

УДК 621

М.П. Кандирін, С.П. Лещенко, М.Р. Арасланов

## ІМІТАЦІЙНО-ТРЕНАЖЕРНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПЕРАТОРІВ РЛС

*Розглянуті особливості побудови пристрою сполучення ПЕОМ з індикатором кругового огляду (ІКО) «Пікет» при створенні імітаційно-тренажерного комплексу для операторів оглядових РЛС. Наведені результати експериментальних досліджень комплексу.*

**Ключові слова:** імітаційно-тренажерний комплекс, індикатор кругового огляду.

### Постановка проблеми та аналіз літератури

Наземні засоби радіолокації і зокрема первинні локатори були і залишаються необхідним елементом системи керування повітряним рухом. Ефективне використання таких засобів радіолокації залежить не тільки від їх технічного стану, але і від якості підготовки розрахунків. Труднощі з фінансування по лінії міністерства оборони, а також велика вартість закупівлі й експлуатації сучасного озброєння не дозволяють проводити на ньому всі види бойової підготовки особового складу РЛС. Тому питання розробки тренажерних комплексів, що імітують реальну роботу РЛС, є актуальним для збройних сил будь-якої держави, у тому числі й України [1 – 3].

Донедавна вважали, що об'єктивні оцінки ефективності використання засобів первинної локації можна одержувати тільки при проведенні широко-масштабних натурних випробувань. Однак ці випробування не дозволяють реалізувати все можливе різноманіття варіантів дій як повітряних об'єктів, так і сил та засобів радіолокаційного контролю повітряного простору.

Тому розробці тренажерних комплексів останнім часом приділяється велика увага і відповідно до цього до них ставляться певні вимоги [1 – 3]:

- максимально можливе наближення імітації до реальності;

- виключення (або мінімізація) шаблонних ситуацій при тренуваннях;

- можливість оперативної зміни обстановки безпосередньо під час тренування;

- мінімальна вартість навчання;

- можливість нарощування можливостей тренажерних комплексів без істотних змін конструкції.

- Вирішення перелічених завдань можливе тільки

на базі сучасної обчислювальної техніки при широкому використанні методів математичного моделювання. Комплексне моделювання при організації розподіленої системи досить просто реалізується на базі локальної обчислювальної мережі.

При моделюванні роботи РЛС на ПЕОМ враховуються її потенціал, діаграми спрямованості антени (ДСА) з урахуванням впливу землі, довжина хвилі, вид зондувального сигналу [4 – 13]. Можливо оперативне вмикання і вимикання систем ВАРУ, ШАРУ, ЧПВ, масштабів, регулювання яскравості як за сигналом, так і за масштабними мітками, відображуваними на екрані монітора, що імітує роботу індикатора кругового огляду (ІКО) РЛС.

Однак, щоб максимально наблизити роботу на тренажері до реальної роботи оператора ІКО для цього необхідно виводити інформацію про повітряну обстановку на ІКО РЛС. Для цього, а також з метою заощадження ресурсу станції й електроенергії автори пропонують виводити радіолокаційну інформацію не на ІКО РЛС, а на уніфікований індикатор кругового огляду «Пікет» [14].

**Мета статті** – розробка пристрою сполучення імітуючої ПЕОМ і ІКО «Пікет» для відображення на ньому інформації про повітряну обстановку.

### Основний матеріал

Пропонується імітатор-тренажер є електронною системою, що складається з ПЕОМ, пристрою сполучення та ІКО «Пікет». Структурна схема такого тренажера наведена на рис. 1.

У складі тренажера ПЕОМ моделює роботу наземної РЛС, здійснює формування радіолокаційної інформації і через пристрій сполучення (адаптер) передає її для відображення на ІКО «Пікет» [8, 11, 13].

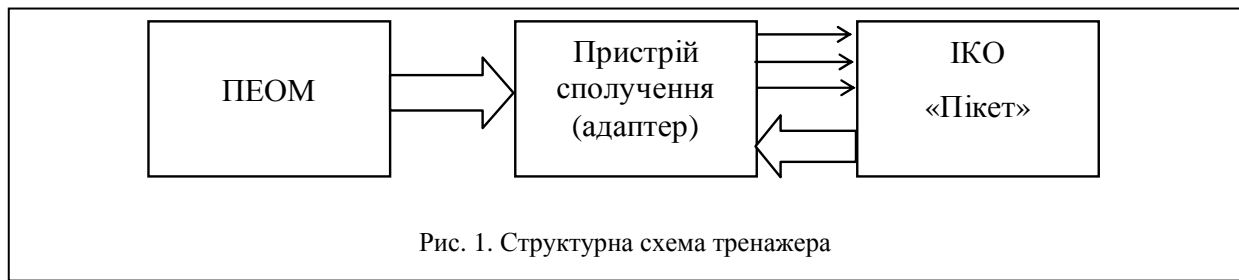


Рис. 1. Структурна схема тренажера

ПЕОМ моделювання РЛС вирішує такі завдання: формування сигналів, відбитих від підстилаючої поверхні (розрахунок сигналів для конкретної позиції виконується заздалегідь і зберігається в пам'яті ПЕОМ);

формування сигналів, відбитих від повітряних цілей, з урахуванням діаграм зворотного вторинного випромінювання цілей різних типів і впливом підстилаючої поверхні на форму діаграми спрямованості у вертикальній площині;

керування режимами роботи РЛС (зміна якості відображення сигналів і масштабних міток, масштабів індикатора, вмикання/вимикання ЧПВ, ВАРУ, ШАРУ, НРЗ);

документування ходу тренування.

Для нормальної роботи ІКО «Пікет» [14], крім живильних напруг необхідні такі вхідні сигнали:

- відхиляючі напруги  $X$  і  $Y$ ;
- амплітудні сигнали.

Відхиляючі напруги мають пилкоподібну форму і змінюються відповідно до виразів

$$U_x = 5 \sin[(\beta(t))R_o(t)];$$

$$U_y = 5 \cos[\beta(t)]R_o(t),$$

де  $R_o(t) = R(t)/R_{\max}$  – поточна відносна дальність;

$\beta$  – поточний азимут.

Максимальне значення напруги в координатних каналах складає  $\pm 5$  В.

ІКО «Пікет» у своєму складі має також вісім амплітудних входів (каналів), що дозволяє формувати роздільно луна-сигнали, сигнали міток дальності, азимуту та ін. У нашому випадку виявилось більш зручним усі сигнали, включаючи дальнісні й азимутальні мітки, розраховувати на ПЕОМ і видавати їх на ІКО в одному каналі. Амплітуда цих сигналів у каналі не повинна перевищувати 3 В.

Пристрій сполучення є електронним пристроєм, що забезпечує сполучення ПЕОМ з індикатором кругового огляду «Пікет».

Основні труднощі при розробці пристрою сполучення полягають у забезпеченні необхідної швидкості передачі інформації. Найбільш тверді вимоги з швидкості передачі інформації ставляться при моделюванні роботи РЛС П-37. Наприклад, при частоті повторення зондувальних імпульсів  $F_{\Pi} = 365$  Гц, максимальній дальності  $R_{\max} = 400$  км, тривалості зондувального імпульсу  $\tau_i = 1$  мкс і поданні амплітуди сигналу в імпульсному об'ємі одним байтом ( $N = 8$  розрядів) розраховувати і видавати дані необхідно зі швидкістю

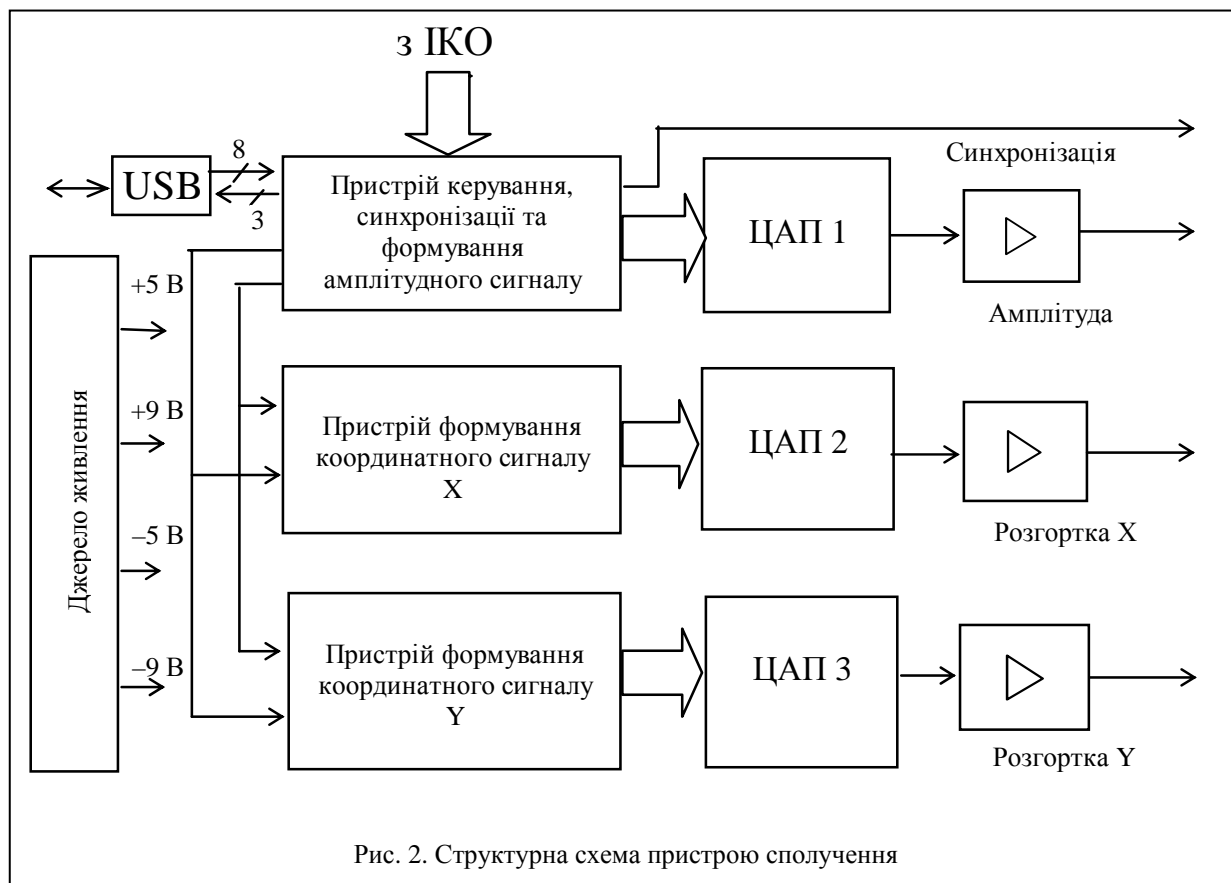
$$V = \frac{4NF_{\Pi}R_{\max}}{ct} \approx 20 \text{ Мбіт/с.}$$

Для РЛС П-18 ці вимоги зменшуються приблизно в сім разів. Це обумовлено меншою дальністю дії РЛС і більшою тривалістю зондувального імпульсу.

Якщо враховувати, що радіус електронно-променевої трубки ІКО складає 180 мм, а діаметр плями променя не менше 0,5 мм [14], то при кожному зондуванні необхідно обробляти не менше 360 елементів дальності. З урахуванням того, що кількість елементів дальності звичайно дорівнює цілому степеню двійки, а найближче до 360 у бік збільшення є  $M = 2^n = 512$ , то при розробці пристрою передбачалося обробляти 512 елементів дальності. Тому для координатних каналів досить використовувати десятирозрядний код, а для обробки амплітуди сигналів – восьмирозрядний.

У цьому випадку швидкість розрахунку і видачі даних повинна бути не менше, ніж  $8 \times 512 \times F_{\Pi} \approx 1,5$  Мбіт/с. Таку швидкість видачі інформації може забезпечити паралельний порт ПЕОМ LPT або USB порт. Враховуючи, що при використанні порту USB істотно зменшується кількість провідників між ПЕОМ і пристроєм сполучення, то для подальшої роботи будемо використовувати саме його.

З огляду на перелічені вище фактори був розроблений і виготовлений пристрій сполучення, структурна схема якого наведена на рис. 2.



Пристрій сполучення містить у собі такі елементи:

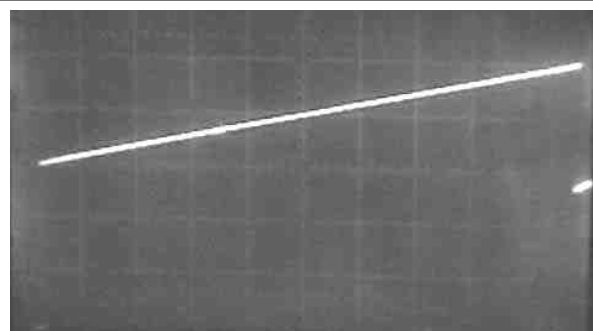
- контролер USB;
- пристрій керування, синхронізації і формування кодів амплітудного сигналу (далі пристрій керування);
- пристрій формування кодів координатного сигналу X;
- пристрій формування кодів координатного сигналу Y;
- цифроаналоговий канал з підсилювачем амплітудного сигналу;
- цифроаналоговий канал з підсилювачем горизонтальної розгортки X;
- цифроаналоговий канал з підсилювачем вертикальної розгортки Y;
- джерело стабілізованої напруги.

Передача інформації з ПЕОМ на ІКО здійснюється через адаптер, що використовує послідовний швидкодіючий порт, роботу якого забезпечує мікроконтролер USB.

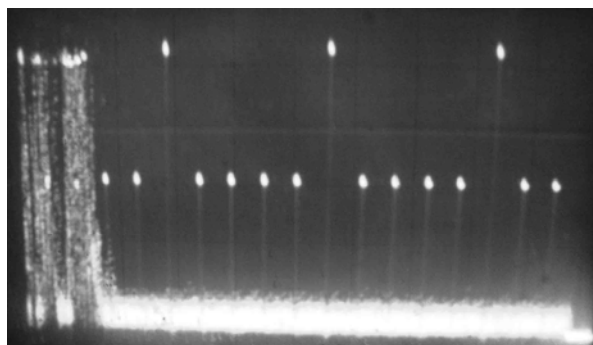
Розраховані в ПЕОМ значення амплітуд сигналів і поточний азимут через USB драйвер надходять у пристрій керування, синхронізації і формування амплітудного сигналу. Через задані інтервали часу

пристрій керування видає 8-розрядний код амплітудного сигналу на цифроаналоговий канал перетворення (ЦАП1). Одночасно з цим пристрій керування видає синхроімпульси для роботи пристроїв формування координатних сигналів. Ці пристрої через UART порт приймають від пристрою керування дані про поточний азимут і у вигляді 10-розрядних кодів видають на ЦАП2 і ЦАП3 відповідно. Перетворені в аналогову форму сигнал амплітуди і сигнали розгортки X та Y підсилюються відповідними підсилювачами до необхідної величини і подаються на керуючі електроди ЕПТ ІКО «Пікет». Осцилограми цих сигналів, зняті на виході пристрою сполучення, наведені на рис. 3.

Для зручності вмикання та вимикання ВАРУ, ШАРУ, НРЗ і т.д., регулювань яскравості масштабних міток і сигналу амплітуди (рис. 3,а) оператором з робочого місця були використані модернізовані штатні органи керування, розташовані на передній панелі ІКО (рис. 3,б). Оскільки сигнали масштабних міток і амплітуди сигналу в імітаторі представлені в одному каналі, то і регулювання їх яскравості й амплітуди ведеться від ПЕОМ. Звідси суть модернізації органів керування полягає в наступному. Всі ім-



а



б

Рис. 3. Осцилограми відхиляючих напруг та амплітудного сигналу:

- а – пилкоподібні сигнали розгортки;
- б – сигнал амплітуди з масштабними мітками

пульси розділення з перемикачів та рівні постійних напруг з органів регулювань перетворювалися в пристрої керування в цифровий код і за допомогою USB порту передавалися на ПЕОМ (рис. 2). Ці коди після відповідної обробки в ПЕОМ використовувалися як приращення для зменшення або збільшення яскравості масштабних міток, амплітуди сигналу і т.д.

У процесі розробки і виготовлення пристрою сполучення були використані широко відомі імпорتنі та вітчизняні елементні бази. Як USB контролер була використана і застосовувана в таких випадках відома інтегральна схема FT245BM.

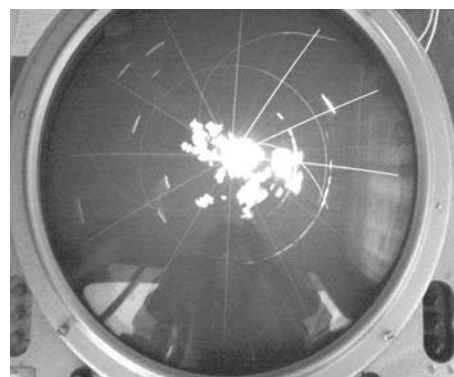
Пристрій керування реалізований на 8-розрядному мікроконтролері PIC18F452, а пристрої формування координатних сигналів – на 8-розрядних мікроконтролерах PIC18F252.

Три цифроаналогові канали перетворення виконані ідентично і реалізовані на інтегральних схемах ЦАП серії ДО1118ПА2, а операційні підсилювачі – на серії ОР37GP (544УД2) [15, 17].

Джерело живлення є набором параметричних



Рис. 4. Зовнішній вигляд пристрою сполучення



а



б

Рис. 5. Зображення повітряної обстановки на ІКО та загальний вигляд тренажерного комплексу

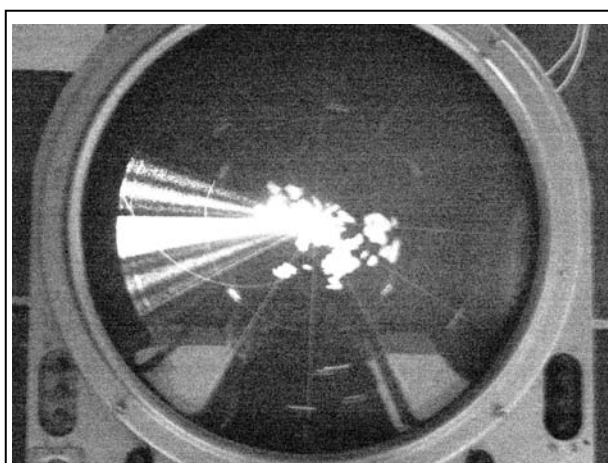
стабілізаторів напруг, що також виконані на інтегральних мікросхемах серій 78L05, 7905, 78L09 і 79L09 [16].

Зовнішній вигляд пристрою сполучення зі знятою верхньою кришкою наведений на рис. 4.

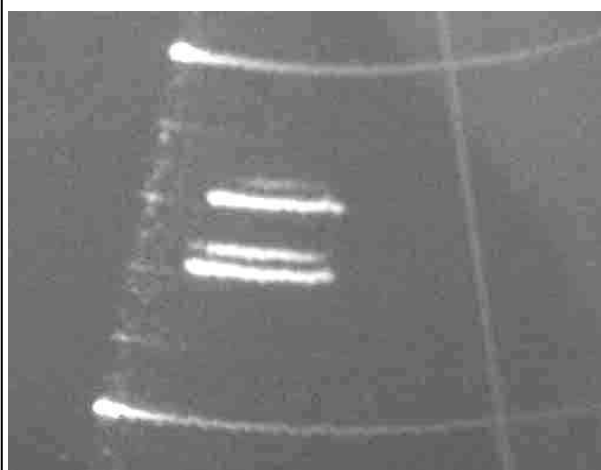
Проведені комплексні експериментальні дослідження тренажерного комплексу в цілому показали добрі збіги результатів математичного моделювання повітряної обстановки, зображеної на моніторі ПЕОМ, із результатами відображення їх на ІКО «Пікет».

На рис. 5,а наведено зображення одного з варіантів повітряної обстановки на ІКО, де добре видно відображення від місцевих предметів у ближній зоні, відмітки від цілей і вплив несинхронної завади, а на рис. 5,б – зовнішній вигляд усього тренажерного комплексу в цілому.

На рис. 6,а крім відображень від місцевих пред-



а



б

Рис. 6. Зовнішній вигляд екрана ІКО з різними варіантами зображення повітряної обстановки

метів і цілей видні також і впливи активних завад по головній пелюстці діаграми спрямованості антени РЛС, а на рис. 6,б показано фрагмент зображення обстановки на ІКО з відмітками від цілей і сигнали відповіді їх на запити НРЗ.

Таким чином, реалізація і впровадження пристрою сполучення між ПЕОМ і ІКО «Пікет» дозволили створити новий імітаційно-тренажерний комплекс для операторів оглядових РЛС, робота на якому максимально наближена до роботи за реальних умов (в табл. 1 наведені основні характеристики імітатора). Крім того, є ще великі можливості з розширення його функціональних можливостей, робота над якими в теперішній час продовжується.

Таблиця 1

#### Характеристики імітатора-тренажера

Найменування параметрів	Імітатор-тренажер
Кількість імітованих цілей	200
Кількість імітованих активних завад	25
Кількість імітованих пасивних завад	10
Габаритні розміри, мм	пристрій сполучення 150*140*60; ПЕОМ – 350*250*70
Споживана потужність, Вт	пристрій сполучення – 5; ПЕОМ – 100 – 300
Вага, кг	пристрій сполучення – 0,3; ПЕОМ (ноутбук) – 5

#### Висновки

У результаті теоретичних і експериментальних досліджень був розроблений імітаційно-тренажерний комплекс для тренування особового складу РЛС. Для спільної роботи ПЕОМ і ІКО був розроблений, виготовлений та експериментально досліджений пристрій сполучення, що показав добру й стійку роботу у складі комплексу.

Розроблений імітаційно-тренажерний комплекс апробований у навчально-тренувальному центрі військ ППО України і на навчальному командному пункті радіотехнічної роти та батальйону кафедри бойового застосування Радіотехнічних Військ Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Руснак І.С., Шевченко В.Л., Артемов Ю.І. Дидактичні засади загальнотехнічних і програмно-математичних рішень сучасних навчально-тренувальних систем військового призначення // Наука і оборона. – 2002. – № 4. – С. 31 – 35.
2. Руснак І.С., Хижняк В.В. З віртуальної реальності у світ професіоналізму. До перспектив розвитку тренажно-моделюючих засобів у системі бойової й оперативної підготовки військ (сил) // Військо України. – 2002. – № 3 – 4. – С. 16 – 18.
3. Михайленко А.П., Сніцаренко П.М., Михайленко О.А. Про особливості та перспективи імітації радіолокаційної обстановки в інформаційних системах ППО // Наука і оборона. – 1998. – № 2. – С. 28 – 32.
4. Computer Simulation of Aerial Target Radar Scattering, Recognition, Detection, and Tracking / Y.D. Shirman, S.A. Gorshkov, S.P. Leshchenko and other / Y.D. Shirman editor. – Boston-London: Artech house, 2002. – 320 p.
5. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование / Я.Д. Ширман, С.А. Горшков, С.П. Лещенко и др. // Радиолокация и радиометрия. – М.: ИПРЖ, 2000. – Вып. III. – С. 5.
6. Radar Target Backscattering Simulation Software and User's Manual / Y.D. Shirman, S.A. Gorshkov, S.P. Leshchenko and other. – Boston-London: Artech House, 2002. – 332 p.
7. Гартованов В.Г., Арасланов М.Р. Анализ расчетных и экспериментальных методов определения параметров зон обнаружения РЛС // Збірник наукових праць. – Х.: ХВУ, 1998. – Вип. 17. – С. 86 – 95.
8. Справочник по радиолокации в 4-х т. / Под ред. М. Скольника: Пер. с англ. – Т. 1. – М.: Сов. радио, 1976. – 456 с.
9. Бахвалов Б.Н. Справочные материалы по оценке влияния реальных позиций на зоны видимости РЛС. – Х.: ВИРГА ПВО, 1977. – 166 с.
10. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн. – М.: Сов. радио, 1972. – 464 с.
11. Бакулев П.А., Степин В.М. Методы и устройства селекции движущихся целей. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с.
12. Кулемин Г.П. Радиолокационные помехи от моря и суши РЛС сантиметрового и миллиметрового диапазонов // Сборник трудов международной научно-технической конференции “Современная радиолокация”. – К., 1994. – С. 23 – 29.
13. Ширман Я.Д. Разрешение и сжатие сигналов. – М.: Сов. радио, 1973. – 360 с.
14. "Пикет". Техническое описание ЭП2.049.002. ТО. Редакция 1-66.
15. Федорков Б.Г., Телец В.А. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
16. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник / С.В. Якубовский, Л.И. Ниссельсон, В.И. Кулешова и др. / Под. ред. С.В. Якубовского. – М.: Радио и связь, 1990. – 496 с.: ил.
17. Аналоговые интегральные микросхемы: Справочник / Б.П. Кудряшов, Ю.В. Назаров, Б.В. Тарабрин, В.А. Ушибышев. – М.: Радио и связь, 1981. – 160 с.

Надійшла 10.04.2006

Рецензент: д-р техн. наук професор В.А. Лошаков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба.