

Лабораторное занятие 1

Определение параметров трассы распространения

Задача 1. Определить потери в реальных условиях при передаче сигнала на расстоянии 60 км для частоты 6 ГГц, если дополнительные потери при передаче $W_{\tau}=25$ дБ. Полученную величину выразить в децибелах.

Решение.

Потери передачи (затухание радиоволн) могут быть представлены в виде суммы двух компонент:

$$W = W_0 + W_{\tau},$$

где W_0 - основные потери (затухание) радиоволн в свободном пространстве, т.е. затухание на трассе (интервале) без учета влияния поверхности Земли, неоднородности и изменений условий рефракции радиоволн в атмосфере;

W_{τ} , - дополнительные потери (затухание) радиоволн, вносимые рельефом местности и вызываемые замираниями на трассе (интервале).

Основные потери в свободном пространстве определяются по формуле

$$W_0 = 16\pi^2 \frac{R^2}{\lambda^2}.$$

Для частоты 6 ГГц $\lambda=5\text{см}=5 \times 10^{-2}\text{м}$

Имеем

$$W_0 = 16\pi^2 \frac{(60 \cdot 10^3)^2}{(5 \cdot 10^{-2})^2} = 16\pi^2 \frac{3600}{25} \cdot 10^{10} = 2,274010^{14} = 143,6\text{дБ}.$$

Тогда $W = W_0 + W_{\tau} = 143,6\text{дБ} + 25\text{дБ} = 168,6\text{дБ}$.

Ответ: Потери передачи в реальных условиях составляют 168,6 дБ.

Задача 2.

Определить потери в реальных условиях при передаче сигнала на расстоянии 25 км для частоты 2 ГГц, если дополнительные потери при передаче $W_{\tau}=25$ дБ. Полученную величину выразить в децибелах.

Решение.

Потери передачи (затухание радиоволн) могут быть представлены в виде суммы двух компонент:

$$W = W_0 + W_{\tau},$$

где W_0 - основные потери (затухание) радиоволн в свободном пространстве, т.е. затухание на трассе (интервале) без учета влияния поверхности Земли, неоднородности и изменений условий рефракции радиоволн в атмосфере;

W_{τ} , - дополнительные потери (затухание) радиоволн, вносимые рельефом местности и вызываемые замираниями на трассе (интервале).

Основные потери в свободном пространстве определяются по формуле

$$W_0 = 16\pi^2 \frac{R^2}{\lambda^2}.$$

Для частоты 2 ГГц $\lambda=15\text{см}=15 \times 10^{-2}\text{м}$

Имеем

$$W_0 = 16\pi^2 \frac{(25 \cdot 10^3)^2}{(15 \cdot 10^{-2})^2} = 16\pi^2 \frac{625}{225} \cdot 10^{10} = 4,39 \times 10^{12} = 126,4\text{дБ}.$$

Тогда $W = W_0 + W_{\tau} = 126,4\text{дБ} + 25\text{дБ} = 151,4\text{дБ}$.

Ответ: Потери передачи в реальных условиях составляют 151,4 дБ.

Задача 3. Определить потери в реальных условиях при передаче сигнала на расстоянии 60 км для частоты 2 ГГц, если дополнительные потери при передаче $W_{\tau}=32$ дБ. Полученную величину выразить в децибелах.

Решение.

Потери передачи (затухание радиоволн) могут быть представлены в виде суммы двух компонент:

$$W = W_0 + W_{\tau},$$

где W_0 - основные потери (затухание) радиоволн в свободном пространстве, т.е. затухание на трассе (интервале) без учета влияния поверхности Земли, неоднородности и изменений условий рефракции радиоволн в атмосфере;

W_{τ} , - дополнительные потери (затухание) радиоволн, вносимые рельефом местности и вызываемые замираниями на трассе (интервале).

Основные потери в свободном пространстве определяются по формуле

$$W_0 = 16\pi^2 \frac{R^2}{\lambda^2}.$$

Для частоты 2 ГГц $\lambda=15\text{см}=15 \times 10^{-2}\text{м}$

Имеем

$$W_0 = 16\pi^2 \frac{(60 \cdot 10^3)^2}{(15 \cdot 10^{-2})^2} = 16\pi^2 \frac{36000}{225} \cdot 10^{10} = 252,7 \times 10^{12} = 142,4 \text{ дБ}.$$

Тогда $W = W_0 + W_{\tau} = 142,4 \text{ дБ} + 32 \text{ дБ} = 174,4 \text{ дБ}.$

Ответ: Потери передачи в реальных условиях составляют 174,4 дБ.

Задача 4. Определить потери в реальных условиях при передаче сигнала на расстоянии 60 км для частоты 10 ГГц, если дополнительные потери при передаче $W_{\tau}=25$ дБ. Полученную величину выразить в децибелах.

Решение.

Потери передачи (затухание радиоволн) могут быть представлены в виде суммы двух компонент:

$$W = W_0 + W_{\tau},$$

где W_0 - основные потери (затухание) радиоволн в свободном пространстве, т.е. затухание на трассе (интервале) без учета влияния поверхности Земли, неоднородности и изменений условий рефракции радиоволн в атмосфере;

W_{τ} , - дополнительные потери (затухание) радиоволн, вносимые рельефом местности и вызываемые замираниями на трассе (интервале).

Основные потери в свободном пространстве определяются по формуле

$$W_0 = 16\pi^2 \frac{R^2}{\lambda^2}.$$

Для частоты 10 ГГц $\lambda=3\text{см}=3 \times 10^{-2}\text{м}$

Имеем

$$W_0 = 16\pi^2 \frac{(60 \cdot 10^3)^2}{(3 \cdot 10^{-2})^2} = 16\pi^2 \frac{36000}{9} \cdot 10^{10} = 6317,5 \times 10^{12} = 158 \text{ дБ}.$$

Тогда $W = W_0 + W_{\tau} = 158 \text{ дБ} + 25 \text{ дБ} = 183 \text{ дБ}.$

Ответ: Потери передачи в реальных условиях составляют 183 дБ.

Задача 5. Определить величину полных потерь (затухания) при передаче сигнала на рабочей частоте 4 ГГц в реальных условиях на трассе связи длиной 40 км с учетом

затухания $W_p=22$ дБ, вносимого рельефом местности и тропосферой, и затухания, вызываемого замираниями сигнала (за счет интерференции) при одной отраженной волне и идеальной отражающей поверхности ($\phi=1$), разностного хода лучей $\Delta r=2,5$ см

Решение

Полные потери (затухание) радиоволн в реальных условиях на трассе связи может быть представлено в виде суммы трех компонент:

$$W = W_0 + W_p + W_3,$$

где W_0 - основные потери (затухание) радиоволн в свободном пространстве;

W_p - дополнительные потери (затухание) радиоволн, вносимое рельефом местности и тропосферы;

W_3 - дополнительные потери (затухание) радиоволн, вызываемое замираниями сигнала на трассе (интервале) связи.

Основные потери W_0 при передаче в свободном пространстве определяются по формуле

$$W_0 = \left(\frac{4\pi R_0}{\lambda} \right)^2,$$

где R_0 - протяженность трассы связи

λ - рабочая длина волны.

Подставляя значения R_0 и λ , получим

$$W_0 = \left(\frac{4\pi \cdot 40 \cdot 10^3}{7,5 \cdot 10^{-2}} \right)^2 = 4,492 \cdot 10^{13} = 136,5 \text{ дБ}.$$

Дополнительные потери W_p заданы $W_p=22$ дБ.

Дополнительные потери W_3 определяются квадратом модуля множителя ослабления V , который при одной отраженной волне вычисляется по формуле:

$$V^2 = 1 + \phi^2 + 2\phi \cos \gamma, \text{ где}$$

ϕ - модуль коэффициента отражения от земной поверхности;

$$\gamma = \frac{2\pi \cdot \Delta r}{\lambda} - \text{сдвиг фаз между интерферирующими волнами;}$$

Δr - разность хода между интерферирующими волнами.

Имеем:

$$V^2 = 1 + 1 \cdot 2 \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta r \right) = 2 \cdot 2 \cos \frac{12\pi}{7,5} = 2 \cdot 2 \cos^2 \frac{\pi}{3} = 2 \cdot \left(-\frac{1}{2} \right) = 3.$$

$$\text{Отсюда } W_3 = 10 \lg V^2 = 10 \lg 3 = 4,8 \text{ дБ}.$$

Тогда

$$W = W_0 + W_p + W_3 = 136,5 + 22,0 + 4,8 = 163,3 \text{ дБ}.$$

Ответ: Величина полных потерь составляет 163,3 дБ

Задача 6.

Рассчитать величину критического просвета H_0 для радиорелейного интервала связи протяженностью $R_0=40$ км, профиль которого имеет наивысшую точку поверхности на расстоянии 16 км от передающей станции. На радиолинии используется СВЧ оборудование, работающее на средней частоте 3660 МГц.

Решение:

Величина критического просвета H_0 определяется по формуле:

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3}} R_0 \lambda k (1 - k),$$

где R_0 - протяженность трассы

λ - рабочая длина волны

k - относительная координата наивысшей точки профиля трассы.

Вычисляем величину k :

$$k = \frac{R_1}{R_0} = \frac{16}{40} = 0,4.$$

По формуле определяем просвет H_0 :

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3}} R_0 10^3 \lambda \cdot 10^{-2} k(1-k) = \sqrt{\frac{1}{3}} 40 \cdot 10^3 \cdot 8,2 \cdot 10^{-2} \cdot 0,4(1-0,4) = 16,2 \text{ м.}$$

Ответ: Величина критического просвета равна 16,2 м.

Задача 7.

Определить величину просвета H , при котором приемная антенна радиорелейной линии связи попадает в первый интерференционный минимум, если известно, что расстояние между передающей и приемной радиорелейными станциями $R_0=38$ км, рабочая частота 7954 МГц, наивысшая точка профиля отстоит от передающей станции на расстоянии $R_1=14$ км.

Решение

Из формулы для относительной величины просвета $P(g)$ в n -м интерференционном минимуме

$$P(g)_{\min} = \sqrt{6n}$$

видно, что первый интерференционный минимум ($n=1$) наступает при

$$P(g)_{\min} = \sqrt{6}.$$

Относительная координата наивысшей точки профиля $k = \frac{R_1}{R_0} = \frac{14}{38} = 0,368$. Длина

рабочей волны $\lambda = \frac{c}{f} = 3,77$ см.

Учитывая формулу для критического просвета H_0

$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3}} R_0 \lambda k(1-k)$, рассчитаем величину $H(g)_{\min}$, при котором наступает первый

интерференционный минимум,

$$H(g)_{\min} = H_0 \cdot P(g)_{\min} = \sqrt{6} \cdot H_0 = \sqrt{6} \cdot \sqrt{\frac{1}{3}} R_0 \lambda k(1-k) = 25,9 \text{ м.}$$

Ответ: Величина просвета равна 25,9 м.

Задача 8.

Определить величину просвета для равнинной местности при стандартной рефракции для высот антенн $h_1=50$ м, $h_2=60$ м и длине пролета $R=50$ км.

Решение. Поставленная задача должна решаться в два этапа. На первом определяется величина просвета для заданного профиля при отсутствии рефракции, на втором – вычисляется приращение просвета за счет рефракции.

Поскольку первая часть задачи аналогична предыдущей (см. задачу 12), можем сразу определить величину просвета без учета рефракции

$$H = (h_1 + h_2 / 2) - (R/2/2R_3)(R - R/2) \cdot 10^3 = \\ = (50+60/2) - (25/2 \cdot 6370)(50-25) \cdot 10^3 = 5,9 \text{ м.}$$

Известно, что при стандартной рефракции, для которой $g = -8 \cdot 10^{-8} \text{ 1/м}$, дальность связи возрастает. Возрастает при этом и просвет. Приращение просвета за счет рефракции можно определить по формуле $\Delta H(g) = -R^2 g k(1-k)/4$, где k – относительная координата наивысшей точки препятствия, $K = R_1/R$, где R_1 – расстояние до наивысшей точки препятствия, R – длина пролета. Очевидно, в нашем случае $k=0,5$, так как наивысшая точка препятствия расположена посередине пролета. Тогда приращение просвета за счет рефракции составит $\Delta H(g) = (50 \cdot 10^3)^2 \cdot 8 \cdot 10^{-8} \cdot 0,5(1-0,5) \cdot 1/4 = 12,5 \text{ м}$.
 Общая величина просвета составит $H' = H + \Delta H(g) = 5,9 + 2,5 = 18,4 \text{ м}$

Задача 9

Расчет вероятности ошибки в канале связи

Задача. Требуется рассчитать вероятность ошибки BER для 64QAM сигнала с $C/N = 26$ дБ. Скорость кодирования $CR = 3/4$. Гауссов канал приема.

Решение:

1. Обобщая все формулы пересчета, вычисляем требуемое E_b/N_0 через требуемое C/N :

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} = 10 \lg \left(\frac{204}{188} \right) - 10 \lg(m) + 10 \lg \left(\frac{1}{RC} \right) = 19,82 \text{ дБ (96 ед.)}$$

2. Подставляем численное значение E_b/N_0 в формулу (21) для расчета вероятности ошибки ($L = 8$):

$$BER \approx \frac{7}{12} \cdot Q \left[\sqrt{\frac{2E_b}{7N_0}} \right]$$

В нашем случае $x = 2/7$ (для 64QAM). Подставляя это численное значение в (23), вычисляем расчетное значение $BER = 5 \times 10^{-8}$

$$(Q(x) = 8,5 \times 10^{-8})$$