

Практическое занятие 1

1. Канал связи

В теории связи важным понятием является канал связи. Обычно под каналом связи понимают ту часть системы связи, которая включает источник информации, устройство кодирования и модуляции, передающее устройство, физический канал (среду распространения сигнала), приемник с устройствами обработки информации и получатель информации. Анализ канала связи включает бюджет канала – расчет потерь энергии сигнала, связанных с физическими процессами, протекающими в устройствах и среде распространения. Бюджет – это метод оценки, позволяющий определить достоверность передачи системы связи. Среда распространения или электромагнитный тракт связи, соединяющий передающее и приемное устройства называются каналом. Каналы могут представлять собой проводники, коаксиальные и оптоволоконные кабели, волноводы, а также атмосферу, ионосферу или другую среду, в которой распространяются радиоволны. В последнем случае говорят о радиоканале. В дальнейшем мы ограничимся рассмотрением радиоканала.

1.1. Бюджет канала связи

При анализе радиоканала часто используется модель свободного пространства. В рамках этой модели предполагается, что в канале отсутствуют такие процессы, как отражение, преломление, поглощение, рассеяние и дифракция радиоволн. Если рассматривается распространение радиоволн в атмосфере, то она предполагается однородной и удовлетворяющей указанным выше условиям. Предполагается, что земная поверхность находится достаточно далеко от радиотрассы, так что ее влиянием можно пренебречь. Модель свободного пространства является эталонной при анализе распространения радиоволн на различных трассах. В рамках этой модели энергия сигнала зависит только от расстояния между передатчиком и приемником и убывает обратно пропорционально квадрату расстояния.

Достоверность передачи информации определяется несколькими факторами, среди которых можно выделить отношение сигнал/шум, а также искажения сигнала, вызванные межсимвольной интерференцией. В цифровой связи вероятность ошибки зависит от нормированного отношения E_b / N_0 , где E_b – энергия бита, N_0 – спектральная плотность мощности шума. Уменьшение отношения сигнал/шум может быть вызвано снижением мощности сигнала, повышением мощности шума или мощности сигналов, интерферирующих с полезным сигналом. Эти механизмы называются, соответственно, потерями (ослаблением) и шумом (интерференцией). Ослабление может происходить в результате поглощения энергии сигнала, отражения части энергии сигнала или рассеяния. Существуют несколько

источников шумов и интерференции – тепловой шум, галактический шум, атмосферные и промышленные помехи, перекрестные и интерферирующие сигналы от других источников.

Перечислим некоторые причины потерь.

1. Потери, связанные с ограничением полосы канала.
2. Межсимвольная интерференция.
3. Модуляционные потери.
4. Интермодуляционные искажения.
5. Поляризационные потери.
6. Пространственные потери.
7. Помехи соседнего канала.
8. Атмосферные и галактические шумы.
9. Собственные шумы приемника.
10. Потери в антенно-фидерном тракте.

Анализ бюджета канала начинается, как правило, с дистанционного уравнения, связывающего мощность на входе приемного устройства с излучаемой передатчиком мощностью. На первом этапе рассматривается ненаправленная антенна, равномерно излучающая в телесном угле 4π стерадиан. Такой источник называется изотропным излучателем. Плотность мощности на расстоянии d от излучателя определяется выражением

$$\rho(d) = \frac{P_T}{4\pi d^2}, \quad (1.1)$$

где P_T – мощность передатчика. Принимаемая мощность может быть записана в виде

$$P_R = \rho(d)A_{eR} = \frac{P_T A_{eR}}{4\pi d^2}, \quad (1.2)$$

где A_{eR} – эффективная площадь приемной антенны. Существует простая связь между коэффициентом усиления антенны и ее эффективной площадью

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_e, \quad (1.3)$$

где λ – длина волны. Для изотропного излучателя $G=1$ и эффективная площадь однозначно определяется длиной волны

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi}. \quad (1.4)$$

Для идеальных передающей и приемной антенн (с изотропными диаграммами направленности) дистанционное уравнение может быть записано в виде

$$P_R = \frac{P_T}{(4\pi d / \lambda)^2} = \frac{P_T}{L_s}, \quad (1.5)$$

где L_s – суммарные потери в свободном пространстве, определяемые формулой

$$L_s = (4\pi d / \lambda)^2. \quad (1.6)$$

Если для передачи и приема сигнала используются направленные антенны, то уравнение (1.5) принимает вид

$$P_R = \frac{P_T G_R G_T}{L_s}. \quad (1.7)$$

где G_R и G_T – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн.

Из выражения (1.6) следует, что суммарные потери в свободном пространстве зависят от длины волны (частоты). Это связано с тем, что величина L_s определена для идеальной приемной антенны с изотропной диаграммой направленности, для которой $G_T = 1$. В действительности, из простых геометрических соображений следует, что в свободном пространстве мощность является функцией расстояния и не зависит от частоты.

Для расчета мощности принимаемого сигнала может быть использована одна из четырех приведенных ниже формул

$$P_R = \frac{P_T G_T A_{eR}}{4\pi d^2}, \quad (1.8)$$

$$P_R = \frac{P_T A_{eT} A_{eR}}{\lambda^2 d^2}, \quad (1.9)$$

$$P_R = \frac{P_T A_{eT} G_R}{4\pi d^2}, \quad (1.10)$$

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2}{(4\pi d)^2}. \quad (1.11)$$

На первый взгляд, эти формулы определяют различные зависимости принимаемой мощности от длины волны (частоты). В действительности коэффициент усиления и эффективная площадь антенны связаны через длину волны. Поэтому противоречия в формулах нет. Для системы связи с заданными антеннами (т.е. с определенными эффективными площадями

антенн) удобно пользоваться формулой (1.9). При этом видно, что принимаемая мощность увеличивается с ростом частоты.

Для цифровой связи вероятность ошибки зависит от отношения E_b/N_0 в приемнике, определяемого следующим образом:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_R}{N} \left(\frac{W}{R} \right), \quad (1.12)$$

где P_R – мощность принятого сигнала, N – мощность шума, W – ширина полосы приемного устройства, R – скорость передачи бита. Формулу (1.12) можно переписать в виде

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_R}{N_0} \left(\frac{1}{R} \right), \quad (1.13)$$

или

$$\frac{P_R}{N_0} = \frac{E_b}{N_0} R. \quad (1.14)$$

Одним из важнейших показателей качества канала является график зависимости вероятности появления ошибочного P_b бита от E_b/N_0 . Обычно различают требуемое отношение E_b/N_0 и реальное отношение E_b/N_0 . На

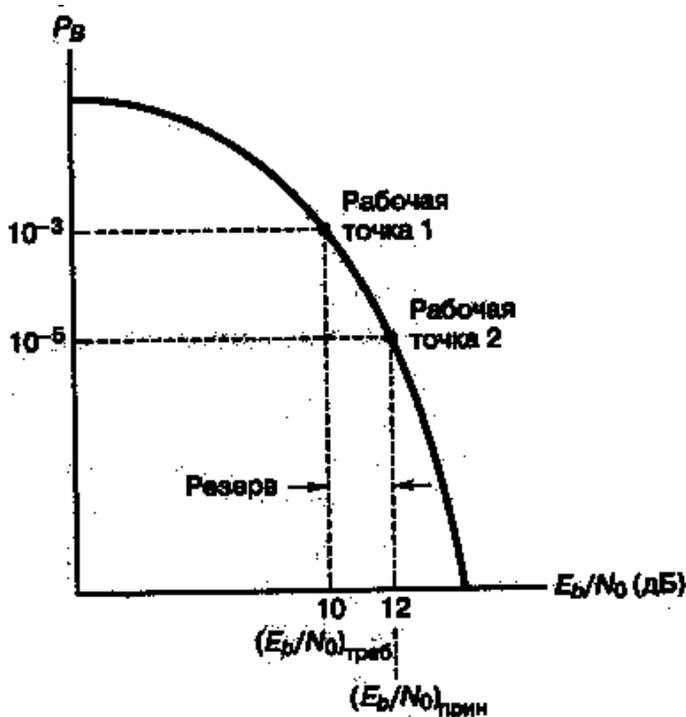


Рис 1 1

рис.1.1 показаны две рабочие точки. Пусть первая определяется значением $P_b = 10^{-3}$, обеспечивающим необходимую достоверность передачи информации. Любая система связи проектируется с некоторым запасом «прочности». Пусть реальное отношение E_b/N_0 будет выше, и вторая рабочая точка на графике соответствует $P_b = 10^{-5}$. Разность между реальным (принятым) и требуемыми отношениями E_b/N_0 дает энергетический резерв линии связи M

$$M = \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{прин}} / \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{треб}} \quad (1.15)$$

ИЛИ

$$M(\text{дБ}) = \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{прин}} (\text{дБ}) - \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{треб}} (\text{дБ}). \quad (1.16)$$

С учетом того, что мощность шума определяется выражением

$$N = \kappa T W, \quad (1.17)$$

где κ – постоянная Больцмана, T – температура, из (1.7) для идеального изотропного излучателя получаем

$$\frac{P_R}{N_0} = \frac{P_T (G_R / T)}{\kappa L_s L_0}. \quad (1.18)$$

Здесь T – параметр, определяющий результата воздействия различных источников шума. Множитель L_0 включает все возможные механизмы ослабления сигнала. Отношение G_R / T иногда называют добротностью приемника. С учетом (1.17)-(1.18) выражение для энергетического резерва линии связи можно представить в следующем виде:

$$M = \frac{P_T (G_R / T)}{\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{треб}} R \kappa L_s L_0}. \quad (1.19)$$

Входящие в (1.19) параметры определяются в конкретных точках системы. Так добротность приемника определяется на входе приемной антенны, отношение $(E_b / N_0)_{\text{треб}}$ – на входе детектора и т.д.

Бюджет канала обычно вычисляется в децибелах, поэтому соотношение (1.19) можно переписать в ином виде

$$M(\text{дБ}) = P_T(\text{дБВт}) + G_R(\text{дБ}) - \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{треб}} (\text{дБ}) - R(\text{дБбит.с}) - \kappa T(\text{дБВт.Гц}) - L_s(\text{дБ}) - L_0(\text{дБ}). \quad (1.20)$$

При проектировании системы связи необходимо найти приемлемое соотношение между всеми параметрами, фигурирующими в (1.20).