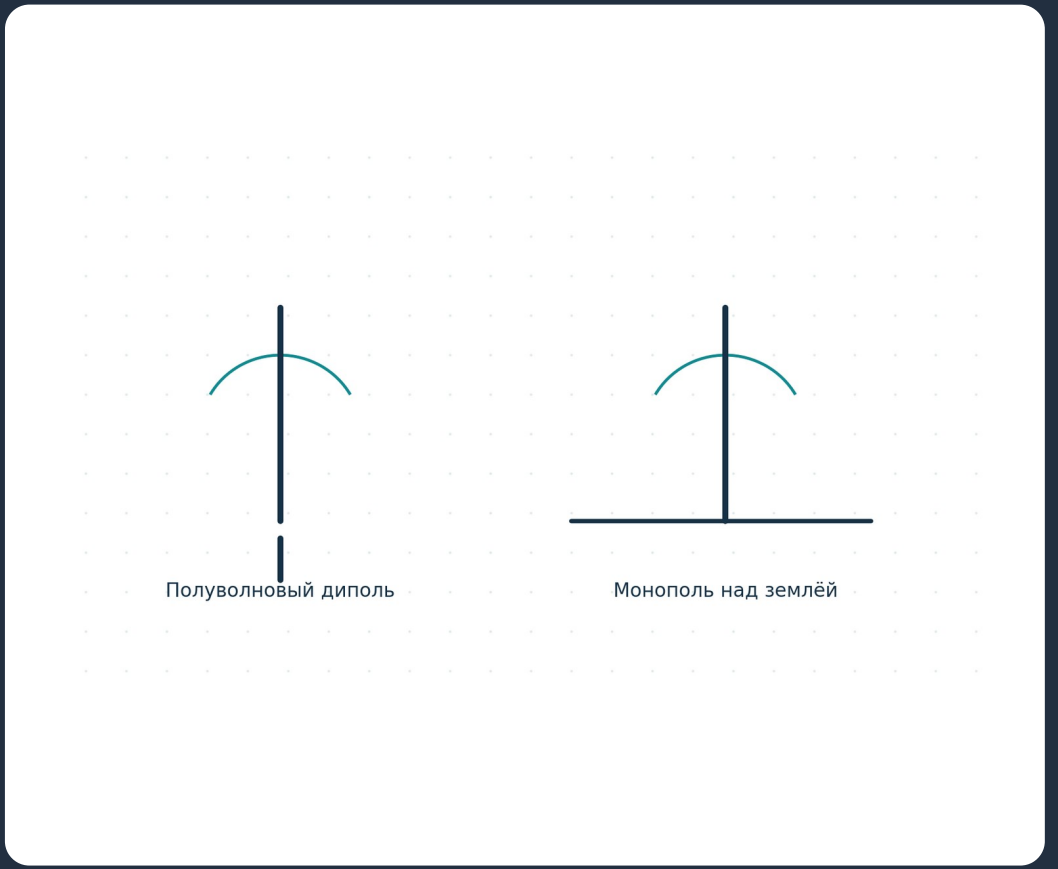
Казахский национальный университет имени аль-Фараби

ОТКРЫТЫЙ ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

Лекция 03

Дипольные, монопольные и вибраторные антенны

Распределение тока, резонанс, земля и практические конструкции



Мейрамбекұлы Нұрсұлтан

старший преподаватель кафедры электроники и астрофизики, PhD

Цель и результаты обучения

Что необходимо освоить

ЦЕЛЬ ЛЕКЦИИ

Разобрать простейшие проводниковые антенны как основу для более сложных излучающих систем.

ПОСЛЕ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ

Объяснять принцип полуволнового диполя. Сравнивать монополь с диполем. Определять роль противовеса и фидерного согласования.

План лекции

Шесть ключевых вопросов

1. **Полуволновой вибратор**
2. **Монополь над проводящей поверхностью**
3. **Развёртываемые антенны малых спутников**
4. **Длина и резонанс**
5. **Симметрирование**
6. **Полоса и добротность**

Полуволновой вибратор

РАЗДЕЛ 1 / 6

Прямолинейный симметричный вибратор состоит из двух плеч, питаемых в центральном зазоре. На резонансе распределение тока вдоль тонкого диполя близко к синусоидальному с максимумом у точки питания и уменьшением к концам. В свободном пространстве поле максимально в направлениях поперёк оси диполя и минимально вдоль неё. Изменение длины, диаметра и окружения сдвигает резонансную частоту и входное сопротивление.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Полуволновой вибратор

Диполь

Монополь

01

Монополь над проводящей поверхностью

РАЗДЕЛ 2 / 6

Четвертьволновой монополь является одним плечом вибратора над проводящим экраном. В идеальной модели метод изображений позволяет рассматривать экран как зеркальное второе плечо. Характеристики зависят от размеров, проводимости и формы противовеса. На компактной печатной плате токи протекают и по общему проводнику, поэтому «земля» становится частью излучающей структуры.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Монополь

Вибратор

Противовес

02

Развёртываемые антенны малых спутников

РАЗДЕЛ 3 / 6

Для VHF/UHF на CubeSat часто применяют гибкие проволочные или ленточные излучатели, которые удерживаются при запуске и раскрываются в космосе. Помимо электрического согласования требуется подтвердить надёжность механизма, динамику раскрытия и отсутствие пересечения с другими элементами. Испытание одного лишь радиотракта на лабораторном столе не подтверждает успешную работу антенны после раскрытия.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Вибратор

Противовес

Балун

03

Длина и резонанс

РАЗДЕЛ 4 / 6

Для начального эскиза диполя используют длину немного меньше λ/2, монополя — около λ/4. Точную длину уточняют моделированием или измерением S11 на конкретной конструкции. Влияние корпуса и кабеля способно превышать различие между двумя приблизительными формулами расчёта.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

резонанс

Противовес

Балун

04

Симметрирование

РАЗДЕЛ 5 / 6

При питании симметричного диполя несимметричным коаксиальным фидером могут возникать общие токи по внешней стороне оплётки. Балун или дроссель подавляет нежелательные токи и стабилизирует диаграмму, особенно при измерениях.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Симметрирование

Балун

Резонанс

05

Полоса и добротность

РАЗДЕЛ 6 / 6

Увеличение диаметра вибратора обычно расширяет рабочую полосу относительно очень тонкого провода. Но широкая полоса по согласованию не гарантирует неизменность диаграммы, поляризации и эффективности.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Полоса

добротность

Резонанс

06

Техническая иллюстрация

Дипольные, монопольные и вибраторные антенны



Обратите внимание

Распределение тока, резонанс, земля и практические конструкции

Схема отражает основные взаимосвязи, рассмотренные в лекции.

Основные расчётные соотношения

Связь теории с инженерным расчётом

λ ≈ 300 / f[МГц] м; L_диполь ≈ 0,47λ (стартовая оценка).

Обратите внимание

Для начального эскиза диполя используют длину немного меньше λ/2, монополя — около λ/4.

Эскиз диполя на 144 МГц

Инженерный пример

Длина волны λ ≈ 300/144 ≈ 2,083 м. Начальная общая длина полуволнового диполя по коэффициенту 0,47: L ≈ 0,979 м; два плеча по ≈ 0,49 м. После выбора диаметра провода, точки питания и конструкции длину необходимо уточнить по измеренному резонансу.

Ключевой вывод: результат необходимо сопоставить с требованиями системы.

Инженерные аспекты

1 из 1 · Углублённый разбор

Концевые эффекты объясняют, почему механическая длина полуволнового резонансного вибратора обычно меньше простого значения λ/2. При подключении коаксиального кабеля внешний ток оплётки также может стать частью излучателя. Для монополя особенно критична плоскость земли: небольшой корпус не равнозначен бесконечной идеальной поверхности. Если антенна используется на движущемся аппарате, механическая гибкость, фиксация и состояние после раскрытия становятся полноправными характеристиками. В модель нужно включать и элементы крепления, а испытания проводить после типового монтажа. Реальную полосу определяют совместно по согласованию, эффективности и устойчивости диаграммы.

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

Диполь, подключённый длинным кабелем без подавления общего тока, может показывать «хорошую» КСВН, но искажённую диаграмму. Поэтому при сравнении образцов фиксируют способ укладки кабеля и условия крепления. Численный пример является учебным; для реальной системы необходимы измерения, подтверждённые исходные данные и проверка диапазона применимости модели.

Практическое задание

Самостоятельная работа

Рассчитайте начальную длину диполя для 433 МГц; составьте план измерений S11 до и после монтажа на корпус.

Термины для повторения

Диполь • Монополь • Вибратор • Противовес • Балун • Резонанс • S11 • Механизм раскрытия

Контрольные вопросы

Для самопроверки

01 Где максимален ток диполя?

02 Почему нужен противовес монополю?

03 Чем монополь отличается от симметричного диполя?

04 Что делает балун?

05 Как толщина влияет на полосу?

06 Какие риски есть у раскрываемой антенны?

Итоги лекции

Три основных положения

1. Прямолинейный симметричный вибратор состоит из двух плеч, питаемых в центральном зазоре.

2. Четвертьволновой монополь является одним плечом вибратора над проводящим экраном.

3. Для VHF/UHF на CubeSat часто применяют гибкие проволочные или ленточные излучатели, которые удерживаются при запуске и раскрываются в космосе.

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