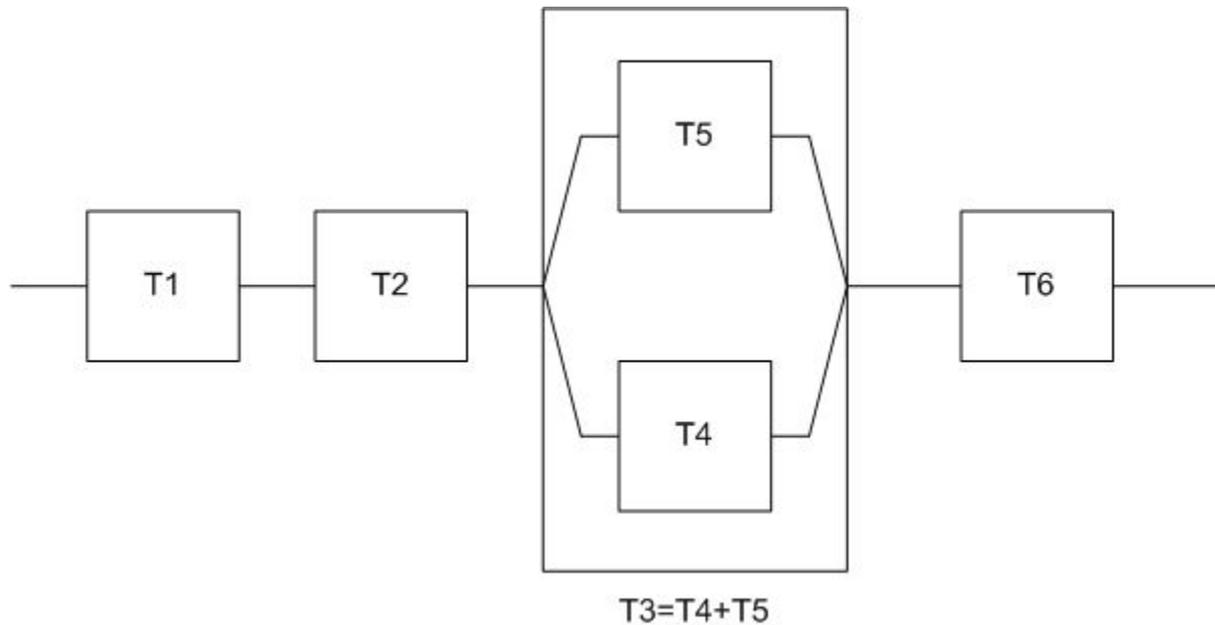


Структура курса

- Введение
 - Фазированные антенные решетки и их назначение
- Теория ФАР
 - Основные характеристики ФАР
 - Диаграммоформирование в ФАР
- Техника ФАР
 - Схемы возбуждения ФАР
 - **Принципы конструирования ФАР**
 - надежность ФАР
 - принципы управления ФАР
 - Калибровка и контроль ФАР

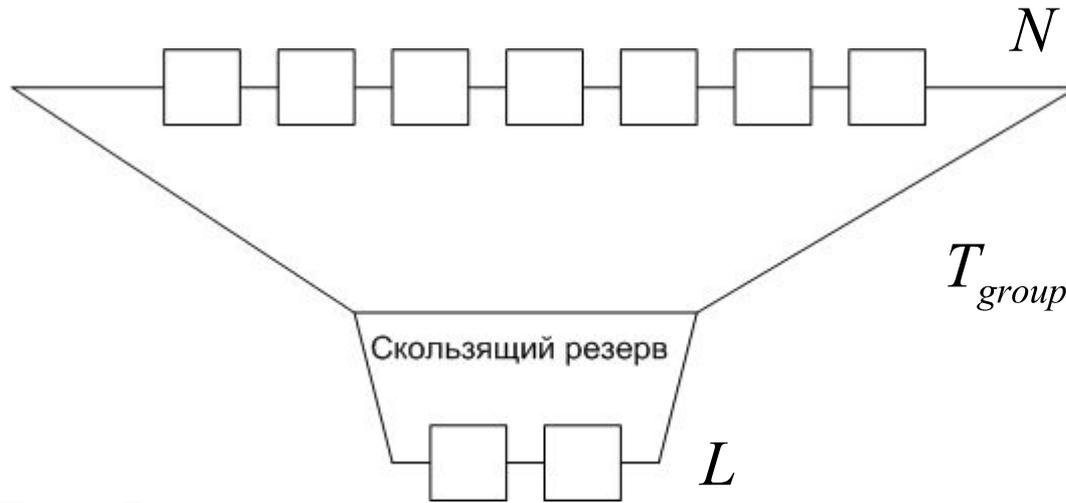


Надежность сложной системы



$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T1+T2+T3+T6}$$

Надежность ФАР



$$T_{group} = \frac{T}{N}$$

$$T_{all} = T_{group} L$$

$$T = T_0 \sum_{i=0}^L \frac{1}{N+i}$$

К вопросу о количестве элементов в резерве

$$G = 4\pi \frac{S}{\lambda^2}$$
$$\Delta S = \frac{S}{10}$$

$\Delta G = 0.5dB$

К вопросу о количестве элементов в резерве

$$G = 4\pi \frac{S}{\lambda^2}$$
$$\Delta S = \frac{S}{10}$$

$\Delta G = 0.5dB$

$\Delta PG = 1.0dB$

Надежность ФАР в отношении к надежности канала

$$T_{PAA} = T_{chan} \sum_{i=0}^{l-n} \frac{1}{n+i}$$

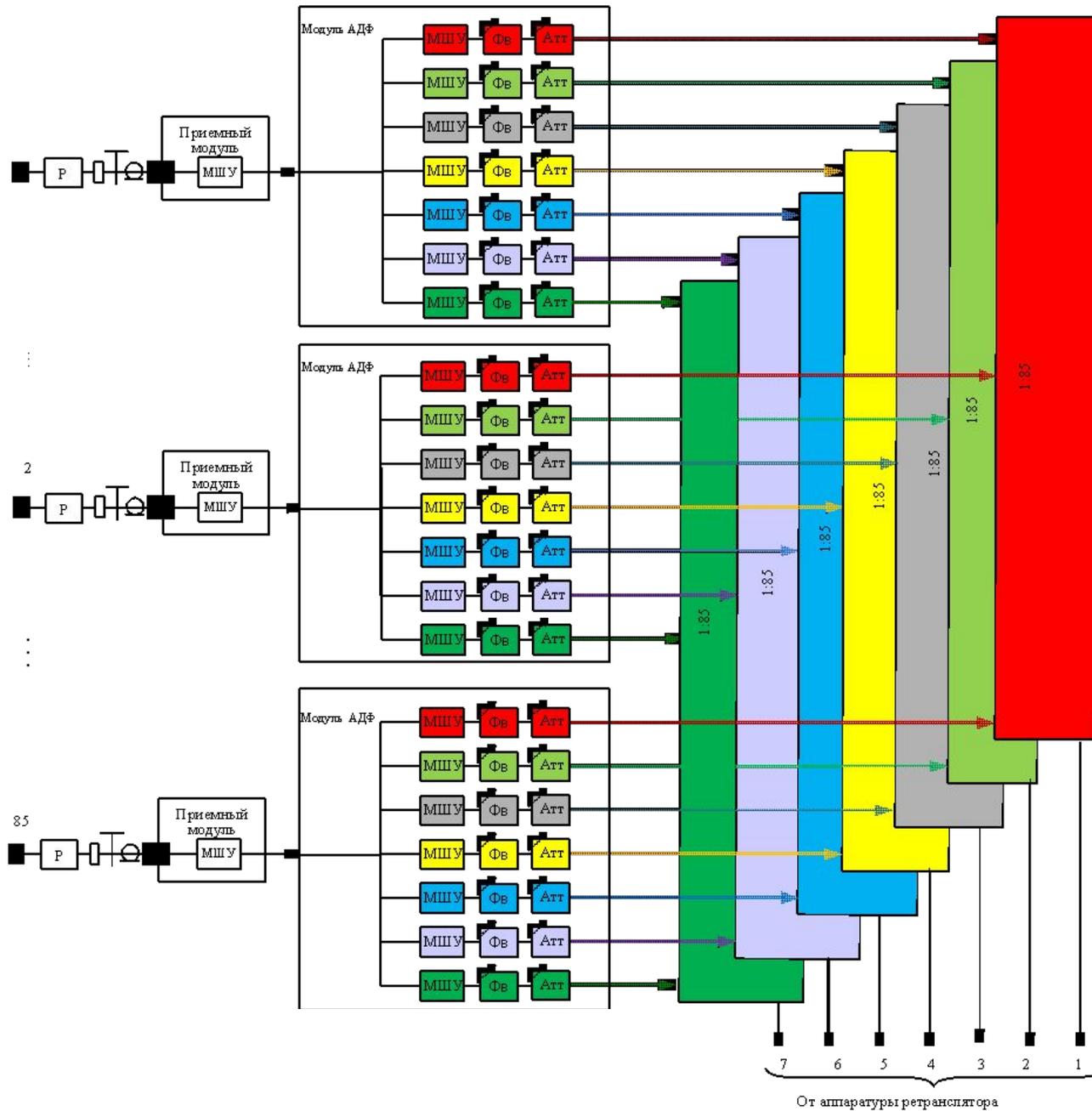
n – основные элементы за исключением резерва

l – все элементы с резервом

$l-n$ – резервные элементы

$$T_{PAA} = \frac{T_{chan}}{10} \quad (\text{при отсутствии обслуживания})$$

К надежности многолучевой антенны



Методы повышения надежности ФАР

- Повышение надежности элементов
- Интегральное резервирование аппаратуры
 - В том числе резервирование лучей в МЛА ФАР
- **Периодическое обслуживание**

Повышение надежности элементов

Повышение надежности всех элементов вдвое – повышение надежности ФАР вдвое

- Непосредственное резервирование каждого канала
- Поиск узких мест и адресная борьба за надежность
- Обеспечение щадящих условий работы.
- Использование современных технологий

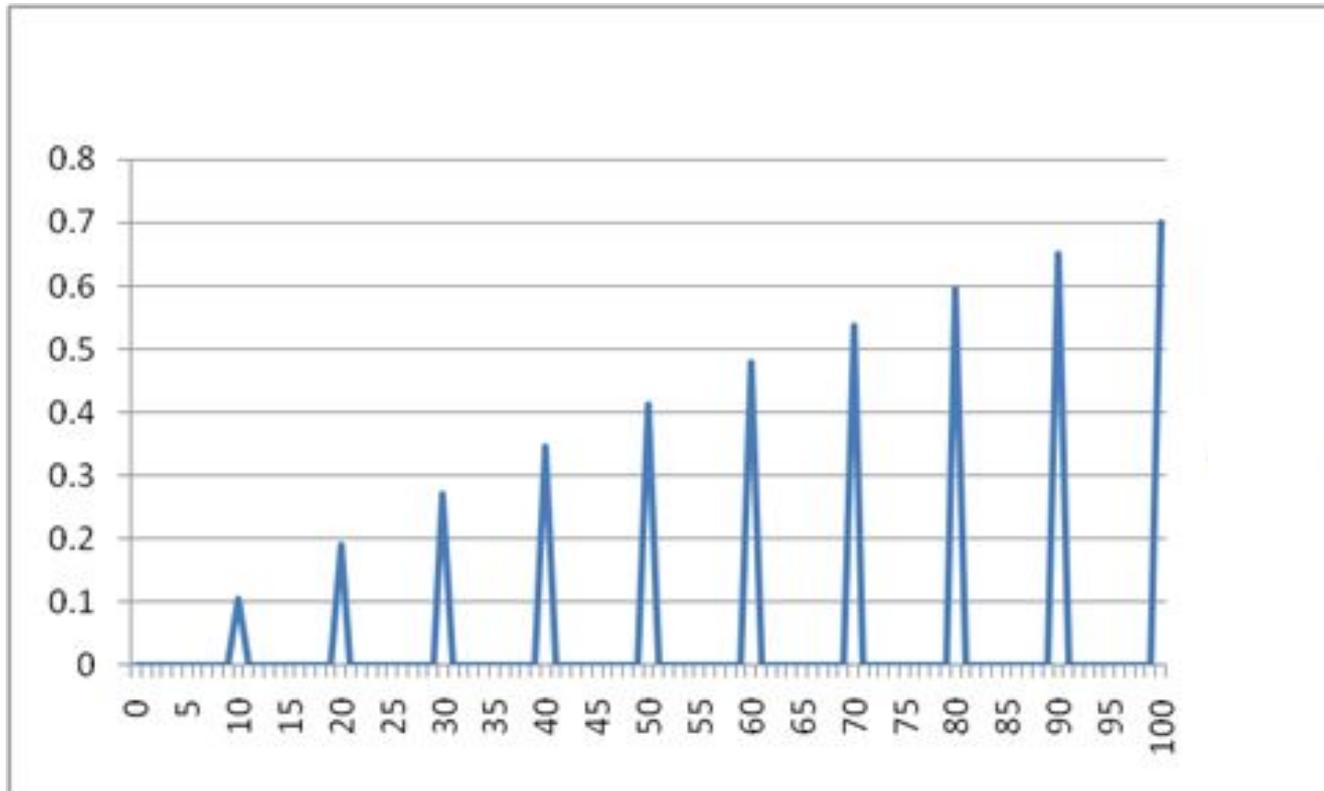
Интегральное резервирование аппаратуры

- Повышение резерва вдвое (до 20 %) дает выигрыш в надежности вдвое
- Повышение резерва в десять раз (до 100 %) дает выигрыш в надежности на порядок
- Удвоение числа каналов сравнивает надежность ФАР и надежность канала

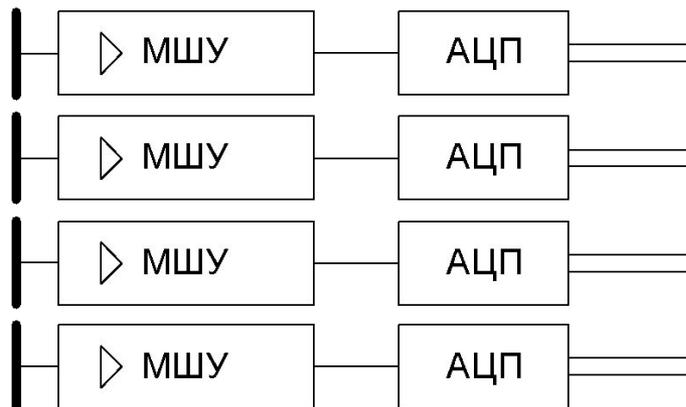
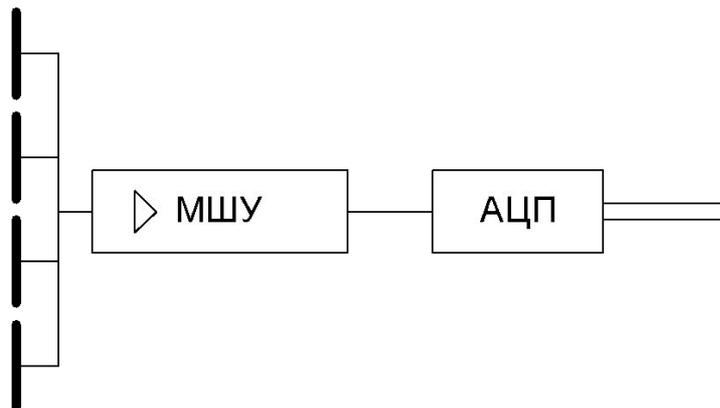
(реально цифры меньше)

Все сказанное касается резервирования лучей

Зависимость надежности антенны от числа резервных элементов



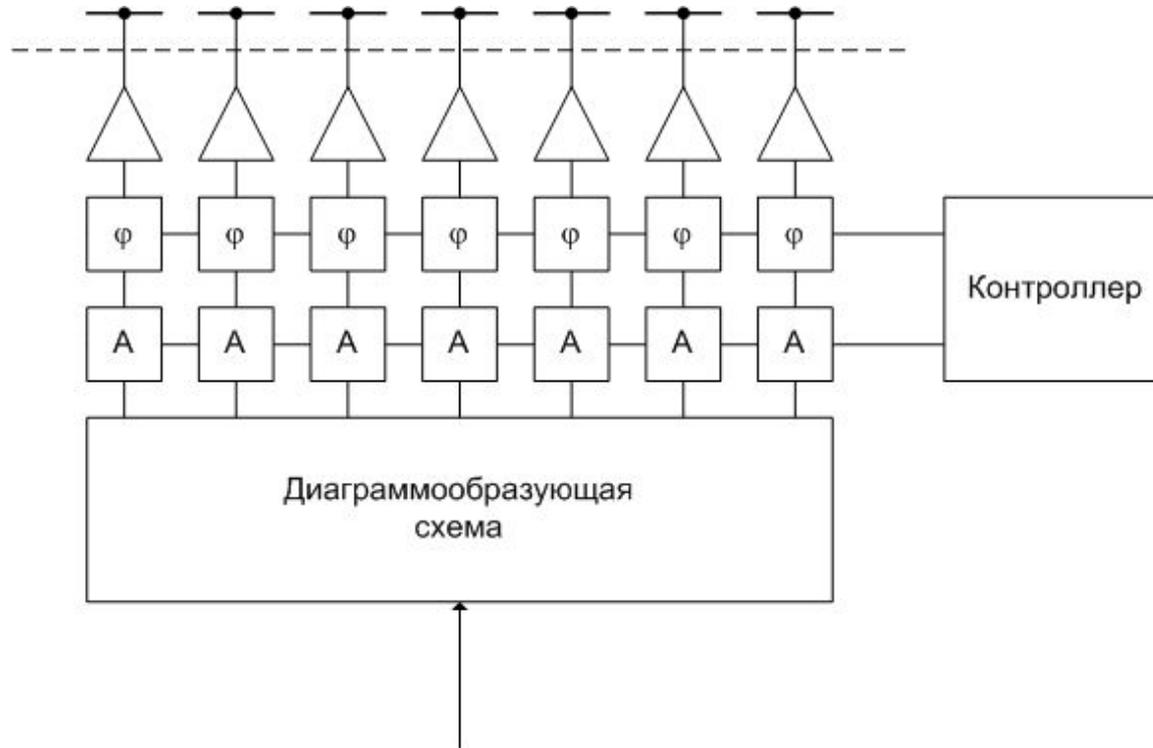
Увеличение количества каналов



Своевременное обслуживание

- При наработке на отказ один год, ежемесячно выходит из строя один процент элементов
- Регулярный ремонт практически исключает полный выход из строя ФАР между ремонтами

Типовая схема передающей ФАР



Основное соотношение управления ФАР

$$\Delta\varphi_i = \frac{2\pi}{\lambda} (ux_i + vy_i + wz_i) + \varphi_i^0 + \varphi_i^{wide}$$

λ - длина волны

x, y, z - координаты элемента (обычно две)

u, v, w - направляющие косинусы (обычно два)

φ_i^0 - начальная фаза канала

φ_i^{wide} - маска управления формой ДН (расширения луча)

Описание параметров алгоритма

- **Координаты**
 - определяются «по чертежу»,
 - прошиваются в энергонезависимую память антенны
- **Длина волны**
 - определяется по ТЗ
 - Прошивается в энергонезависимую память антенны
 - Передается как номер частотной точки
- **Начальная фаза**
 - определяется при калибровке
 - Прошивается в энергонезависимую память антенны
- **Маска управления формой луча**
 - Предвычисляется при проектировании антенны
 - Несколько наборов прошиваются в энергонезависимую память
 - Передается как номер расширения
- **Направляющие косинусы**
 - Передаются как параметр от внешнего управляющего устройства

Расчет фазовых состояний в целых числах

$$\Delta\varphi_i = \frac{2\pi}{\lambda} (ux_i + vy_i + L_i^0) \quad \xrightarrow{\text{Нормировка к } \lambda} \quad \Delta\varphi_i = 2\pi (u\tilde{x}_i + v\tilde{y}_i + \tilde{L}_i^0)$$

$$n_i = \text{round}\left(\frac{\partial\varphi_i N}{2\pi}\right) \quad \text{- номер состояния фазовращателя}$$

тогда
$$n_i = \text{round}\left(N(u\tilde{x}_i + v\tilde{y}_i + \tilde{L}_i^0)\right)$$

переход к целым числам $\hat{u} = 2^{15}u \quad \hat{x} = 2^8\tilde{x} \quad N = 2^k$

$$n_i = \frac{2^k}{2^{8+15}} (\hat{u}\hat{x}_i + \hat{v}\hat{y}_i) \quad \text{округление автоматически}$$

Два 16-разрядных умножения, 32-разрядное умножение, сдвиг

Для учета начальной фазы и расширения – 16-разрядные сложения

Бюджет памяти для констант диаграммоформирования

- На один канал:
 - На одну частотную точку:
 - Координаты – $2 \cdot 16$
 - Начальная фаза $1 \cdot 16$ (иногда больше)
 - На один тип расширения
 - Константа расширения $1 \cdot 16$

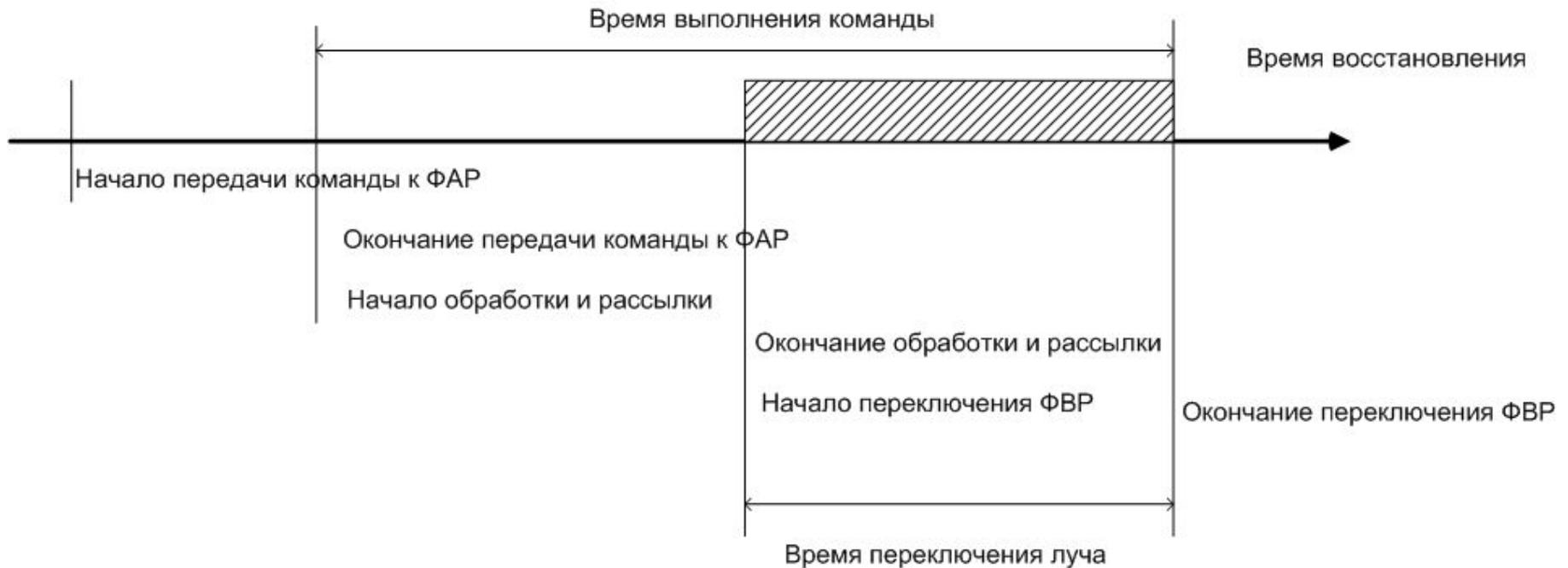
итого 6-8 байт на канал и частотную точку
Для крупной сложной антенны - мегабайты

Бюджет пропускной способности каналов управления ФАР

- На один канал: 1 байт (10 бит).
- На 1000 каналов: 1 кБайт (10 кБит)
- На 1000 герц: 1 мБайт/с (10 мБит/с)

Необходимо распределение ресурсов

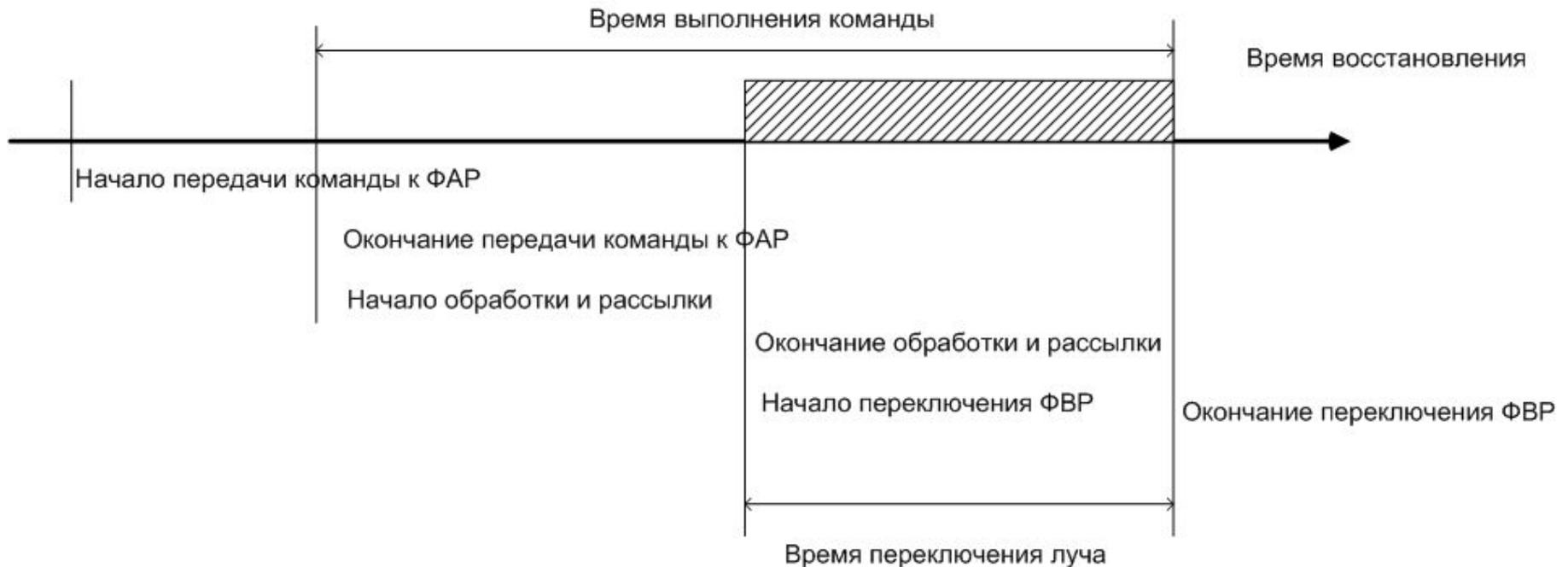
Временная диаграмма выполнения команды установки луча



Требования, которые надо оговорить в ТЗ

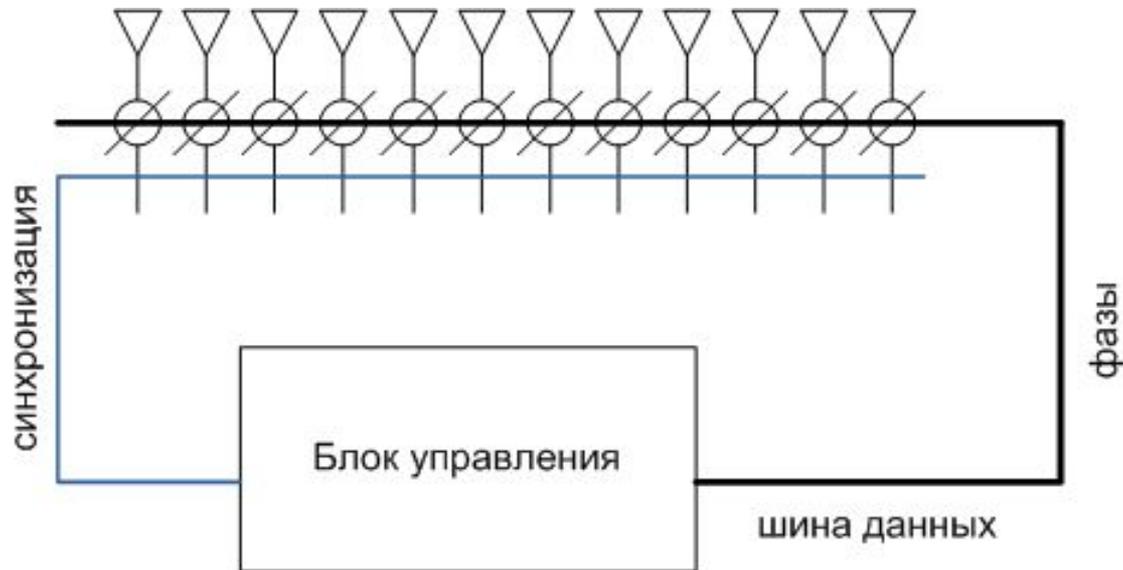
- Время установки луча
- Время выполнения команды
- Темп (максимальная частота) выдачи команд
- (опционально) время до начала установки луча

Временная диаграмма выполнения команды установки луча



Архитектура системы управления ФАР

Малоэлементная ФАР



Преимущество – минимальное количество соединений

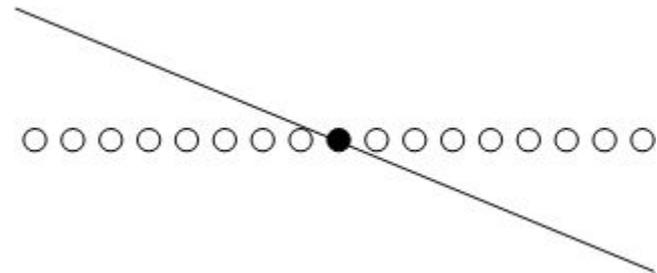
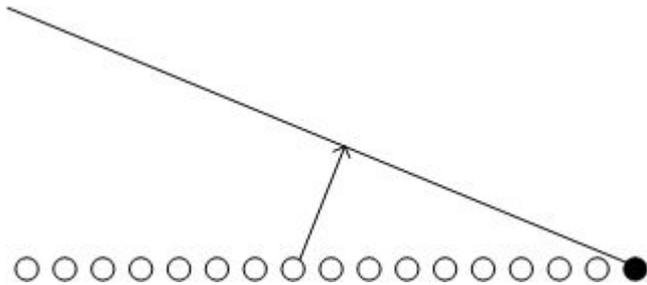
Недостаток – максимальное время обмена

Синхронное или последовательное переключение

Синхронное	Последовательное
Все фазовращатели переключаются одновременно	Фазовращатели переключаются один за другим
На время переключения антенна слепнет	На время переключения характеристики деградируют незначительно
Время переключения минимально. Может применяться спец. команда с минимальной задержкой выполнения	Время переключения достаточно велико
М.б применим для локаторов	М.б применим для связных систем

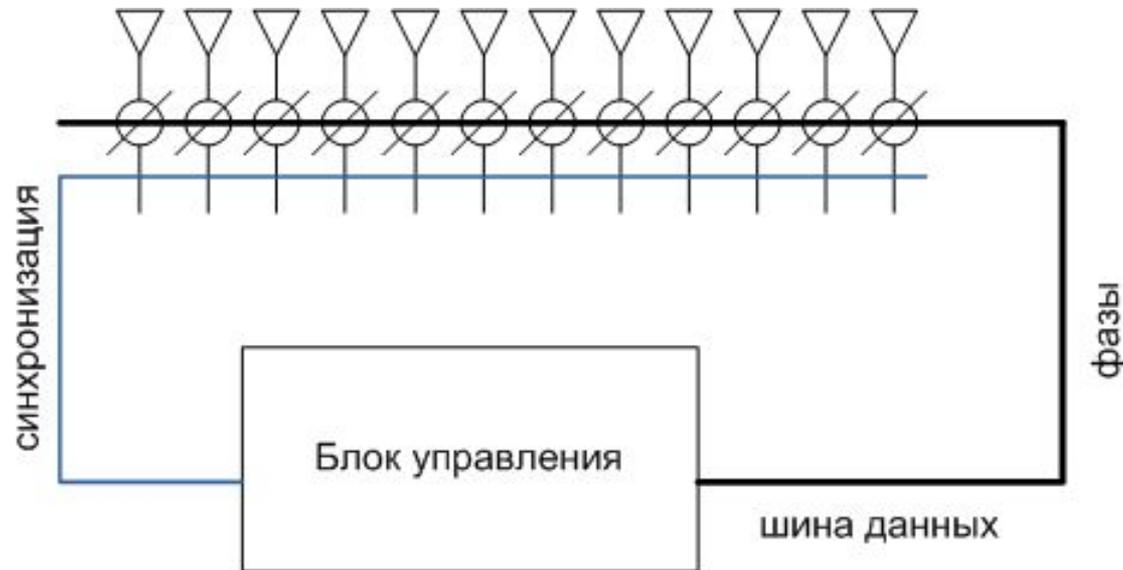
Меры защиты данных при переключении луча

- Переключение только тех каналов, в которых сменилась фаза
- Последовательное переключение каналов
- Правильный выбор начала координат для элементов.



Архитектура системы управления ФАР

Малоэлементная ФАР

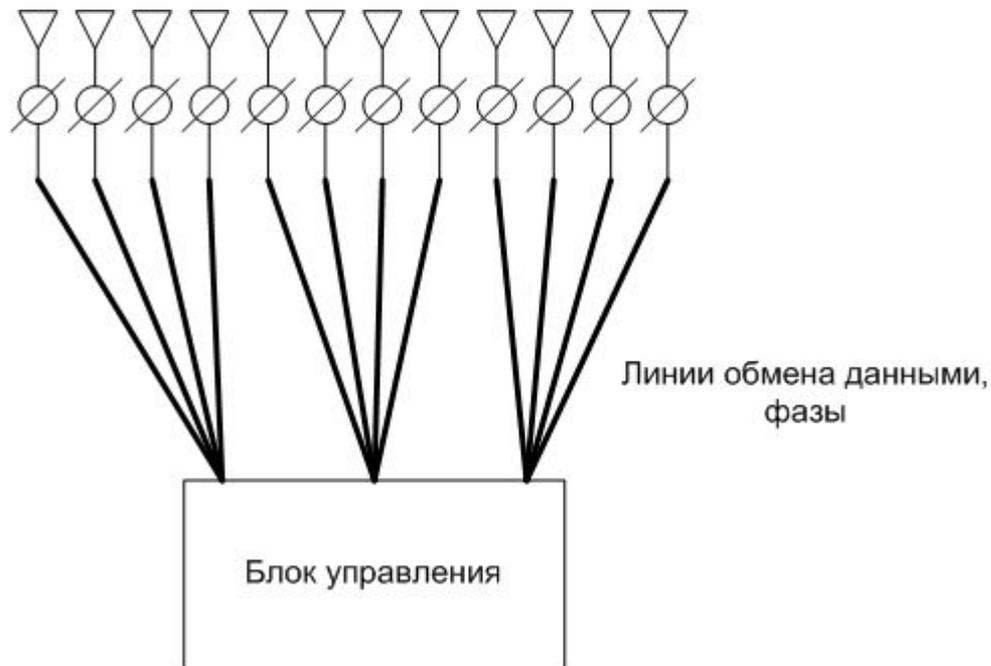


Преимущество – минимальное количество соединений

Недостаток – максимальное время обмена

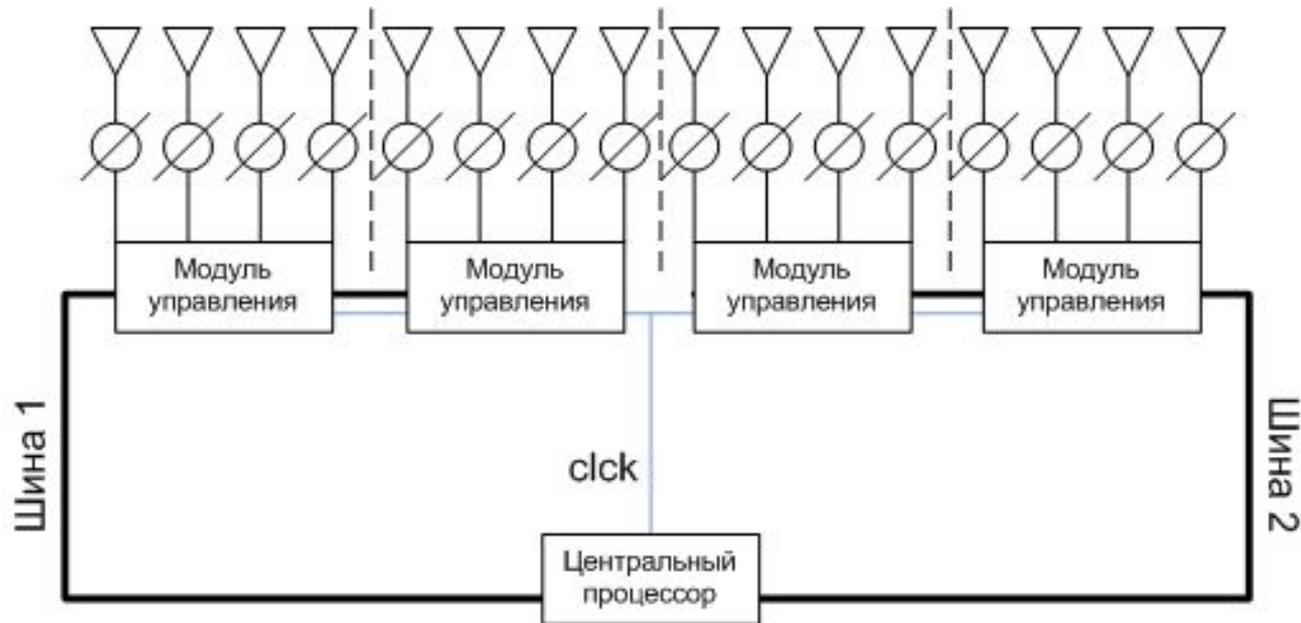
Архитектура системы управления ФАР

Оптимизация по скорости



Архитектура системы управления ФАР

Оптимизация для многоэлементных активных ФАР



К модулям – направляющие косинусы, от модулей - статусы

К вопросу о точности установки луча

$$\Delta l = \frac{\lambda}{N}$$



$$\theta_{3dB} = \frac{\lambda}{D}$$

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta l}{D} = \frac{\theta_{3dB}}{N}$$

Формула устарела!

- Переключение фазовращателя – вероятностное событие, и происходит раньше, чем предполагается формулой
- Переключение одного элемента не значит, что максимум луча сдвинется
- Сдвиг максимума луча не значит заметного изменения уровня сигнала
- Должна производиться статистическая оценка точности положения равносигнального направления
- В любом случае для многоэлементных антенн луч управляется весьма точно

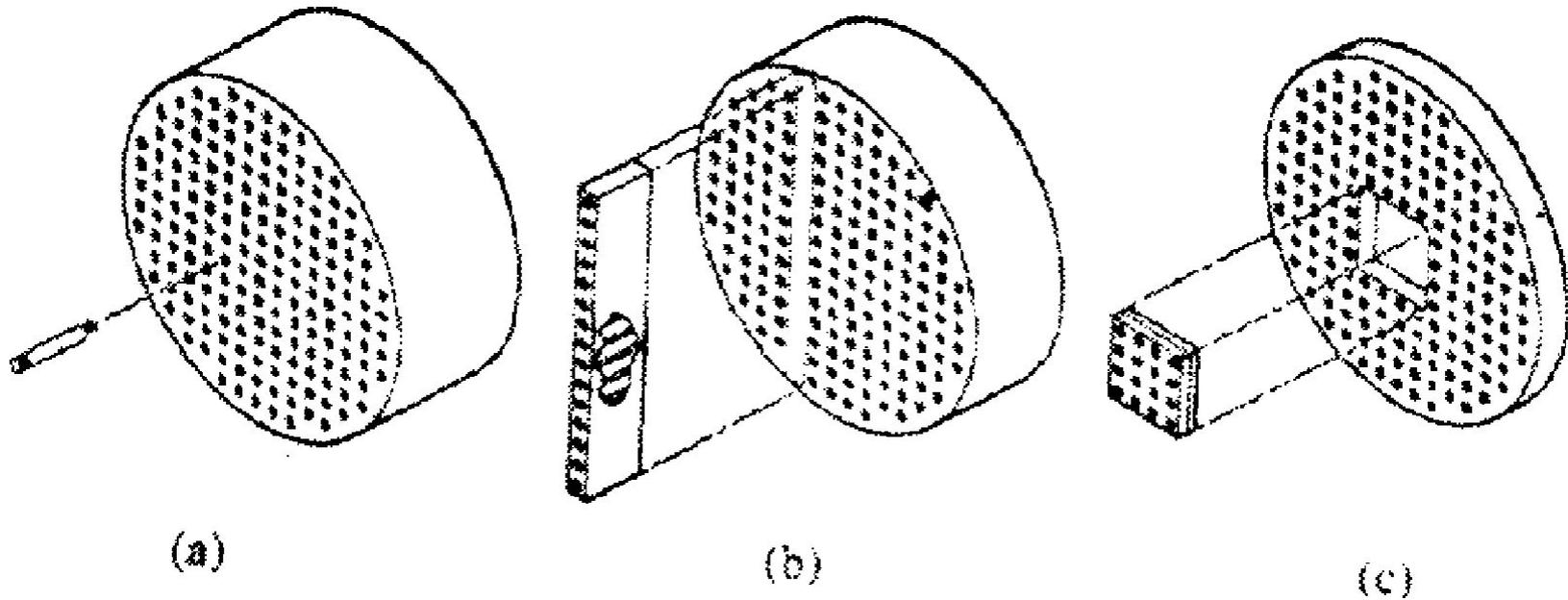
Структура курса

- Введение
 - Фазированные антенные решетки и их назначение
- Теория ФАР
 - Основные характеристики ФАР
 - Диаграммоформирование в ФАР
- Техника ФАР
 - Схемы возбуждения ФАР
 - **Принципы конструирования ФАР**
 - Калибровка и контроль ФАР

Основные подходы к проектированию ФАР

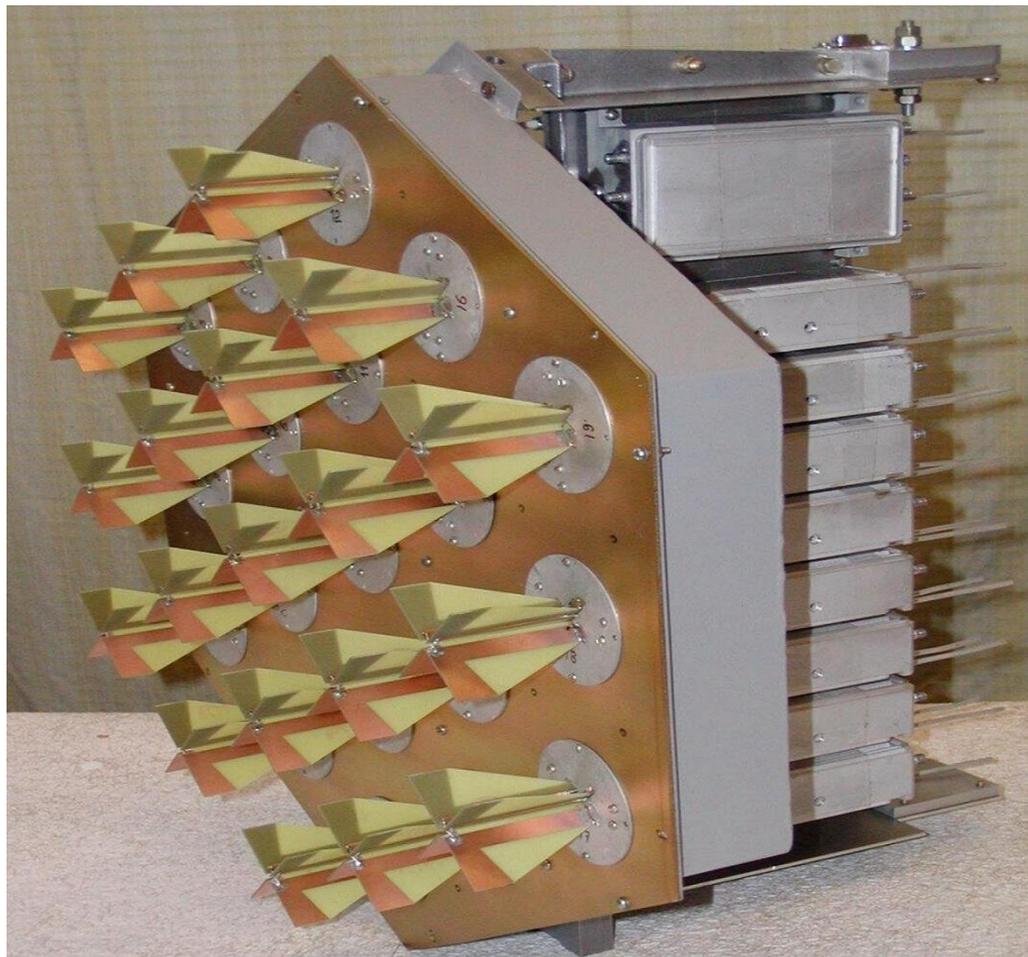
- Модульность
- Компактность
- Ремонтопригодность

Три типа модулей

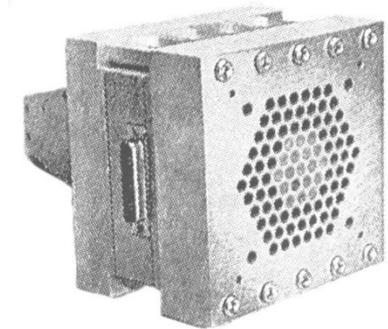
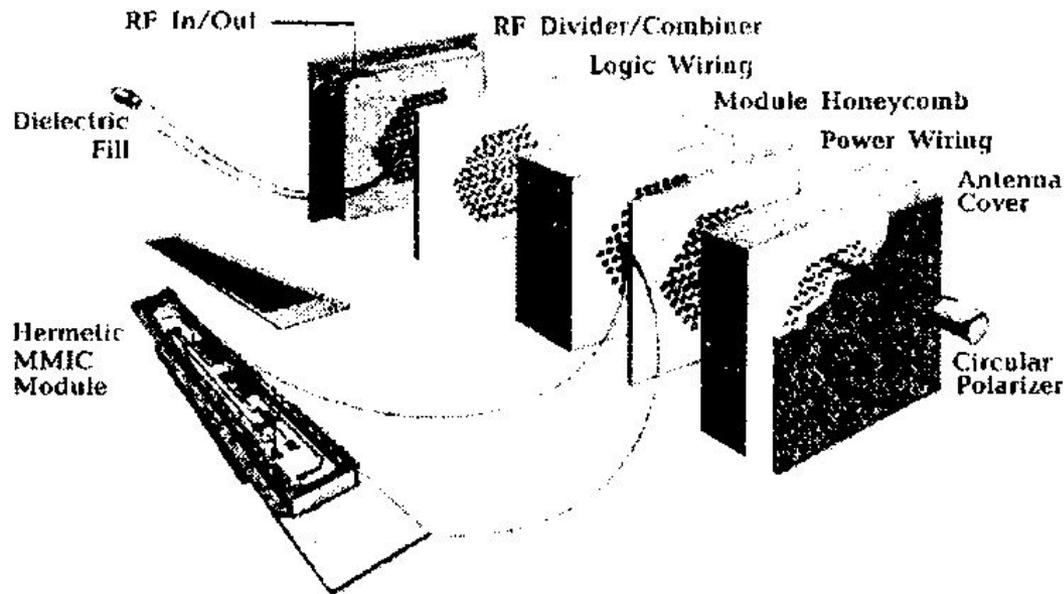


Канал, кирпич, плитка

Активные элементы - канал

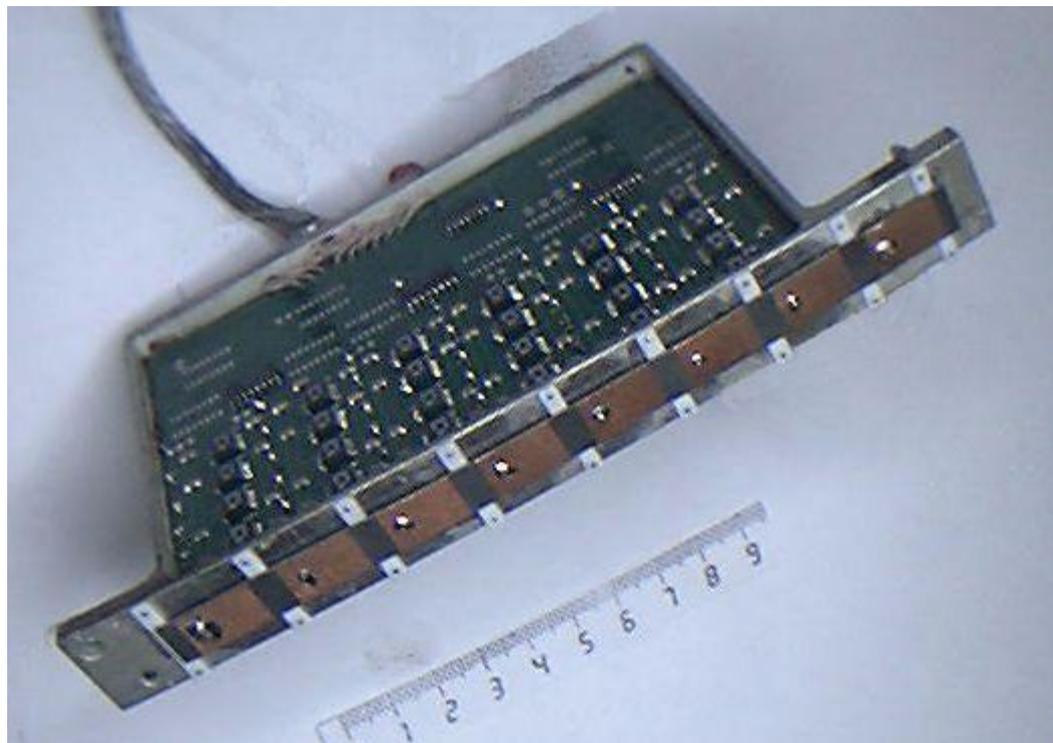


Архитектура «канал»

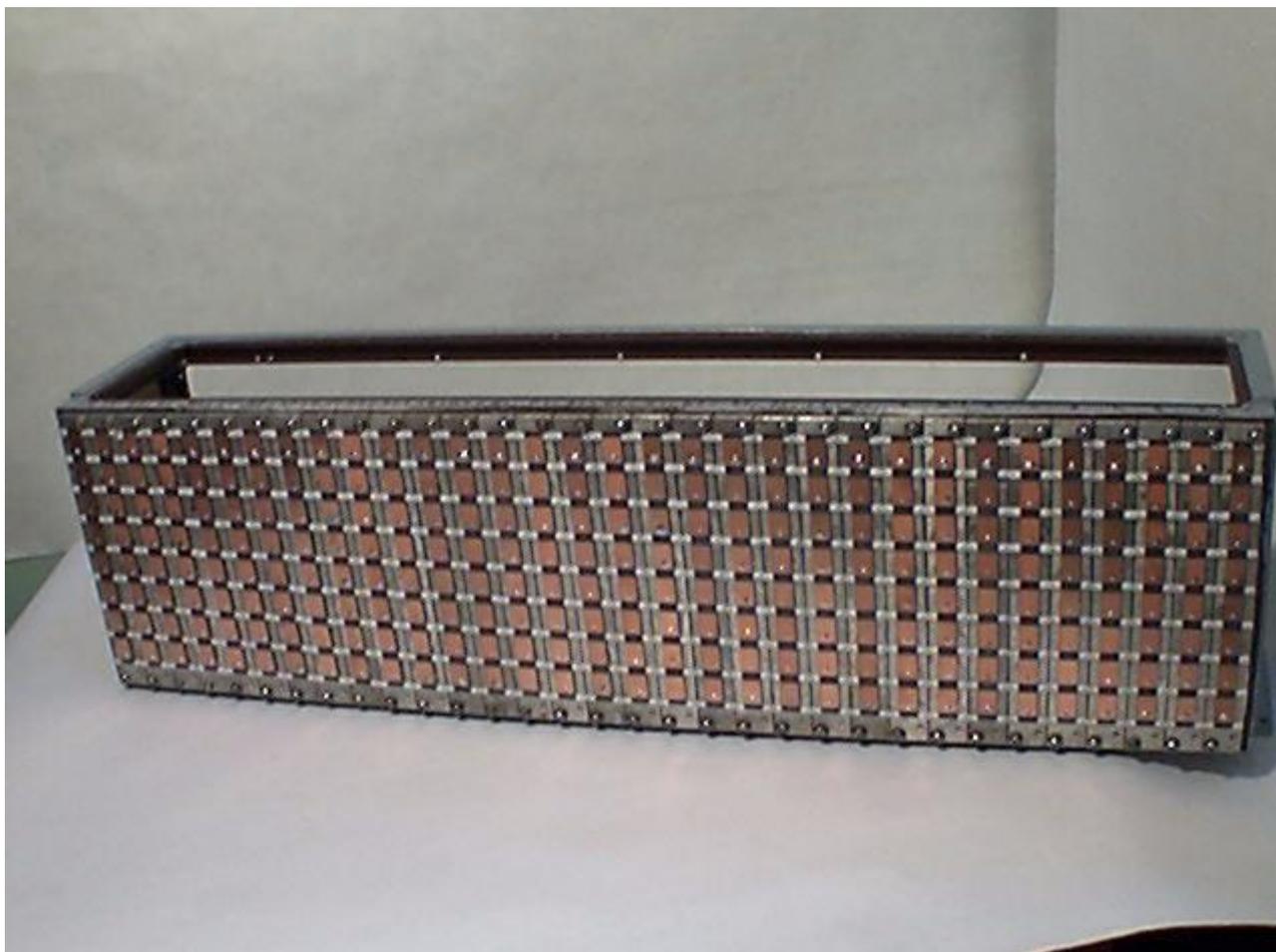


. АФАР диапазона 20 ГГц из одноканальных модулей

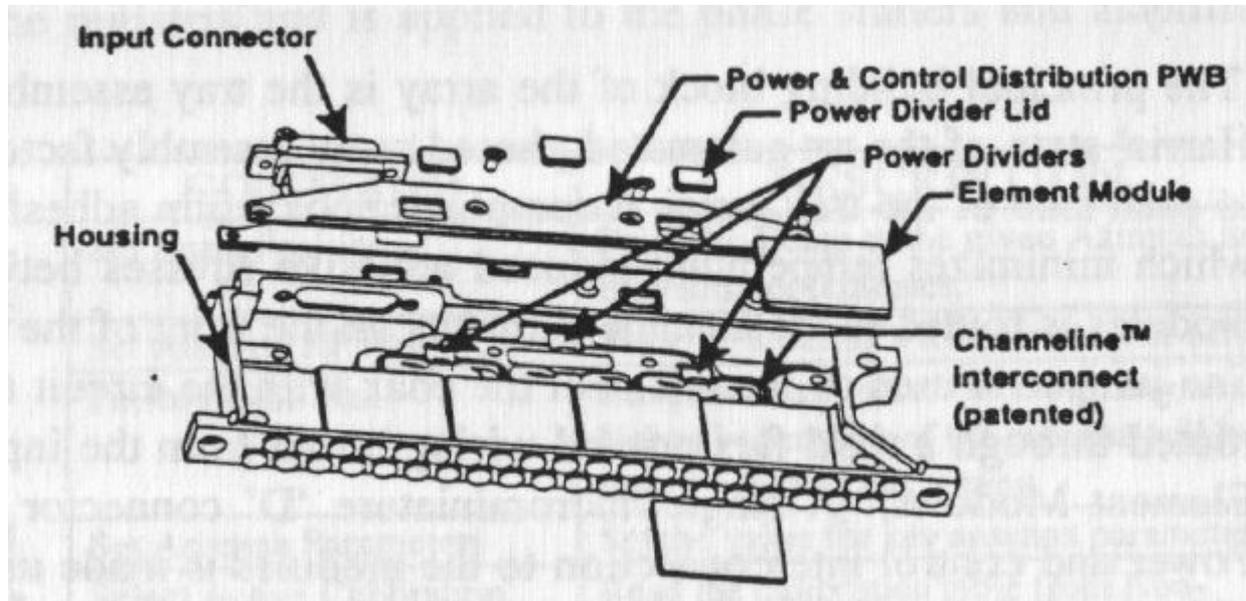
Модуль «кирпич»



Готовое изделие

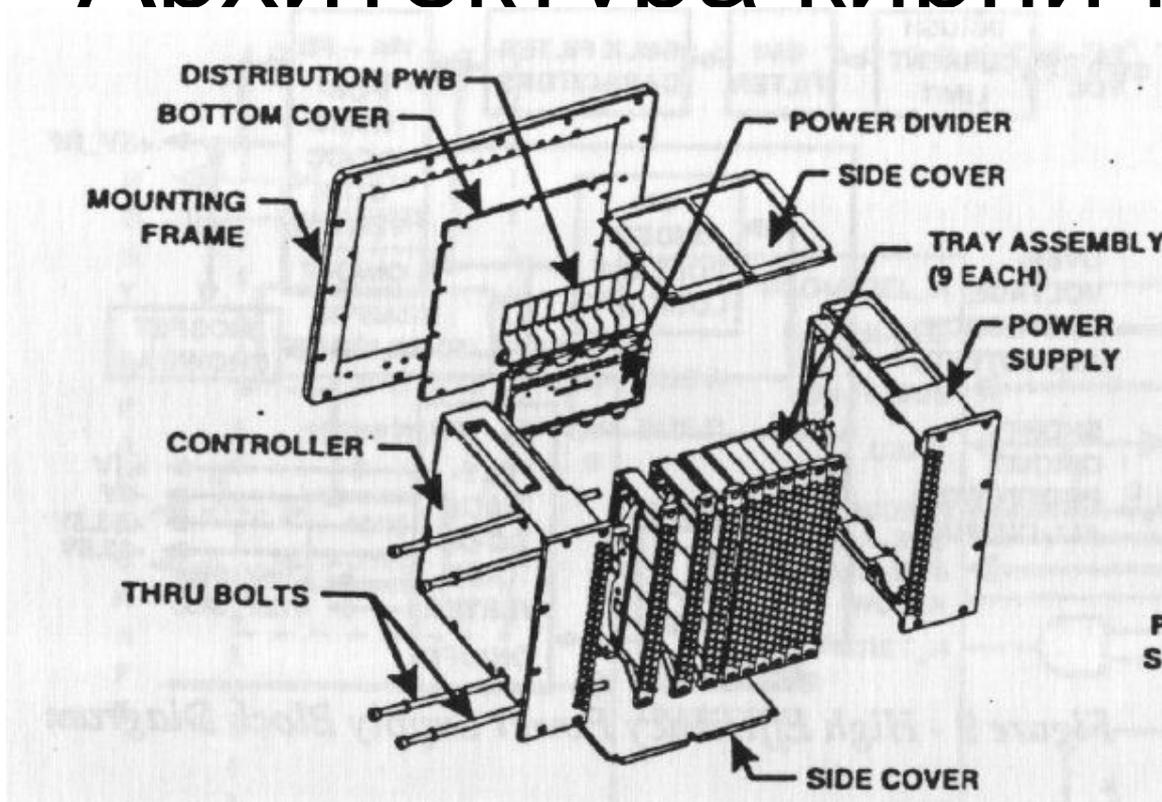


Модуль-кирпич



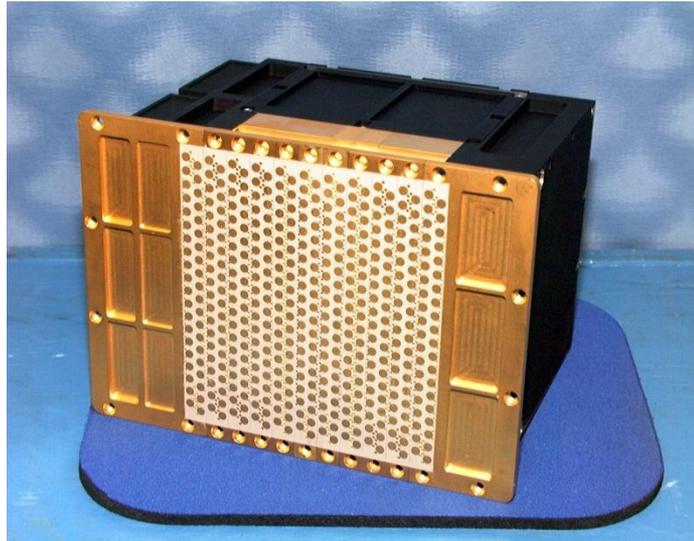
Передающий модуль АФАР «brick»-типа
Ka-диапазона компании «Harris Corp.»

Архитектура кирпич



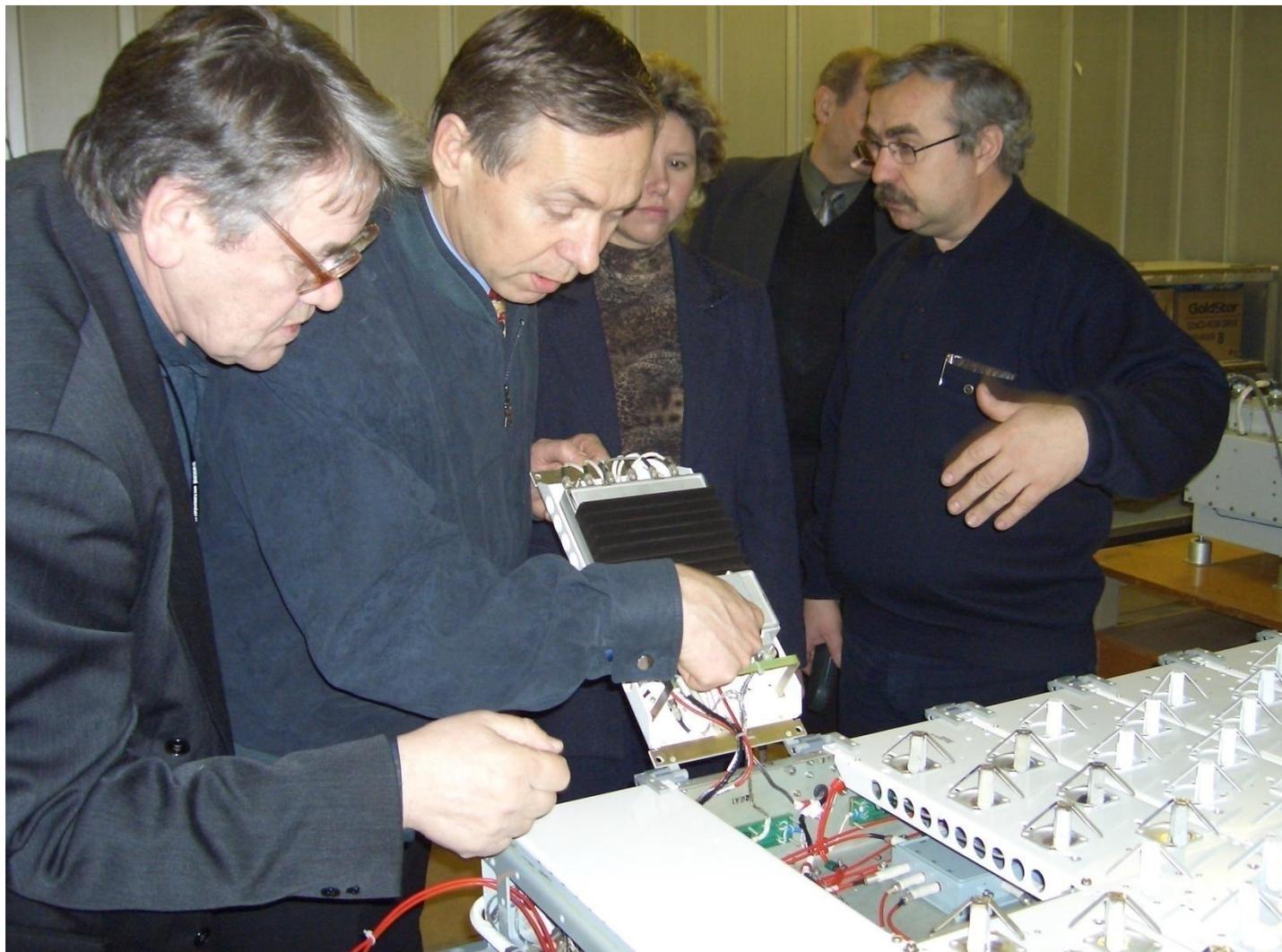
Архитектура передающей АФАР Ka-диапазона «brick»-типа компании «Harris Corp.», взрыв-схема

Готовое изделие



Передающая АФАР Ka-диапазона
«brick»-типа компании «Harris Corp.»,
общий вид

Архитектура «плитка»



Скорее плитка

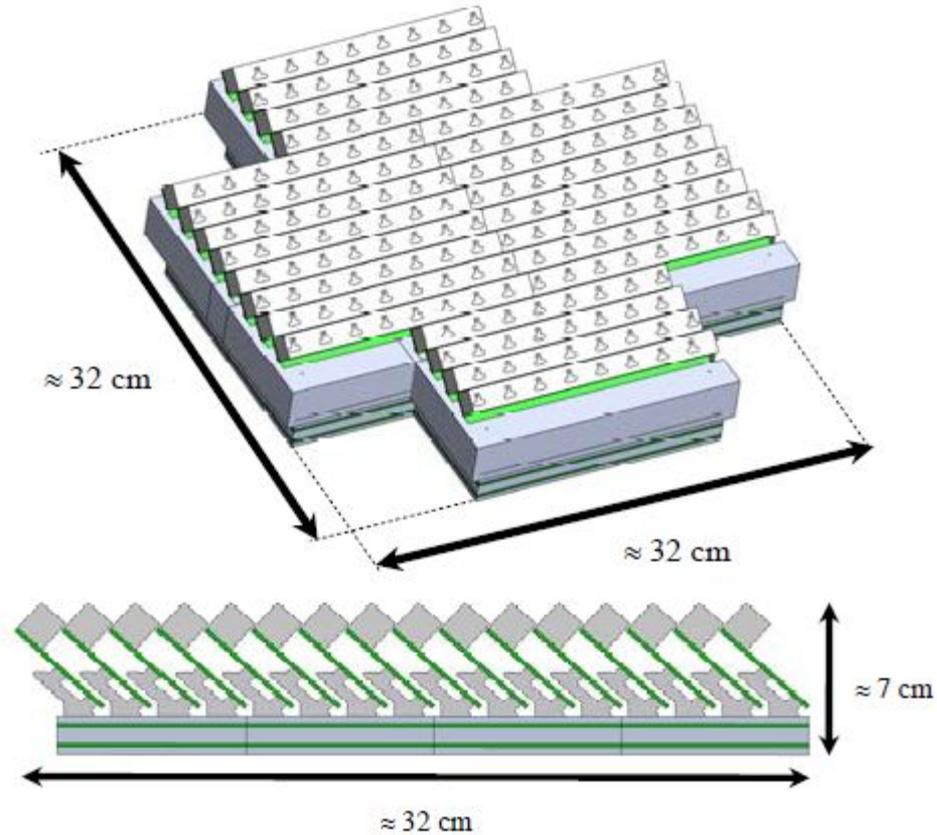
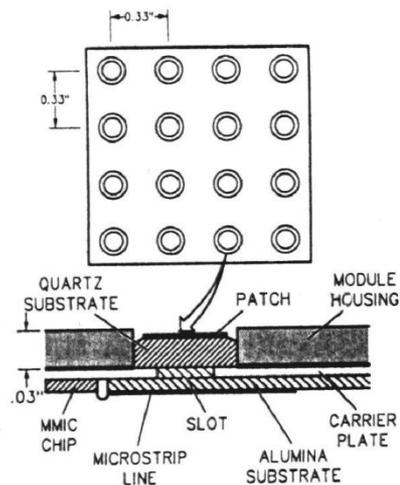


Fig. 9: TX/RX Modular Antenna CAD model.

Архитектура плитка



16-элементный модуль передающей АФАР диапазона 30 ГГц «tile» типа:
а) общий вид, б) конструкция [3.3.5]

Архитектура плитка

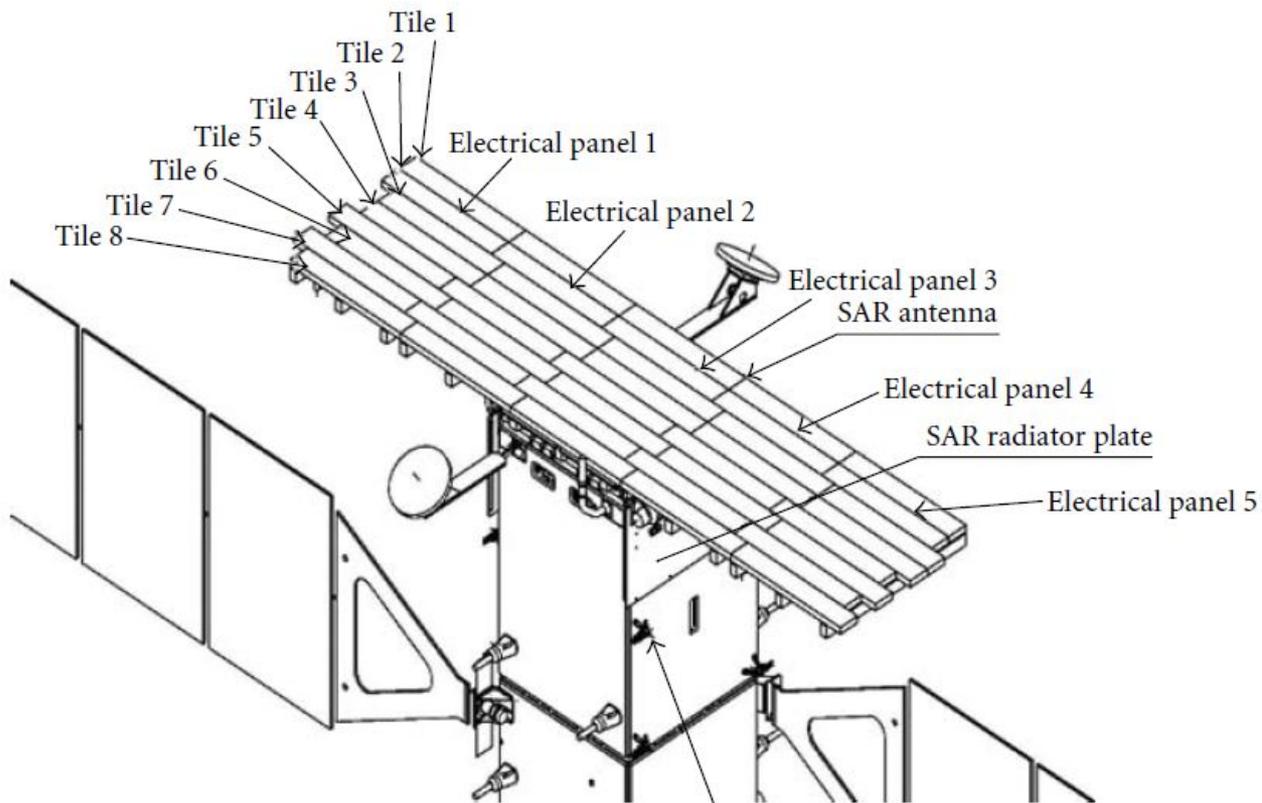


FIGURE 3: Antenna organization in tiles.

Архитектура плитка



(a)



(b)

FIGURE 2: COSMO sky med active SAR antenna (stowed & deployed).

Составные части - плитка

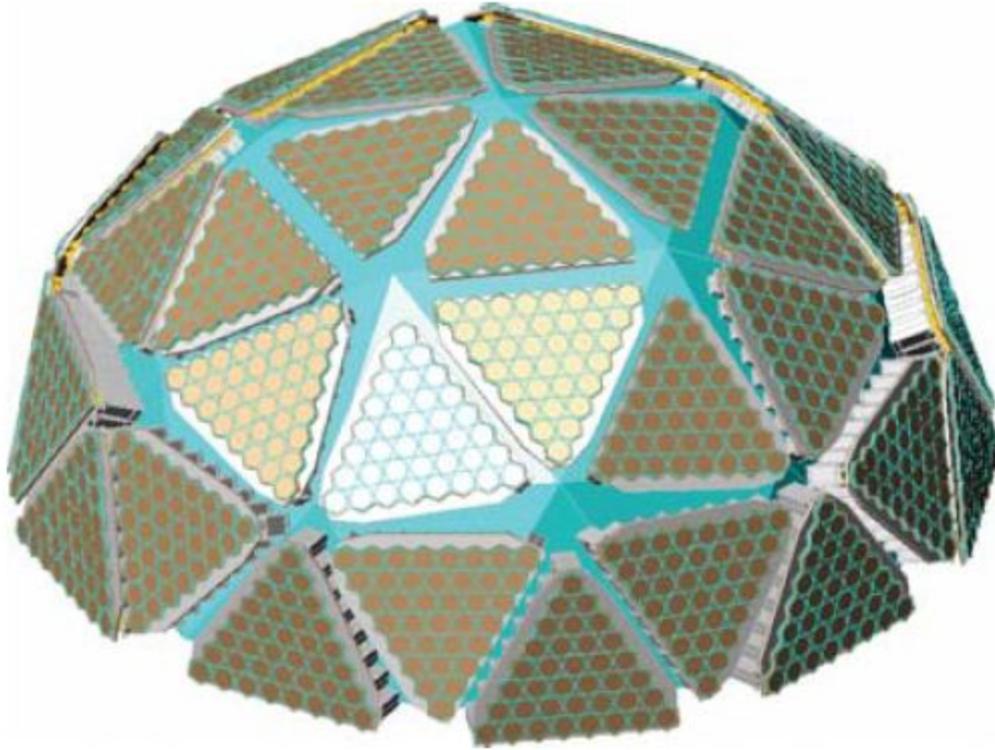
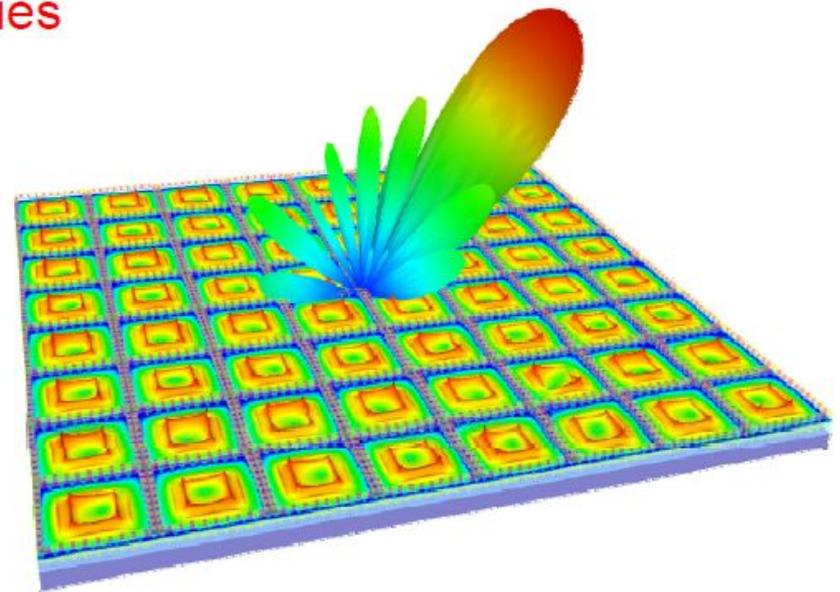


FIGURE 3: Faceted hemi-spherical antenna.

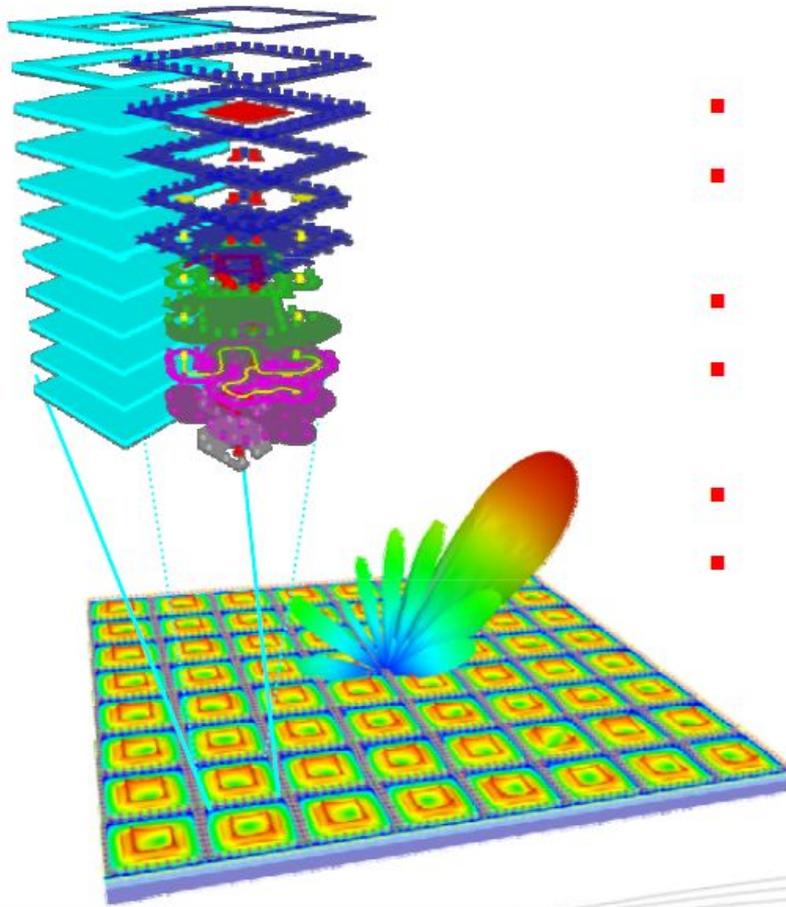
Пример интеграции (плитка)

Antenna circuitries

- 8x8 antenna elements
- incl. hybrid ring feeds
- calibration network
- active RF circuitries
- LO distribution networks
- IF feeding network
- power and DC supply
- liquid cooling system



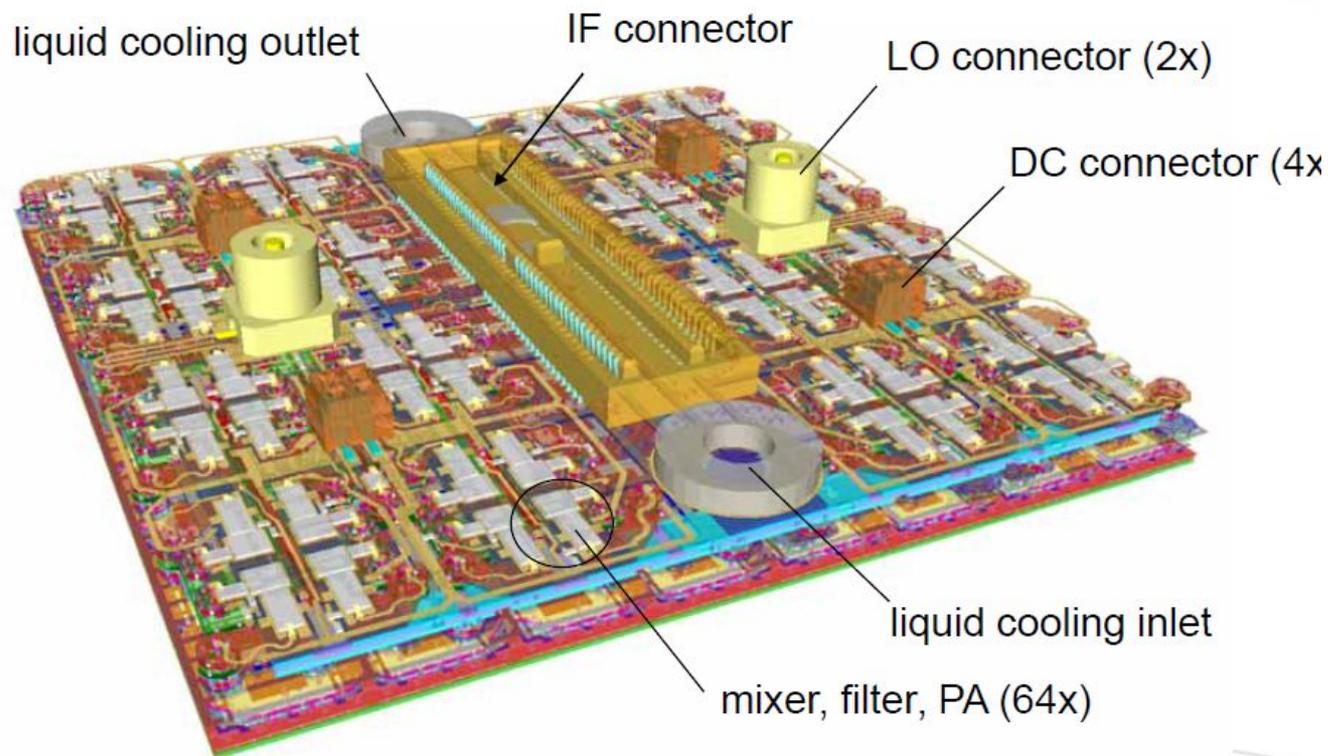
Пример интеграции (плитка)



- 8x8 array
- $\lambda/2$ element spacing for good scanning behavior
- circular polarization
- integrated hybrid ring coupler
- sequential rotation
- integrated calibration network

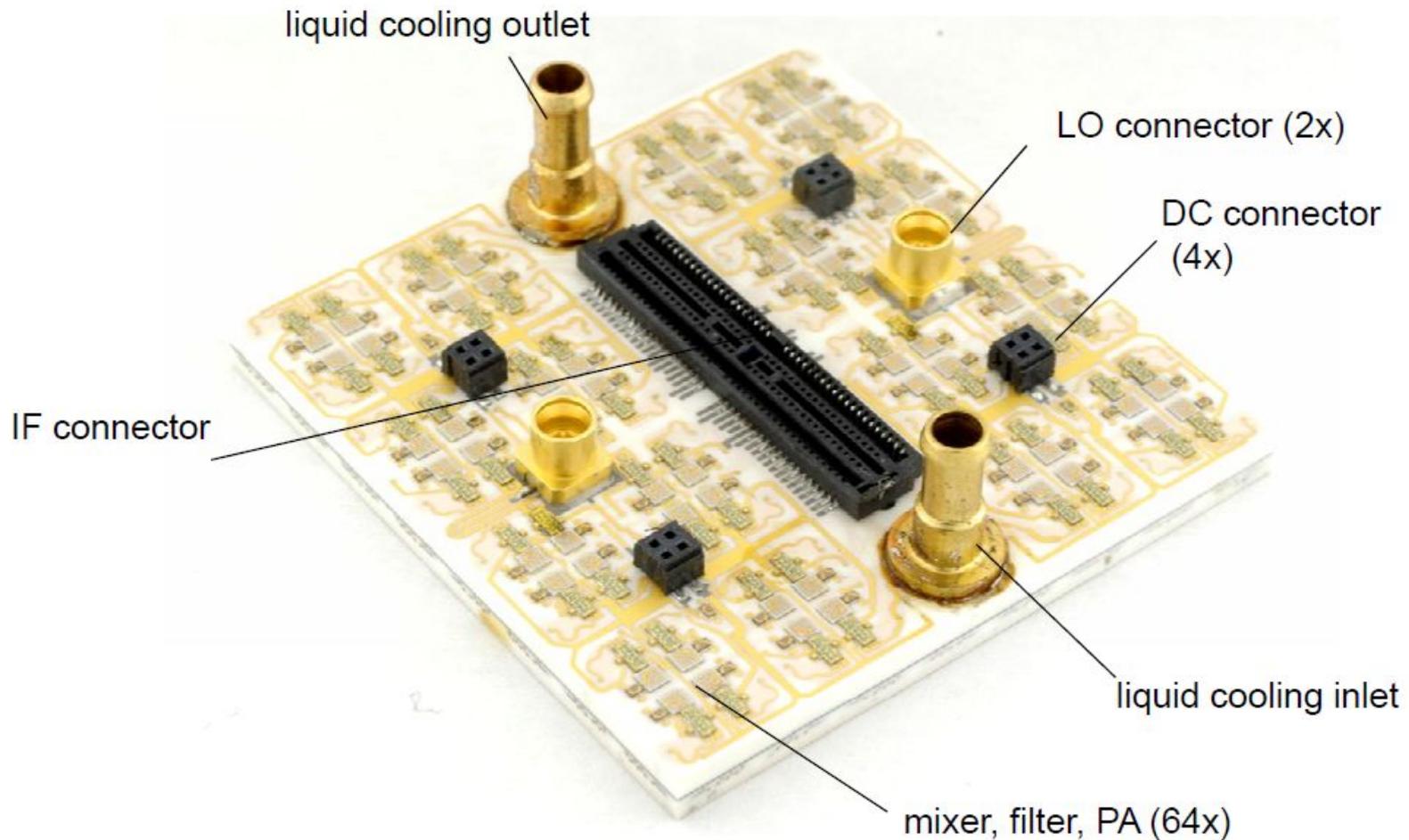
Пример интеграции (плитка)

back view, completely assembled



Пример интеграции (плитка)

Manufacturing: RF assembly



Пример интеграции (плитка)

