

УДК 621.315.592

В. М. Кичак, д. т. н., проф.;

Д. В. Михалевський, асп.

МЕТОД ВІДНОСНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ВИРОБІВ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ ЗА РІВНЕМ НЧ ШУМУ

Запропоновано новий метод прогнозування виробів електронної техніки за рівнем НЧ шумів. Особливістю цього методу є використання двох каналів для вимірювання рівня шумів, що дозволяє значно зменшити рівень систематичної похибки, виключити вплив температурних характеристик і електромагнітних завод. Показано перетворювальні характеристики пристрою, структурну схему і алгоритм роботи.

Вступ

Під час розроблення методів прогнозування надійності виробів електронної техніки (ВЕТ) за рівнем НЧ шумів постає проблема створення високоточних вимірювачів інформативного параметра та достовірного аналізу даних, отриманих в результаті вимірювань. Такі прилади будуються на основі методу безпосереднього вимірювання. Вони мають низку переваг, таких як простота реалізації і висока чутливість, яка визначається внутрішніми шумами вимірювального пристрою. Проте, цей метод має і недоліки. У разі використання у технологічному процесі на вірогідність контролю впливають такі явища як електромагнітні завади і температурні характеристики вимірювального каналу. Ці похибки є непередбачувані і впливають на межі операції контролю. Тому для компенсації цих похибок використовуються різні методи, які потребують відносно високих обчислювальних затрат, а також матеріальних ресурсів для прогнозування надійності.

Таким чином, виникає потреба розроблення методу прогнозування надійності ВЕТ, який дає можливість усунути перераховані вище недоліки. Запропонований у роботі метод передбачає введення опорного каналу і використанням алгоритму відносного прогнозування надійності.

Суть методу відносного контролю надійності ВЕТ

Особливість запропонованого методу полягає у вимірюванні контролювального параметра за двома каналами: вимірювальним каналом і опорним. При цьому прогнозування надійності здійснюється у три етапи. Одночасно на обох каналах проводиться вимірювання інформативного параметра: на першому каналі вимірюється рівень НЧ шумів ВЕТ, що досліджується; на опорному каналі із заданим рівнем контролю вимірюється рівень шуму еталонного ВЕТ. За допомогою аналової операції порівняння встановлюється сигнал, який містить інформацію про надійність ВЕТ, що досліджується. Для еталонного шумового параметра, опорного каналу, вибирається ВЕТ який є високонадійним.

Вираз, за допомогою якого можна врахувати внутрішні шуми ВЕТ і схеми вмикання такий [1]:

$$\overline{e_{\text{ш.вих}}^2} = \int_{f_1}^{f_2} K(f) \overline{e_{\text{ш.вх}}^2}(f) df,$$

де $K(f)$ — коефіцієнт передачі шуму із входу на вихід; $\overline{e_{\text{ш.вх}}^2}(f)$ — еквівалентна шумова напруга, розрахована за шумовою моделлю ВЕТ.

Рівень шумової напруги на виході схеми вмикання

$$\overline{e_{\text{ш.вих}}^2} = \int_{f_1}^{f_2} U_{\text{ш}}^2(f) df, \quad (1)$$

де $U_{\text{ш}}^2$ — визначає повний рівень шумів на низьких частотах із урахуванням паразитних і зворотних зв'язків схеми вмикання ВЕТ.

Після підсилення і смугової фільтрації вираз (1) можна записати так:

$$\overline{e_{ш}^2} = k_1 k_2 k_{\phi} \int_{f_1}^{f_2} \overline{U_{ш}^2(f)} df .$$

де k_1 і k_2 — коефіцієнти підсилення попереднього і основного підсилювачів, відповідно; k_{ϕ} — коефіцієнт передачі смугового фільтра зі смугою пропускання $f_2 - f_1$.

На виході квадратичного детектора приріст струму буде визначатися за виразом

$$i_d = \frac{1}{2} S_d U_{ск}^2 ,$$

де $U_{ск}^2 = \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} e_{ш}^2(t) dt$ — напруга на виході детектора із крутістю S_d .

Встановлено, що ненадійними виробами можна вважати вироби, рівень власних НЧ шумів яких перевищує допустимий у 2 і більше разів [2]. На основі досліджень [3—8] пропонується встановлювати рівень прогнозування надійності за такими межами: перша — на рівні 1,3 (або 30 %) для високонадійних ВЕТ, друга — на рівні 1,6 (60 %) — надійні ВЕТ і рівень перевищення у два рази рівня власних шумів.

Для встановлення вказаних меж допустимого контролю надійності, в опорному каналі, можна використовувати малощумний підсилювач із регульованим коефіцієнтом підсилення на аналоговому комутаторі [9], як показано на рис. 1а.

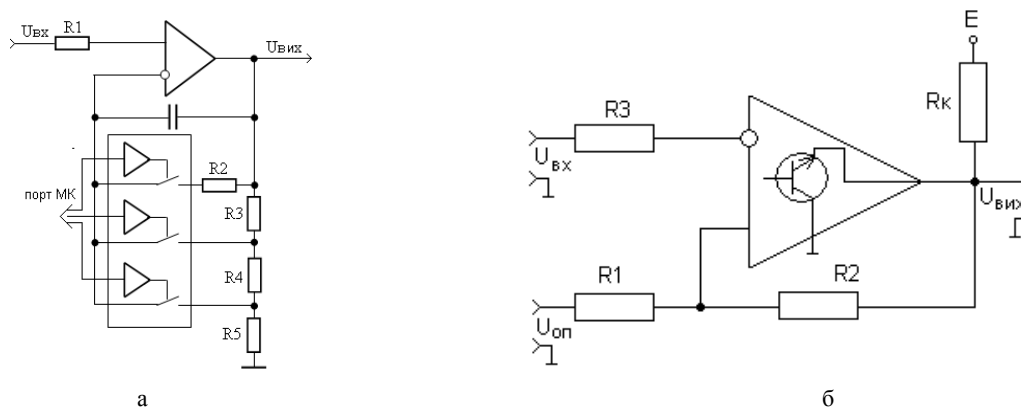


Рис. 1: а — схема для встановлення меж прогнозування надійності, б — та схема порівняння на компараторі із відкритим колектором

Таким чином рівняння перетворення для вимірювального і опорного каналів запишуться так:

$$U_{\text{вим}} = \frac{k_1^2 k_2^2 k_{\phi}^2 S_{\partial} R_n T_c}{2T_c} \int_0^{T_c} \left(\int_{f_1}^{f_2} U_{ш}^2(f) df \right)^2 dt ;$$

$$U_{\text{оп}} = \frac{k_{10}^2 k_{20}^2 k_3 k_{\phi 0}^2 S_{\partial 0} R_{n0} T_c}{2T_c} \int_0^{T_c} \left(\int_{f_1}^{f_2} U_{ш}^2(f) df \right)^2 dt ,$$

де k_3 — коефіцієнт підсилення підсилювача із регульованим коефіцієнтом підсиленням.

Подаючи вимірювальний сигнал на інвертувальний вхід компаратора, а сигнал опорного каналу на неінвертувальний, отримаємо

$$U_{\text{вих}} = \begin{cases} U_{\text{в}}, & U_{\text{вим}} < U_{\text{оп}}; \\ U_{\text{н}}, & U_{\text{вим}} > U_{\text{оп}}. \end{cases} \quad (2)$$

де $U_{\text{в}}$, $U_{\text{н}}$ — високий і низький рівні напруги на виході компаратора.

Вимірювальний і опорний канали за перетворювальними характеристиками повинні бути максимально подібними і використовувати однакову елементну базу, тому порівнюючи сигнал на компараторі, вимірювальну похибку виключають, оскільки оцінюються відносні величини.

Для виключення впливу власних шумів компаратора і електромагнітних впливів використаємо позитивний зворотний зв'язок для отримання гістерезису (рис. 1б) [10]. Гістерезис є по суті зоною невизначеності перемикання виходу компаратора із високого рівня в низький або навпаки. Суттєвий вплив на гістерезис вносить шум опорів схеми $U_{ш}$ вмикання компаратора. Тоді зону невизначеності або похибку при прогнозуванні надійності ВЕТ можна записати як

$$\Delta U = U_{оп1} - U_{оп0} + U_{ш} + U_{зм},$$

де $U_{оп1}$, $U_{оп0}$ — верхня і нижня межа опорної напруги, для схеми із відкритим колектором на виході; $U_{зм}$ — напруга зміщення операційного підсилювача.

Для схеми компаратора із відкритим колектором можна записати

$$U_{оп1} = \frac{U_{оп}R_2}{R_1 + R_2}, \quad U_{оп0} = \frac{ER_1 + U_{оп}(R_2 + R_k)}{R_1 + R_2 + R_k}. \quad (3)$$

де R_1 і R_2 — опори зворотного позитивного зв'язку компаратора; E — напруга живлення; R_k — опір колектора.

Напруга шумів для зворотного зв'язку схеми запишеться так

$$U_{ш} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \sqrt{4kTR\Delta f}. \quad (4)$$

Враховуючи (3) і (4) умова (2) запишеться

$$U_{вих} = \begin{cases} U_{в}, U_{вим} \geq \frac{U_{оп}R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_1 + R_2}{R_1} \sqrt{4kTR\Delta f} - U_{зм}, \\ U_{н}, U_{вим} \leq \frac{ER_1 + U_{оп}(R_2 + R_k)}{R_1 + R_2 + R_k} + \frac{R_1 + R_2}{R_1} \sqrt{4kTR\Delta f} + U_{зм}. \end{cases}$$

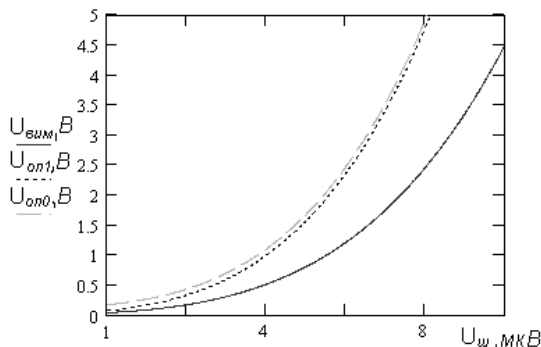


Рис. 2. Перетворювальні характеристики каналів

Таким чином, наведена вище формула є функцією для прогнозування надійності ВЕТ відносним методом.

Статичні характеристики вимірювального і опорного каналів показані на рис. 2.

Як видно з графіків при малих рівнях шумової напруги межі прогнозування надійності збігаються із рівнем вимірювального каналу, а при більших — межа зростає, з'являється адитивна складова похибки. Для корегування цього виду похибки введемо автоматичний поділ діапазону вимірювання. Для цього використаємо підсилювач із цифровим регулюванням підсилення на основі ЦАП.

Коефіцієнт підсилення визначається як [9]

$$K = \frac{1}{\sum_{i=1}^n a_i \cdot 2^{-i}}, \quad (5)$$

де i — розрядність коду на вході ЦАП; a_i — коефіцієнт, який приймає значення 0 або 1 в залежності від поданого коду.

Аналізуючи перетворювальну характеристику опорного каналу і формулу (5), встановлено, що для найменшого прояву адитивної похибки достатньо використати восьмирозрядний код.

Статичні характеристики для нижнього вимірювального діапазону, де найбільший вплив має саме похибка, показані на рис. 3.

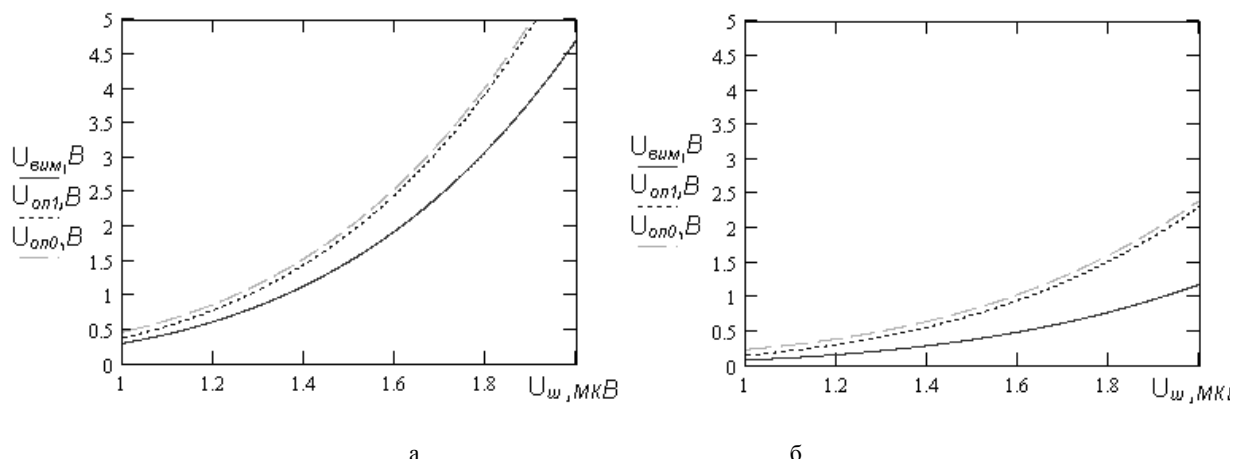


Рис. 3. Характеристики нижнього вимірювального діапазону: а) для межі прогнозування 1,3; б) для межі прогнозування 2

Структурна схема пристрою прогнозування надійності та алгоритм його роботи

Використовуючи наведені вище результати для прогнозування надійності ВЕТ за рівнем НЧ шуму, розроблено пристрій, структурна схема якого показана на рис. 4.

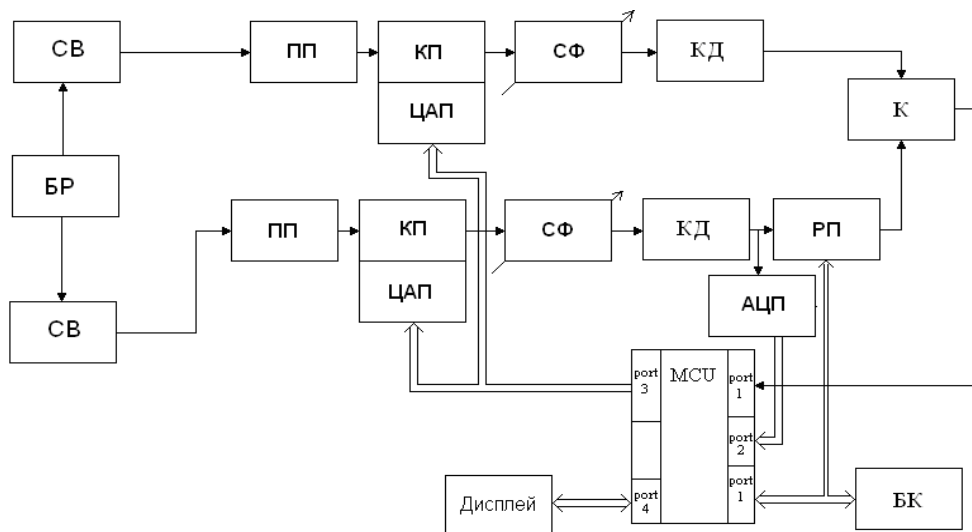


Рис. 4. Структурна схема пристрою для прогнозування надійності ВЕТ за відносним методом

Пристрій побудований з використанням відносного методу вимірювання параметра, що контролюється.

Еталонний високонадійний ВЕТ, за відповідною йому схемою вмикання (СВ), підключається на вхід опорного каналу, а до входу вимірювального каналу підключається однотипний досліджуваний ВЕТ. Схема вмикання і блок режимів (БР), який задає режим роботи, оптимальний з точки зору шумових характеристик, виконанні одним блоком і є індивідуальними для відповідної контрольованої партії ВЕТ. Передбачається використання універсальних змінних адаптерів. Попередній (ПП) і кінцевий підсилювачі (КП) підсилюють рівень шумів до рівня перетворення квадратичним детектором (КД). Смуговий фільтр (СФ) налаштований на пропускання смуги частот $f_2 - f_1$.

Етап контролю надійності проводиться з використанням компаратора AD790 (К). На один із входів компаратора подається середньоквадратичне значення сигналу з вимірювального каналу, а

на інший — з опорного. Для встановлення меж контролю надійності використовується підсилювач із регульованим коефіцієнтом підсилення (РП), який керується розрядністю вхідного коду ЦАП.

Визначаючи коефіцієнт підсилення РП, встановлюються межі контролю надійності ВЕТ. Таким чином, поки рівень власних шумів вимірювального ВЕТ, який подається на інвертувальний вхід компаратора не перевищує рівня еталонного, що подається на неінвертувальний вхід, то вихід компаратора приймає високе значення або логічну одиницю. А якщо рівень власних шумів досліджуваної ВЕТ перевищує рівень встановленого контролю, то вихід компаратора набуває значення логічного нуля. Далі сигнал подається на мікроконтролер, який аналізує операції контролю надійності та виводить її на екран.

Автоматичний поділ діапазону вимірювання реалізується за допомогою зворотного зв'язку на опорному каналі. Сигнал після КД надходить на АЦП, де перетворюється у цифровий код, який надходить на мікроконтролер. Мікроконтролер автоматично визначає один із восьми вимірювальних діапазонів і подає відповідний код на ЦАП, який із одним каскадом КП утворює підсилювач із

програмно регульованим підсиленням.

Алгоритм роботи пристрою прогнозування надійності ВЕТ за рівнем НЧ шуму зображено на рис. 5.

При вмиканні пристрою здійснюється ініціалізація апаратних і програмних засобів мікроконтролера та його периферійних пристроїв. Операція прогнозування надійності розпочинається за наявності еталонного виробу і встановленні ВЕТ, що досліджується у відповідні гнізда після подання команди «запуск». Після встановлення вимірювального діапазону вибирається межа контролю (параметр К), що задається користувачем із клавіатури. Цей код подається на порт port1, який встановлює відповідний вхід аналогового комутатора регульовального підсилювача опорного каналу. Операція контролю виконується компаратором, на виході якого встановлюється рівень логічної одиниці або рівень логічного нуля відповідно для надійних і ненадійних ВЕТ. Цей рівень зчитується із молодшого розряду порту port1 і присвоюється параметру М. Якщо на молодший розряд порту надійшла одиниця, то робиться висновок, що виріб є ненадійним.

Для виключення впливу випадкової похибки і проведення оцінки імпульсних шумів, введено перевірку в часі. Якщо за визначений проміжок часу молодший розряд не встановлювався в нуль, то виріб вважається надійним. За наявності викиду шуму, який перевищує межу контролю, параметр М набуває значення нуля і виріб відбраковується.

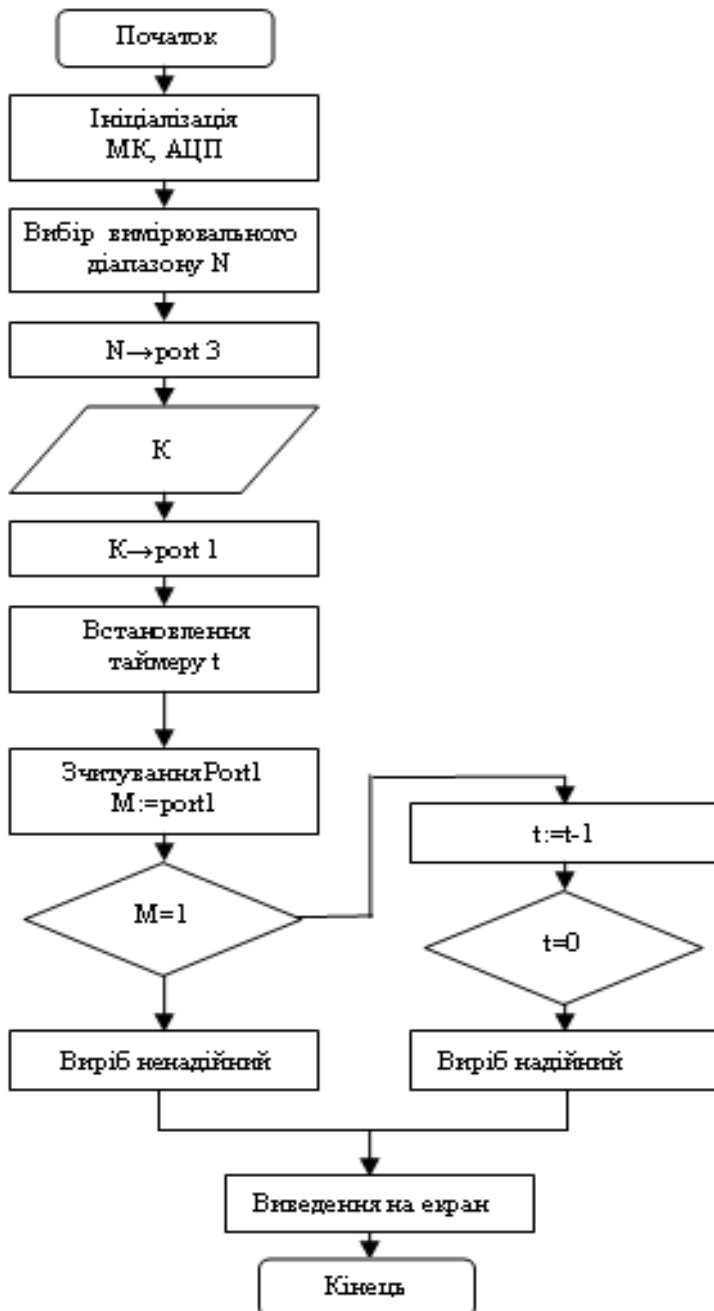


Рис. 5. Алгоритм відносного прогнозування надійності ВЕТ

Висновки

В роботі запропоновано метод прогнозування надійності виробів електронної техніки з використанням відносної оцінки інформативного параметра. Для реалізації даного методу спроектовано пристрій із двома вимірювальними каналами. Операція порівняння виконується безпосередньо в аналоговій частині, що дає змогу виключити вплив похибки квантування. Використання двох однакових вимірювальних каналів дозволяє зменшити рівень систематичної похибки і температурних впливів, що взаємокомпенсуються, при відповідному підборі компонентів пристрою.

Перевагою цього методу є можливість використання широкодоступних цифрових засобів прийняття рішення, що дозволяє використовувати запропонований пристрій, як додатковий блок для цифрових вимірювальних систем.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Букингом М. Шумы в электронных приборах и системах; Пер. с англ. / Под. ред. В. Н. Губанкова. — М. : Мир, 1986. — 400 с.
2. Пряников В. С. Прогнозирование отказов полупроводниковых приборов / В. С. Пряников — М.: Энергия, 1978. — 112 с.
3. Кичак В. М. Оцінка якості інтегральних транзисторів за допомогою низькочастотних шумів / В. М. Кичак, Д. В. Михалевський, В. В. Стронський // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2005. — № 2. — С. 177—181.
4. Кичак В. М. Математична шумова модель інтегральних операційних підсилювачів для прогнозування надійності за рівнем низькочастотного шуму / В. М. Кичак, Д. В. Михалевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2008. — № 3. — С. 102—108.
5. Горлов М. И. Разделение интегральных схем по надежности с использованием 1/f-шума / М. И. Горлов, Д. Ю. Смирнов, Д. Л. Ануфриев // Известия вузов. Электроника. — 2006. — № 1. — С. 84—89.
6. Горлов М. И. Возможность отбраковки полупроводниковых приборов по уровню низкочастотного шума / М. И. Горлов, В. А. Емельянов, Д. Ю. Смирнов // Компоненты и технологии. — 2005. — № 8. — С. 198 — 201.
7. Методы диагностики полупроводниковых изделий с использованием электростатических разрядов / Горлов М. И., Емельянов В. А., Рубцевич И. И., Смирнов Д. Ю. // Микроэлектроника. — 2005. — Т. 34. — № 3. — С. 27—36.
8. Использование уровня шумов для контроля полупроводниковых изделий при термоциклировании / М. И. Горлов, Д. Ю. Смирнов, Ю. Е. Сегал, А. В. Емельянов // Известия вузов. Электроника. — 2005. — № 6. — С. 89—92.
9. Kester W., Bryant J. Programmable Gain Amplifiers. Op Amp Applications. — Copyright © 2002 By Analog Devices Inc. — ISBN 0-916550-26-5.
10. Красносельский М. А. Системы с гистерезисом / М. А. Красносельский, А. В. Покровский. — М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. — 272 с.

Рекомендовано кафедрою телекомунікаційних систем та телебачення

Надійшла до редакції 28.01.09
Рекомендована до друку 16.02.09

Кичак Василь Мартинович — завідувач кафедри; **Михалевський Дмитро Валерійович** — аспірант.
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет