

Бучнев В.В.,

Курсант

4 курс, факультет «Радиотехнические комплексы»

Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны

Россия, г. Ярославль

Пятайкин В.А.,

Курсант

4 курс, факультет «Радиотехнические комплексы»

Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны

Россия, г. Ярославль

Охапкин И.С.,

Курсант

4 курс, факультет «Радиотехнические комплексы»

Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны

Россия, г. Ярославль

СПОСОБЫ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДОВ ОБЗОРА ПРОСТРАНСТВА В СОВРЕМЕННЫХ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РЛС

Аннотация: Рассматриваются два варианта обзора пространства в угломестной плоскости в РЛС твердотельными активными ФАР. Приведены функциональные схемы РЛС с твердотельными АФАР. Функциональные различия схем заключаются в использовании в одном из вариантов приемопередающих модулей при формировании диаграммы направленности антенны в угломестной плоскости. Обсуждаются достоинства и недостатки и способы реализации каждого из рассматриваемых вариантов. Отмечаются особенности, возникающие при необходимости сканирования луча в двух плоскостях при формировании диаграмм направленности в широком секторе обзора.

Ключевые слова: радиолокация, многофункциональная РЛС, фазированная антенная решетка активная, зондирующий сигнал обзора пространства.

Annotation: *we Consider two options for viewing space in the angular plane in the radar with solid-state active HEADLIGHTS. Functional schemes of radar with solid-state AFAR are given. The functional differences between the schemes consist in the use of receiving and transmitting modules in one of the variants when forming the antenna directivity diagram in the angular plane. The advantages and disadvantages of each of the options under consideration are discussed. The authors note the peculiarities that arise when it is necessary to scan the beam in two planes when forming directional diagrams in a wide viewing sector.*

Keywords: *radar, multi-functional radar, phased array active, probing signal of space survey.*

Эффективность РЛС в ходе поиска и обнаружения целей в значительной мере определяется принятым способом обзора пространства. Под обзором понимают процесс периодического просмотра элементов разрешения в пределах зоны обзора. Очередность и цикличность просмотра элементов определяется принятым в РЛС способом обзора (алгоритм).

По способу обзора элементов разрешения различают одновременный и последовательный обзор.

При одновременном обзоре прием и обработка сигналов осуществляется сразу после появления цели в зоне. Достоинством одновременного обзора является высокий темп получения РЛ информации. Недостаток - низкие точностные характеристики или сложность конструкции.

Основным достоинством последовательного метода обзора является относительная простота конструкции. Недостаток - сложность программной реализации боевого алгоритма и ограниченные темпы поступления информации. Последовательный обзор может быть классифицирован по используемому

методу просмотра угловых направлений пространства на растровый и спиральный, по принципу построения - детерминированный и гибкий.

В современных РЛС обзор по угловым координатам обычно является последовательным и строчным. При этом в простых условиях может использоваться жесткая программа обзора.

В нашем случае применение РЛС с ФАР подразумевает программное задание типа обзора, что позволяет перестраивать РЛС с одного типа обзора на другой. В РЛС используется 2 типа обзора: детерминированный на этапе обнаружения и адаптивный на этапе сопровождения.

Обзор по азимуту производится путем поочередного циклического просмотра угловых направлений в пределах зоны обзора. Число угловых направлений выбирается из того, что при заданной разрешающей способности РЛС по азимуту $\delta\varphi$ при последовательном сканировании не было пропуска цели между соседними направлениями. На практике обычно величину шага перемещения диаграммы направленности $\Delta\varphi$ выбирают из условия $\Delta\varphi = (0.5 \dots 0.9) \delta\varphi$.

Шаг перемещения луча в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно суть

Общее количество просматриваемых угловых направлений

$$N_{\text{ум}} = \frac{\Theta_{\text{обзх}} \cdot \Theta_{\text{обзy}}}{\delta\varepsilon \cdot \delta\varphi}$$

$$N_{\text{ум}} = \frac{100 \cdot 30}{1.5 \cdot 2.5} = 800$$

Период повторения импульсов при зондировании определяется следующим соотношением

$$T_n = \frac{2 \cdot r_{\text{мд}}}{c}$$

$$T_n = \frac{2 \cdot 2000 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8} = 0.01333 \text{ [с]}$$

Число зондирующих импульсов, излучаемых РЛС за период обзора

$$N_{обз} = \frac{T_{обз}}{T_n}$$

$$N_{обз} = \frac{3}{0.01333} = 225$$

Число зондирующих импульсов, излучаемых РЛС за период обзора для этапа сопровождения

Пропускная способность РЛС

$$N_{пр} = \frac{N_{сопр} \cdot T_0}{T_{обз}},$$

$$N_{пр} = \frac{575 \cdot 1}{3} \approx 192$$

Определение энергетического потенциала РЛС

Необходимые высота и ширина антенны определяются как

$$a = \frac{\lambda}{\Delta\Theta_y}$$

$$b = \frac{\lambda}{\Delta\Theta_x}$$

$$a = \frac{1}{5 \frac{\pi}{180}} = 11.45 \approx 12 \quad [\text{м}]$$

$$b = \frac{1}{3 \frac{\pi}{180}} = 19.09 \approx 19 \quad [\text{м}]$$

Эффективная площадь антенны

Коэффициент направленного действия

$$КНД = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{эф}$$

$$КНД = \frac{4\pi}{1^2} 228 = 2865.13$$

Коэффициент усиления антенны

В проектируемой РЛС приемная и передающая антенны могут быть разнесены или совмещены, но в любом случае диаграммы направленности антенн положим одинаковыми.

Пороговое отношение сигнал/шум, необходимое для обеспечения заданных вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги, суть

$$q_{пор}^2 = 2 \left(\frac{1}{\log_F D_{mp}} - 1 \right)$$

$$q_{пор}^2 = 2 \left(\frac{1}{\log_{10^{-5}} 0.9} - 1 \right) = 216.54$$

Спектральная плотность мощности внутреннего шума приемника

Коэффициент усиления антенны активного постановщика помех

$$G_n = \frac{4\pi \cdot L_{автк} \cdot L_{авг}}{\lambda^2}$$

$$G_n = \frac{4\pi \cdot 1 \cdot 1}{1} = 12.5663$$

Требуемая мощность излучения в случае действия активного постановщика помех в направлении первого побочного лепестка.

Эффективная площадь приемной антенны в направлении на первый боковой лепесток

Спектральная плотность мощности шума активного постановщика помех на входе приемника РЛС

$$N_{автн} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{N_{ш} \cdot A_{ПБЛ} \cdot G_{П} \cdot G}{r_{нн}^2}$$

$$N_{автн} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{10 \cdot 10^{-6} \cdot 0.00228 \cdot 12.56 \cdot 2721.87}{(250 \cdot 10^3)^2} = 9.924 \cdot 10^{-16} \quad [\text{Вт/Гц}]$$

Требуемая импульсная мощность передатчика

$$P_{излн} = \frac{(4\pi \cdot r_{мп}^2)^2 \cdot q_{пор}^2 \cdot K_{авт} (N_0 + N_{автн})}{G \cdot A_{зф} \cdot \sigma_{ш} \cdot \tau_{ш}}$$

$$P_{излн} = \frac{(4\pi \cdot (2000 \cdot 1000)^2)^2 \cdot 216.54 \cdot 10}{2721.87 \cdot 228 \cdot 1 \cdot 25 \cdot 10^{-3}} (4.98 \cdot 10^{-20} + 9.924 \cdot 10^{-16}) = 3.49 \cdot 10^{11} \quad [\text{Вт}]$$

С целью подавления излучения постановщика помех на входе применим дополнительный автокоррелятор, учитывая влияние в виде дополнительных 3 дБ аппаратных потерь. Требуемая мощность суть

$$P_{\text{изм}} = \frac{(4\pi \cdot r_{\text{мр}}^2)^2 \cdot q_{\text{пор}}^2 \cdot (K_{\text{ан}} + 3)}{G \cdot A_{\text{зф}} \cdot \sigma_{\text{ц}} \cdot \tau_{\text{ц}}} N_0$$

$$P_{\text{изм}} = \frac{(4\pi \cdot (2000 \cdot 1000)^2)^2 \cdot 216.54 \cdot (10 + 2)}{2721.87 \cdot 228 \cdot 1 \cdot 25 \cdot 10^{-3}} 4.98 \cdot 10^{-20} = 2.10 \cdot 10^7 \quad [\text{Вт}]$$

Энергетический потенциал РЛС

$$\Pi = \frac{P_{\text{изм}} \cdot \tau_{\text{ц}} \cdot G \cdot A_{\text{зф}}}{(4\pi)^2 \cdot k \cdot T_{\text{зф}} \cdot (K_{\text{ш}} - 1) \cdot (K_{\text{ан}} + 3) \cdot r_0^4}$$

$$\Pi = \frac{2.10 \cdot 10^7 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot 2721.87 \cdot 228}{(4\pi)^2 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 400 \cdot (9 - 1) \cdot (10 + 3) \cdot (3000 \cdot 1000)^4} = 44.34 \quad [1/\text{с} \cdot \text{м}^2]$$

Оценка точностных характеристик РЛС

Оценка точностных характеристик РЛС производится с учетом выбранных значений длины волны и длительности зондирующих сигналов.

Среднеквадратичное отклонение при измерении радиальной скорости s , (32a)

$$\sigma_{\text{вр}} = 0.6 \frac{3 \cdot 10^3}{25 \cdot 10^{-4} \cdot 300 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{\pi \cdot 216.54}} = 9.2 \quad [\text{м} / \text{с}]$$

Среднеквадратическое отклонение при измерении азимута

$$\sigma_{\text{ох}} = \frac{\partial \Theta_{\text{x}}}{\sqrt{\pi \cdot q_{\text{пор}}^2}} \quad \sigma_{\text{ох}} = \frac{3}{\sqrt{\pi \cdot 216.54}} = 0.115 \quad [\text{град}]$$

Среднеквадратическое отклонение при измерении угла места

$$\sigma_{\text{оу}} = \frac{\partial \Theta_{\text{н}}}{\sqrt{\pi \cdot q_{\text{пор}}^2}}$$

$$\sigma_{\text{оу}} = \frac{5}{\sqrt{\pi \cdot 216.54}} = 0.192 \quad [\text{град}]$$

Описание блока обработки

В РЛС с фазированной антенной решеткой для более точного измерения угловых координат на начальном этапе применяют амплитудный метод, задействуем все полотно ФАР, а затем преобразуют амплитудные соотношения в фазовые. Поэтому здесь используется фильтровая обработка радиолокационных сигналов, т.к. хотя она и вносит большие фазовые искажения

по сравнению с корреляционной, но не зависит от времени прихода отраженного сигнала.

Оптимальная обработка радиоимпульсов в режиме обнаружения сводится к следующему:

Приведение динамического диапазона сигнала в соответствие с динамическим диапазоном схемы обработки, что делается с помощью усилителя-ограничителя. В целях предотвращения перегрузки усилителя на его входе установлен режекторный фильтр, отсекающий возможные отражения от пассивных помех.

На набор из квазиоптимальных фильтров, согласованных по полосе с шириной спектра зондирующего сигнала, поступает сигнал с определенного углового направления. Каждый фильтр в наборе настроен на свою частоту так, чтобы все вместе они перекрыли требуемый диапазон ДФд. Сигналы с каждого фильтра поступают на квадратичные амплитудные детекторы для выделения квадрата модуля корреляционного интеграла $|Z_i|^2$, что устраняет влияние случайной неизвестной фазы сигнала.

Сигналы с детекторов обрабатываются в пороговых устройствах. Обработка ведётся отдельно для каждого набора фильтр-детектор для возможности дальнейшего сопровождения нескольких целей, движущихся с разными скоростями и находящихся в одном угловом элементе разрешения. При превышении порога в каком-либо пороговом устройстве, на его выходе формируется сигнал от цели.

Сигналы от целей передаются на схему опроса, где производится измерение их амплитуд. Информация о номере "звнящего" фильтра и об амплитуде сигнала на его выходе передается в ЭУМ для перевода РЛС и режим сопровождения

Заключение.

В данной работе рассмотрена наземная импульсная радиолокационная станция, предназначенная для поиска и сопровождения атакующих баллистических целей с измерением дальности, радиальной скорости, азимута и

угла места. РЛС имеет один режима работы - обнаружение. В режиме обнаружения производится обнаружение целей и определение их угловых координат, а также вполне возможно без особых энергетических затрат сопроводить цель. В результате исследования разработана обобщенная структурная схема РЛС.

Список использованной литературы:

1. Тимошков Г.В. Методические указания по курсу "Теоретические основы радио - и оптической локации // М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 1995.
2. Задание на курсовую работу по военно-технической подготовке (курс 121).
3. Ширманян Я.Д. Теоретические основы радиолокации // Учебное пособие для вузов. - М. изд-во "Советское радио". - 1970.
4. Власин, В.А., Власов, И.Б., Егоров, Ю.М., Информационные технологии в радиотехнических системах // Учебное пособие. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 2003.
5. Ерохин, Г.А., Чернышев, О.В., Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн // Учебник для вузов. - М.: Радио и связь. - 1996.
6. Филиппов, В.С., Пономарев, Л.И., Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток // Учеб. пособие для вузов. - М.: Радио и связь. - 1994.