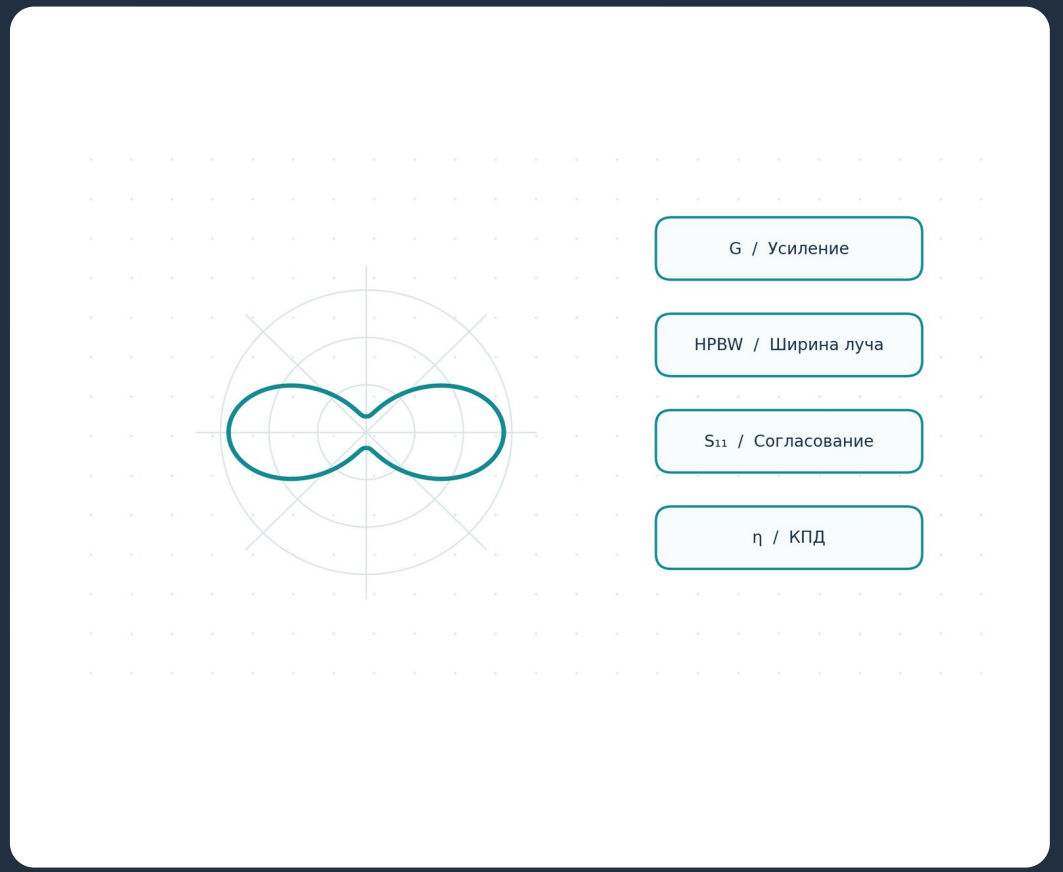
Казахский национальный университет имени аль-Фараби

ОТКРЫТЫЙ ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

Лекция 02

Основные параметры и диаграммы направленности антенн

Коэффициент усиления, направленность, ширина луча и боковые лепестки



Мейрамбекұлы Нұрсұлтан

старший преподаватель кафедры электроники и астрофизики, PhD

Цель и результаты обучения

Что необходимо освоить

ЦЕЛЬ ЛЕКЦИИ

Научиться читать диаграммы направленности и связывать их с энергетикой радиосистемы.

ПОСЛЕ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ

Различать усиление, направленность и КПД. Интерпретировать уровни −3 дБ и боковые лепестки. Оценивать вклад антенны в бюджет радиолинии.

План лекции

Шесть ключевых вопросов

1. **Диаграмма направленности**
2. **Усиление и направленность**
3. **Ширина луча и фронтальное отношение**
4. **Сечения и нормирование**
5. **Оценка ширины и усиления**
6. **Баланс и взаимность**

Диаграмма направленности

РАЗДЕЛ 1 / 6

Диаграмма направленности описывает угловое распределение излучаемой мощности или напряжённости поля. Её отображают в полярной и прямоугольной системах координат, отдельно в различных сечениях. Главный лепесток указывает желаемое направление, боковые и задний могут создавать нежелательные связи и помехи. Нормированная диаграмма не показывает абсолютную мощность без дополнительных данных об усилении.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Диаграмма направленности

D

G

01

Усиление и направленность

РАЗДЕЛ 2 / 6

Направленность D характеризует концентрацию излучения по направлениям относительно изотропного источника. Коэффициент усиления G дополнительно учитывает КПД излучения: G = ηD. Уровни в дБи относят к изотропному излучателю, а дБд — к полуволновому диполю. Значение G в одной точке не описывает всю антенну: для оценки покрытия требуется полная диаграмма.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Усиление

направленность

G

02

Ширина луча и фронтальное отношение

РАЗДЕЛ 3 / 6

Шириной главного лепестка часто называют угловой интервал между точками уровня половинной мощности, или −3 дБ относительно максимума. Уровень боковых лепестков влияет на вероятность приёма помех. Отношение вперёд/назад важно для систем, которым требуется подавлять излучение в противоположном направлении. В антенных решётках форма диаграммы связана с амплитудным и фазовым распределением по элементам.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Ширина луча

фронтальное отношение

дБи

03

Сечения и нормирование

РАЗДЕЛ 4 / 6

В отчёте явно указывайте плоскости измерения, координаты, поляризацию и условие нормировки. Нулевая отметка 0 дБ на нормированной диаграмме соответствует её собственному максимуму, а не обязательно 0 дБи.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Сечения

нормирование

дБд

04

Оценка ширины и усиления

РАЗДЕЛ 5 / 6

Приближённое усиление направленной антенны связано с телесным углом главного излучения. Уменьшение ширины диаграммы обычно повышает направленность, но может увеличивать требования к точности наведения. Нельзя использовать только ширину одного сечения для точного определения усиления.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Оценка ширины

усиления

КПД

05

Баланс и взаимность

РАЗДЕЛ 6 / 6

Для линейных пассивных взаимных антенн передающая и приёмная диаграммы совпадают при одинаковых условиях. Ключевые параметры следует измерять в заданной рабочей полосе: резонансное согласование в центре диапазона не гарантирует подходящей диаграммы на его краях.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Баланс

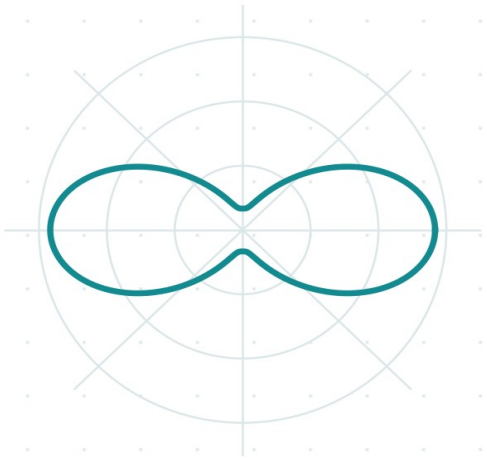
взаимность

HPBW

06

Техническая иллюстрация

Основные параметры и диаграммы направленности антенн



G / Усиление

HPBW / Ширина луча

S_{11} / Согласование

η / КПД

Обратите внимание

Коэффициент усиления, направленность, ширина луча и боковые лепестки

Схема отражает основные взаимосвязи, рассмотренные в лекции.

Основные расчётные соотношения

Связь теории с инженерным расчётом

$$G = \eta D;\ G[\text{dBi}] = 10\log_{10}(G_\text{лин});\ \Delta G[\text{dB}] = 10\log_{10}(G_2/G_1).$$

Обратите внимание

В отчёте явно указывайте плоскости измерения, координаты, поляризацию и условие нормировки.

Что означает 6 дБ разницы

Инженерный пример

Если в одном направлении усиление первой антенны равно 8 дБи, а второй — 14 дБи, отношение плотностей мощности при одинаковой подводимой мощности и прочих условиях будет около 10^(6/10) ≈ 4. Это не означает четырёхкратного роста суммарной излучаемой мощности: меняется её угловое распределение.

Ключевой вывод: результат необходимо сопоставить с требованиями системы.

Инженерные аспекты

1 из 1 · Углублённый разбор

Полную диаграмму направленности нельзя восстановить по одному плоскому сечению без дополнительных симметрий. Даже одинаковые уровни главного лепестка в горизонтальной плоскости могут сочетаться с разной вертикальной шириной и, следовательно, разной направленностью. При измерениях важно явно указывать поляризационную компоненту. Кросс-поляризационное излучение способно создавать помехи в системе с поляризационным разделением каналов. Другой источник ошибок — сравнение значения дБи и дБд без пересчёта. Для корректного выбора нужно сопоставлять рабочую частоту, 3D-диаграмму, эффективность, входное согласование и условия установки.

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

Заявление «антенна 20 дБи» без частоты, поляризации и диаграммы недостаточно для инженерного выбора. Для спутниковой станции также важны боковые лепестки, точность наведения, потери в тракте и поведение при ветровой нагрузке. Численный пример является учебным; для реальной системы необходимы измерения, подтверждённые исходные данные и проверка диапазона применимости модели.

Практическое задание

Самостоятельная работа

Изобразите качественную диаграмму с главным, задним и двумя боковыми лепестками. Подпишите ширину −3 дБ и объясните её значение.

Термины для повторения

D • G • дБи • дБд • КПД • HPBW • Боковой лепесток • Отношение F/B

Контрольные вопросы

Для самопроверки

01 Что показывает нормированная диаграмма?

02 Чем D отличается от G?

03 Что означает 0 дБ на нормированном графике?

04 Как определяется ширина −3 дБ?

05 Почему важны боковые лепестки?

06 В каких условиях действует взаимность?

Итоги лекции

Три основных положения

1. Диаграмма направленности описывает угловое распределение излучаемой мощности или напряжённости поля.

2. Направленность D характеризует концентрацию излучения по направлениям относительно изотропного источника.

3. Шириной главного лепестка часто называют угловой интервал между точками уровня половинной мощности, или −3 дБ относительно максимума.

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