

**ВЗАЄМОКОРЕЛЯЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ АНСАМБЛІВ БАГАТОРІВНЕВИХ
М-ПОСЛІДОВНОСТЕЙ**

У роботі проведено порівняльний аналіз взаємокореляційних властивостей дворівневої та багаторівневих, близьких за довжиною кодового слова, М-последовностей. У результаті проведеного моделювання показана теоретична можливість застосування поряд із дворівневими – багаторівневими М-последовностей для збільшення кількості абонентів в асинхронних адресних системах зв'язку без нарощення довжини кодового слова за рахунок погіршення кореляційних властивостей сигналів. У результаті усунення кількох найбільш неприйнятних фаз у ансамблі багаторівневих кодів вдається покращити взаємокореляційні властивості, що робить можливим практичне використання такого роду последовностей для збільшення кількості абонентів в каналах зв'язку.

Кількість абонентів сучасних асинхронних адресних систем зв'язку з кодовим розділенням визначається ансамблем кодових последовностей із завданими взаємокореляційними властивостями. Об'єм ансамблю бінарних лінійних рекурентних последовностей максимальної довжини (М-последовностей), що мають найкращі взаємокореляційні властивості і є найбільш поширеними в системах зв'язку із кодовим розділенням, згідно з функцією Ейлера збільшується при зростанні довжини последовності. Втім, збільшення довжини кодової последовності призводить до небажаного зменшення швидкості передавання даних. Одним із шляхів вирішення проблеми збільшення кількості абонентів при збереженні швидкості передавання даних за рахунок зменшення рівня завадостійкості є розширення ансамблю последовностями приблизно однакової довжини на основі кодів Лежандра, Якобі та іншими, що мають гірші взаємокореляційні властивості у порівнянні з М-последовностями.

Для збільшення кількості абонентів в асинхронних адресних системах зв'язку без збільшення довжини інформаційного повідомлення запропонований метод кодового розділення абонентів із використанням багаторівневих М-последовностей.

В роботі досліджені взаємокореляційні властивості М-последовностей з основами 2, 5, 11 приблизно однакової довжини ($2^7 - 1 = 127$, $5^3 - 1 = 124$, $11^2 - 1 = 120$).

Необхідно зауважити, що зазначені дослідження стали доступними саме зараз в силу можливості реалізації доволі складних обчислень та задіяння спеціальних апаратних засобів, практична реалізація яких ще кілька років тому була проблематичною через великі їх габарити та значні матеріальні витрати.

Зокрема, для порівняння властивостей бінарних кодових последовностей при передаванні інформації з обмеженою кількістю каналів проведено дослідження їх взаємокореляційної та автокореляційної функцій. На рис. 1 наведені максимальні (найгірші) значення коефіцієнтів взаємокореляції для всіх можливих пар з ансамблю 18 М-последовностей довжиною $L = 2^7 - 1 = 127$. Можна зробити висновок, що кількість абонентів для обраної кодової последовності рівна 18 при найгіршому коефіцієнті взаємокореляції 0,58.

Для збільшення кількості абонентів в асинхронних адресних системах зв'язку для кодового розділення проаналізуємо взаємокореляційні властивості багаторівневої М-последовності з основою $p = 5$ та довжиною кодової последовності $L = 5^3 - 1 = 124$.

На рис. 2 подані максимальні значення коефіцієнтів взаємокореляції всіх можливих пар з ансамблю 20 М-последовностей довжиною $L = 5^3 - 1 = 124$. Проте, для визначення реальних коефіцієнтів взаємокореляції між кодовими последовностями абонентів асинхронної адресної системи необхідно визначити взаємокореляційні властивості всіх пар М-последовностей довжинами відповідно $L = 2^7 - 1 = 127$ та $L = 5^3 - 1 = 124$. Коефіцієнти взаємокореляції визначались після зрівноваження довжин ($124 \gg 127$) і амплітуд бінарних та багаторівневих (0, 1 \gg 0, 1, 2, 3, 4) М-последовностей. На рис. 3 та в табл. 1 представлені максимальні значення коефіцієнтів взаємокореляції, що знаходяться в межах 0,75–0,92 для 38 кодових последовностей.

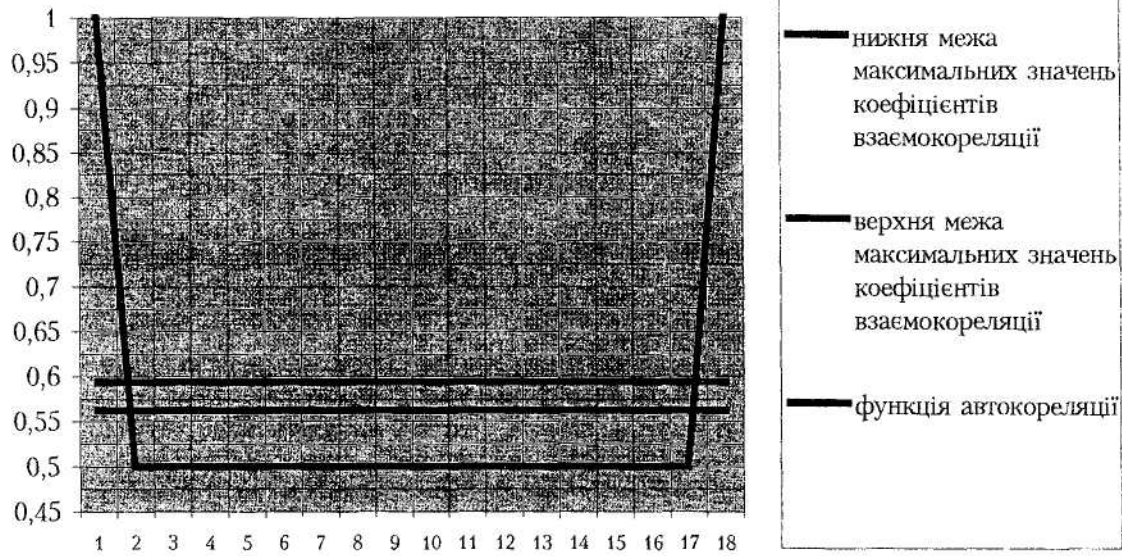


Рис. 1. Діапазон максимальних значень коефіцієнтів взаємкореляції 18 бінарних М-послідовностей довжиною $L = 2^7 - 1$

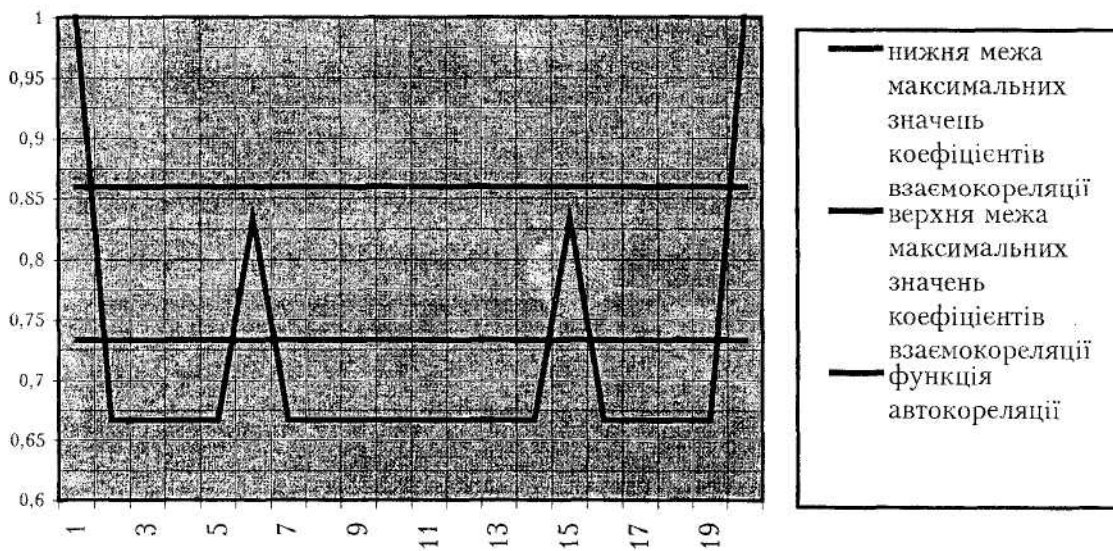


Рис. 2. Діапазон максимальних значень коефіцієнтів взаємкореляції 20 М-послідовностей довжиною $L = 5^3 - 1$

Для покращення взаємкореляційних властивостей М-послідовностей з основами $p = 2$ та $p = 5$ можливим є відкидання (ігнорування) певних фаз утворюючих багаточленів із максимальними значеннями коефіцієнтів взаємкореляції. У результаті коректування таблиці 1 максимальне значення коефіцієнта взаємкореляції зменшено до 0,86 із задіянням 34 абонентських каналів.

З метою більш детального аналізу методики розділення багаторівневих та бінарних сигналів використаємо також багаторівневу М-послідовність довжиною $L = 11^2 - 1 = 120$.

Задіяння ансамблю 16 М-послідовностей довжиною $L = 11^2 - 1 = 120$ (діапазон максимальних значень коефіцієнтів взаємкореляції подано на рис. 4) теоретично призведе до розширення кількості абонентів до 54. Проте, для визначення реальних взаємкореляційних властивостей кодових послідовностей після відповідного зрівноваження довжин та амплітуд необхідний аналіз коефіцієнтів взаємкореляції всіх пар М-послідовностей довжинами $L = 2^7 - 1 = 127$, $L = 5^3 - 1 = 124$, $L = 11^2 - 1 = 120$ (рис. 5, 6).

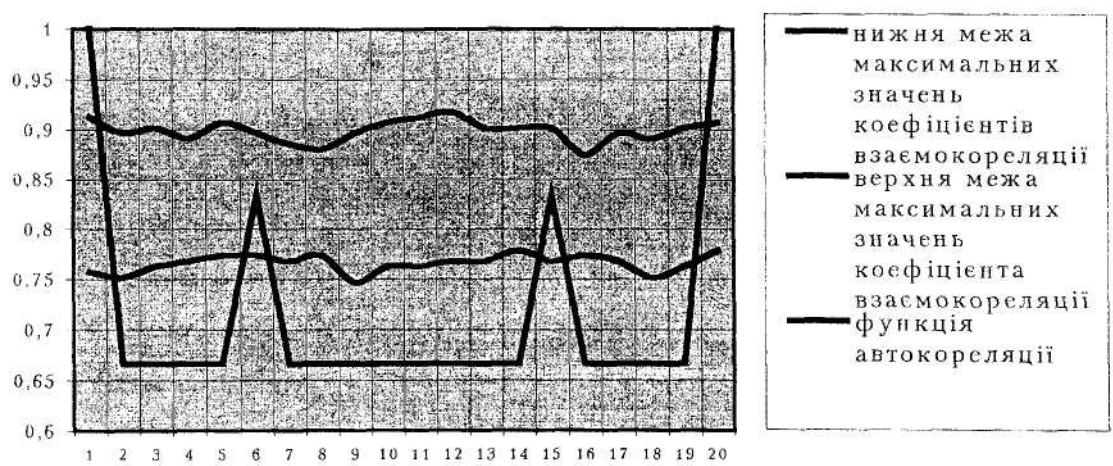


Рис. 3. Діапазон максимальних значень коефіцієнтів взаємкореляції 18 бінарних M -послідовностей довжиною $L = 2^7 - 1$ та 20 M -послідовностей довжиною $L = 5^3 - 1 + 3$

Таблиця 1

Таблиця максимальних значень коефіцієнтів взаємкореляції 18 бінарних M -послідовностей довжиною $L=2^7-1$ та 20 M -послідовностей довжиною $L = 5^3-1+3$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0.91	0.85	0.75	0.81	0.82	0.88	0.79	0.87	0.78	0.81	0.81	0.86	0.76	0.75	0.85	0.81	0.81	0.81
2	0.87	0.82	0.75	0.82	0.8	0.88	0.82	0.89	0.79	0.84	0.78	0.86	0.76	0.8	0.82	0.77	0.77	0.77
3	0.90	0.83	0.76	0.83	0.80	0.90	0.78	0.87	0.81	0.85	0.76	0.83	0.78	0.78	0.81	0.78	0.78	0.78
4	0.89	0.81	0.77	0.79	0.82	0.86	0.83	0.86	0.77	0.83	0.79	0.86	0.76	0.78	0.82	0.77	0.77	0.77
5	0.90	0.82	0.77	0.82	0.83	0.86	0.80	0.88	0.80	0.87	0.78	0.90	0.78	0.77	0.82	0.78	0.78	0.78
6	0.89	0.83	0.79	0.81	0.82	0.84	0.80	0.88	0.77	0.82	0.78	0.83	0.79	0.78	0.8	0.8	0.8	0.8
7	0.88	0.82	0.77	0.8	0.83	0.84	0.79	0.87	0.80	0.81	0.76	0.85	0.77	0.78	0.81	0.79	0.79	0.79
8	0.88	0.86	0.79	0.81	0.80	0.85	0.81	0.8	0.83	0.86	0.77	0.86	0.77	0.77	0.80	0.78	0.78	0.78
9	0.89	0.80	0.76	0.85	0.81	0.87	0.81	0.85	0.79	0.84	0.78	0.85	0.77	0.74	0.81	0.83	0.83	0.83
10	0.90	0.79	0.76	0.80	0.80	0.84	0.81	0.85	0.79	0.82	0.77	0.88	0.76	0.76	0.82	0.77	0.77	0.77
11	0.91	0.84	0.76	0.83	0.85	0.88	0.81	0.85	0.81	0.82	0.81	0.90	0.76	0.76	0.81	0.76	0.76	0.76
12	0.91	0.83	0.76	0.80	0.81	0.83	0.80	0.88	0.77	0.83	0.78	0.86	0.77	0.81	0.84	0.83	0.83	0.83
13	0.90	0.82	0.76	0.80	0.8	0.85	0.80	0.88	0.79	0.82	0.78	0.87	0.78	0.78	0.83	0.84	0.84	0.84
14	0.90	0.81	0.77	0.82	0.78	0.85	0.80	0.86	0.79	0.83	0.78	0.84	0.78	0.78	0.83	0.80	0.80	0.80
15	0.90	0.84	0.76	0.78	0.8	0.85	0.80	0.86	0.79	0.82	0.78	0.85	0.83	0.76	0.84	0.78	0.78	0.78
16	0.87	0.82	0.77	0.83	0.81	0.84	0.81	0.90	0.77	0.83	0.77	0.84	0.78	0.77	0.81	0.77	0.77	0.77
17	0.89	0.88	0.76	0.81	0.80	0.91	0.81	0.85	0.8	0.85	0.78	0.83	0.75	0.8	0.83	0.79	0.79	0.79
18	0.89	0.80	0.75	0.81	0.82	0.85	0.8	0.86	0.82	0.82	0.76	0.85	0.76	0.76	0.83	0.79	0.79	0.79
19	0.90	0.84	0.76	0.82	0.81	0.85	0.8	0.89	0.80	0.86	0.78	0.85	0.78	0.81	0.83	0.77	0.77	0.77
20	0.90	0.84	0.77	0.8	0.83	0.85	0.8	0.91	0.83	0.82	0.77	0.84	0.76	0.77	0.82	0.77	0.77	0.77

Як бачимо з вищенаведених результатів (табл. 2 та рис. 4, 6) для можливості задіяння в одному каналі зв'язку кодових послідовностей з різними основами та степенями існує необхідність зменшення коефіцієнтів взаємкореляції ансамблів M -послідовностей. Цей результат досягається як і в попередньому випадку шляхом відкидання фаз утворюючих поліномів з найбільшими значеннями коефіцієнтів взаємкореляції.

Таблиця 2

Таблиця максимальних значень коефіцієнтів взаємкореляції 18 бінарних M -послідовностей довжиною $L = 2^7-1$ та 16 M -послідовностей довжиною $L = 11^2-1+4$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.86	0.86	0.87	0.90	0.88	0.89	0.88	0.90	0.87	0.87	0.90	0.85	0.88	0.87	0.87	0.91
2	0.91	0.89	0.92	0.9	0.87	0.87	0.89	0.90	0.97	0.87	0.9	0.89	0.87	0.90	0.87	0.86
3	0.89	0.87	0.90	0.90	0.86	0.88	0.88	0.89	0.89	0.87	0.87	0.88	0.94	0.9	0.87	0.89
4	0.88	0.86	0.87	0.89	0.91	0.89	0.91	0.90	0.84	0.87	0.88	0.84	0.98	0.90	0.87	0.90
5	0.88	0.88	0.88	0.89	0.86	0.86	0.89	0.90	0.86	0.88	0.87	0.86	0.91	0.87	0.90	0.89
6	0.87	0.86	0.88	0.88	0.9	0.87	0.88	0.91	0.86	0.87	0.87	0.85	0.90	0.90	0.89	0.88
7	0.89	0.87	0.95	0.88	0.89	0.86	0.89	0.89	0.86	0.86	0.87	0.87	0.89	0.90	0.89	0.87
8	0.88	0.88	0.87	0.87	0.86	0.88	0.89	0.86	0.87	0.90	0.86	0.87	0.90	0.89	0.89	0.86
9	0.86	0.86	0.88	0.91	0.89	0.88	0.90	0.90	0.87	0.88	0.9	0.87	0.89	0.87	0.9	0.9
10	0.87	0.88	0.89	0.90	0.87	0.90	0.87	0.89	0.86	0.88	0.87	0.90	0.88	0.91	0.89	0.86

Закінчення таблиці 2

11	0,89	0,87	0,88	0,87	0,88	0,89	0,88	0,86	0,86	0,90	0,89	0,87	0,89	0,94	0,86	0,88
12	0,86	0,86	0,91	0,88	0,85	0,87	0,9	0,89	0,86	0,86	0,89	0,86	0,89	0,89	0,9	0,89
13	0,88	0,88	0,89	0,87	0,92	0,8	0,90	0,88	0,87	0,88	0,88	0,86	0,89	0,89	0,87	0,88
14	0,86	0,90	0,88	0,87	0,87	0,88	0,88	0,87	0,87	0,88	0,88	0,86	0,88	0,90	0,88	0,89
15	0,85	0,85	0,88	0,93	0,87	0,88	0,89	0,88	0,87	0,87	0,88	0,90	0,88	0,89	0,87	0,86
16	0,86	0,87	0,86	0,89	0,89	0,90	0,91	0,88	0,89	0,86	0,88	0,85	0,90	0,90	0,88	0,88
17	0,88	0,87	0,89	0,89	0,88	0,93	0,87	0,86	0,86	0,86	0,87	0,85	0,9	0,89	0,88	0,90
18	0,88	0,9	0,92	0,89	0,85	0,91	0,89	0,87	0,85	0,88	0,86	0,88	0,88	0,92	0,88	0,89

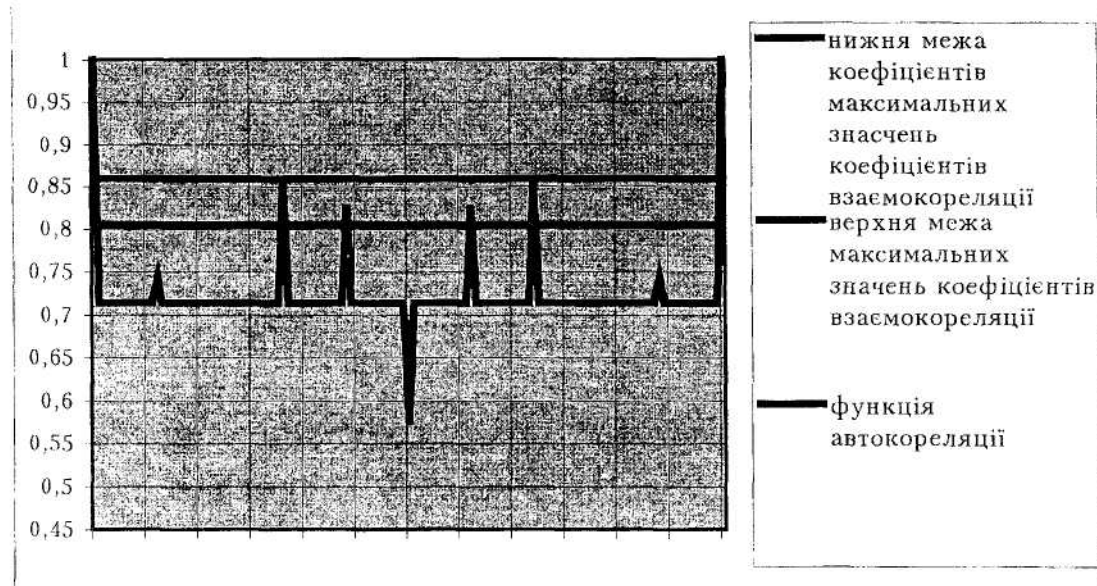


Рис. 4. Діапазон максимальних значень коефіцієнтів взаємкореляції 16 M-послідовностей довжиною $L = 11^2 - 1$

При використанні трьох типів поліномів коефіцієнт кореляції для найгіршого випадку (таблиця 2, рис. 6) з урахуванням відкинутих фаз (в таблиці 2 викинемо рядки 7 та 14 та стовпчики 3 та 13) (рис. 7) буде на рівні 0,94 (без врахування – 0,97). При цьому, довжина кодового слова (за початкових умов рівна 127) зменшиться до рівня 123–120 в залежності від системи відкидання окремих фаз M-послідовностей.

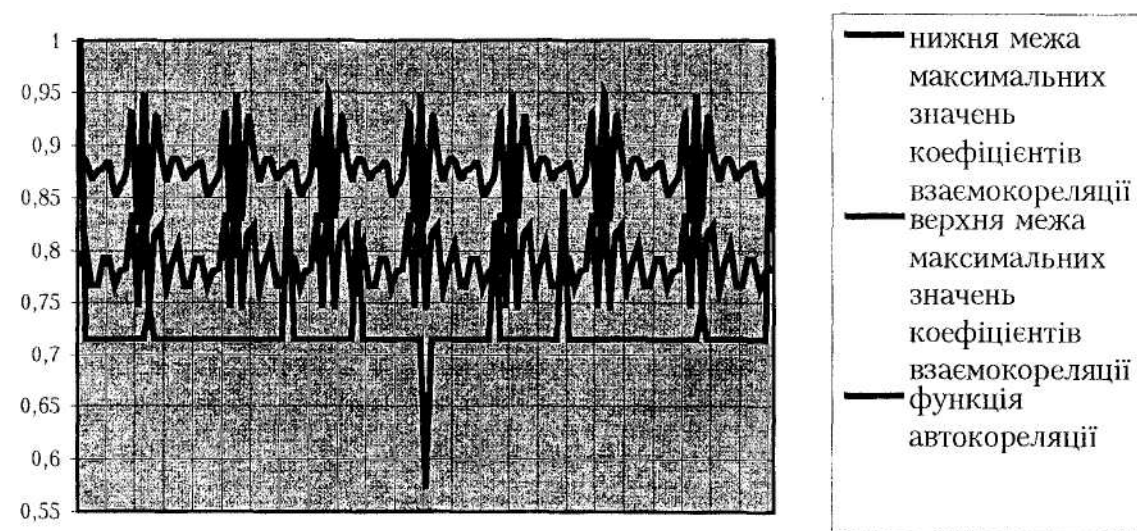


Рис. 5. Діапазон максимальних значень коефіцієнтів взаємкореляції 18 бінарних M-послідовностей довжиною $L = 2^7 - 1$ та 16 M-послідовностей довжиною $L = 11^2 - 1 + 4$

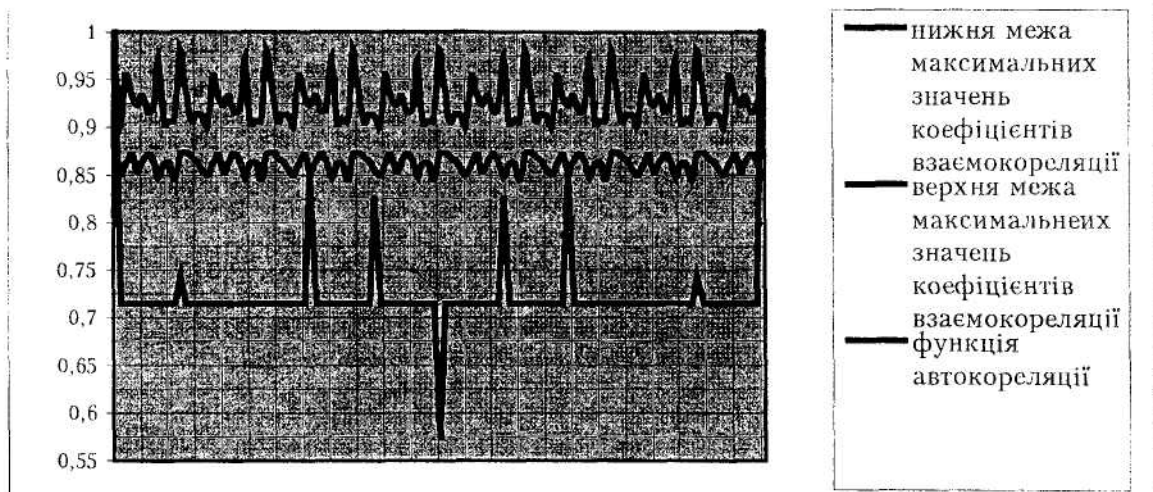


Рис. 6. Діапазон максимальних значень коефіцієнтів взаємкореляції 16 M-послідовностей довжиною $L = 11^2 - 1 + 4$ та 20 M-послідовностей довжиною $5^3 - 1$

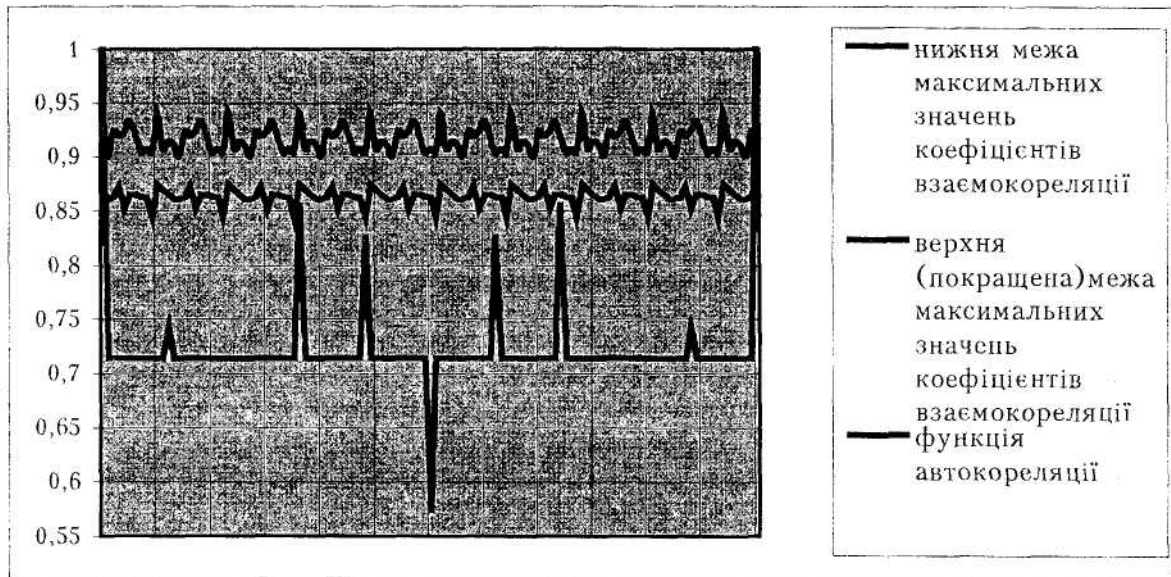


Рис. 7. Діапазон максимальних значень коефіцієнтів взаємкореляції 16 бінарних M-послідовностей довжиною $L = 2^7 - 1$ та 14 M-послідовностей довжиною $L = 11^2 - 1 + 4$

Отже, використання багаторівневих M-послідовностей для кодового розділення сигналів у каналах асинхронних адресних системах зв'язку дає можливість розширення мережі абонентів з 18 до 40–45 при збільшенні коефіцієнта взаємкореляції з 0,58 до 0,9.

ИЩЕРЯКОВ Сергій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної математики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Наукові інтереси:

– цифрова обробка сигналів.

Тел.: (803422)-42127.

E-mail: ism@ac.ifdtung.if.ua

КАЮК Тарас Петрович – інженер Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Наукові інтереси:

– багатоканальні системи зв'язку.

Тел.: (803422)-48242.

E-mail: tarask@ifdtung.if.ua