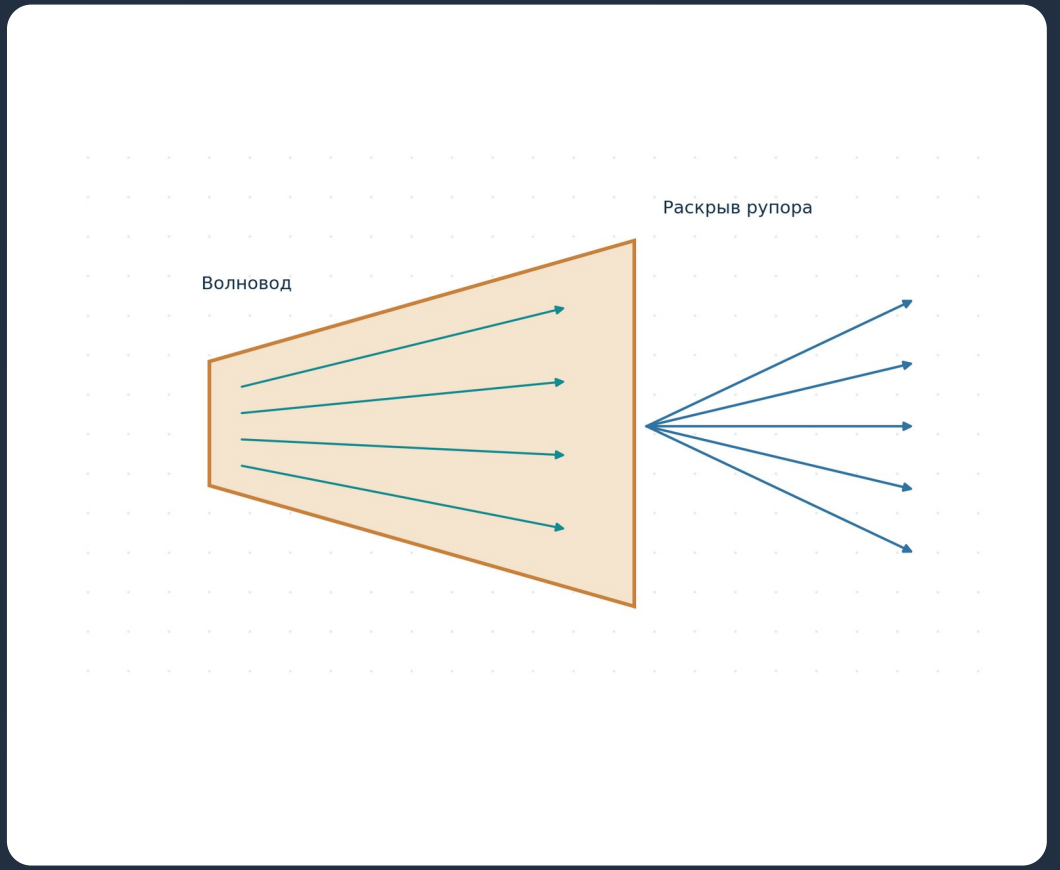
Казахский национальный университет имени аль-Фараби

ОТКРЫТЫЙ ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

Лекция 04

Апертурные и рупорные антенны

Распространение в волноводе, раскрывы, направленность и согласование



Мейрамбекұлы Нұрсұлтан

старший преподаватель кафедры электроники и астрофизики, PhD

Цель и результаты обучения

Что необходимо освоить

ЦЕЛЬ ЛЕКЦИИ

Изучить действие раскрыва антенны и конструктивные особенности рупорных излучателей.

ПОСЛЕ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ

Объяснять назначение раскрыва. Связывать его площадь с направленностью. Понимать роль рупора как облучателя зеркала.

План лекции

Шесть ключевых вопросов

1. **Принцип апертурного излучения**
2. **Рупор как переход от волновода**
3. **Электрические и механические требования**
4. **Площадь и коэффициент усиления**
5. **Питание волноводом**
6. **Рупор в антенной системе**

Принцип апертурного излучения

РАЗДЕЛ 1 / 6

Апертурная антенна излучает через открытое сечение, в котором формируется распределение электромагнитного поля. В дальней зоне диаграмма связана с пространственным распределением амплитуды и фазы на апертуре. Чем больше электрический размер раскрыва, тем потенциально выше направленность; неравномерность поля и ошибки фазы уменьшают эффективность использования геометрической площади.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Принцип апертурного излучения

Апертура

Рупор

01

Рупор как переход от волновода

РАЗДЕЛ 2 / 6

Рупор представляет собой расширение волновода, предназначенное для плавного преобразования направляемого поля в свободную волну. Различают секториальные, пирамидальные, конические и специальные профили. Геометрия влияет на согласование, ширину диаграммы, боковые лепестки и фазовые искажения. Рупоры часто используют в измерительных стендах, радиолокации и как облучатели параболических рефлекторов.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Рупор как переход от волновода

Рупор

Волновод

02

Электрические и механические требования

РАЗДЕЛ 3 / 6

На СВЧ частотах небольшие отклонения профиля и размеров становятся электрически значимыми. Металлическая поверхность, контакт в фланцах, допуски фрезеровки и точность переходов влияют на работу. Особое значение имеют поляризация, рабочая частотная полоса и отсутствие возбуждения нежелательных мод. При измерениях рупор должен находиться в подходящих условиях дальней зоны.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Электрические

механические требования

Волновод

03

Площадь и коэффициент усиления

РАЗДЕЛ 4 / 6

Для апертуры площадью A используют приближение $G \approx \eta_{ap}(4\pi A/\lambda^2)$, где η_{ap} включает неидеальность распределения поля. Точное значение зависит от геометрии, поляризации, отражений и потерь. Размеры рупора задают одновременно с требуемой шириной диаграммы.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Площадь

коэффициент усиления

Мода

04

Питание волноводом

РАЗДЕЛ 5 / 6

Волновод работает в режимах собственных мод, зависящих от геометрии сечения. Частота ниже отсечки выбранной моды не обеспечивает её распространения. Переходы и фланцы подбирают в соответствии с волноводным стандартом, обеспечивая электрический контакт и механическую точность.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Питание волноводом

Отсечка

Фазовый фронт

05

Рупор в антенной системе

РАЗДЕЛ 6 / 6

Как облучатель рефлектора рупор должен освещать зеркало в заданном угловом секторе. Слишком узкий луч недоиспользует поверхность зеркала, а слишком широкий увеличивает перелив мощности мимо рефлектора и нежелательное излучение.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Рупор в антенной системе

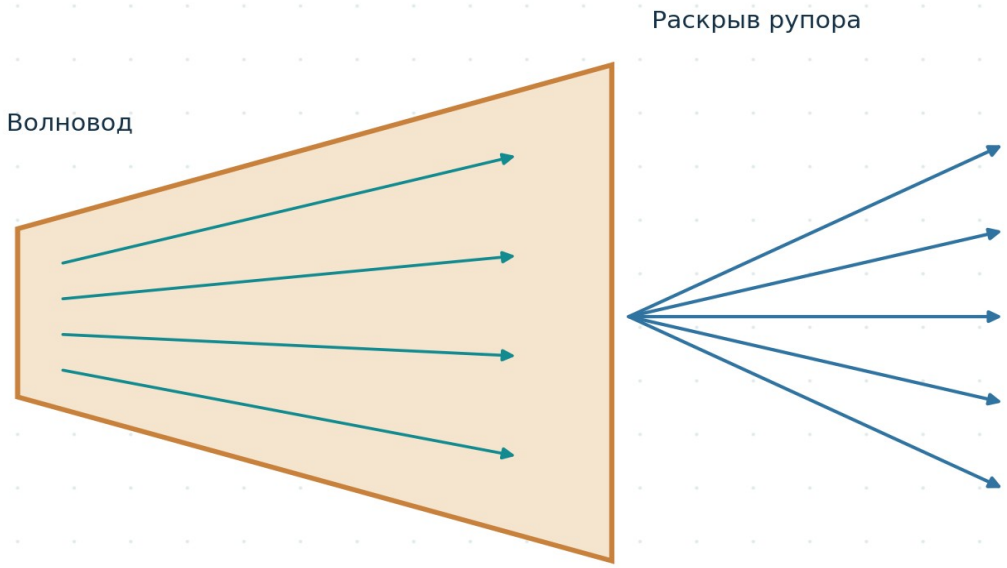
Фазовый фронт

Облучатель

06

Техническая иллюстрация

Апертурные и рупорные антенны



Обратите внимание

Распространение в волноводе, раскрывы, направленность и согласование

Схема отражает основные взаимосвязи, рассмотренные в лекции.

Основные расчётные соотношения

Связь теории с инженерным расчётом

$G \approx \eta_{ap} \times 4\pi A/\lambda^2$; A = ширина раскрыва × высота раскрыва.

Обратите внимание

Для апертуры площадью A используют приближение $G \approx \eta_{ap}(4\pi A/\lambda^2)$, где η_{ap} включает неидеальность распределения поля.

Оценка апертурного усиления

Инженерный пример

Пусть площадь раскрыва A = 0,02 м², частота 10 ГГц (λ ≈ 0,03 м), η_ap = 0,6. Тогда G ≈ 0,6 × 4π × 0,02 / 0,03² ≈ 167,6 (линейно), или ≈ 22,2 дБи. Реальный рупор требует проверки амплитудно-фазового распределения и согласования.

Ключевой вывод: результат необходимо сопоставить с требованиями системы.

Инженерные аспекты

1 из 1 · Углублённый разбор

Рупорная антенна представляет физический компромисс между размерами раскрыва, фазовыми искажениями и шириной рабочего диапазона. По мере расширения волновода поле изменяется не как идеальная плоская волна: в зависимости от профиля возникают фазовые отклонения по раскрыву. Поэтому коэффициент использования апертуры отличается от единицы. При использовании в качестве облучателя зеркала добавляется необходимость выбрать отношение ширины луча рупора к угловому размеру рефлектора. Слишком сильное облучение краёв увеличивает перелив и помехи, слишком слабое — уменьшает эффективную площадь. Для точного проектирования применяют 3D-электромагнитный расчёт вместе с измерением эталонного образца.

Алгоритм инженерной проверки

Последовательность действий



1. Определите исходные параметры и единицы.
2. Отделите измеренные значения от допущений и ориентировочных данных.
3. Проверьте расчёт и его применимость.
4. Оцените порядок величины, допущения и способ независимой проверки.

Последовательность проверки помогает связать расчёт, измерение и требования проекта.

Проектные ограничения

Что следует учитывать при реализации

Большая геометрическая площадь ещё не означает высокое реальное усиление. Ошибка фазового фронта на раскрыве уменьшает η_ap; качество переходов и диапазон частот также могут ограничивать результат. Численный пример является учебным; для реальной системы необходимы измерения, подтверждённые исходные данные и проверка диапазона применимости модели.

Практическое задание

Самостоятельная работа

Рассчитайте идеальное и практическое усиление раскрыва площадью 0,015 м² на частоте 8 ГГц при η_ap = 1 и 0,55.

Термины для повторения

Апертура • Рупор • Волновод • Мода • Отсечка • Фазовый фронт • Облучатель • η_ap

Контрольные вопросы

Для самопроверки

01 Что называется апертурой?

02 Какие существуют типы рупоров?

03 Для чего рупор расширяется?

04 Что означает КПД апертуры?

05 Почему важна частота отсечки?

06 Как рупор используется в рефлекторе?

Итоги лекции

Три основных положения

1. Апертурная антенна излучает через открытое сечение, в котором формируется распределение электромагнитного поля.

2. Рупор представляет собой расширение волновода, предназначенное для плавного преобразования направляемого поля в свободную волну.

3. На СВЧ частотах небольшие отклонения профиля и размеров становятся электрически значимыми.

Литература и открытые источники

Для дальнейшего изучения

01 C. A. Balanis. Antenna Theory: Analysis and Design (учебник)

02 J. D. Kraus, R. J. Marhefka. Antennas (учебник)

03 ITU-R P.618-14 (2023). Earth-space propagation

Мейрамбекұлы Нұрсұлтан