

## Лекция 14.

## АНТЕННЫЕ РЕШЁТКИ

*Антенные решётки, их разновидности и характеристики. Взаимная связь элементов антенных решёток.*

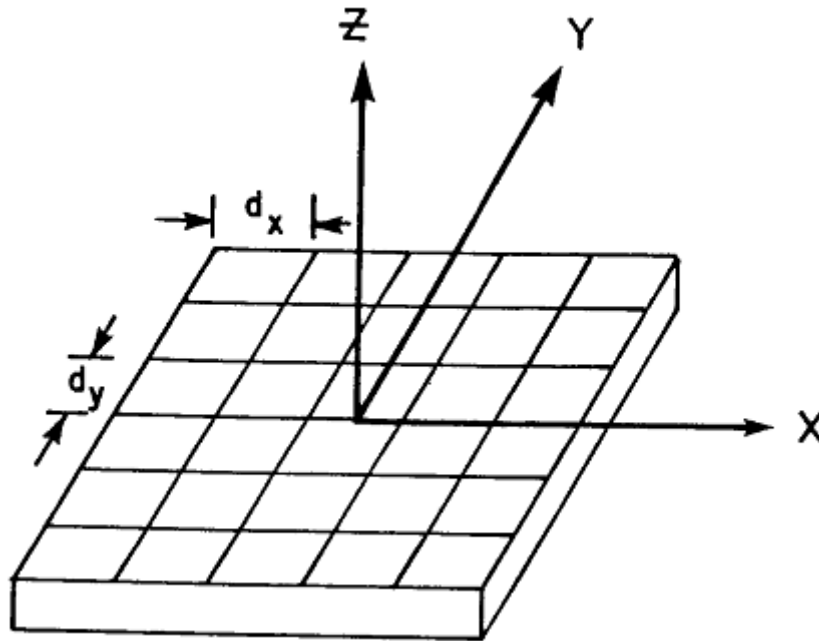


Рис. 14.1. Антенная решётка с элементами в узлах прямоугольной сетки.

Диаграмма направленности плоской равномерно возбуждённой антенной решётки с одинаковыми элементами в узлах прямоугольной сетки, в соответствии с теоремой о перемножении, может быть представлена в виде:

$$F(\vartheta, \varphi) = F_{el}(\vartheta, \varphi) \frac{\sin \Psi_x}{N \sin(\Psi_x/N)} \frac{\sin \Psi_y}{M \sin(\Psi_y/M)};$$

$$\Psi_x = 0.5Nkd_x (\sin \vartheta \cos \varphi - \xi_x);$$

$$\Psi_y = 0.5Mkd_y (\sin \vartheta \sin \varphi - \xi_y);$$
(14.1)

Множитель решётки - периодическая функция с периодами  $N\pi$  по  $\Psi_x$  и  $M\pi$  по  $\Psi_y$ . Область видимости двумерной решётки:

$$\left( \frac{2\Psi_x}{Nkd_x} + \xi_x \right)^2 + \left( \frac{2\Psi_y}{Mkd_y} + \xi_y \right)^2 \leq 1$$

Условие отсутствия побочных максимумов в рабочем секторе углов (при достаточно большом числе элементов решётки) :

$$\max \left( \frac{d_y}{\lambda}, \frac{d_x}{\lambda} \right) \leq \frac{1}{1 + |\cos \vartheta_{\max}|}; \quad (14.2)$$

Здесь  $\vartheta_{\max}$  - наибольший угол отклонения луча от синфазного направления, определяющий размер углового рабочего сектора. Чтобы избежать потерь энергии на побочные максимумы вне рабочей зоны нужно, чтобы побочные максимумы подавлялись диаграммой направленности одного элемента решётки.

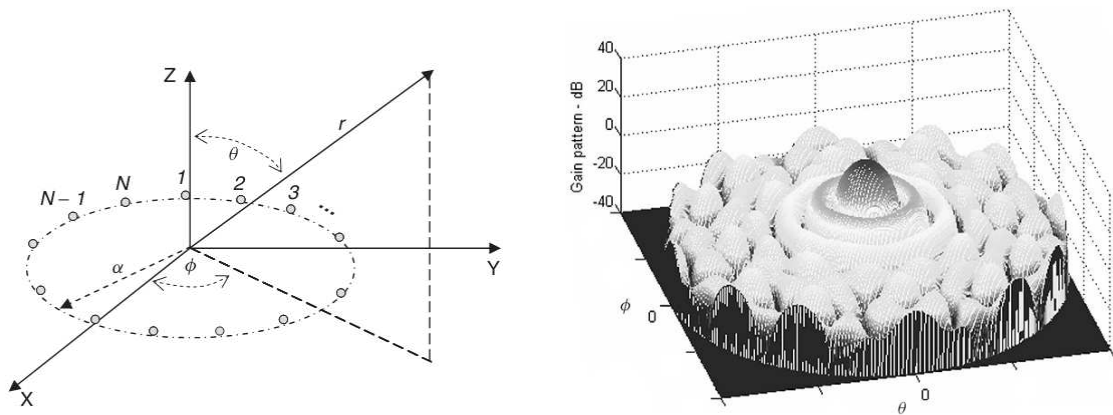


Рис. 14.2. Кольцевая синфазная антенная решётка и её диаграмма направленности

#### 14.1. Антенные решётки с управлением по фазе и по амплитуде

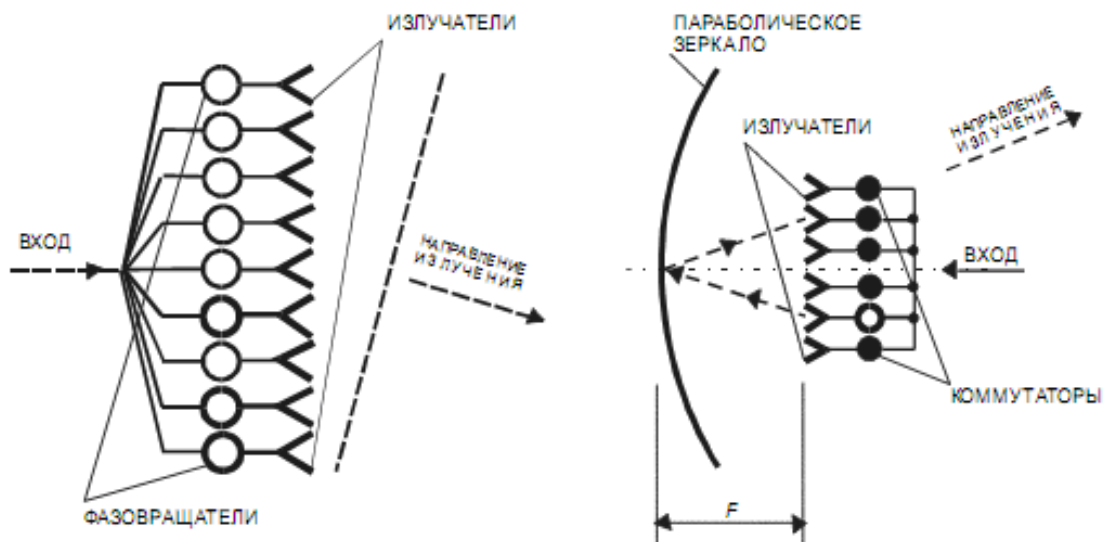


Рис.14.3 Направление луча управляется по фазе (слева) и по амплитуде (справа)

## 14.2 Пассивные и активные ФАР (АФАР).

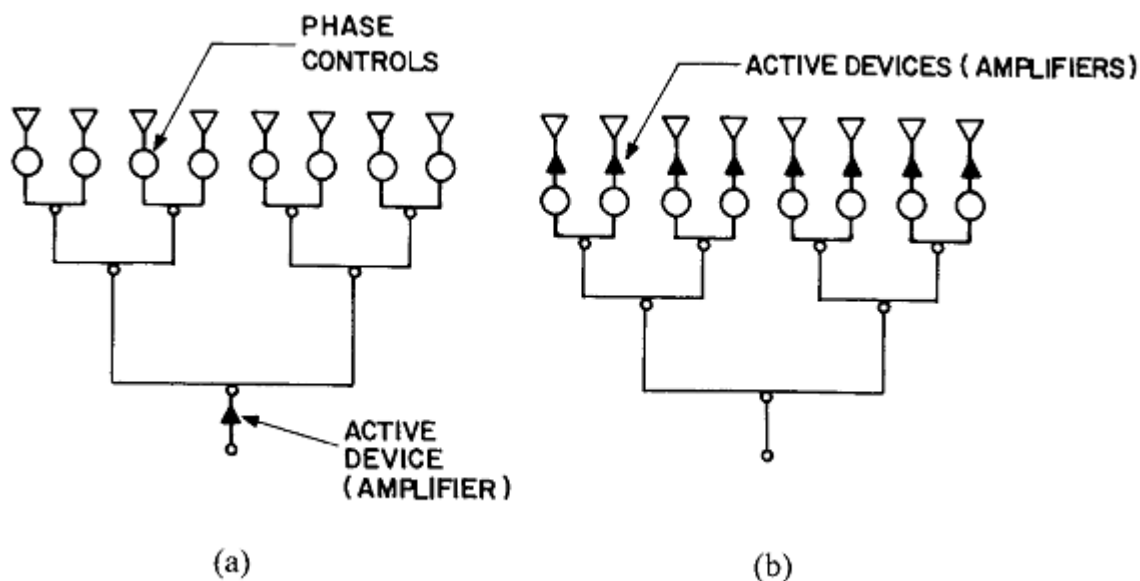


Рис.14.4 .Пассивная ФАР (a) и АФАР (b).

Минимальное число активных элементов решётки:  $N_{упр} = \frac{\Omega}{4\pi} KУ$ ,  $\Omega$  - величина телесного угла зоны управления, КУ – коэффициент усиления решётки.

## 14.3. Антенные решётки с параллельным питанием

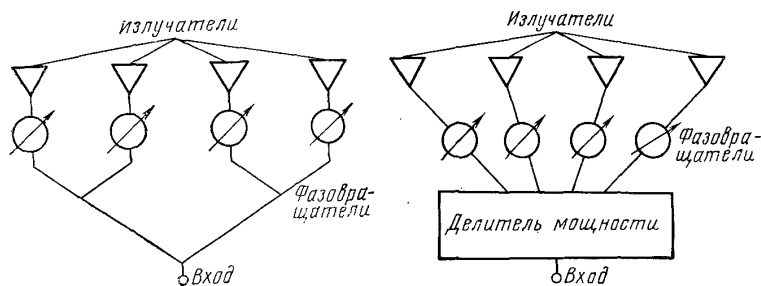
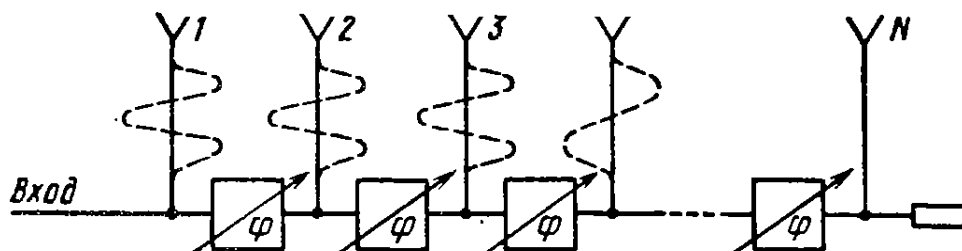


Рис. 14.5. Варианты параллельного питания элементов решётки

## 14.4. Антенные решётки с последовательным питанием



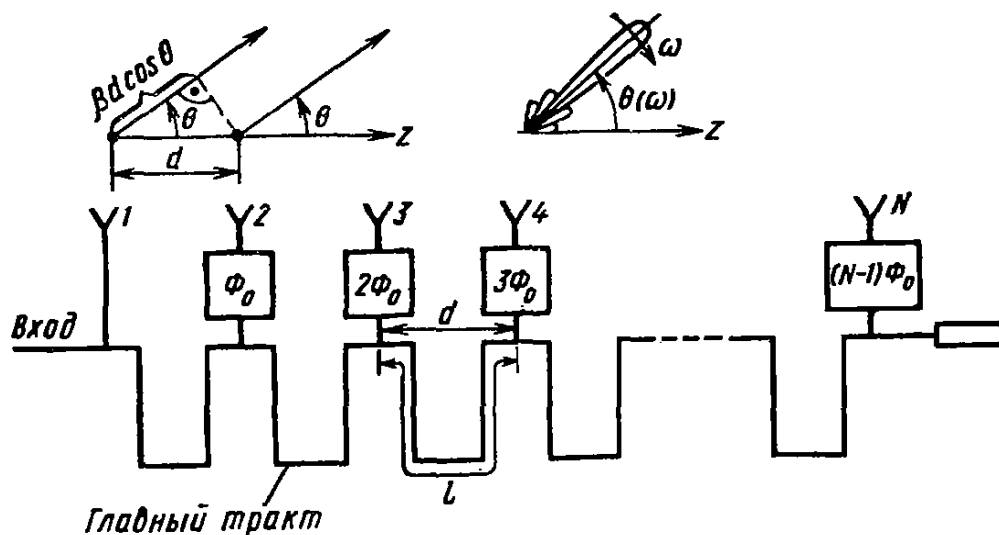


Рис.14.6. Варианты размещения фазовращателей в решётке с последовательным питанием

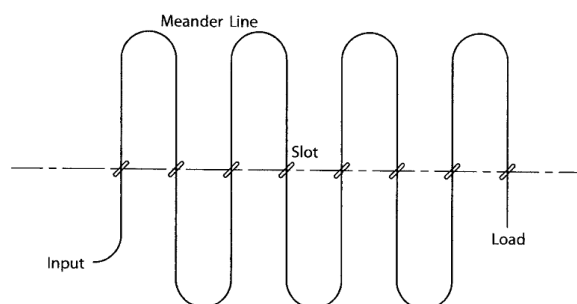


Рис.14.7. Антенная решётка с частотным сканированием направления луча

#### 14.5. Антенные решётки с последовательно-параллельным питанием

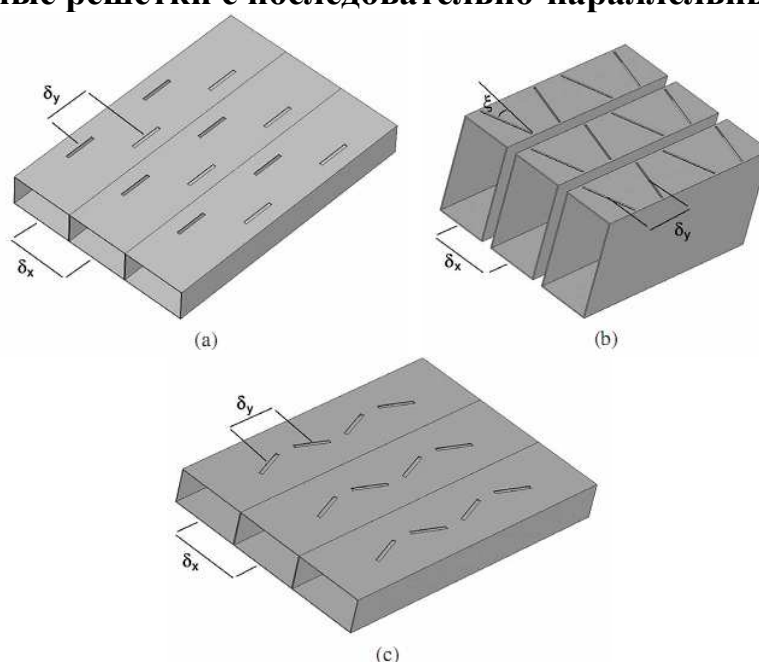


Рис. 14.8. Варианты конструкций последовательно-параллельных волноводно-щелевых решёток

#### 14.6. Антенные решётки с питанием квазиоптического типа

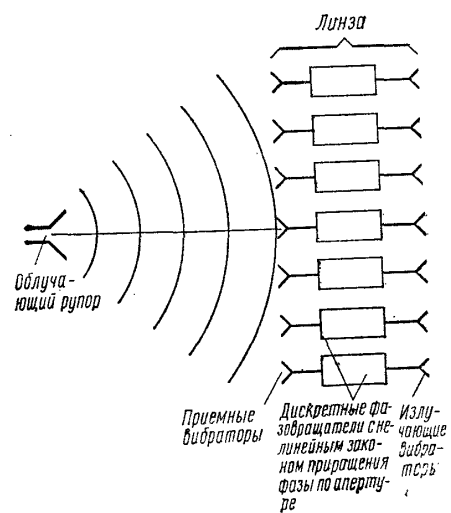


Рис. 14.9. Схема решётки с оптическим питанием проходного типа

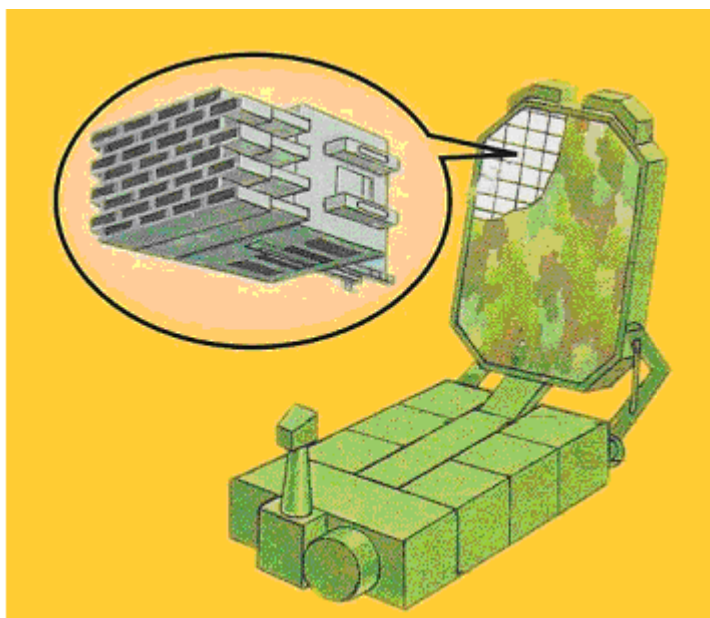


Рис.14.10. Решётка с оптическим питанием отражательного типа



Рис.14.11 Она же на танке



Рис. 14.12 ФАР противоракетной системы «Patriot@/



Рис. 14.13. ФАР дальнего обнаружения ракетного нападения.

### 14.7. Многолучевые антенные решётки

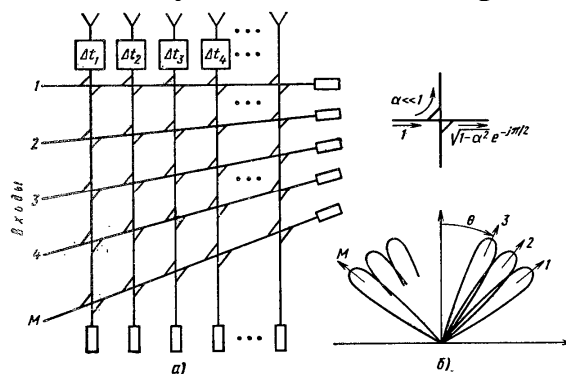


Рис.14.14 Многолучевая антенная решётка с питанием по схеме Бласса.

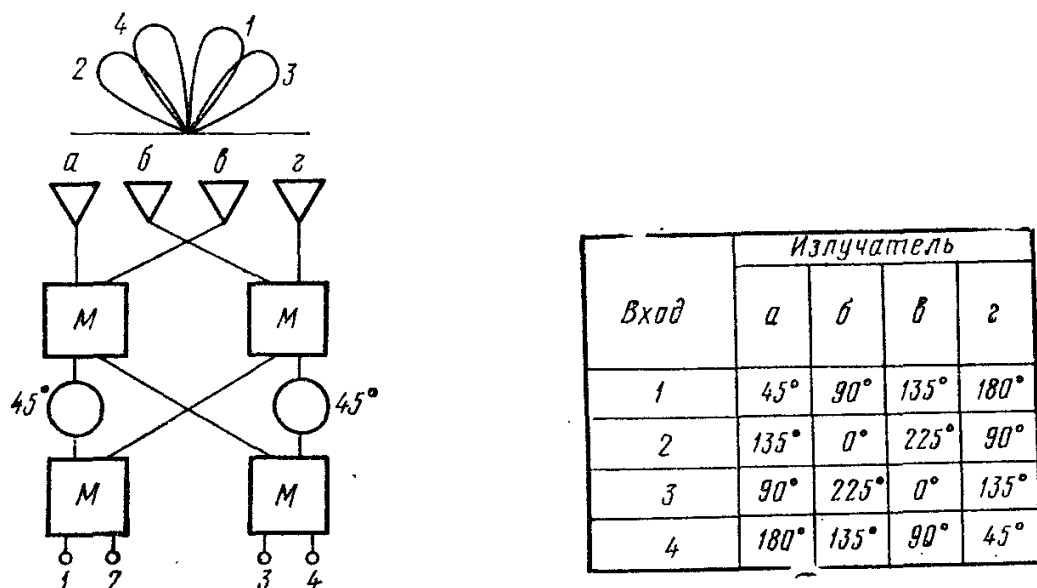


Рис. 14.15. 4-лучевая решётка с питанием по схеме Батлера.

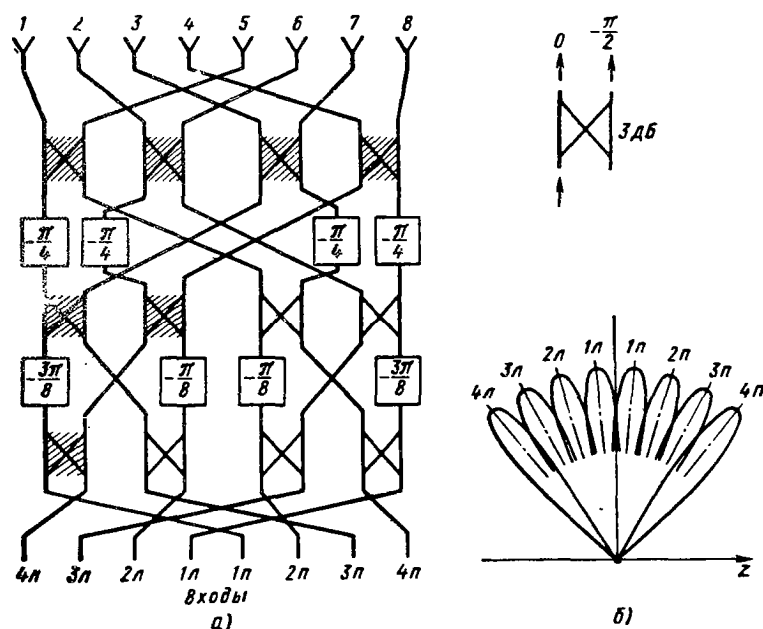


Рис. 14.16. 8-лучевая решётка с питанием по схеме Батлера.

#### 14.8 Обеспечение широкополосности решёток

$$F(\vartheta) = \frac{\sin \psi}{N \sin(\psi/N)}; \quad \sin \vartheta_{\max} = \Delta\Phi/kd = \omega\Delta t/kd$$

$$\psi = 0.5N(kd \sin \vartheta - \Delta\Phi) = 0.5N(kd \sin \vartheta - \omega\Delta t)$$

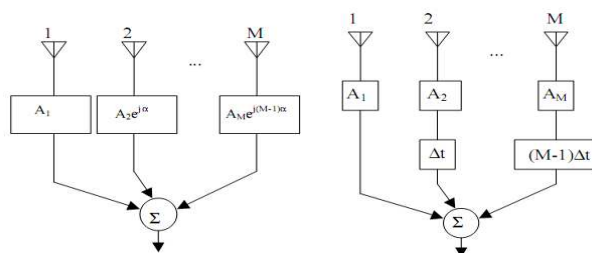


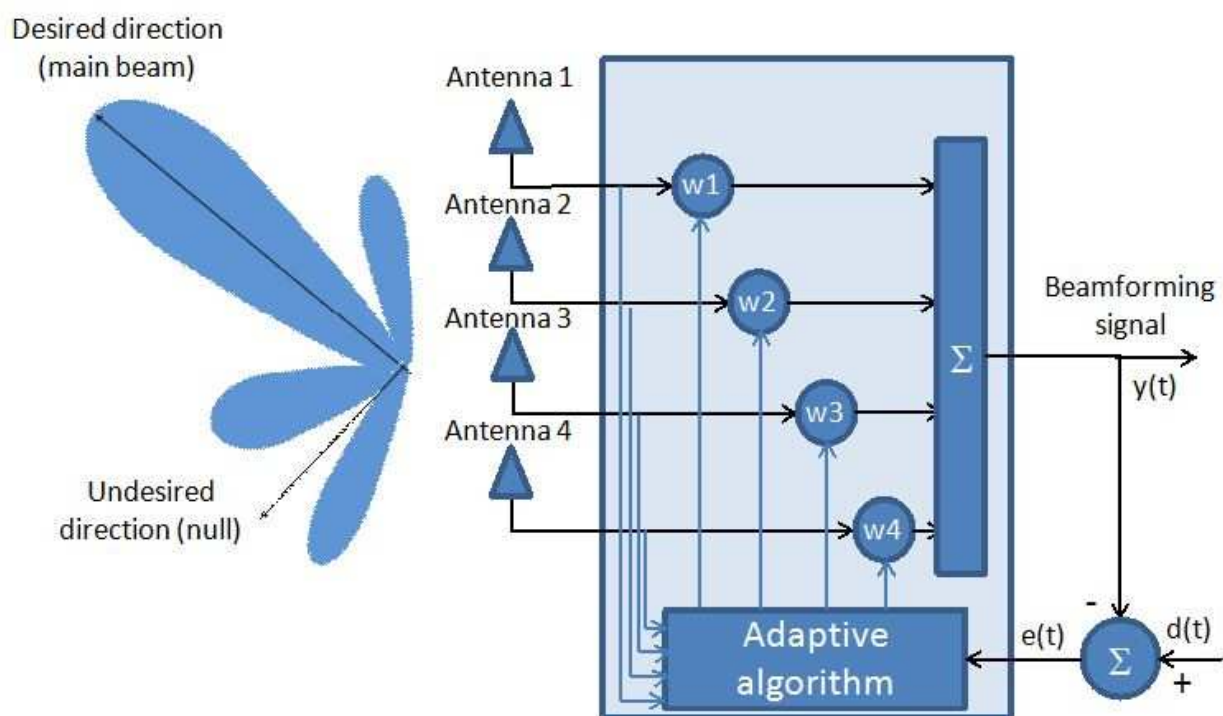
Рис. 14.17. Решетки с фазовым и временным управлением лучами.



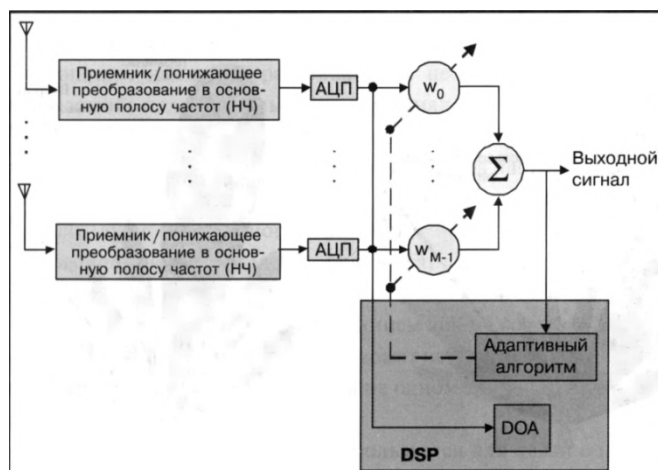


Рис. 14.18. Широкополосная радиоастрономическая решётка с управляемой задержкой сигнала

### 14.9. Адаптивные антенные решётки







**DOA**      **Направление на источник излучения**  
**DSP**      **Цифровой сигнальный процессор**

Рис. 14.19. Схемы адаптивной антенной решётки.

Показанная антенная решётка работает в приёмном режиме. На выходе каждого элемента принимается полезный сигнал и помеха. Антенна должна различить сигнал и помеху и сформировать нуль диаграммы направленности в направлении помехи. На вход устройства адаптации слева от каждого элемента решётки поступает сложный сигнал, состоящий из полезного сигнала и помехи. Предполагается, что известны параметры полезного сигнала такие, по которым можно выделить из сложного сигнала помеху. По амплитуде и разности фаз сигналов помехи, принимаемой разными элементами, можно определить направление прихода помехи и сформировать в этом направлении противофазный сигнал, с помощью которого скорректировать амплитудно-фазовое распределение на элементах решётки. Из общего выходного сигнала выделяется остаточная помеха и подаётся справа на устройство адаптации. По этому сигналу происходит корректировка параметров управляющих сигналов, подающихся на отдельные элементы решётки с устройства адаптации на его верхние выходы. Эта схема позволяет следить за изменениями параметров помехи.

Приведём схему ещё одной антенной решётки, которая может ретранслировать сигнал обратно в направлении прихода сигнала. Эта решётка (Ван Атта) устроена наподобие углового отражателя.

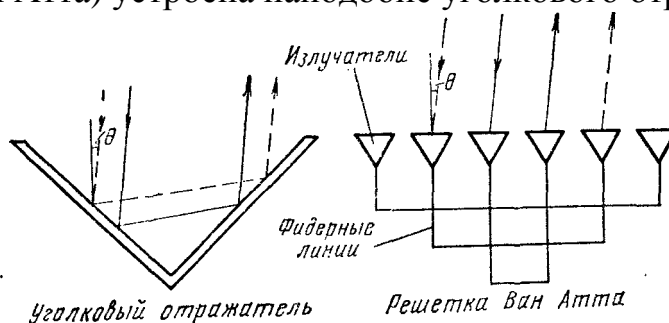


Рис.14.20. Угловой отражатель и решётка Ван Атта возвращают сигнал в том же направлении, откуда он пришёл.

## 14.10. Цифровые антенные решётки

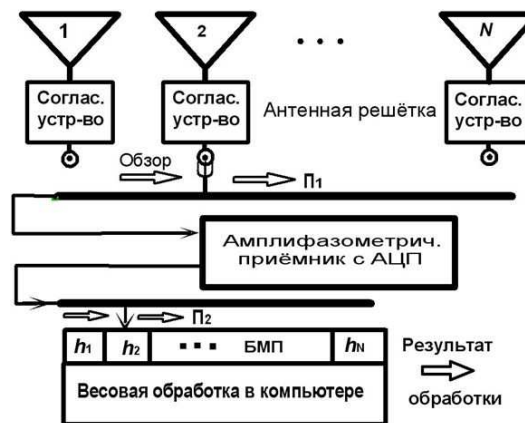


Рис. 14.21 Схема цифровой антенной решётки

Цифровая антенная решётка может быть сделана существенно более эффективной, чем аналоговая.

## 14.11 Взаимная связь элементов в антенных решётках

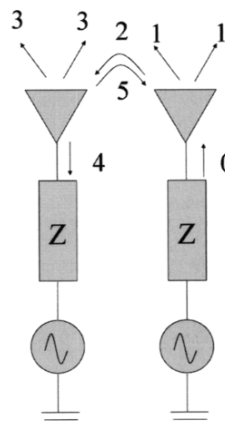


Рис.14.22 Взаимная связь двух элементов антенной решётки в режиме передачи

Взаимная связь элементов антенной решётки может быть охарактеризована матрицей взаимных сопротивлений элементов.

$$U_m = \sum_{n=1}^N Z_{nm} I_n; \quad m = 1, \dots, N$$

Взаимная связь отсутствует, если матрица  $Z$  - диагональная.

В антенной решётке стараются уменьшить влияние взаимной связи. Взаимная связь может приводить в антенной решётке к эффекту "ослепления", когда при излучении в некотором направлении излучённая решёткой волна либо полностью отражается, либо превращается в поверхностную, и, следовательно, антенна в данном направлении излучать и принимать полезные сигналы не может.

Уменьшению взаимного влияния элементов антенной решётки способствует увеличение расстояния между элементами. Применяются и другие методы: элементы экранируют друг от друга, между ними располагают специальные развязывающие структуры.

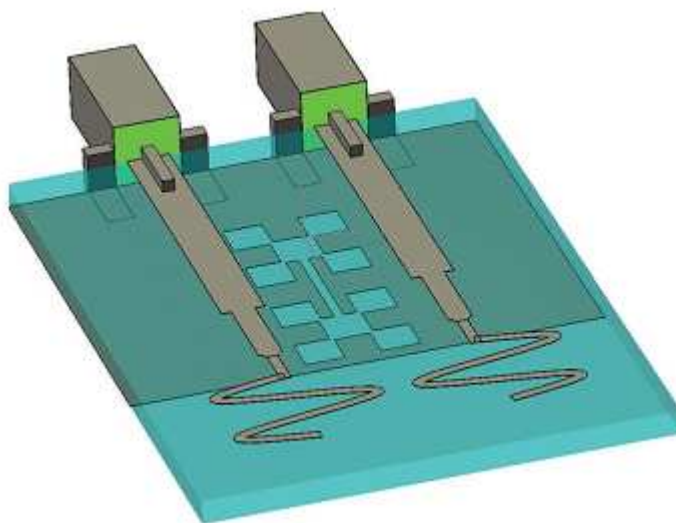


Рис. 14.23. Пример способа уменьшения взаимной связи элементов решётки