

**Порядок выполнения расчетной работы по курсу  
«Направляющие системы электрической и оптической связи»  
на тему**

**«Сравнительный анализ вариантов построения системы  
передачи данных на основе симметричного, коаксиального и  
оптоволоконного кабелей»**

1. Целью расчетной работы является определение длин регенерационных участков, а также общей условной стоимости цифровой системы передачи на основе трех типов кабелей: симметричного, коаксиального и оптоволоконного. В качестве исходных данных задается скорость передачи цифровой информации  $V$  (в бит/с) и энергетический запас системы (допустимые потери на затухание), которые определяются (в дБ) как разность значений мощности передатчика  $P_{\text{п}}$  и чувствительности приемника  $P_{\text{пр}}$ , выраженных в логарифмических единицах (дБм – децибел к милливатту, дБВт – децибел к ватту)

$$a_{\text{доп}} = P_{\text{п}} - P_{\text{пр}}.$$

2. Исходные данные для расчетов приведены в таблице 1. Номер варианта для студентов 529 группы определяется порядковым номером фамилии студента в списке группы. Для студентов 519ст группы – номером в списке группы плюс 28. Остальные данные, необходимые для расчета параметров рассматриваемых систем, приведены по тексту.

Таблица 1

Вариант	$V$ , бит/с	$a_{\text{доп}}$ , дБ	Вариант	$V$ , бит/с	$a_{\text{доп}}$ , дБ
1	$1,00 \cdot 10^8$	9,00	21	$5,10 \cdot 10^9$	34,00
2	$3,50 \cdot 10^8$	10,25	22	$5,35 \cdot 10^9$	35,25
3	$6,00 \cdot 10^8$	11,50	23	$5,60 \cdot 10^9$	36,50
4	$8,50 \cdot 10^8$	12,75	24	$5,85 \cdot 10^9$	37,75
5	$1,10 \cdot 10^9$	14,00	25	$6,10 \cdot 10^9$	39,00
6	$1,35 \cdot 10^9$	15,25	26	$6,35 \cdot 10^9$	40,25
7	$1,60 \cdot 10^9$	16,50	27	$6,60 \cdot 10^9$	41,50
8	$1,85 \cdot 10^9$	17,75	28	$6,85 \cdot 10^9$	42,75
9	$2,10 \cdot 10^9$	19,00	29	$7,10 \cdot 10^9$	44,00
10	$2,35 \cdot 10^9$	20,25	30	$7,35 \cdot 10^9$	45,25
11	$2,60 \cdot 10^9$	21,50	31	$7,60 \cdot 10^9$	46,50
12	$2,85 \cdot 10^9$	22,75	32	$7,85 \cdot 10^9$	47,75
13	$3,10 \cdot 10^9$	24,00	33	$8,10 \cdot 10^9$	49,00
14	$3,35 \cdot 10^9$	25,25	34	$8,35 \cdot 10^9$	50,25
15	$3,60 \cdot 10^9$	26,50	35	$8,60 \cdot 10^9$	51,50
16	$3,85 \cdot 10^9$	27,75	36	$8,85 \cdot 10^9$	52,75
17	$4,10 \cdot 10^9$	29,00	37	$9,10 \cdot 10^9$	54,00
18	$4,35 \cdot 10^9$	30,25	38	$9,35 \cdot 10^9$	55,25
19	$4,60 \cdot 10^9$	31,50	39	$9,60 \cdot 10^9$	56,50
20	$4,85 \cdot 10^9$	32,75	40	$9,85 \cdot 10^9$	57,75

### 3. Определение энергетических характеристик системы передачи

Зная величину допустимых потерь ( $a_{\text{доп}}$ , дБ) и погонного затухания в линии связи ( $\alpha$ , дБ/км) можно определить максимальную длину (в км) непрерывного участка линии связи, по которому возможна передача без усиления (длину регенерационного участка, ограниченного затуханием)

$$l_{\alpha} = \frac{a_{\text{доп}}}{\alpha}.$$

### 4. Определение частотных (временных) характеристик системы передачи

Частотные (временные) ограничения на дальность передачи определяются величиной дисперсии  $\tau$  или связанной с ней полосой пропускания  $\Delta F = \frac{1}{\tau}$ .

В цифровых системах допустимая ширина полосы пропускания  $\Delta F_{\text{доп}}$  (в Гц) определяется скоростью передачи цифровой информации  $V$  (в бит/с)

$$\Delta F_{\text{доп}} = \frac{V}{\sqrt{2}}.$$

Для линий большой протяженности зная величину допустимой полосы пропускания ( $\Delta F_{\text{доп}}$ , Гц) и погонной полосы пропускания ( $\Delta F$ , Гц·км) можно определить максимальную длину (в км) непрерывного участка линии связи, по которому возможна передача без восстановления формы сигнала (длину регенерационного участка, ограниченного полосой пропускания или дисперсией)

$$l_{\Delta F} = \frac{\Delta F}{\Delta F_{\text{доп}}}.$$

Следует учитывать, что для симметричного и коаксиального кабелей частотные ограничения на полосу пропускания автоматически учитываются при расчете коэффициента затухания, поэтому для них определение  $l_{\Delta F}$  можно не проводить и считать  $l_{\Delta F} = l_{\alpha}$ .

### 5. Определение итоговой длины регенерационного участка

Для обеспечения нормальной работы системы необходимо одновременное выполнение условий на максимальную дальность передачи, ограниченную как затуханием, так и полосой пропускания. В связи с этим в качестве длины регенерационного участка необходимо выбирать наименьшую из длин

$$l = \min(l_{\alpha}, l_{\Delta F}).$$

### 6. Определение характеристик симметричного кабеля

Предполагается, что передача происходит по кабелю Ethernet категории 5Е, состоящего из четырех симметричных пар. Определение всех параметров производится для одной симметричной пары, при этом частота передачи (в Гц) составляет  $f = V/4$ , где  $V$  – скорость передачи информации в бит/с. Характеристики кабеля приведены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры симметричного кабеля	Обозначение	Значение
Диаметр проводника витой пары, мм	$d$	0,52
Диаметр проводника витой пары в изоляции, мм	$d_1$	1,0
Общий диаметр группы проводников витой пары, мм	$d_r$	6,0
Расстояние между проводниками, мм	$a$	0,96
Шаг скрутки проводников витой пары, мм	$h$	13
Параметр скрутки	$p_c$	4
Диэлектрическая проницаемость изоляции проводника витой пары	$\epsilon^{c.l}$	2,3
Тангенс угла диэлектрических потерь изоляции проводника витой пары	$\text{tg} \delta^{c.l}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Сопротивление изоляции проводника витой пары, Ом/км	$R_{из}^{c.l}$	$5 \cdot 10^9$

Сопротивление рассчитывается по формуле для сопротивления неэкранированной симметричной линии ([1], ф. (12), стр. 17).

Индуктивность рассчитывается по формуле для индуктивности неэкранированной симметричной линии ([1], ф. (13), стр. 18).

Емкость рассчитывается по формуле для емкости неэкранированной симметричной линии ([1], ф. (27), стр. 22).

Проводимость изоляции рассчитывается по формуле для проводимости изоляции неэкранированной симметричной линии ([1], ф. (28), стр. 22).

На основании рассчитанных первичных параметров определяется коэффициент затухания витой пары ([1], ф. (57), стр. 31), а затем – длина регенерационного участка  $\ell_{\alpha}^{c.l}$  (см. выше).

#### 7. Определение характеристик коаксиального кабеля

Предполагается, что оба проводника коаксиальной линии изготовлены из меди. Частота передачи в герцах составляет  $f = B$ , где  $B$  – скорость передачи информации в бит/с. Характеристики кабеля приведены в таблице 3.

Таблица 3

Параметры коаксиального кабеля	Обозначение	Значение
Радиус центрального проводника, мм	$r_a$	3,15
Радиус внешнего проводника, мм	$r_b$	13,72
Диэлектрическая проницаемость изоляции коаксиального кабеля	$\epsilon^{k.l}$	1,32
Тангенс угла диэлектрических потерь изоляции коаксиального кабеля	$\text{tg} \delta^{k.l}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Сопротивление изоляции коаксиального кабеля, Ом/км	$R_{из}^{c.l}$	$5 \cdot 10^9$

Сопротивление рассчитывается по формуле для сопротивления коаксиальной линии ([1], ф. (45), стр. 29).

Индуктивность рассчитывается по формуле для индуктивности коаксиальной линии ([1], ф. (50), стр. 30).

Емкость рассчитывается по формуле для емкости коаксиальной линии ([1], ф. (54), стр. 31).

Проводимость изоляции рассчитывается по формуле для проводимости изоляции коаксиальной линии ([1], ф. (55), стр. 31).

На основании рассчитанных первичных параметров определяется коэффициент затухания коаксиальной линии ([1], ф. (57), стр. 31), а затем – длина регенерационного участка  $\ell_{\alpha}^{к.л}$  (см. выше).

#### 8. Определение характеристик оптоволоконного кабеля

Предполагается, что оптоволоконная линия является одномодовой и изготовлена из кварца. Характеристики кабеля приведены в таблице 4.

Таблица 4

Параметры симметричного кабеля	Обозначение	Значение
Тангенс угла диэлектрических потерь	$\text{tg } \delta$	$2 \cdot 10^{-4}$
Диаметр оболочки, мкм	$b$	125
Коэффициент преломления сердцевины	$n_1$	1,47
Коэффициент преломления оболочки	$n_2$	1,46
Коэффициент рассеяния кварца	$K_p$	1,3
Радиус макроизгиба, мм	$R_{\text{из}}$	300
Число макроизгибов на 1 км длины	$N_{\text{мак из}}$	50
Радиус микроизгиба, мм	$h$	0,1
Число микроизгибов на 1 км длины	$N_{\text{мик из}}$	100
Диаметр сердцевины, мкм	$a$	9
Длина волны источника, мкм	$\lambda$	1,33
Ширина спектра источника, мкм	$\Delta\lambda$	0,03
Параметр материальной дисперсии	$d^2 n_1 / d\lambda^2$	-0,3

Коэффициент затухания  $\alpha^{о.л}$  в оптоволоконной линии рассчитывается по общей формуле ([1], ф. (69), стр. 37).

Суммарное уширение импульсов за счет дисперсии  $\tau^{о.л}$  определяется по общей формуле ([1], ф. (79), стр. 42).

На основании рассчитанных коэффициента затухания  $\alpha^{о.л}$  и дисперсии  $\tau^{о.л}$  определяются длины регенерационного участка, ограниченные, соответственно, затуханием  $\ell_{\alpha}^{о.л}$  и дисперсией (шириной полосы пропускания)  $\ell_{\Delta F}^{о.л}$  (см. выше).

#### 9. Определение условной стоимости систем передачи на основе рассматриваемых типов кабелей

Дальность передачи системы принимается равной максимальной длине регенерационного участка рассматриваемых систем

$$\ell^{\text{сист}} = \max(\ell^{с.л}, \ell^{к.л}, \ell^{о.л}).$$

Условная стоимость систем на основе каждого типа кабеля рассчитывается с использованием следующих соотношений.

Стоимость единицы длины симметричного кабеля  $S_{\text{пог}}^{\text{с.л}}$  принимается за единицу, коаксиального  $S_{\text{пог}}^{\text{к.л}}$  - 2 единицы, оптоволоконного  $S_{\text{пог}}^{\text{о.л}}$  - 1,5 единицы.

Стоимость регенератора для симметричного кабеля  $S_{\text{рег}}^{\text{с.л}}$  принимается за 10 единиц, коаксиального  $S_{\text{рег}}^{\text{к.л}}$  - за 50 единиц, оптоволоконного  $S_{\text{рег}}^{\text{о.л}}$  - за 100 единиц.

Число регенераторов определяется по формуле

$$N^x = \text{round} \left( \frac{\ell^{\text{сист}}}{\ell^{x.\text{л}}} \right),$$

где  $\text{round}(\cdot)$  обозначает операцию округления до ближайшего целого числа, индекс  $x$  соответствует одному из рассматриваемых типов кабелей.

Общая стоимость системы определяется как полная стоимость кабеля и всех регенераторов.

10. Проведение сравнительного анализа целесообразности реализации системы связи на основе линий передачи рассматриваемых типов.

Провести сравнение коэффициентов затухания, длин регенерационных участков и общей стоимости системы. Сделать общий вывод о целесообразности использования того или иного типа линии передачи для реализации системы связи.

#### Список литературы

1. Абрамов С.К. Линии передачи: учеб. пособие по лаб. практикуму / С.К. Абрамов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2010. – 48 с.