

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РЭС

1. Определение РЭС

Радиоэлектронная система (РЭС) – это один из видов ТС.

Техническая система (ТС) – набор (совокупность) технических элементов, созданный для выполнения определенной конкретной функции с целью достижения заданной цели.

РЭС – такая ТС, в которой наряду с прочими техническими элементами используются радиоэлементы, а также излучение радиоволн и/или прием радиосигналов.

Место РЭС в функциональной иерархии:

Р/э комплекс - РЭС - р/э устройство (антенна, модуль, блок) - р/э узел (электрическая цепь, плата, панель) - р/э элемент (микросхема, резистор).

Проектирование РЭС – последовательность действий, заключающихся в решении задач по модернизации существующей или созданию новой РЭС, которая отличается от существующих РЭС аналогичного назначения более высокими показателями качества (точностными, вероятностными, эксплуатационными и пр.).

4. пример РЭС - аэродромный радиолокационный комплекс



Состав:

- вторичный радиолокатор (ВРЛ),
- первичный обзорный радиолокатор (ПОРЛ) 10-см диапазона.

Особенности:

- Твердотельные Прд,
- режим Diversity для ПОРЛ,
- Ближняя и дальняя зоны действия (БЗ и ДЗ) ПОРЛ,
- Сложный ЧМ сигнал для ДЗ
- Две диаграммы направленности для БЗ и ДЗ ПОРЛ,
- Наличие метеоканала,
- Обработка МТД (8 каналов) для ПОРЛ,
- Резервирование,
- линейная и круговая поляризация ПОРЛ,
- Автоматизированное управление.

3. Зона действия (обзора) РЭС.

Зоны формирования диаграммы направленности антенны

Зона действия РЭС – область пространства, в пределах которой РЭС выполняет свои функции с заданными вероятностными характеристиками.

Ближняя зона антенны (зона Френеля) - область пространства, в которой плотность потока энергии излучения и направленные свойства антенны определяются законами геометрической оптики.

Дальняя зона антенны (зона Фраунгофера) - область пространства, в которой плотность потока мощности излучения обратно пропорциональна квадрату расстояния от антенны.

В дальней зоне направленные свойства антенны (диаграмма направленности) зависят только от углового направления, в отличие от ближней зоны, где направленные свойства определяются законами геометрической оптики.

Диаграмма направленности антенны формируется в дальней зоне.

Граница дальней зоны определяется соотношением линейных размеров антенны и длины волны λ

$$r \geq 2D^2/\lambda,$$

где r - расстояние от фазового центра антенны;

D - максимальный габаритный размер антенны (размер апертуры).

4. Спиралеобразный процесс создания РЭС

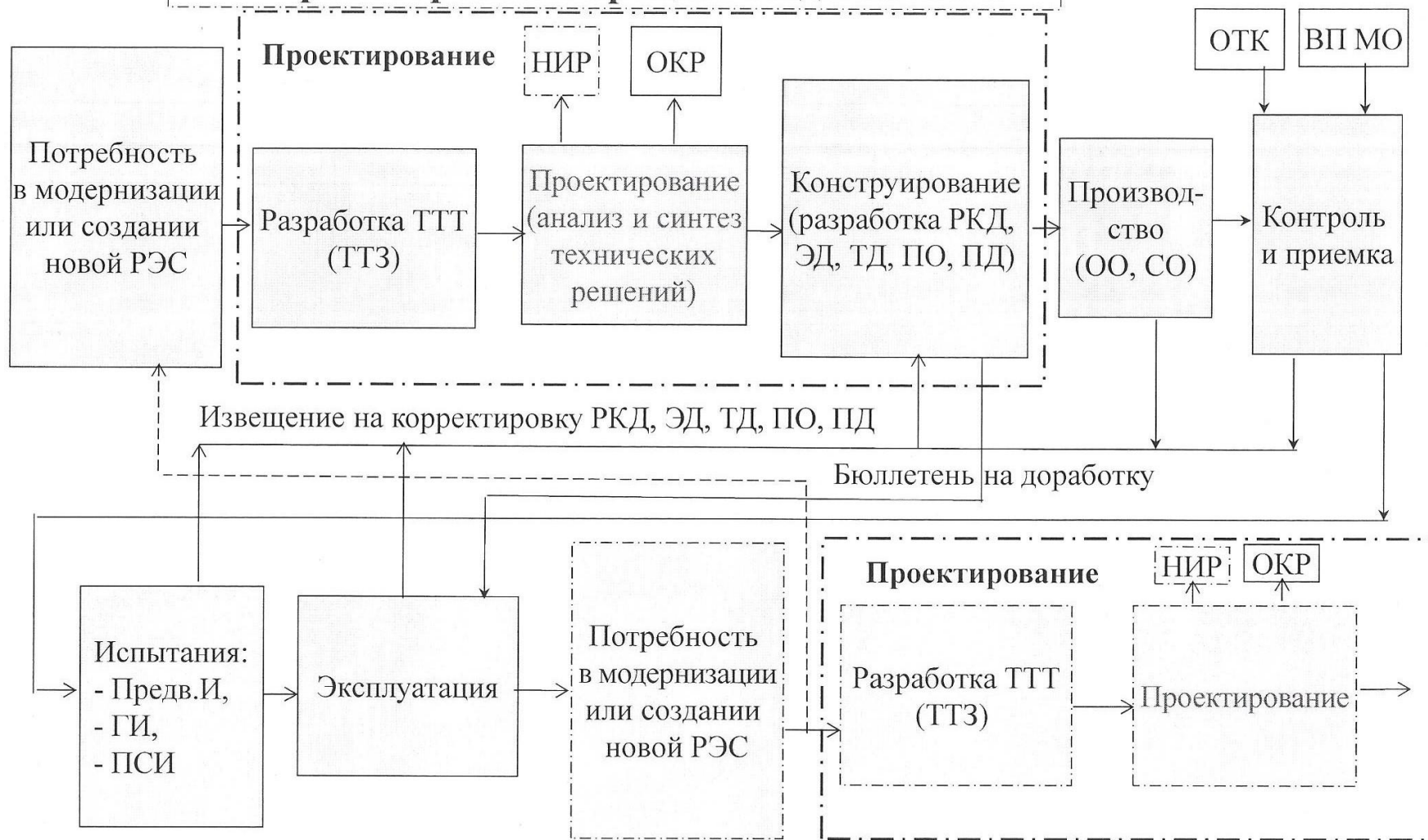


Рисунок 1.1 – Спиралеобразный процесс создания, проектирования и развития РЭС (ВП – военное представительство, ОО/СО - опытный/серийный образец, ПО/ПД - программное обеспечение/документация, ТТЗ/ТТТ – тактико-технические задание/требования, РКД – рабочая конструкторская документация, ТД/ЭД – технологическая/эксплуатационная документация, НИР/ОКР – научно-исследовательская/опытно-конструкторская работа)

5. Анализ и синтез – инструменты проектирования и разработки новых РЭС

Анализ (от греч. разложение) – исследовательская аналитическая процедура, основанная на мысленном или реальном расчленении предмета проектирования (РЭС) на составные части.

В процессе анализа реализуется высшая форма познания – абстрактно-логическая форма.

В ходе анализа приобретаются новые знания. Один из видов анализа – классификация.

Синтез (от греч. соединение) – обратная (анализу) процедура, соединение элементов в единое целое как на практике, так и в ходе познания. Синтез - это созидательная процедура - создание предмета исследований.

Анализ и синтез – единое целое. Порядок выполнения процедур анализа и синтеза при проектировании РЭС могут быть различными.

6. Схема деления проектируемой РЭС

Схема деления РЭС – конструкторский документ, показывающий состав и основных исполнителей (разработчиков) конструктивно и функционально обособленных составных частей РЭС.

В схеме деления используют три основных вида обозначения конструктивно и функционально обособленных составных частей и изделий РЭС:

- а) вновь разрабатываемые составные части и изделия (прямоугольная рамка),
- б) покупные составные части и изделия (двойная черта),
- в) заимствованные составные части и изделия (наклонная рамка).

а)

Децимальный номер
Наименование
Обозначение
Предприятие
Количество

ПИГЛ.464224.001
Передачик
Блок ПРЛ-27С-02
ООО «НПФ «Рапаз»
2

б)

ТУ или паспорт
Наименование
Обозначение
Предприятие
Количество

ЧМЗАП.000031-10 ТУ
Прицеп
ЧМЗАП-83357
АО «Уралавтоприцеп»
1

в)

Децимальный номер
Наименование
Обозначение
Предприятие
Количество

ЕУ2.964.407-01
Вентилятор
УВ-01
АО «ВНИИРА»
2

7. Основные принципы проектирования РЭС в условиях помех

На качество выполнения возложенных на РЭС функциональных задач существенно влияют помехи (шумы приемника, пассивные помехи) и различного рода возмущающие процессы как естественного, изменение температуры и т. п.), так и искусственного происхождения (помехи, наводимые по э/м полю от сторонних РЭС).

Все методы повышения качества работы РЭС в условиях помех можно разбить на три основные группы:

- 1) Методы устранения источников мешающих воздействий или подавление этих воздействий в месте их возникновения;
- 2) Методы ослабления мешающего действия различных помех непосредственно внутри РЭС;
- 3) Комбинированные методы, позволяющие устранить некоторые источники помех и ослабить действие других источников помех непосредственно в РЭС путем соответствующей обработки сигналов и помех в РЭС.

7.1. Методы ослабления внешних помех внутри РЭС:

- частотная селекция (в том числе селекция движущихся целей на фоне пассивных помех в первичных когерентных РЛС);
- применение в РЭС принципов пространственно-временной обработки (стробирование, формирование нуля ДНА в направлении на помеху, синтезирование апертуры антенны и т. п.);
- применение принципов компенсации, инвариантности и комплексирования для ослабления влияния помех;
- экранирование отдельных блоков от мешающего воздействия электрических и магнитных полей.

8. Компенсационный метод подавления помех

8.1. Принцип компенсации

Принцип компенсации основан на таком построении системы, при котором мешающее действие помех (возмущений) в одних каналах системы компенсируется действием тех же помех (возмущений) в других каналах.

Рассмотрим пример приема сигнала и помехи в АС или АР с двумя элементами 1 и 2 с заранее известных направлений, например:

- $\theta_c = 0$ – прием сигнала $S(t)$ по нормали,
- $\theta_n = \pi/6$ – прием помехи $C(t)$ под углом θ_n к нормали, например, телевизионного сигнала от городской телевизионной антенны (рисунок 8.1).

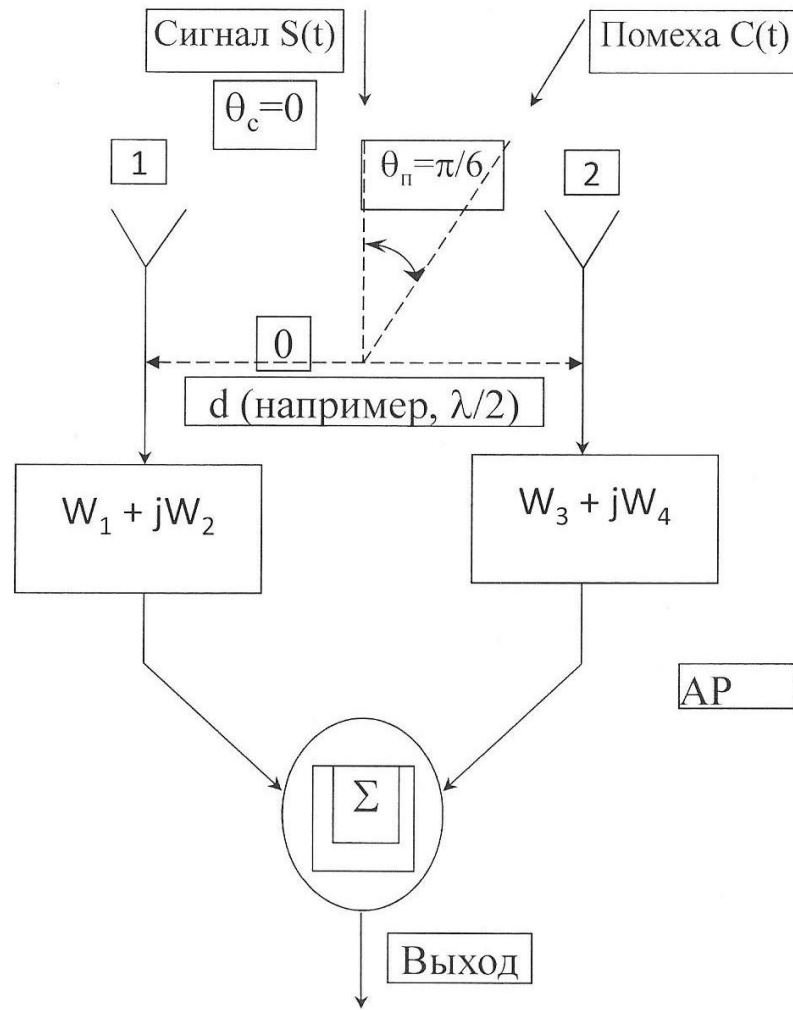


Рисунок 8.1 – Двухэлементная антенная решетка, принимающая полезный сигнал $S(t)$ с направления $\theta_c = 0$ и компенсирующая помеху $C(t)$ под углом $\theta_n = \pi/6$

^k
_k Покажем, что, используя принцип компенсации, можно подавить помехи, приходящие с направлений, отличных от направления прихода сигнала.

Как следует из рисунка 8.1, сигнал, принимаемый антенной решеткой (АР), поступает на ее входные элементы 1 и 2 в различные моменты времени, определяемые направлением прихода сигнала и относительным расположением элементов 1 и 2 решетки.

Сигнал каждого из элементов описывается комплексной огибающей и содержит компоненты полезного сигнала S (*signal*) и помехи C (*clutter*).

Выборки смеси сигнала и помехи, в « k »-е моменты времени, можно записать в виде

$$X_k = S_k + C_k, \text{ где } k=1, 2, \dots \quad (8.1)$$

Для определенности будем полагать, что полезный сигнал поступает по направлению нормали к линии, соединяющей элементы решетки, т.е. угол между нормалью и направлением на сигнал $\theta_c=0$, а помеха - под углом к нормали $\theta_n=\pi/6$.

Полагаем, что помеха и сигнал имеют одинаковую частоту f_0 , поэтому с помощью частотных фильтров они не разделяются.

Как следует из рисунка 8.1, сигналы от каждого элемента АР поступают на весовые усилители с изменяемыми комплексными коэффициентами передачи, затем суммируются, образуя выходной сигнал АР.

Рассмотрим, как, используя принцип компенсации, можно с помощью подстройки комплексных коэффициентов улучшить качество приема полезного сигнала $S_{вх}(t)$ и подавить помеху $C_{вх}(t)$,

где $S_{вх}(t) = A(t)\exp(j\omega_0 t)$, $C_{вх}(t) = N\exp(j\omega_0 t)$.

Полезный сигнал на выходе решетки определяется выражением

$$S_{вых}(t) = A(t)\exp(j\omega_0 t)[(w_1 + jw_2) + (w_3 + jw_4)], \quad (8.2)$$

где $A(t)$ – огибающая входного полезного сигнала.

Как следует из выражения (8.2), для того, чтобы выходной сигнал $S_{вых}(t)$ был равен входному

$$S_{вых}(t) = S_{вх}(t) = A(t)\exp(j\omega_0 t),$$

должно выполняться следующее условие

$$w_1 + w_3 = 1, \quad w_2 + w_4 = 0. \quad (8.3)$$

Положим далее для простоты анализа, что в точке, расположенной точно посередине между элементами решетки, полезный сигнал и помеха находятся в фазе.

Тогда по отношению к средней точке раскрыва (при $d = \lambda/2$) помеха появляется с опережением по фазе, равным $\pi/4$, в усилителе с весовым коэффициентом $(w_3 + jw_4)$ и с отставанием по фазе, равным минус $\pi/4$, в усилителе с весовым коэффициентом $(w_1 + jw_2)$.

Следовательно, помеха на выходе будет определяться выражением

$$C_{\text{вых}}(t) = N(t) \exp[j(\omega_0 t - \pi/4)](w_1 + jw_2) + N(t) \exp[j(\omega_0 t + \pi/4)](w_3 + jw_4), \quad (8.4)$$

где $N(t)$ - огибающая помехи.

Так как

$$\exp[j(\omega_0 t - \pi/4)] = (1/\sqrt{2})[\exp(j\omega_0 t)](1-j),$$

$$\exp[j(\omega_0 t + \pi/4)] = (1/\sqrt{2})[\exp(j\omega_0 t)](1+j),$$

то из (8.4) следует, что для получения на выходе решетки нулевого значения помехи необходимо, чтобы выполнялись условия

$$w_1 + w_2 + w_3 - w_4 = 0,$$

$$-w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 0. \quad (8.5)$$

Из совместного решения уравнений (8.3) и (8.15) получим требование к величинам весовых коэффициентов 1-го и 2-го каналов в виде условия

$$w_1 = 0,5; \quad w_2 = -0,5, \quad w_3 = 0,5 \quad w_4 = 0,5. \quad (8.6)$$

Таким образом, при весовых коэффициентах (8.6) АР будет обеспечивать прием полезного сигнала с одновременным подавлением помехи.

Основное преимущество принципа компенсации - для его применения достаточно весьма малой априорной информации об источниках помех (например, только информация о направлении прихода помехи).

8.2. Недостатки компенсационного метода

Компенсационным методам подавления помех присущи недостатки:

- не всегда возможно скомпенсировать мешающее воздействие, не ухудшив при этом условий прохождения на выход полезных сигналов;
- зависимость глубины подавления от частоты (ширины спектра)
- вследствие неидеальности и нестабильности характеристик каналов невозможно обеспечить полную компенсацию помехи;

Проиллюстрируем последнее утверждение.

Представим АР, изображенную на рисунке 8.1, с элементами, отражающими неидентичность (разбаланс) каналов по фазе $\Delta\varphi$ и амплитуде $K \neq 1$ (рисунок 8.2).

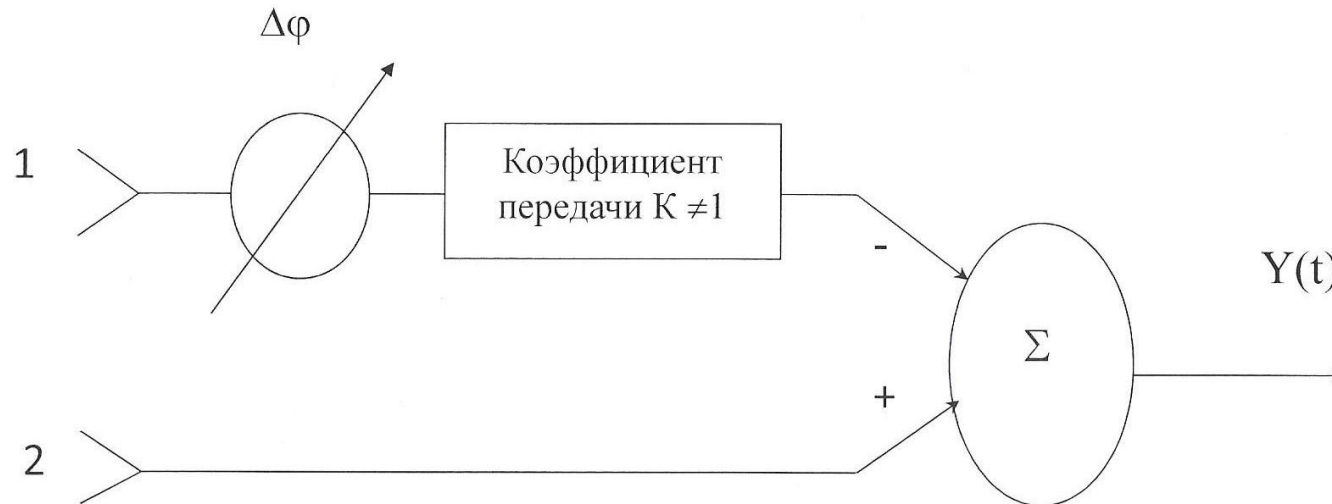


Рисунок 8.2 – Двухэлементная антенная решетка, обеспечивающая подавление помехи, с межканальным разбалансом по фазе $\Delta\varphi$ и амплитуде $K \neq 1$

Пренебрегая эффектом задержки сигнала при распространении, для единичного сигнала помехи на входе и номинальной величины коэффициента передачи каналов, равной единице, с учетом разбалансов по фазе $\Delta\varphi$ и амплитуде $K \neq 1$ между каналами выходной сигнал помехи можно представить в виде

$$Y(t) = 1 - K \exp(j\Delta\varphi). \quad (8.7)$$

Из выражения (8.7) следует, что выходная мощность остатков помехи вследствие наличия разбалансов по фазе и амплитуде определяется выражением

$$P_{\Pi \text{ Вых}} = Y(t)Y(t)^* = [1 - K \exp(j\Delta\varphi)][1 - K \exp(-j\Delta\varphi)] = 1 + K^2 - 2K \cos \Delta\varphi. \quad (8.8)$$

Как следует из выражения (8.8), при отсутствии разбалансов по фазе и амплитуде ($\Delta\varphi=0$ и $K=1$) обеспечивается полное подавление помехи на выходе АР

$$P_{\Pi \text{ Вых}} = 0.$$

Можно убедиться, воспользовавшись уравнением (8.8), что для подавления помехи на 25 дБ рассогласование каналов не должно превышать 0,5 дБ по амплитуде (когда $\Delta\varphi=0$) или ~ 3 градуса по фазе (когда $K=1$).

При создании АР обеспечение указанных требований по фазовой и амплитудной стабильности является достаточно сложной инженерной задачей.

Поэтому полного подавления помехи достичь сложно.