу зв'язку.

Ключові слова: пік-фактор, гармоніка, спектр, амплітуда.

V.R. LIUBCHYK, O.D. YAKYMCHUK  
Khmelnitsky National University, Ukraine

### METHODS ADAPTIVE DETERMINATION PHASE SPECTRUM OF A RECTANGULAR ENVELOPE AMPLITUDE-FREQUENCY SPECTRUM AND MINIMUM CREST FACTOR

*Abstract - This article proposed one method of finding the minimum crest factor spectrum signal by changing the angle of the signal phase for each harmonic as a result we will reduce the amplitude of the transmission signal, providing significant energy transfer of the information signal. One of the main results of data transformations signal - is at the same transmitter power, we through this transformation can significantly improve bandwidth communication channel.*

The analysis of various methods of reducing crestfactor signal using mathematical modelling and graphical output of results for the analysis clearly shows particular use, their features and benefits. Based on this analysis, we can build the following steps of data achievements, their adaptation and improvement, to be used for data transmission channels. Examining allow us, the number of harmonics of the signal is the first indicator of where we are starting the experiments, because the work is aimed at determining the general algorithm for solving any number of harmonics. After first examining the results for a set number of harmonics, you can find similarities handling output.

Keywords: crest factor, harmonics, spectrum, amplitude.

**Вивчення стану питання.** Як всім відомо, всі дослідження в основній мірі базуються на дослідах вже раніше відомих великих вчених, сучасних вчених або молодих спеціалістів нашого часу. Кожен в певній мірі вносить деякі зміни в підхід, метод чи алгоритм певних дій. Говорячи про запропоновану тему, деякі питання до цих пір є проблематичні для вирішення, з них можна виділити наступні:

- практично дуже важко і довго визначити фази сигналу для кожної гармоніки, коли кількість гармонік налічує кілька десятків або сотень;
- не існує універсального алгоритму для пошуку і визначення фаз для довільного  $n$ -го числа гармонік;
- визначення найменшого пік-фактора дає декілька мінімумів при кількості гармонік починаючи від 4.

Одна з найважливіших і ґрунтовніших робіт за цією проблемою запронована вченим Л.І. Мандельштамом. В його роботі наводиться приклад числового вирішення однієї неперервної мінімаксної задачі. Його розрахунки дають можливість побачити, які значення пік-фактору матимемо для сигналу, що складається з 3, 4, 5 або 6 гармонік. Для більшої кількості гармонік, алгоритм не дає нам змогу розрахувати множину початкових фаз гармонік. Крім того, розрахунки Л.І. Мандельштама є дуже трудомісткими, так як всі дії виконуються методом ручної підстановки кожного значення кута фази. Ще одним вченим, який досліджував питання задачі мінімаксу, був П.Л. Чебишев, який провів свої числення на поліномах, які отримали назву «задача Чебишева про найменші відхилення від нуля». На основі роботи Чебишева, яка узагальнена для багатьох напрямлень і переросла в окрему науку із широким набором літератури, особливо цікавими є роботи Фейера і Рисса, С.Н. Бернштейна, а також роботи Н.І. Ахієзера.

**Основна частина.** Взнявши за основу ці досліді і досягнення, було складено програму, яка визначає точки локального мінімуму для чотирьох гармонік. Починаючи визначення пік-фактору від чотирьох гармонік і вище, ми маємо схожу поведінку щодо відображення мінімумів сигналу. На рис. 1 показано характер поведінки і локалізації цих мінімумів.

З наведеної залежності чітко видно, що одного єдиного мінімального значення амплітуди сигналу ми не маємо. Це відбувається тому, що сигнал характеризується періодичністю, як будь-який сигнал в радіоелектронних системах. В нашому випадку було взято значення для знаходження фази сигналу від 0 до  $\pi$ , тобто інтервал становив  $[0;180]$  градусів. При досліді перша фаза гармоніки  $\varphi_1 - 0^\circ$ , а при досліді практичному було встановлено, що вплив на пік-фактор при зміні фази  $\varphi_2$  дають не суттєві відмінності при повному переборі і підстановці у запропонований алгоритм. Як впливає із вище сказаного, саме зміни фаз  $\varphi_3$  та  $\varphi_4$  є ключовими при досліді сигналу з чотирма гармоніками. З рис. 1 по осі X відображаються відліки фази  $\varphi_3$ , а по осі Z – фази  $\varphi_4$ , а по вісі Y – самі значення пік-фактору сигналу. Підстановка значень кутів фази з інтервалу  $[0;180]$  градусів є не випадковою, тому що практика показала, що при підстановці на

інтервалі  $[180;360]$  градусів отримуємо дзеркальне відображення, що й говорить про періодичність функції цього сигналу. З вище зазначеного маємо декілька локальних мінімумів, які видно на рисунку 1 вище, а на рисунку 2, очевидно, що мінімуми знаходяться не на одному рівні, тобто потрібно методом аналізу обирати мінімум з наявних вже мінімумів. На даному етапі дослідження було зроблено машинний обрахунок значень задачі мінімаксу. Далі дуже важливим етапом досліду буде переопрацювання алгоритму машинного розрахунку, який дав би в результаті вже найменше одне значення пік-фактору, щоб мінімізувати якнайбільше ручну роботу.

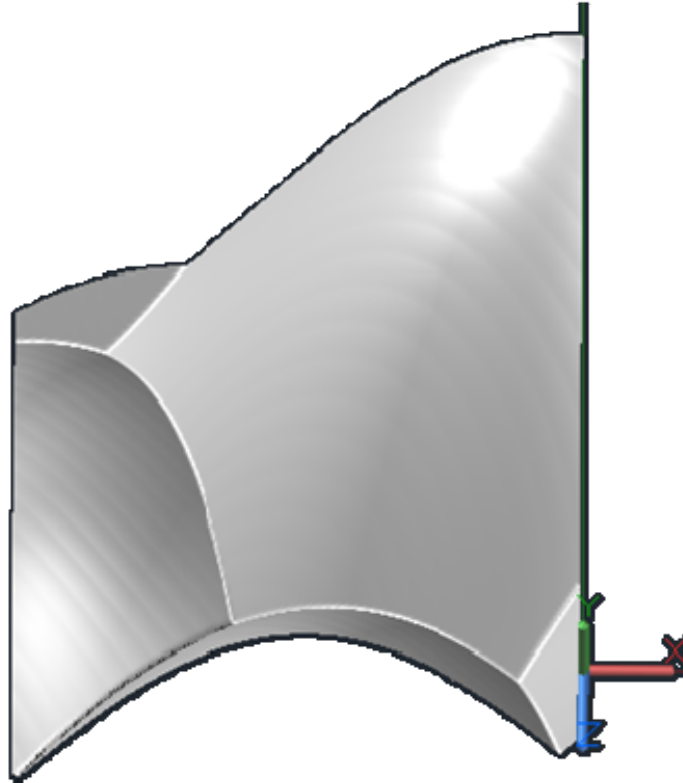


Рис. 1. Графік залежності пікфактора від кутів  $\varphi_3$  та  $\varphi_4$ , вигляд 1.

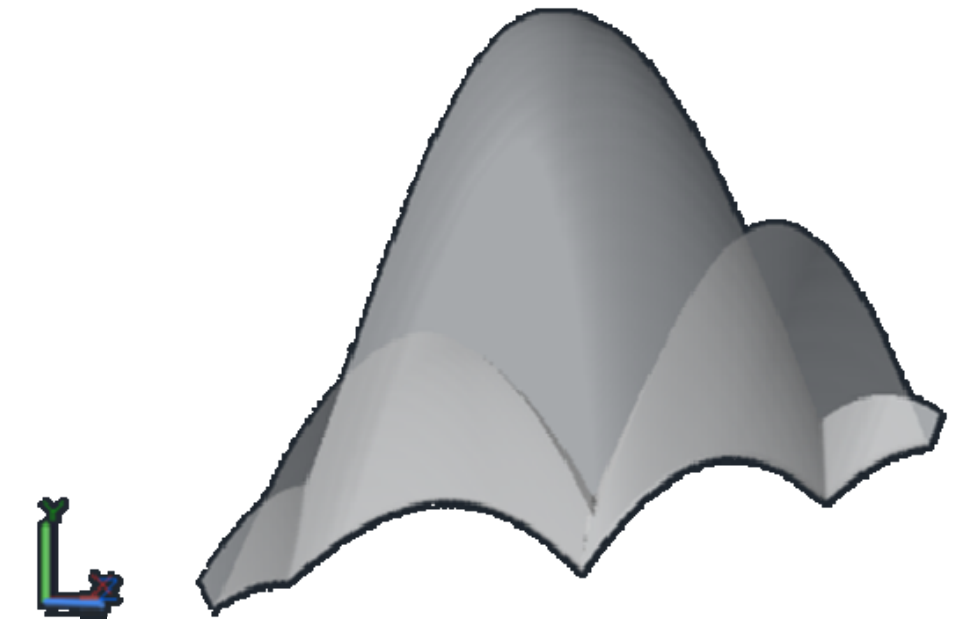


Рис. 2. Графік залежності пікфактора від кутів  $\varphi_3$  та  $\varphi_4$ , вигляд 2.

Друге питання, яке є не менш важливим зі сторони підходу пошуку локального мінімуму – це метод послідовного наближення до точки, де матимемо найменший максимальний рівень сигналу, підбір і підстановку у вираз довільного значення початкової фази, а потім підставимо наступне значення, але з невеликим кроком порівняно з першою початковою фазою кутом і порівняємо значення вихідного виразу. Якщо ми отримаємо від'ємний знак, то значить ми будемо віддалятися від точки мінімуму, і потрібно

рухатись в протилежному напрямку, тобто взяти значення початкової фази менше від взятого найпершого значення, і знову ж тим же методом порівняти ці значення; якщо матимемо додатне число, то значить потрібно рухатись в тому ж напрямі до тих пір, коли не отримуємо від'ємне число при порівнянні двох останніх виразів. З цього моменту необхідно зробити висновок, що далі йде тенденція до збільшення рівня; це дає розуміння, що потрібно взяти менший крок підстановки початкової фази, який був взятий у передостанньому досліді, в якому мали ще результат, коли ще рухаємося до точки мінімуму. Для прикладу можна застосувати принцип половинного наближення, коли змінюємо величину кроку рівно на 50% менше від попередньо взятого значення і так поступово наближаємося до шуканої нами точки. Але важливий нюанс, який вже був зазначений вище, – це кілька точок локальних мінімумів. Тобто отримавши вже обраховану точну мінімального значення, коли зміщення в будь-яку сторону хоча б на один градус покаже зростання значення пік-фактору, то не будемо на 100% впевнені, що це саме та точка, тобто чи є вона тим мінімумом. Тому для достовірності потрібно таким способом зробити повний перебір покрокового пошуку точок мінімуму, щоб бути впевненими, що всі вони знайдені.

Говорячи про різні методи знаходження мінімального значення пік-фактора, має місце метод знаходження мінімуму рухаючись по множині локальних мінімумів, які на рисунку 1 бачимо як ребро. Ці лінії мають декілька точок сходження, і можна розробити спосіб, який би шукав саме ту точку, після якої лінії починаються розходитись. Цікавість цього методу характеризується головним чином тим, що впускаємо з вигляду непотрібну область тих значень, які б відкинули, аналізуючи результати при звичному виводі на графік всіх значень пік-факторів. В сутності цей метод можна реалізувати за допомогою запропонованого раніше методу покрокового наближення до точки, коли мінімальне максимальне значення сигналу при зміні кута початкової фази в сторону збільшення або зменшення дає результат на збільшення вихідного значення пік-фактору. Після опрацювання всієї області значень буде виведено всі значення цих точок в тривимірній системі координат, де  $[X, Y, Z]$  – це відповідно  $[\varphi_0, \varphi_1, x_{max}]$ , де  $x_{max}$  – це значення пік-фактору досліджуваного сигналу. Побудова графіка повинна дати нам картину у вигляді ліній, які покажуть, де саме будуть знаходитись точки, так званого, сходження в єдину, яка і буде мінімумом. Реалізація буде здійснена шляхом доопрацювання алгоритму, який би в кінцевому результаті виводив би вже чисельні значення цих точок, щоб надати змогу переконатись у своєму припущенні.

**Висновки.** Проведений аналіз різних методів зменшення пік-фактору сигналу методом математичного моделювання і графічного виводу результатів для наглядного аналізу показує особливості використання, їх можливості та переваги. На основі цього аналізу можна будувати наступні кроки реалізації даних досягнень, їх адаптація і вдосконалення, для використання для передачі даних в каналах зв'язку. Зроблені дослідження дають змогу говорити, що кількість гармонік досліджуваного сигналу є найпершим показником, за яким ми починаємо дослідити, адже робота направлена на визначення загального алгоритму розв'язку для довільного числа гармонік. Адже, в першу чергу, дослідження результатів для встановленої кількості гармонік дає змогу знайти спільні риси поведінки вихідного сигналу.

### Література

1. Абдуллаев Д.А. Контроль и измерение частотных характеристик каналов систем передачи сообщений / Д.А. Абдуллаев, И.Я. Левенталь. – Ташкент : Фан, 1989. – 120 с.
2. Демьянов В.Ф. К минимизации максимального уклонения / Демьянов В.Ф. // Вестник ЛГУ. – 1966. – № 7. – С. 21–28.
3. Демьянов В.Ф. Введение в минимакс / В.Ф. Демьянов, В.Н. Малоземов. – М., 1972. – 368 с.
4. Чебышев П.Л. Вопросы о наименьших величинах, связанных с приближенным представлением функций / П.Л. Чебышев // Собр. соч. – М. : Изд. АН СССР, 1947. – Т. 2. – С. 151–238.
5. Чеботарев Н.Г. Об одной критерии минимакса / Н.Г. Чеботарев // ДАН СССР. – 1943. – № 39. – С. 373–376.

### References

1. Abdullaev D.A., Levental I.Ya. Kontrol s szmerenye chastotnyh kharakterystyk kanalov system peredach soobshchenii. Tashkent: Fan, 1989. 120s.
2. Demianov V.F., K mynymyzatsii maksimalnoh oukloneniya, Vestnyk LHU, #7, 1966. 21-28.
3. Demianov V.F., Malozemov V.N. Vvedenye v mynymaks. Moskva, 1972. 368s.
4. Chebyshev P.L., Voprosy o naimenshyh velichynah, svyazannyh s pryblzhennym predstavlenyem funktsyi, Sobr. soch., t.2, Izd. AN SSSR, 1947, S.151-238
5. Chebotarev N.H. Ob odnom kryterii mynymaksa, DAN SSSR 39 (1943), S.373-376

Рецензія/Peer review : 21.3.2013 р.

Надрукована/Printed :9.4.2013 р.

Рецензент: д.т.н. Лисий М.І.