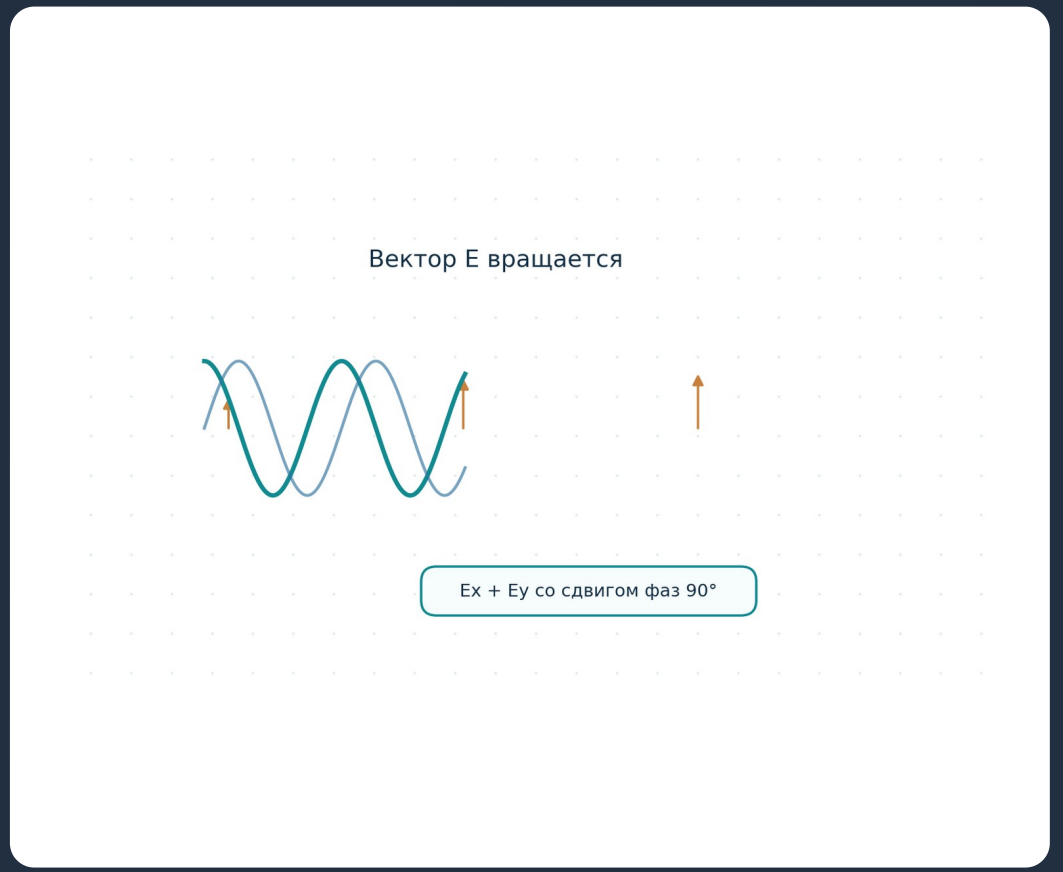
Казахский национальный университет имени аль-Фараби

ОТКРЫТЫЙ ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

Лекция 08

Поляризация и антенны круговой поляризации

Линейная, эллиптическая и круговая поляризация; осевое отношение



Мейрамбекұлы Нұрсұлтан

старший преподаватель кафедры электроники и астрофизики, PhD

Цель и результаты обучения

Что необходимо освоить

ЦЕЛЬ ЛЕКЦИИ

Научиться понимать и выбирать поляризацию антенны для радиолинии, чувствительной к ориентации.

ПОСЛЕ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ

Различать типы поляризации. Объяснять роль осевого отношения. Оценивать поляризационное несоответствие.

План лекции

Шесть ключевых вопросов

1. **Геометрия вектора электрического поля**
2. **Осевая характеристика и направление вращения**
3. **Несовпадение поляризаций**
4. **Как получить круговую поляризацию**
5. **Проверка измерением**
6. **Особенности спутников**

Геометрия вектора электрического поля

РАЗДЕЛ 1 / 6

Поляризация характеризует траекторию конца вектора электрического поля в фиксированной точке пространства. Для линейной поляризации направление колебаний постоянно, для круговой — вектор вращается с постоянной амплитудой, для эллиптической — описывает эллипс. Поле с круговой поляризацией представимо двумя ортогональными линейными компонентами равной амплитуды со сдвигом фаз ±90°.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Поляризация

RHCP

LHCP

01

Осевая характеристика и направление вращения

РАЗДЕЛ 2 / 6

Осевое отношение (axial ratio, AR) показывает отношение большой и малой осей эллипса поляризации. Идеальная круговая поляризация имеет AR = 1, или 0 дБ. Для спутниковых систем иногда задают порог AR ≤ 3 дБ в рабочем секторе, но требование определяется миссией. LHCP и RHCP обозначают противоположные направления вращения; соглашение о наблюдении и применяемый стандарт определения должны быть зафиксированы.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Осевая характеристика

направление вращения

RHCP

02

Несовпадение поляризаций

РАЗДЕЛ 3 / 6

Если приёмная антенна не соответствует поляризации падающего поля, часть мощности теряется. Для двух идеальных линейных антенн поляризационный коэффициент равен $\cos^2\psi$, где ψ — угол между направлениями. При $\psi = 45°$ потери составляют 3 дБ. Линейная антенна при приёме идеального кругового поля в подходящей геометрии получает половину доступной мощности, что также соответствует 3 дБ потерь.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Несовпадение поляризаций

LHCP

AR

03

Как получить круговую поляризацию

РАЗДЕЛ 4 / 6

Существуют спиральные антенны, четырёхзаходные структуры, печатные patch с возмущениями геометрии и двухпортовые ортогональные излучатели. При двухпортовом питании используют разделение мощности и квадратурный фазовый сдвиг. Несимметрия амплитуд или фазы ухудшает осевое отношение.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Как получить круговую поляризацию

AR

Эллипс

04

Проверка измерением

РАЗДЕЛ 5 / 6

AR и направление вращения проверяют во всём угловом секторе и на рабочей частоте. Отдельное измерение S11 не позволяет определить круговую поляризацию. В протоколе нужно указать условия измерения и систему обозначения RHCP/LHCP.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Проверка измерением

Эллипс

Квадратура

05

Особенности спутников

РАЗДЕЛ 6 / 6

Для вращающегося или меняющего ориентацию КА круговая поляризация помогает уменьшить зависимость от угла поворота линейной поляризации. Однако неправильное направление вращения в паре антенн приводит к существенным потерям, поэтому на раннем этапе необходимо согласовать соглашения для обеих сторон.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Особенности спутников

Квадратура

Поляризационные потери

06

Техническая иллюстрация

Поляризация и антенны круговой поляризации



Обратите внимание

Линейная, эллиптическая и круговая поляризация; осевое отношение

Схема отражает основные взаимосвязи, рассмотренные в лекции.

Основные расчётные соотношения

Связь теории с инженерным расчётом

$$AR[dB] = 20\log_{10}(E_{max}/E_{min});\ L_{пол} = -10\log_{10}(\cos^2\psi).$$

Обратите внимание

Существуют спиральные антенны, четырёхзаходные структуры, печатные patch с возмущениями геометрии и двухпортовые ортогональные излучатели.

Линейные антенны под 60°

Инженерный пример

При $\psi = 60°$ $\cos^2\psi = 0{,}25$, поэтому идеализированные потери поляризационного несоответствия составляют $-10\log_{10}(0{,}25) \approx 6{,}0$ дБ. Этот результат справедлив для пары идеальных линейно поляризованных полей без учёта других источников потерь.

Ключевой вывод: результат необходимо сопоставить с требованиями системы.

Инженерные аспекты

1 из 1 · Углублённый разбор

Идеальное круговое поле требует двух равных ортогональных компонент со сдвигом 90°. На практике равенство нарушают частотная зависимость фида, допуски геометрии, паразитные токи и ошибки сборки. В результате осевое отношение различается по направлениям и частотам. Для радиолинии со спутником особенно важно согласование соглашений RHCP/LHCP между производителем бортового изделия, наземной станцией и испытательной лабораторией. Приёмный тракт иногда включает поляризационный преобразователь, и его характеристики тоже нужно учитывать в системном бюджете.

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 проектировании антенны с круговой поляризацией измеряйте AR не только на оси. Хороший показатель в направлении максимума не гарантирует его сохранения во всём телесном секторе связи. Численный пример является учебным; для реальной системы необходимы измерения, подтверждённые исходные данные и проверка диапазона применимости модели.

Практическое задание

Самостоятельная работа

Рассчитайте потери для углов ψ = 0°, 30°, 45° и 60°. Объясните, в каких случаях круговая поляризация выгоднее.

Термины для повторения

Поляризация • RHCP • LHCP • AR • Эллипс • Квадратура • Поляризационные потери • Cross-pol

Контрольные вопросы

Для самопроверки

01 Как определяется линейная поляризация?

02 Чему равен AR идеальной круговой поляризации?

03 Какие компоненты нужны для CP?

04 Что означают RHCP и LHCP?

05 Почему важна поляризация при вращении КА?

06 Как рассчитывают потери двух линейных поляризаций?

Итоги лекции

Три основных положения

1. Поляризация характеризует траекторию конца вектора электрического поля в фиксированной точке пространства.

2. Осевое отношение (axial ratio, AR) показывает отношение большой и малой осей эллипса поляризации.

3. Если приёмная антенна не соответствует поляризации падающего поля, часть мощности теряется.

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