

УДК 621.396.963

С. А. Яновицкий; В. М. Кичак, д. т. н., проф.; К. Л. Горященко, к. т. н.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БОРТОВОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

В статье рассмотрен метод повышения эффективности подавления запроса боковыми лепестками систем управления воздушным движением, который заключается в использовании двухступенчатого уровня подавления. Описаны два устройства подавления, приведены их сравнительные характеристики стабильности уровня подавления. Проведен анализ одной из основных характеристик самолетных ответчиков – подавление ошибочного запроса от боковых лепестков, показаны пути его улучшения.

Ключевые слова: боковые лепестки, двухступенчатый уровень подавления.

Введение

В настоящее время в связи с растущей плотностью движения летающих аппаратов, а также применением автоматизированных систем управления воздушным движением становится весьма актуальным вопрос снижения вероятности ошибочного запроса ответчиков управления воздушным движением (УВД).

В современных системах УВД подавление ошибочного запроса осуществляется благодаря совместной работе как наземных, так и бортовых устройств [4].

Основная часть

Известно, что диаграмма направленности антенны РЛС в горизонтальной плоскости имеет боковые лепестки [1]. Несмотря на то, что они имеют меньшую мощность излучения, бортовая система может принимать сигнал и от боковых лепестков. Как результат – выдавать сигнал-ответ. Такое поведение систем создает трудности в идентификации рабочей ситуации на экране РЛС.

Для подавления запроса от боковых лепестков используется отличие энергетических уровней излучения главного и боковых лепестков наземных РЛС [4].

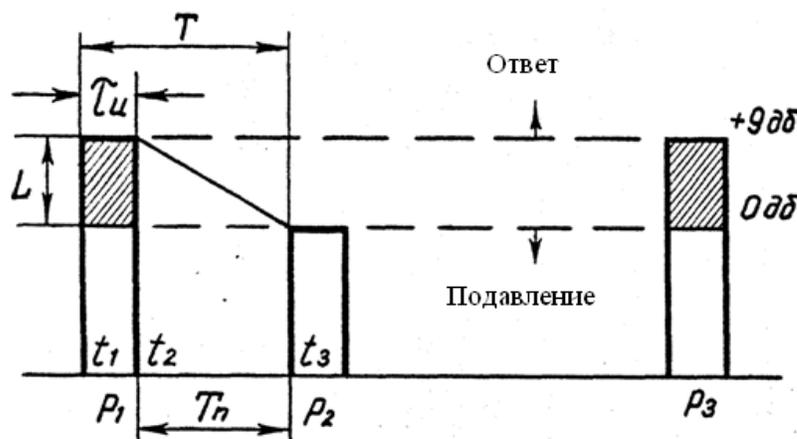


Рис. 1. Принцип передачи триимпульсного сигнала

К двум импульсам вопросительной коды P_1 и P_3 (см. рис 1) излучаемых направленной антенной, добавляется третий импульс P_2 (импульс подавления), излучаемый отдельной

всесторонне направленной антенной (антенной подавления). Таким образом, в пространстве возникает следующая ситуация. Если летательный объект находится в направлении на главный лепесток, тогда третий импульс P_2 значительно меньше, что указывает на нормальное условие. При получении сигнала от бокового лепестка, уровни сигналов P_1 , P_3 можно сравнить с P_2 , а следовательно сигнал является ложным и подлежит игнорированию.

Импульс подавления по времени отстает на $2 \pm 0,15$ мкс от первичного импульса вопросительной коды. В бортовом устройстве проводится сравнение амплитуд импульсов коды P_1 , P_3 и импульса подавления P_2 . Ответ происходит только тогда, когда уровень P_1 , P_3 больше P_2 (уровня подавления).

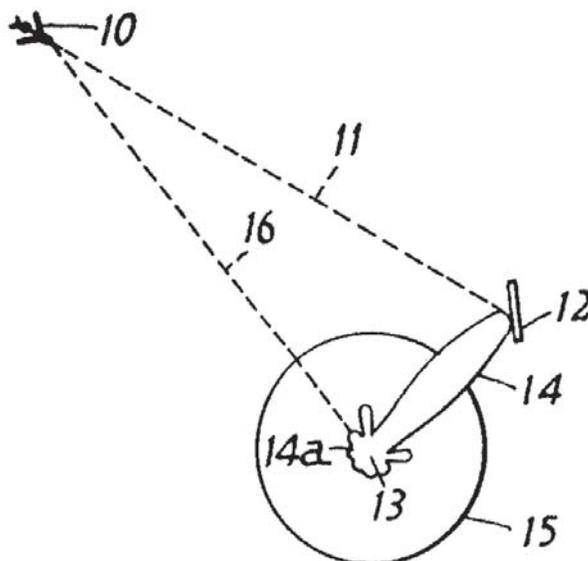


Рис. 2. Принцип взаимодействия с триимпульсной системой в условиях отраженного сигнала.

Условные обозначения на рисунке соответствуют патенту [4]:

10 – самолет, 11 – отраженный путь, 12 – отражающая поверхность, 13 – направленная наземная станция, 14 – диаграмма направленности, 15 – равнонаправленная диаграмма контрольного излучения, 16 – прямой путь

Следует отметить, что зона действия системы УВД разделена энергетическим уровнем сигнала подавления на зону потенциальной возможности ошибочного запроса, т. е. зону в которой возможен ложный запрос, и зону отсутствия ошибочного запроса – зону уверенного запроса. Поскольку энергетический уровень сигнала подавления подбирается заведомо больше уровня сигналов, излучаемых боковыми лепестками, важно осуществить правильный его выбор, что невозможно без анализа точностных характеристик устройства подавления ответчиков.

В устройствах подавления современных ответчиков используются схемы амплитудного сравнения на транзисторах с накопительной емкостью в цепи эмиттера [2].

В таких устройствах уровень подавления формируется путем разряда с одинаковым током накопительной емкости до прихода импульса подавления. На рис. 3 а приведена схема амплитудного сравнения.

Нестабильность уровня подавления состоит из непостоянства тока разряда накопительной емкости δ_c и изменения временных интервалов входных сигналов δ_t .

Термостабилизация тока разряда накопительной емкости позволяет ограничить первую составляющую – нестабильность уровня подавления в пределах нескольких процентов.

Основной погрешностью бортовых устройств подавления является зависимость уровня подавления от изменения временных интервалов входных сигналов в пределах $2 \pm 0,15$ мкс и длительность Р1-импульса в интервале $0,9 \pm 0,1$ мкс (требования ГОСТа [2]), то есть общего изменения временных интервалов в диапазоне $(0,15 + 0,1) \cdot 2 = 0,5$ мкс.

Учитывая требования государственного стандарта к параметрам подавления систем УВД, Наукові праці ВНТУ, 2011, № 1

а также учитывая линейность логарифмической характеристики приемного тракта ответчика, нестабильность уровня подавления ΔL от изменения временных интервалов входных сигналов равна:

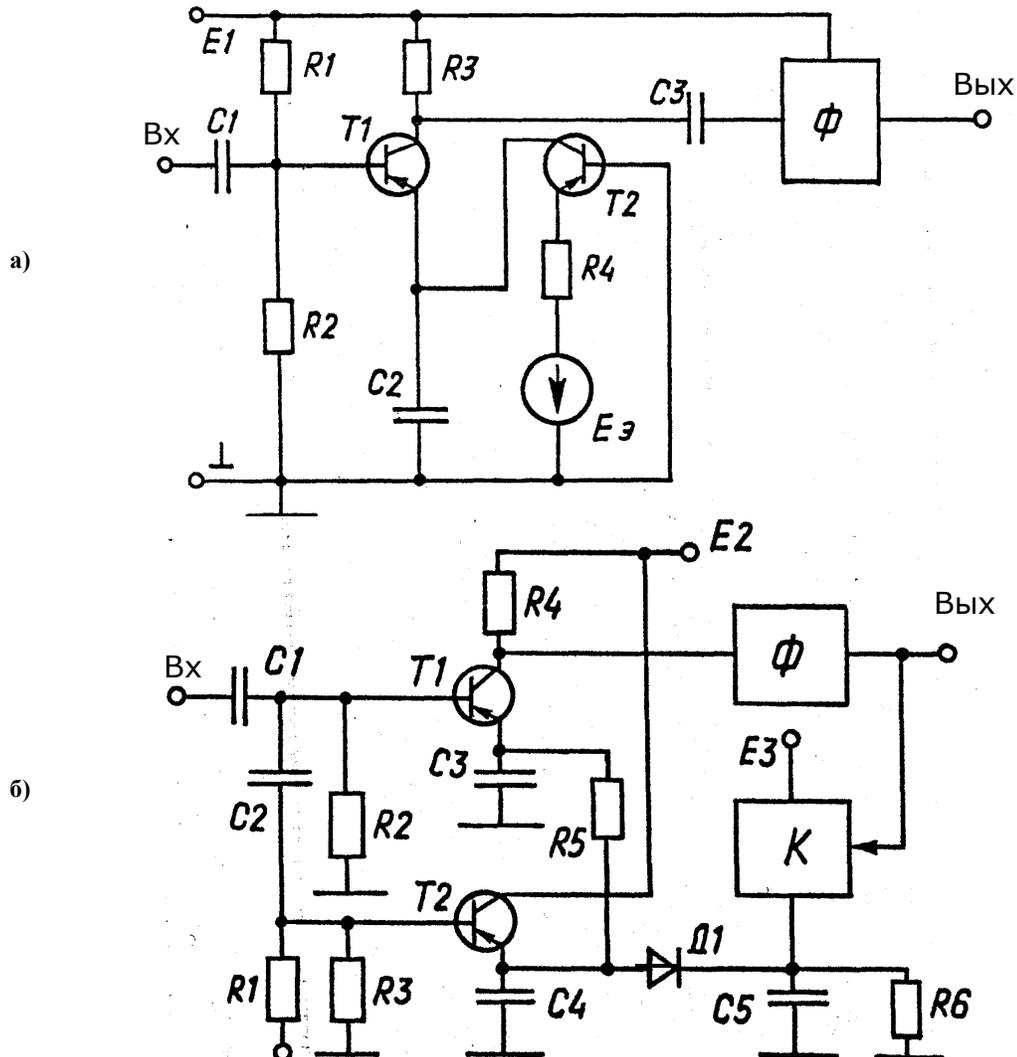
$$\Delta L = L_n \cdot K \quad (1)$$

где K – относительный коэффициент рассогласования временных интервалов:

$$K = \frac{t_2 - t_1}{t_2};$$

t_1, t_2 – предельные значения временных интервалов: $t_1 = 0,95$, $t_2 = 1,45$ (рис. 3); L_n – заданный уровень подавления 9 дБ, тогда $\Delta L = 3,1$ дБ.

Таким образом, уровень сигнала подавления с учетом дестабилизирующих факторов необходимо увеличивать на 3,1 дБ, при этом не учитывался нелинейный характер уровня подавления.



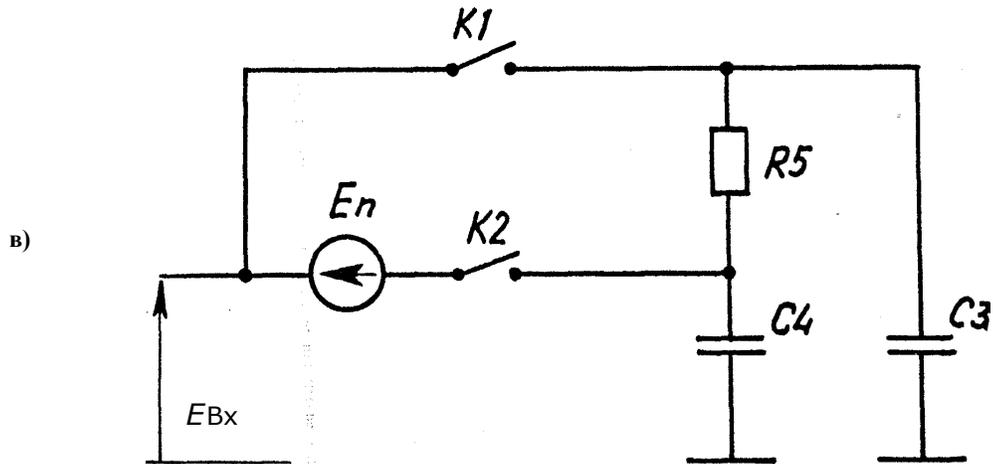


Рис. 3. Входные цепи устройств подавления современных ответчиков:
 а) схема амплитудного сравнения; б) схема триимпульсного подавления;
 в) функциональная схема триимпульсного подавления

Известно из основного уравнения радиолокации [7], что при активном ответе (сигнал от ответчика радиолокации) дальность D к ответчику определяется выражением

$$D = \sqrt{\frac{P_{\text{вип}} \cdot G_{\text{вип}} \cdot G_{\text{пр}} \cdot \lambda_3^2}{(4\pi)^2 \cdot P_{\text{пр}}}}$$

где $P_{\text{вип}}$ – мощность передатчика опроса; $G_{\text{вип}}$, $G_{\text{пр}}$ – коэффициенты направленности антенн передатчика и приемника канала запроса; $P_{\text{пр}}$ – мощность в точке приема, соответствующая чувствительности ответчика; λ_3 – длина волны.

Тогда относительное изменение зоны уверенного запроса равно:

$$\frac{D_M}{D_N} = \frac{\sqrt{\frac{P_{\text{вип.м}} \cdot G_{\text{вип}} \cdot G_{\text{пр}} \cdot \lambda_3^2}{(4\pi)^2 \cdot P_{\text{пр}}}}}{\sqrt{\frac{P_{\text{вип.н}} \cdot G_{\text{вип}} \cdot G_{\text{пр}} \cdot \lambda_3^2}{(4\pi)^2 \cdot P_{\text{пр}}}}} = \frac{\sqrt{P_{\text{вип.м}}}}{\sqrt{P_{\text{вип.н}}}} \quad (2)$$

где D_N , $P_{\text{вип.н}}$ – номинальное значение мощности передатчика опроса и дальности приема сигнала подавления; D_M , $P_{\text{вип.м}}$ – максимальное значение мощности передатчика опроса и дальности приема сигнала подавления (с учетом увеличения уровня подавления ответчика).

Одним из направлений по увеличению эффективности подавления запроса боковыми лепестками систем УВД является применение двухступенчатого уровня подавления. Электрическая схема, поясняющая принцип работы устройства триимпульсного подавления используя двухступенчатый уровень, приведена на рис. 3б., 3в – условная функциональная схема, объясняющая принцип работы.

Схема содержит входную цепь с делителем на $R1$, $R3$; элемент сравнения на $VT1$; элемент аналоговой памяти на $VT2$, $C4$; формирователь импульсов Φ ; ключ K с накопительной емкостью $C5$ и цепь разряда $VD1$.

Схема работает следующим образом. С приходом импульса P_1 емкость $C3$ элемента сравнения заряжается до его амплитудного значения, емкость $C5$ элемента аналоговой памяти – до уровня подавления. Накопительная емкость $C5$ заряжается до напряжения источника $E3$ через ключ K , который замкнут во время действия выходного импульса формирователя Φ .

После прохождения импульса P_1 кода запроса, напряжение на емкости $C3$ снижается до

уровня подавления на емкости $C5$ и остается неизменным до прихода импульса подавления P_2 .

После амплитудного сравнения импульса подавления P_2 напряжение на накопительной емкости $C5$ снижается до уровня подавления, открывается диод $VD1$ и напряжение на емкостях $C3, C4, C5$ снижается по экспоненте до нуля.

Таким образом, применение двухступенчатой схемы подавления позволяет исключить зависимость уровня подавления от измерения временных интервалов входных сигналов.

Очевидно, что исходя из условий выражения (1) получим:

$$10 \lg \frac{P_{вип.м}}{P_{вип.н}} = \Delta L = 3,1 \text{ дБ, та } P_{вип.м} = 2,04 \cdot P_{вип.н} \quad (3)$$

Следовательно, увеличение зоны уверенного запроса за счет исключения нестабильности уровня подавления ответчика и смены временных интервалов сигнала опроса с учетом выражений (2) и (3) составляют:

$$\Delta D = D_m - D_n = D_n \cdot \frac{\sqrt{P_{вип.м}} - \sqrt{P_{вип.н}}}{\sqrt{P_{вип.н}}} = 0,43 \cdot D_n.$$

Улучшение зоны в идеальном случае горизонтального уровня подавления сигнала от боковых лепестков составит 43% от номинального значения. Поскольку аналоговые устройства имеют значительные отклонения параметров при воздействии температуры, которая приводит к существенным отклонениям в работе [3] и составляет до 1,5 дБ по напряжению, что приводит к улучшению зоны не более 20% от номинального значения.

Особенностью триимпульсной системы является отличие уровней сигналов P_1 и P_2 на 9 дБ. Согласно этому требованию, следует необходимость в сравнении именно в децибельной системе уровней принимаемых сигналов.

На рис. 4. показано классическую схему логарифмического усилителя на базе нелинейного элемента с логарифмической характеристикой – полупроводникового диода.

Простота приведенной схемы однако не позволяет достичь важного параметра – повторяемости конструкции, что в свою очередь требует точной настройки и постоянной проверки все время в процессе изготовления и использования. Кроме того, точность логарифмического преобразования также зависит от состояния преобразующего элемента.

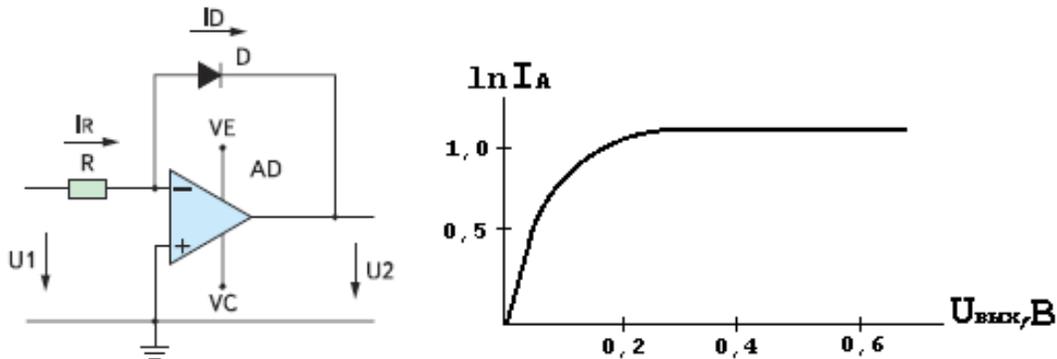


Рис. 4. Логарифмический усилитель на основе нелинейного элемента – диода

Один из возможных путей решения проблемы лежит в использовании современных аналогово-цифровых преобразователей [6] совместно с микропроцессорной обработкой полученного результата.

Цифровая высокоскоростная элементная база способна работать в диапазоне $-40 \dots +60^\circ \text{C}$ позволяет решить поставленную задачу с гораздо меньшими затратами в достижении повторяемости параметров приемной аппаратуры с одновременным обеспечением высокой надежности в необходимом диапазоне рабочих температур.

Выводы

1. Несмотря на то, что триимпульсная система, разработана и используется давно, она продолжает оставаться одной из актуальных систем, позволяющих решить задачу определения ложных сигналов радарных запросов в реальном масштабе времени.
2. Использование логарифмического усилителя позволяет упростить работу системы и перейти к задаче измерения относительного уровня изменения между узконаправленным и круговыми излучениями в триимпульсной системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лавров А. С. Антенно-фидерные устройства / А. С. Лавров, Г. Б. Резников. – М.: Советское радио, 1974. – 368 с.
2. СО-69. Руководство по технической эксплуатации – 111.31.03. – М., 1976. – С. 77 – 79.
3. Яновицкий О. К. Метод підвищення стабільності триімпульсного подавлення в радіотехнічних системах управління повітряним рухом. Актуальні проблеми техніки та суспільства: / О. К. Яновицький, С. О. Яновицький, М. Й. Жиган. // Збірник статей викладачів та наукових співробітників технологічного університету Поділля. Хмельницький, – 1996. – Вип. 2. – С. 243 – 250.
4. Pat. 3643256 Unites States Patent МПК G 01 S 9 /56. Secondary radar system / Phillip Collinson Owen, England. Claimer and patent holder A. C. Cossor Limited. – № 05/016146; claimed 03.03.70; published 15.02.72.
5. Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением. Методы измерений основных параметров: ГОСТ 25620-83. – [Чинний з 01.01.84]. – М.: Изд-во стандартов. – 26 с.
6. Kester Walt. Analog-digital conversion / Analog Devices, Inc. – USA. – 1138 p. – ISBN 0-916550-27-3 – 2004.
7. Коростелев А. А. Теоретические основы радиолокации: Учебное пособие для вузов / А. А. Коростелев и др.; под ред. Дулевича. – М.: Советское радио, 1978. – 608 с.

Яновицкий Сергей Александрович – инженер кафедры радиоэлектронных аппаратов и телекоммуникаций.

Хмельницкий национальный университет.

Кичак Василий Мартынович – д. т. н, проф., заведующий кафедрой телекоммуникационных систем и телевидения.

Винницкий национальный технический университет.

Горященко Константин Леонидович – к. т. н., доцент кафедры радиоэлектронных аппаратов и телекоммуникаций.

Хмельницкий национальный университет.