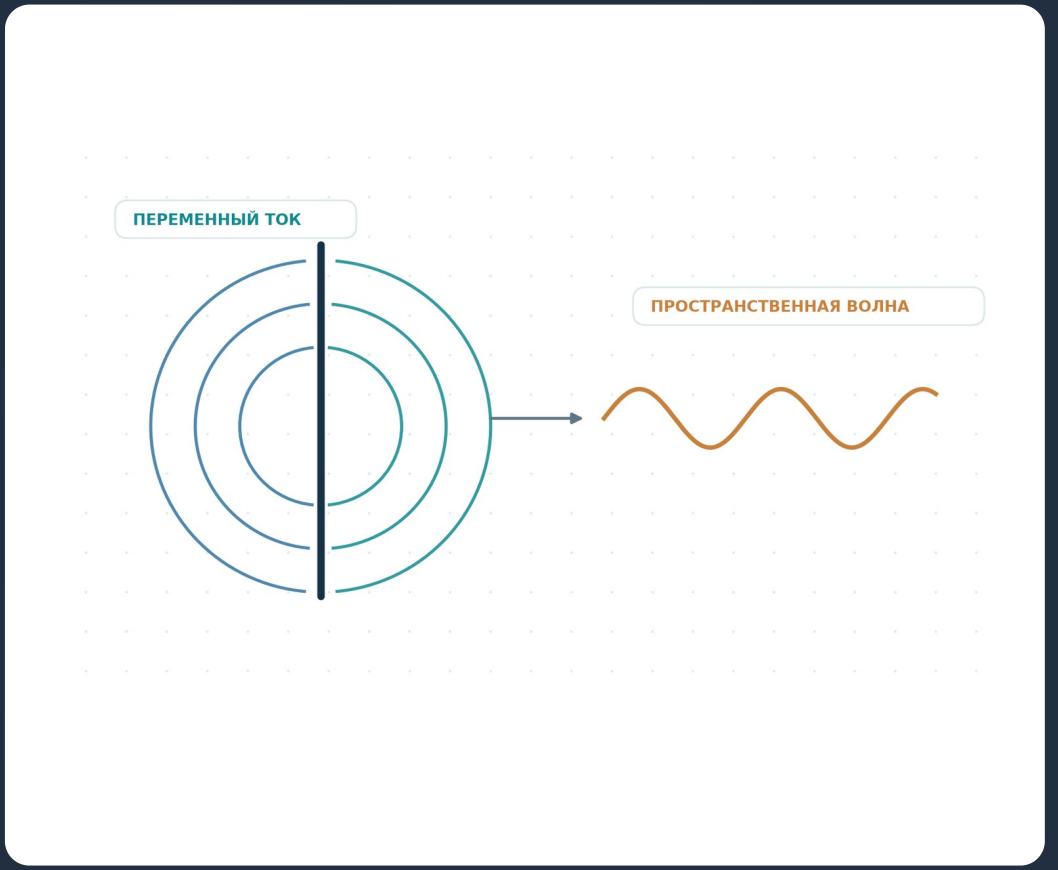
Казахский национальный университет имени аль-Фараби

ОТКРЫТЫЙ ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

Лекция 01

Физические основы антенн и электромагнитного излучения

Поле, волна, ток и взаимодействие антенны с пространством



Мейрамбекұлы Нұрсұлтан

старший преподаватель кафедры электроники и астрофизики, PhD

Цель и результаты обучения

Что необходимо освоить

ЦЕЛЬ ЛЕКЦИИ

Сформировать представление об антенне как электромагнитной системе, связывающей направляемую волну и свободное пространство.

ПОСЛЕ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ

Объяснять происхождение излучения. Использовать соотношение частоты и длины волны. Различать ближнюю и дальнюю зоны антенны.

План лекции

Шесть ключевых вопросов

1. **От переменного тока к излучению**
2. **Основные свойства электромагнитной волны**
3. **Ближняя и дальняя зоны**
4. **Согласование с источником**
5. **Энергия и эффективность**
6. **Масштабирование размеров**

От переменного тока к излучению

РАЗДЕЛ 1 / 6

Ускоренно движущиеся электрические заряды создают изменяющиеся электрические и магнитные поля. В проводящей антенне переменный ток возбуждает электромагнитную волну, часть энергии которой уходит в пространство. Приём основан на обратном эффекте: падающее поле индуцирует напряжение и ток в проводнике. Антенна не является независимым источником энергии; её излучение обеспечивается генератором через фидерный тракт.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

От переменного тока к излучению

ЭМ-волна

Частота

01

Основные свойства электромагнитной волны

РАЗДЕЛ 2 / 6

В свободном пространстве электрическое и магнитное поля взаимно перпендикулярны и ориентированы поперёк направления распространения. Их фаза и пространственная структура определяются источником, частотой и средой. Длина волны λ связана с частотой f выражением λ = c/f. Электрические размеры антенны удобно оценивать в долях λ: одна и та же физическая конструкция на разных частотах имеет разные характеристики.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Частота

Длина волны

Ближняя зона

02

Ближняя и дальняя зоны

РАЗДЕЛ 3 / 6

В непосредственной близости антенны существенны реактивные поля, связанные с накоплением электрической и магнитной энергии. Дальше начинает преобладать излучаемое поле, а в дальней зоне угловая форма диаграммы практически не зависит от расстояния. Для антенны с наибольшим размером D распространённая оценка границы дальней зоны — $R \geq 2D^2/\lambda$, при соблюдении дополнительных условий применимости. Эта оценка особенно важна для измерения направленных крупных антенн.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Ближняя

дальняя зоны

Длина волны

03

Согласование с источником

РАЗДЕЛ 4 / 6

Передача мощности от радиоустройства к антенне зависит от комплексных сопротивлений источника, линии и входа антенны. Частичное отражение снижает долю подведённой мощности, доступной для излучения. В инженерном описании используют коэффициент отражения Г, возвратные потери и КСВН.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Согласование с источником

Ближняя зона

Дальняя зона

04

Энергия и эффективность

РАЗДЕЛ 5 / 6

Подведённая мощность делится на излучённую, омические и диэлектрические потери, а также может частично отражаться на входе. КПД излучения не равен коэффициенту согласования. Потери особенно заметны в электрически малых антеннах и в тонких проводниках с высокой плотностью тока.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Энергия

эффективность

Дальняя зона

05

Масштабирование размеров

РАЗДЕЛ 6 / 6

Для первых эскизов используют характерные размеры в долях длины волны, но точное проектирование требует учёта диаметра проводника, диэлектрика, способа питания и близлежащих объектов. Корпус устройства способен существенно менять распределение токов и резонанс антенны.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Масштабирование размеров

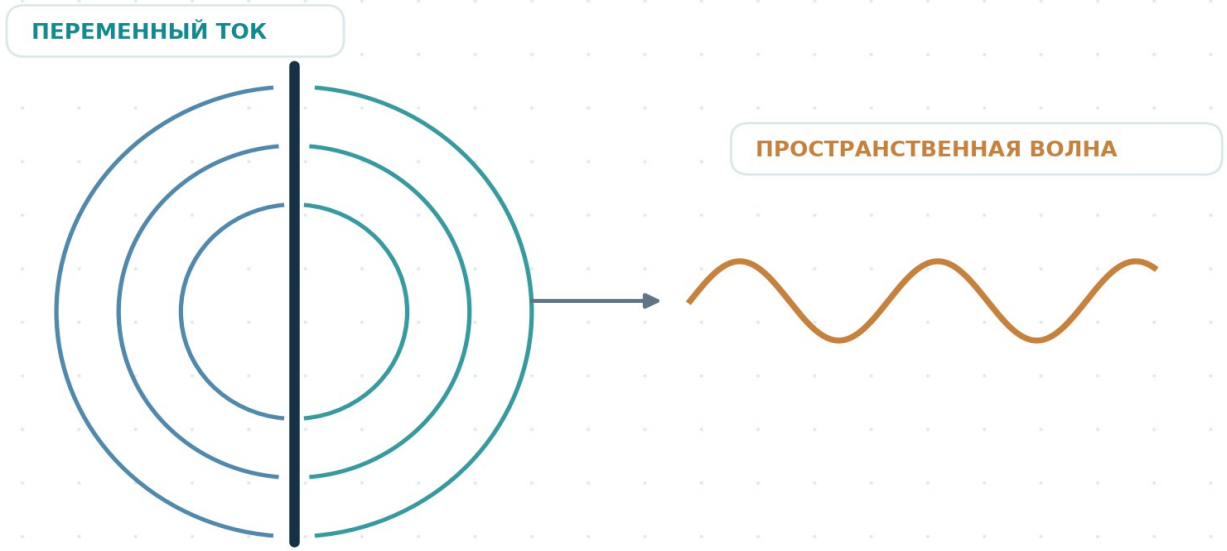
Импеданс

КПД

06

Техническая иллюстрация

Физические основы антенн и электромагнитного излучения



Обратите внимание

Поле, волна, ток и взаимодействие антенны с пространством

Схема отражает основные взаимосвязи, рассмотренные в лекции.

Основные расчётные соотношения

Связь теории с инженерным расчётом

$$\lambda = c/f;\ R_{дальняя} \geq 2D^2/\lambda$$ (приближённый критерий).

Обратите внимание

Передача мощности от радиоустройства к антенне зависит от комплексных сопротивлений источника, линии и входа антенны.

Размер на частоте 300 МГц

Инженерный пример

При f = 300 МГц длина волны λ ≈ 1 м. Полуволновой электрический размер составляет примерно 0,5 м. Реальная длина резонансного диполя несколько отличается от λ/2 из-за концевых эффектов, толщины проводника и условий установки. Такой расчёт задаёт лишь начальную геометрию.

Ключевой вывод: результат необходимо сопоставить с требованиями системы.

Инженерные аспекты

1 из 1 · Углублённый разбор

Полезная отправная точка — баланс электромагнитной энергии. Подведённая мощность может отражаться из-за рассогласования, поглощаться в металле и диэлектриках, а оставшаяся часть излучается. Именно поэтому оценка по одному S11 не позволяет заключить, что антенна имеет высокое усиление. Другая типичная ошибка — считать, что электромагнитное поле во всех точках распространяется как плоская волна. В ближней зоне связь между компонентами поля и расстоянием сложнее; измерение диаграммы при неподходящей дистанции даёт искажения. При расчёте полезно фиксировать два масштаба: абсолютные размеры изделия и размеры, нормированные на λ.

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

При моделировании и измерениях необходимо указывать материал проводников, диэлектрические параметры, расположение опоры, фидер и окружающий корпус. Измеренная «антенна сама по себе» может вести себя иначе после монтажа на спутник или устройство. Численный пример является учебным; для реальной системы необходимы измерения, подтверждённые исходные данные и проверка диапазона применимости модели.

Практическое задание

Самостоятельная работа

Вычислите λ для 144, 433 и 2400 МГц и предложите порядок размеров простого проводникового излучателя на каждой частоте.

Термины для повторения

ЭМ-волна • Частота • Длина волны • Ближняя зона • Дальняя зона • Импеданс • КПД • Фидер

Контрольные вопросы

Для самопроверки

01 Почему переменный ток создаёт излучение?

02 Как связаны λ и f?

03 Что такое ближнее поле?

04 Для чего задаётся дальняя зона?

05 Чем потери согласования отличаются от КПД?

06 Почему корпус влияет на антенну?

Итоги лекции

Три основных положения

1. Ускоренно движущиеся электрические заряды создают изменяющиеся электрические и магнитные поля.

2. В свободном пространстве электрическое и магнитное поля взаимно перпендикулярны и ориентированы поперёк направления распространения.

3. В непосредственной близости антенны существенны реактивные поля, связанные с накоплением электрической и магнитной энергии.

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