

К. т. н. И. В. ЦЕВУХ, А. Н. ШЕЙК-СЕЙКИН,
к. т. н. А. В. САДЧЕНКО, О. А. КУШНИРЕНКО, Ю. А. САВЧУК*

Украина, Одесский национальный политехнический университет;
г. Одесса, *НИИ «Шторм»

E-mail: ans@irt.opu.ua

ИМИТАТОР СИГНАЛОВ ДЛЯ ИНДИКАТОРА КРУГОВОГО ОБЗОРА «ПИКЕТ»

Разработано устройство имитации сигнально-помеховой обстановки для радиолокационных станций (РЛС), оснащенных индикатором кругового обзора «Пикет», которое не требует для своей работы наличия персональной ЭВМ. Благодаря применению оригинального способа формирования отметок от целей удалось существенно снизить объем памяти, требуемой для хранения информации о сценарии, достоверно имитирующем работу РЛС в реальных условиях. Устройство обеспечивает одновременную работу двенадцати индикаторов кругового обзора и предназначено для оснащения учебных центров по подготовке операторов контроля воздушной обстановки.

Ключевые слова: имитатор сигналов, индикатор кругового обзора, РЛС, оператор контроля воздушной обстановки.

В настоящее время для обучения операторов контроля воздушной обстановки широко используются различные имитаторы сигнально-помеховой обстановки, подключаемые к соответствующим индикаторам радиолокационных станций (РЛС) и не требующие включения остальной аппаратуры самих РЛС, в частности передатчиков. К такому классу устройств относится комплексная система сопряжения РЛС, ПЭВМ и индикатора кругового обзора (ИКО) «Пикет», обеспечивающая запись информации с выхода аналоговых РЛС типа П-18, П-37, 5Н84А в память ПЭВМ с последующим ее воспроизведением и отображением на экране ИКО [1]. Центральным элементом системы является ПЭВМ, обеспечивающая управление адаптерами сопряжения с ИКО и РЛС, хранение данных, отображение информации на мониторе и т. д.

Очевидно, что наличие в составе устройства ПЭВМ делает его достаточно дорогостоящим, а его применение сопряжено с проблемами, связанными с использованием операционной систе-

мы. Кроме того, указанная выше комплексная система является не имитатором, а устройством записи и воспроизведения реальной воздушной обстановки, благодаря чему она используется, в том числе, и как средство обучения операторов. Однако для обучения операторов на начальном этапе, в полевых условиях, а также для контроля работоспособности ИКО такая система является избыточной, громоздкой и ненадежной, т. е. ее применение нельзя считать целесообразным. Поэтому задача разработки компактного, надежного и недорогого имитатора остается в настоящее время весьма актуальной [2, 3].

В настоящей работе описан разработанный специалистами ОНПУ и НИИ «Шторм» имитатор сигнально-помеховой обстановки для ИКО «Пикет», не требующий для своей работы наличия ПЭВМ и обеспечивающий достоверную имитацию работы РЛС в реальных условиях.

Структурная схема устройства имитации сигналов (УИС) приведена на рис. 1. В его состав

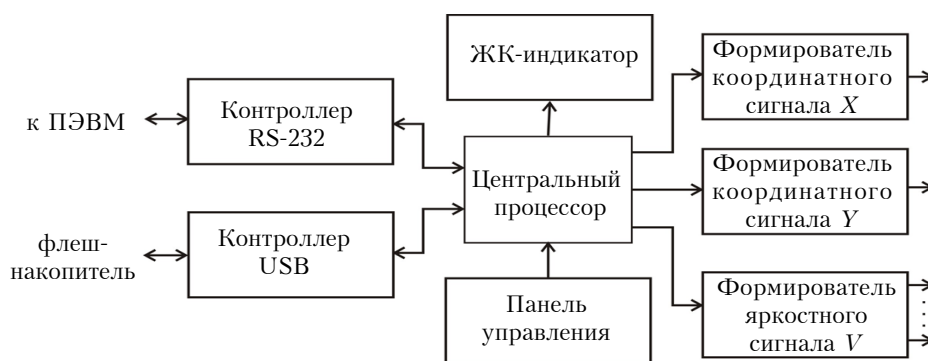


Рис. 1. Структурная схема устройства имитации сигналов

входят: центральный процессор (ЦП), обеспечивающий выполнение программы и формирование всех цифровых управляющих и информационных сигналов; формирователи аналоговых координатных сигналов X и Y ; формирователь дискретных яркостных сигналов V ; контроллер USB-порта, обеспечивающий подключение к ЦП внешнего флэш-накопителя; контроллер RS-232 для подключения ПЭВМ (при необходимости); ЖК-индикатор, отображающий процесс управления прибором и параметры выбранного режима работы УИС; панель управления работой УИС.

Центральный процессор реализован на базе 32-разрядного микроконтроллера STM32F407 с тактовой частотой 168 МГц и развитой периферией.

ЖК-индикатор WH2004/V формирует 4 строки по 20 символов в каждой и обеспечивает вывод достаточно подробной информации о состоянии устройства.

Устройство формирует несколько видов сигналов: круговой развертки X , Y (с периодом 6–20 с), сигналы от целей $V1$ (7 типов), визиры по дальности (с шагом 10 и 50 км) и по азимуту (с шагом 10 и 30°) $V2...V5$, шумовой сигнал $V6$.

Формирователи координатных сигналов X , Y реализованы в виде цифроаналоговых преобразователей, использующих 12-разрядные ЦАП DAC8412 и формирующих 24-разрядные сигналы развертки, которые после преобразования в аналоговый вид обеспечивают очень высокое качество сигналов, в т. ч. высокую линейность радиальной развертки для любого положения луча (значения азимута).

Формирователь яркостных сигналов V имеет 8 каналов, обеспечивающих подачу на ИКО отметок от целей, визириров по дальности и азимуту, шумов и помех. Он обладает высокой нагрузочной способностью, позволяющей подключать к выходу несколько ИКО.

На рис. 2 приведены формы сигналов от целей со следующими угловыми размерами по азимуту: отметка от цели — 10°; отметка опознавания — 8° (их можно оперативно изменять (уменьшать) на величину от 1 до 5°).

Шумовой сигнал $V6$ обеспечивает равномерную точечную засветку всей площади экрана га-

уссовым шумом, а также имитацию отражения от подстилающей поверхности в 10–20-километровой зоне расположения антенны.

Главная особенность разработанного прибора состоит в формировании отметок от целей фрактальным методом, который заключается в том, что координаты центра тяжести цели (дальность, азимут цели) используются для формирования координат ее модели, заданной параметром «тип цели». Это позволяет существенно снизить объем памяти, требуемой для хранения информации о сценарии.

На рис. 3 приведен пример графического изображения фрактала цели типа 2, а в таблице — соответствующий ему массив данных, хранящийся в памяти ЦП (B_i , D_i — номера элементов разрешения по азимуту и дальности соответственно). В этом массиве «1» означает наличие засветки экрана в элементе разрешения, «0» — ее отсутствие. Разрешение по азимуту выбрано равным 0,25°, разрешение по дальности — 0,5 км, что обеспечивает достаточно высокое качество засветки экрана сигналами от целей в соответствии с [4–7].

Требуемые для работы управляющей программы исходные данные готовятся из расчета 10 целей, 300 кадров, что соответствует продолжительности сценария 30 мин при периоде вращения антенны 6 с и 1,5 ч при периоде вращения 18 с. Они представляют собой текстовый файл, что обеспечивает достаточно компактную запись информации. Подготовка данных для j -й цели в i -м кадре производится в формате iDj , iBj , iPj в следующем порядке:

— 1-я строка (1-й кадр), цели 1...10:

1D1, 1B1, 1P1; 1D2, 1B2, 1P2; ...; 1D10, 1B10, 1P10;

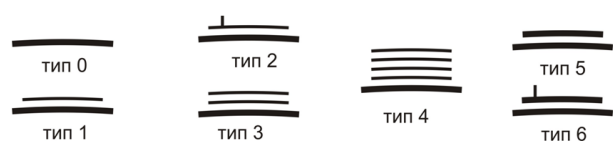


Рис. 2. Типы сигналов от целей:

0 — отметка от цели без сигналов опознавания; 1, 2, 3, 4 — отметка от цели плюс сигналы опознавания, соответственно, I, II, III и IV (VI) режима; 5, 6 — отметка от цели плюс сигналы «Авария / Тревога» I и II режима

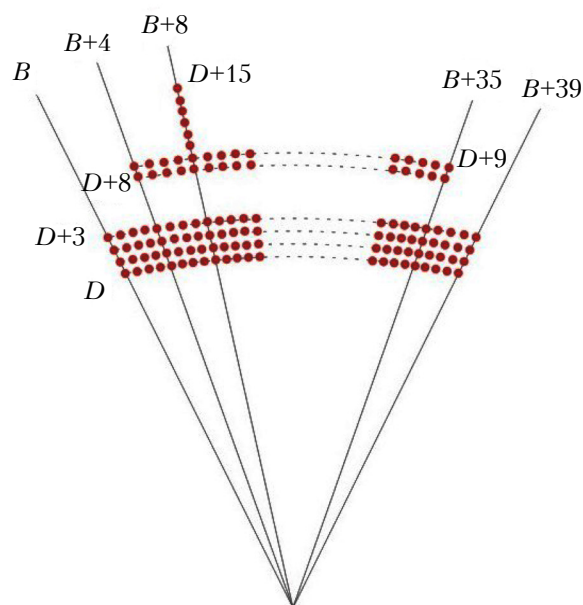


Рис. 3. Фрактал цели типа 2

Массив данных, моделирующих цель типа 2

$B_i \backslash D_i$	0	1	2	3	4	...	7	8	9	...	35	36	37	38	39
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
9	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
⋮	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

— 2-я строка (2-й кадр), цели 1...10:

2D1, 2B1, 2P1; 2D2, 2B2, 2P2; ...; 2D10, 2B10, 2P10;

⋮

— 300-я строка (300-й кадр), цели 1...10:

300D1, 300B1, 300P1; 300D2, 300B2, 300P2; ...; 300D10, 300B10, 300P10; !

где iDj , iBj , iPj — расстояние до j -й цели в i -м кадре, выраженное в элементах разрешения по дальности (ЭРД = 1...400), ее азимут (0...359°) и тип (0...6) соответственно; ! — признак окончания сценария.

В тех случаях, когда число целей в сценарии меньше 10, для отсутствующих целей вводятся нулевые данные.

Поскольку одна строка подготовленного таким образом сценария содержит не более 102 символов, объем памяти, требуемой для хранения одного кадра, составляет не более 102 Б, а объем всего сценария — не более 30,6 КБ.

Объем памяти, занимаемой данными о моделях целей, достаточно мал — не более 7 КБ, поэтому они хранятся в памяти ЦП и на размер сценария не влияют.

Сравним эти данные с прямым (растровым) способом хранения данных о сценарии, когда необходимый объем памяти вычисляется так:

— для одного кадра

$$V_k = N_B N_D Z;$$

— для сценария в целом

$$V_0 = V_k N_k,$$

где N_B — количество элементов разрешения по азимуту;

N_D — количество элементов разрешения по дальности;

Z — число разрядов, отводимых для представления одного пиксела на экране ИКО;

N_k — количество кадров.

Если минимальное количество элементов разрешения по азимуту равно 1440, по дальности — 400 (при выбранном разрешении 0,25° по азимуту и 0,5 км по дальности), минимально возможный объем (при $Z = 1$) информацией о сценарии составляет:

— для одного кадра

$$V_k = 1440 \cdot 400 = 576 \text{ Кбит (72 КБ);}$$

— для сценария в целом

$$V_0 = 72 \cdot 300 = 21,6 \text{ МБ.}$$

Таким образом, выигрыш в объеме памяти при предлагаемом способе формирования сценария (не более 30,6 КБ) по сравнению с прямым (не менее 21,6 МБ) составляет как минимум 700 раз.

Имитируемые сценарии формируются заранее (с использованием ПЭВМ) и записываются на флэш-память, которая в дальнейшем подключается к УИС и обеспечивает его работу. Особенность разработанной управляющей программы состоит в том, что сценарии должны находиться в корневом каталоге флэш-накопителя. Для удобства работы с устройством в корневом каталоге хранится до шести сценариев работы УИС.

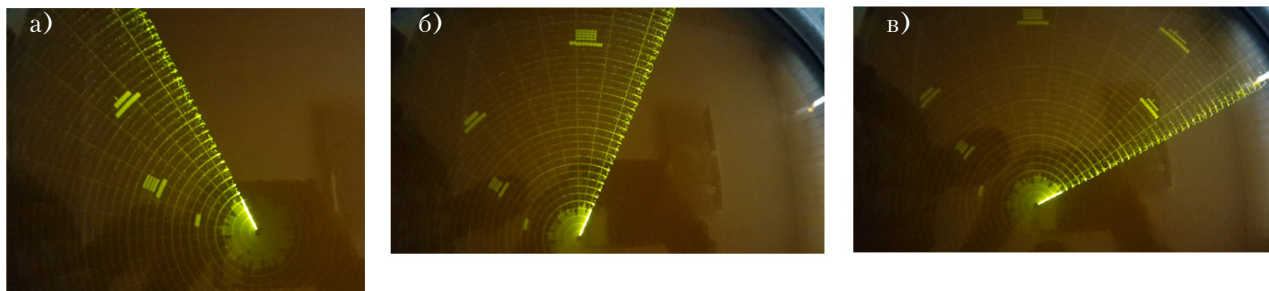


Рис. 4. Образцы формирования сигнально-помеховой обстановки на экране ИКО «Пикет»: а — три цели, сигналы от целей типов 0, 4, 6; б — четыре цели, сигналы от целей типов 0, 4, 6; в — шесть целей, сигналы от целей типов 0, 1, 2, 4, 6



Рис. 5. Внешний вид УИС

На рис. 4 приведены примеры формирования разработанным устройством сигнально-помеховой обстановки на экране ИКО «Пикет». Демонстрируется тестовый режим: стробы по дальности — 5 км, по азимуту — 10° , максимальная дальность — 200 км. В центре развертки имитируется отражение от предметов, находящихся на местности в точке расположения РЛС, в виде сплошной засветки, начальная зона развертки стробируется для предотвращения прожига люминофора в центре экрана, весь экран равномерно засвечен гауссовым шумом, уровень которого регулируется в широких пределах. Из рисунка видно, что система обеспечивает достаточно высокое качество формируемых сигналов.

Устройство выполнено в отдельном малогабаритном корпусе и оснащено соответствующими органами управления, индикации и подключения (рис. 5).

Основные характеристики прибора:

- | | |
|---|-----------------------------|
| — разрешающая способность по азимуту | 0,25°; |
| — разрешающая способность по дальности | 0,5 км; |
| — максимальная дальность | 200 км; |
| — максимальное количество целей | 10; |
| — габаритные размеры | 350×240×95 мм; |
| — масса | не более 5 кг; |
| — питание от сети переменного тока | 220 В ± 10%,
50 Гц ± 5%; |
| — потребляемая мощность | не более 50 ВА; |
| — необходимость наличия ПЭВМ | отсутствует; |
| — количество обслуживаемых одновременно ИКО | 12. |

Заключение

Таким образом, разработан компактный, надежный и недорогой имитатор сигнально-помеховой обстановки для индикатора кругового обзора «Пикет». Главным преимуществом устройства перед имеющимися аналогами является то, что для его работы не требуется персональный компьютер и не нужен большой объем памяти — благодаря применению оригинального способа формирования отметок от целей, для хранения сценариев с записанной сигнально-помеховой обстановкой необходимо не более 31 КБ. Имитатор обеспечивает высокое качество изображения развертки и достоверную имитацию работы РЛС в реальных условиях, что подтверждено успешными испытаниями в одном из учебных центров Украины. В настоящее время устройство рекомендовано к серийному производству.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Кандырин Н.П. Разработка и изготовление программно-аппаратного комплекса регистрации и отображения радиолокационной информации РЛС с аналоговым выходом // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних сил України. — 2013. — № 4. — С. 59–63.
2. Крол И. В непростых для Украины условиях мы стараемся создавать приемлемые по цене и качеству авиатренажеры // Человек. Техника. Технологии. Специальный выпуск. — 2017. — С. 22–25.
3. Матвиевский А. В Украине необходимо создавать собственную эффективную учебно-тренировочную базу боевой подготовки // Человек. Техника. Технологии. Специальный выпуск. — 2017. — С. 34–37.
4. ГОСТ 25657. Индикаторы кругового обзора для наземных радиолокационных станций. Типы, основные параметры, технические требования и методы испытаний.
5. Бакулев П.А. Радиолокационные системы : учебник для вузов. — Москва: Радиотехника, 2004.
6. Тяпкин В.Н., Фомин А.Н., Гарин Е.Н. и др. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск : учебник. — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011.
7. Радиотехнические системы : учебник для студ. высш. учеб. Заведений / Под ред. Ю. М. Казаринова. — Москва: Издательский центр «Академия», 2008.

*Дата поступления рукописи
в редакцию 10.04 2017 г.*

I. V. TSEVUCH, A. M. SHEIK-SEIKIN, A. V. SADCHENKO,
O. A. KUSHNIRENKO, Yu. O. SAVCHUK

Україна, Одеський національний політехнічний університет;
м. Одеса, НДІ «Шторм»
E-mail: ans@irt.opu.ua

ІМІТАТОР СИГНАЛІВ ДЛЯ ІНДИКАТОРА КРУГОВОГО ОГЛЯДУ «ПІКЕТ»

Розроблено пристрій імітації сигнально-завадової обстановки для радіолокаційних станцій (РЛС), оснащених індикатором кругового огляду «Пікет», який не вимагає для своєї роботи наявності персональної ЕОМ. Завдяки застосуванню оригінального способу формування позначок від цілей вдалося істотно знизити обсяг пам'яті, необхідної для зберігання інформації про сценарії, достовірно імітуючі роботу РЛС в реальних умовах. Пристрій забезпечує одночасну роботу дванадцяти індикаторів кругового огляду і призначений для оснащення навчальних центрів з підготовки операторів контролю повітряної обстановки.

Ключові слова: імітатор сигналів, індикатор кругового огляду, РЛС, оператор контролю повітряної обстановки.

DOI: 10.15222/TKEA2017.3.19
UDC 621.396

I. V. TSEVUCH, A. N. SHEIK-SEIKIN
A. V. SADCHENKO, O. A. KUSHNIRENKO, Yu. A. SAVCHUK

Ukraine, Odessa National Polytechnic University;
Odessa, RI «Storm»
E-mail: ans@irt.opu.ua

IMITATOR OF SIGNALS FOR PLAN-POSITION INDICATOR «PICKET»

The authors have developed a device for imitation of the signal-interference environment for radars, equipped with the plan-position indicator (PPI) «Picket», which does not require a PC for operation. Thanks to the use of the original method of forming marks from targets, it was possible to significantly reduce the amount of memory, required to store information about the scenario that reliably imitates the operation of the radar in real conditions. The device provides simultaneous operation of twelve indicators of a circular survey and is intended for equipping training centers for the training of air control operators.

Keywords: imitator of signals, plan-position indicator, radar, operator of air situation control.

REFERENCES

1. Kandyrin N.P. [Development and manufacturing of a hardware-software complex for recording and displaying radar information of a radar with an analog output]. *Nauka i tekhnika Povitryanikh Sil Zbroinikh sil Ukrayini*, 2013, no 4, pp. 59–63. (Rus)

2. Krol I. [In difficult conditions for Ukraine, we are trying to create acceptable for the price and quality of air trainers]. *Chelovek. Tekhnika. Tekhnologii. Spetsialnyi vypusk*, 2017, pp. 22–25. (Rus)

3. Matvievskii A. [In Ukraine, it is necessary to create its own effective base for combat training]. *Chelovek. Tekhnika. Tekhnologii. Spetsialnyi vypusk*, 2017, pp. 34–37. (Rus)

4. State standard 25657. [Round-trip indicators for terrestrial radar stations. Types, basic parameters, technical requirements and test methods]. (Rus)

5. Bakulev P.A. *Radiolokatsionnye sistemy* [Radar systems]. Moscow, Radiotekhnika, 2004, 320 p. (Rus)

6. Tyapkin V.N., Fomin A.N., Garin E.N. et al. *Osnovy postroeniya radiolokatsionnykh stantsii radiotekhnicheskikh voisk* [Fundamentals of the construction of radar stations of radio engineering troops]. Krasnoyarsk, Sib. feder. un-t, 2011, 536 p. (Rus)

7. *Radiotekhnicheskie sistemy* [Radio engineering systems]. Ed. by Yu.M. Kazarinov. Moscow, Izdatel'skii tsentr «Akademiya», 2008, 592 p. (Rus)