

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»**

ФАКУЛЬТЕТ ВЕЧЕРНЕГО И ЗАОЧНОГО ОБУЧЕНИЯ

В.С. Иванов, Г.М. Смирнов

НАПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ**

11.03.02

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2016

УДК 621.395.126

Иванов В.С., Смирнов Г.М. Направляющие системы электросвязи: методические указания к контрольной работе (спец. 11.03.02) / СПбГУТ. СПб, 2016.

Содержит программу, методические указания, контрольное задание и необходимую литературу по дисциплине «Направляющие системы электросвязи».

© В.С. Иванов, Г.М. Смирнов, 2016

© Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2016

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Направляющие системы электросвязи являются одними из основных компонентов сети связи страны, удельный вес которых по капитальным затратам составляет более 60% от общей стоимости сети связи.

Задачей дисциплины «Направляющие системы электросвязи» является изучение конструкций и методов расчета параметров передачи и влияния различных направляющих систем, а также основных принципов проектирования, строительства и технической эксплуатации всего комплекса линейных сооружений связи. Дисциплина базируется на ранее изучаемых дисциплинах учебного плана специальности 201000 и в первую очередь математики, физики, теории электрической связи и технической электродинамики.

По рассматриваемой дисциплине все студенты выполняют контрольную работу и курсовой проект. Защита курсового проекта и контрольной работы должны предшествовать сдаче экзамена по дисциплине.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Андреев В. А. Направляющие системы электросвязи [Текст] : учеб. для вузов : в 2 т. / В. А. Андреев, Э. Л. Портнов, Л. Н. Кочановский. - 7-е изд., перераб. и доп. - М. : Горячая линия-Телеком, 2009 - . Т. 1 : Теория передачи и влияния. - 2009. - 423 с. : ил.

2. Направляющие системы электросвязи [Текст] : учебник для вузов : в 2 т. / В. А. Андреев [и др.] ; ред. В. А. Андреев. - 7-е изд., перераб. и доп. - М. : Горячая линия-Телеком. Т. 2 : Проектирование, строительство и техническая эксплуатация. - 2010. - 424 с. : ил.

3. Иванов, Владимир Степанович. Направляющие среды электросвязи [Текст] : учебное пособие / В. С. Иванов ; рец.: Б. Г. Осипов, Т. И. Васильева ; Федеральное агентство связи, Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2015. - 107 с. : ил.

Дополнительная

1. Портнов, Э. Л. Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии связи [Текст] : учеб. пособие для вузов / Э. Л. Портнов ; рец.: Б. П. Хромой, Ю. Т. Ларин. - М. : Горячая линия-Телеком, 2009. - 544 с. : ил.

2. Ксенофонтов, С. Н. Направляющие системы электросвязи. Сборник задач [Текст] : учебное пособие / С. Н. Ксенофонтов, Э. Л. Портнов ; рец. В. Н. Дмитриев. - М. : Горячая линия-Телеком, 2004. - 268 с. : ил.

3. Гроднев, И. И. Линии связи [Текст] : учеб. для вузов / И. И. Гроднев, С. М. Верник, Л. Н. Кочановский ; ред. Л. Н. Кочановский. - 6-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1995. - 488 с. : ил.

4. Никитин, Борис Константинович. Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации направляющих систем электросвязи [Текст] : учебное пособие / Б. К. Никитин, Л. Н. Кочановский ; рец.: Е. Б. Стогов, Т. И. Васильева ; Федеральное агентство связи, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникации им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2010. - 192 с. : ил.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

1. Конструкции и характеристики направляющих сред электросвязи

Конструктивные особенности кабелей симметричной и коаксиальной конструкции. Первичные и вторичные параметры, характеризующие процесс распространения электромагнитных волн в различных средах. Эквивалентные значения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в различных средах.

2. Электродинамические процессы в кабелях связи

Квазистационарный и электродинамический процессы. Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной формах. Определение координатных составляющих напряженности электрического и магнитного полей в цилиндрической системе координат.

3. Взаимные влияния в кабелях связи и меры защиты от них

Основное уравнение взаимных влияний. Первичные и вторичные параметры взаимных влияний. Скрутка кабельных цепей. Высокочастотное симметрирование. Экранирование кабелей связи. Затухание экранирования, связанное с поглощением и отражением электромагнитных волн.

4. Внешние электромагнитные влияния и меры защиты от них

Классификация источников внешних влияний. Опасные и мешающие влияния. Отличие методов защиты в высоком и низком диапазонах

частот. Типы разрядников, запирающие катушки, дренажная защита. Экранирование и применение защитных тросов.

5. Основы проектирования линий связи. Строительство кабельных линий связи.

Обоснование необходимости строительства линии связи. Основные этапы проектирования. Рабочий и техно-рабочий проекты. Выбор трассы кабельной линии связи. Выбор типа кабеля, в соответствии с категорией грунта и способом прокладки.

6. Основы технической эксплуатации линий связи и их надежность

Задачи и организация технической эксплуатации. Приемодаточные и профилактические измерения. Определение характера и расстояния до места повреждения. Понятие надежности и основные характеристики.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ

Задача 1

Рассчитать в заданном диапазоне частот первичные и вторичные параметры передачи цепи симметричного (коаксиального) кабеля. Расчет указанных параметров выполняется на 5 частотах, равномерно распределенных в заданном диапазоне, начиная с f_n до f_v . В заключение построить графики частотных зависимостей рассчитанных параметров. Исходные данные приведены в табл. 1.1 и 1.2.

Методика расчета первичных параметров передачи цепи симметричного кабеля

Расчет параметров передачи цепи выполняется для симметричного кабеля звездной скрутки.

Активное сопротивление цепи переменному току симметричного кабеля звездной скрутки вычисляется по формуле:

$$R = R_0 \left[1 + F(x) + \frac{p \cdot G(x) \left(\frac{d_0}{a} \right)^2}{1 - H(x) \left(\frac{d_0}{a} \right)^2} \right] + R_M, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}, \quad (1.1)$$

где $R_0 = k \cdot \rho \frac{8000}{\pi \cdot d_0^2}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$ – сопротивление двухпроводной симметричной кабельной цепи постоянному току;

d_0 – диаметр токопроводящей жилы, мм;

p – коэффициент, учитывающий тип скрутки элементарной группы,

для звездной скрутки $p=5$;

k – коэффициент скрутки, в расчетах принимается равным 1,02;

ρ – удельное сопротивление материала токопроводящей жилы

($\rho_{\text{меди}} = 0,0175$ и $\rho_{\text{алюминия}} = 0,028$) Ом·мм²/м.

Аргумент x функций $F(x)$, $G(x)$ и $H(x)$ в (1.1) определяется по формулам:

$x = 0,0105 \cdot d_0 \cdot \sqrt{f}$ – для медных токопроводящих жил,

$x = 0,0022 \cdot d_0 \cdot \sqrt{f}$ – для алюминиевых токопроводящих жил,

где f – частота, Гц.

Таблица 1.1. Исходные данные

Диапазон частот, кГц	Тип изоляции	Диаметр корделя, мм	Толщина ленты, мм	Толщина изоляции, мм	Номера вариантов																				
					00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
20–300	Кордельно-бумажная	0,7	0,12	–	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09											
300–5000	Кордельно-стирофлексная	0,6	0,05	–	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19											
100–1000	Сплошная полиэтиленовая	–	–	1,0	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29											
30–500	Кордельно-стирофлексная	0,8	0,07	–	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39											
60–1000	Сплошная - полиэтиленовая	–	–	1,2	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49											
Токопроводящая жила	материал				м	а	м	а	м	а	м	а	м	а	м	а	м	а	м	а	м	а	м	а	м
	диаметр				0,9	1,2	1,0	1,3	1,1	1,4	1,2	1,5	1,3	1,6											

Условные обозначения: м – медь; а – алюминий

Таблица 1.2 Исходные данные

Диапазон частот, кГц	Тип изоляции	Диаметр проводников, мм	Материал проводников	Номера вариантов									
				50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
60–5000	Баллонная – полиэтиленовая	1,2 / 4,6	м/м	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
300–10000	Шайбовая – полиэтиленовая	2,4 / 9,5	м/м	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
300–5000	Пористая – полиэтиленовая	1,4 / 5,3	м/м	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
60–20000	Шайбовая – полиэтиленовая	2,1 / 9,7	м/а	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
300–5000	Баллонная – полиэтиленовая	1,3 / 5,5	м/а	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Толщина внешнего проводника t_1 , мм				0,15	0,25	0,35	0,2	0,3	0,4	0,18	0,27	0,37	0,12
Толщина экрана из 2 стальных лент t_2 , мм				0,1	0,15	0,20	0,25	0,3	0,25	0,13	0,18	0,23	0,26
Шаг наложения стальных лент h , мм				10	15	20	25	30	10	13	18	23	28

Значения функций $F(x)$, $G(x)$ и $H(x)$ определяются по табл. 1.3. Если значение аргумента x не совпадает с приведенными в табл. 1.3 значениями, то для нахождения истинных значений функций следует использовать линейную интерполяцию.

Для звездной скрутки элементарной группы расстояние между центрами токопроводящих жил

$$a = 1,41d_1,$$

где d_1 – диаметр изолированной жилы.

Значение d_1 для сплошной изоляции токопроводящих жил:

$$d_1 = d_0 + 2t_{из},$$

где d_0 – диаметр токопроводящей жилы; $t_{из}$ – толщина изоляции.

Значение d_1 для кордельной изоляции токопроводящих жил:

$$d_1 = d_0 + 2d_k + 2t_l,$$

где d_k – диаметр корделя, t_l – толщина ленты.

Точный расчет значений R_M в формуле (1.1) вызывает определенные трудности, поэтому при решении данной задачи рекомендуется использовать упрощенную формулу:

$$R_M = 17,9 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}, \quad (1.2)$$

где f – частота, Гц.

Расчет индуктивности двухпроводной кабельной цепи выполняется по формуле:

$$L = k \left[4 \ln \frac{2a - d_0}{d_0} + Q(x) \right] \cdot 10^{-4}, \frac{\Gamma}{\text{км}}. \quad (1.3)$$

Значение $Q(x)$ определяется по табл. 1.3.

Емкость кабельной цепи

$$C = \frac{k \cdot \varepsilon_{\text{ЭКВ}} \cdot 10^{-6}}{36 \cdot \ln \left(\frac{2a}{d_0} \cdot \psi \right)}, \frac{\Phi}{\text{км}}, \quad (1.4)$$

Где $\varepsilon_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентная диэлектрическая проницаемость, значения которой для различных типов изоляции приведены в табл. 1.4;

$\psi_{\text{ЗВ}} \approx 0,65$ – поправочный коэффициент для звездной скрутки.

Таблица 1.3

x	$F(x)$	$G(x)$	$H(x)$	$Q(x)$	x	$F(x)$	$G(x)$	$H(x)$	$Q(x)$
0,0	0,000	0,000	0,0417	1,000	5,1	1,078	0,772	0,535	0,545
0,1	0,000	/64	0,0417	1,000	5,2	1,114	0,790	0,540	0,535
0,2	0,000	/64	0,0417	1,000	5,3	1,149	0,808	0,545	0,525
0,3	0,000	/64	0,0417	1,000	5,4	1,184	0,826	0,550	0,516
0,4	0,000	/64	0,0417	1,000	5,5	1,219	0,843	0,554	0,507
0,5	0,000	0,001	0,042	1,000	5,6	1,254	0,861	0,558	0,498
0,6	0,001	0,002	0,044	1,000	5,7	1,289	0,879	0,562	0,489
0,7	0,001	0,004	0,045	0,999	5,8	1,324	0,896	0,566	0,481
0,8	0,002	0,006	0,046	0,999	5,9	1,359	0,914	0,571	0,473
0,9	0,003	0,010	0,049	0,998	6,0	1,394	0,932	0,575	0,465
1,0	0,005	0,015	0,053	0,997	6,1	1,429	0,959	0,579	0,458
1,1	0,008	0,022	0,058	0,996	6,2	1,463	0,967	0,582	0,451
1,2	0,011	0,031	0,064	0,995	6,3	1,498	0,985	0,586	0,443
1,3	0,015	0,041	0,072	0,993	6,4	1,533	1,003	0,590	0,436
1,4	0,020	0,054	0,080	0,990	6,5	1,568	1,020	0,593	0,430
1,5	0,026	0,069	0,092	0,987	6,6	1,603	1,038	0,596	0,424
1,6	0,033	0,086	0,106	0,983	6,7	1,638	1,055	0,599	0,418
1,7	0,042	0,106	0,122	0,979	6,8	1,673	1,073	0,602	0,412
1,8	0,052	0,127	0,137	0,974	6,9	1,708	1,091	0,605	0,406
1,9	0,064	0,149	0,154	0,968	7,0	1,743	1,109	0,608	0,400
2,0	0,078	0,172	0,169	0,961	7,1	1,778	1,126	0,611	0,394
2,1	0,094	0,196	0,187	0,953	7,2	1,813	1,144	0,614	0,389
2,2	0,111	0,221	0,206	0,945	7,3	1,848	1,162	0,617	0,384
2,3	0,131	0,246	0,224	0,935	7,4	1,884	1,180	0,620	0,379
2,4	0,152	0,271	0,242	0,925	7,5	1,919	1,198	0,622	0,374
2,5	0,175	0,295	0,263	0,913	7,6	1,954	1,216	0,624	0,369

2,6	0,201	0,318	0,280	0,901	7,7	1,989	1,233	0,627	0,364
2,7	0,228	0,341	0,298	0,888	7,8	2,024	1,251	0,630	0,360
2,8	0,256	0,363	0,316	0,874	7,9	2,059	1,269	0,632	0,355
2,9	0,286	0,384	0,333	0,860	8,0	2,094	1,287	0,634	0,351
3,0	0,318	0,405	0,348	0,845	8,1	2,129	1,304	0,637	0,347
3,1	0,351	0,425	0,362	0,830	8,2	2,165	1,322	0,640	0,343
3,2	0,385	0,444	0,376	0,814	8,3	2,200	1,339	0,642	0,339
3,3	0,420	0,463	0,388	0,798	8,4	2,235	1,357	0,644	0,335
3,4	0,456	0,481	0,400	0,782	8,5	2,270	1,375	0,646	0,331
3,5	0,492	0,499	0,410	0,766	8,6	2,306	1,393	0,647	0,327
3,6	0,529	0,516	0,420	0,749	8,7	2,341	1,410	0,649	0,323
3,7	0,566	0,533	0,430	0,733	8,8	2,376	1,428	0,651	0,320
3,8	0,603	0,550	0,440	0,717	8,9	2,411	1,446	0,653	0,316
3,9	0,640	0,567	0,450	0,702	9,0	2,446	1,464	0,655	0,313
4,0	0,678	0,584	0,460	0,688	9,1	2,481	1,481	0,657	0,309
4,1	0,715	0,601	0,466	0,671	9,2	2,517	1,499	0,658	0,306
4,2	0,752	0,618	0,474	0,657	9,3	2,552	1,516	0,660	0,302
4,3	0,789	0,635	0,484	0,643	9,4	2,587	1,534	0,662	0,299
4,4	0,862	0,652	0,490	0,629	9,5	2,622	1,552	0,664	0,296
4,5	0,863	0,669	0,497	0,616	9,6	2,658	1,570	0,666	0,293
4,6	0,899	0,686	0,505	0,603	9,7	2,693	1,587	0,667	0,290
4,7	0,935	0,703	0,510	0,590	9,8	2,728	1,605	0,668	0,287
4,8	0,971	0,720	0,516	0,579	9,9	2,763	1,623	0,669	0,284
4,9	1,007	0,738	0,524	0,567	10,0	$\frac{\sqrt{2x-3}}{4}$	$\frac{\sqrt{2x-1}}{8}$	0,750	$\frac{2\sqrt{2}}{x}$
5,0	1,043	0,755	0,530	0,556					

Проводимость изоляции кабельной цепи

$$G = 2\pi \cdot f \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta_{\text{экв}}, \frac{\text{СМ}}{\text{КМ}}, \quad (1.5)$$

где $\operatorname{tg} \delta_{\text{экв}}$ – эквивалентное значение тангенса угла диэлектрических потерь изоляции, определяемое по табл. 1.4.

Методика расчета первичных параметров передачи цепи коаксиального кабеля

Общее сопротивление коаксиальной цепи:

для случая, когда оба проводника медные

$$R = 4,18 \sqrt{f} \left(\frac{1}{r_a} + \frac{1}{r_b} \right) \cdot 10^{-2}, \frac{\text{Ом}}{\text{КМ}}, \quad (1.6)$$

для случая, когда внутренний проводник медный, а внешний алюминевый

$$R = \left(4,18 \frac{\sqrt{f}}{r_a} + 5,4 \frac{\sqrt{f}}{r_b} \right) \cdot 10^{-2}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}, \quad (1.7)$$

где f – частота, Гц; r_a – внешний радиус внутреннего проводника, мм; r_b – внутренний радиус внешнего проводника, мм.

Общая индуктивность коаксиальной цепи:

для случая, когда оба проводника медные

$$L = \left[\frac{66,6}{\sqrt{f}} \cdot \left(\frac{1}{r_a} + \frac{1}{r_b} \right) + 2 \ln \frac{r_b}{r_a} \right] \cdot 10^{-4}, \frac{\text{Г}}{\text{км}}, \quad (1.8)$$

для случая, когда внутренний проводник медный, а внешний алюминевый

$$L = \left[\left(\frac{66,6}{\sqrt{f} \cdot r_a} + \frac{86}{\sqrt{f} \cdot r_b} \right) + 2 \ln \frac{r_b}{r_a} \right] \cdot 10^{-4}, \frac{\text{Г}}{\text{км}}. \quad (1.9)$$

Для расчета емкости и проводимости изоляции коаксиальной цепи рекомендуется использовать следующие формулы:

$$C = \frac{\varepsilon_{\text{ЭКВ}} \cdot 10^{-6}}{18 \ln \left(\frac{r_b}{r_a} \right)}, \frac{\text{Ф}}{\text{км}}, \quad (1.10)$$

$$G = \omega \cdot C \cdot \text{tg } \delta_{\text{ЭКВ}}, \frac{\text{См}}{\text{км}}. \quad (1.11)$$

Значения $\varepsilon_{\text{ЭКВ}}$ и $\text{tg } \delta_{\text{ЭКВ}}$ для различных типов изоляции приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Тип изоляции	$\varepsilon_{\text{ЭКВ}}$	$\text{tg } \delta_{\text{ЭКВ}} \cdot 10^{-4}$ на частоте, МГц							
		0,01	0,1	0,3	0,5	1	5	10	60
Кордельно-бумажная	1,35	5,5	113	160	280	–	–	–	–
Кордельно-стирофлексная	1,25	3	7	12	20	32	51	–	–
Сплошная полиэтиленовая	2,0	2	5	8	14	25	–	–	–
Шайбовая полиэтиленовая	1,13	–	–	0,3	0,35	0,5	0,6	0,7	0,8

Баллонно - полиэтиленовая	1,22	–	–	1,05	1,1	1,2	1,3	1,5	–
Пористая полиэтиленовая	1,45	–	–	3	4	5	8	9	–

Методика расчета вторичных параметров передачи

Вторичные параметры передачи симметричных и коаксиальных цепей определяются через первичные параметры передачи и в зависимости от частотного диапазона используются различные формулы расчета. В связи с тем, что в задаче расчет параметров передачи выполняется для высокочастотной области, вторичные параметры рекомендуется определять по следующим формулы

$$\alpha = 8,68 \cdot \left(\frac{R}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \right), \frac{\text{дБ}}{\text{км}}, \quad (1.12)$$

$$\beta = \omega \sqrt{LC}, \frac{\text{Рад}}{\text{км}}, \quad (1.13)$$

$$Z_B = \sqrt{\frac{L}{C}}, \text{ Ом}, \quad (1.14)$$

$$U = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \frac{\text{км}}{\text{с}}. \quad (1.15)$$

Задача 2

Рассчитать вторичные параметры взаимного влияния на строительной длине симметричного (коаксиального) кабеля. По результатам расчета построить графики частотной зависимости.

Исходные данные приведены в табл. 1.1 и 1.2. Кроме того, при решении используются ранее рассчитанные значения первичных параметров передачи. Расчет параметров влияния выполняется на тех же частотах, что и параметров передачи в предыдущей задаче.

Методика расчета вторичных параметров влияния между цепями симметричного кабеля

Переходные затухания на ближнем конце – A_0 и на дальнем конце – A_l на строительной длине кабеля рассчитываются по формулам:

$$A_0^{сд} = 20 \lg \left| \frac{2}{N_{12}} \right|, \text{ дБ}, \quad (2.1)$$

$$A_l^{сд} = 20 \lg \left| \frac{2}{F_{12}} \right|, \text{ дБ}. \quad (2.2)$$

При расчете коэффициентов электромагнитных связей N_{12} и F_{12} рекомендуется использовать формулы:

$$N_{12} = (g_{12} + j\omega \cdot k_{12}) Z_B + \frac{r_{12} + j\omega \cdot m_{12}}{Z_B}, \quad (2.3)$$

$$F_{12} = (g_{12} + j\omega \cdot k_{12}) Z_B - \frac{r_{12} + j\omega \cdot m_{12}}{Z_B}. \quad (2.4)$$

Исходной величиной при расчетах является k_{12} , которая при решении задачи принимается равной $k_{12} = 10$ пФ/сд.

Величина m_{12} определяется из соотношения между индуктивной и электрической связями в кабелях связи:

$$\frac{m_{12}}{k_{12}} = Z_B^2. \quad (2.5)$$

Активные составляющие g_{12} электрических и магнитных r_{12} связей определяются из усредненных соотношений активных и реактивных составляющих:

$$\frac{g_{12}}{\omega \cdot k_{12}} = 0,15, \quad \frac{r_{12}}{\omega \cdot m_{12}} = 0,3. \quad (2.6)$$

Методика расчета вторичных параметров влияния между цепями коаксиального кабеля

Переходное затухание на ближнем конце – A_0 и дальнем конце – A_l между коаксиальными цепями определяются по формулам:

$$A_0 = 20 \lg \left| \frac{4Z_B \cdot Z_3 \cdot \gamma}{Z_{12}^2 (1 - e^{-2\gamma \cdot l})} \right|, \text{ дБ}, \quad (2.7)$$

$$A_l = 20 \lg \left| \frac{2Z_B \cdot Z_3}{Z_{12}^2 \cdot l} \right|, \text{ дБ}. \quad (2.8)$$

При расчетах строительную длину кабеля l принять равной 0,5 км, значения Z_B и $\gamma = \alpha + j\beta$ – из предыдущей задачи.

Значение сопротивления связи Z_{12} внешнего проводника коаксиальной цепи, экранированной двумя стальными лентами определяется по формуле:

$$Z_{12} = \left[\frac{\sqrt{j} \cdot k}{2\pi \cdot \sqrt{r_B} \cdot r_C} \cdot \frac{1}{\sigma \cdot sh \cdot \sqrt{j} \cdot kt} \right] \cdot \frac{L_z}{L_z + L_B}, \quad (2.9)$$

где σ – проводимость материала проводника;

t – толщина внешнего проводника;

r_B – внутренний радиус внешнего проводника;

$r_C = r_B + t$ – внешний радиус внешнего проводника.

Значения k в формуле (2.9) принимаются равными:

$k = 0,021 \sqrt{f}$ – для медного проводника,

$k = 0,0164 \sqrt{f}$ – для алюминиевого проводника,

где f – частота, Гц.

Входящие в формулу (2.9) L_z – продольная и L_B – внутренняя индуктивности третьей цепи рассчитываются так:

$$L_z = \frac{\mu_3 \cdot 4\pi \cdot r_C \cdot t_3}{h^2} \cdot 10^{-4}, \quad (2.10)$$

$$L_B = \left(2\mu_3 \ln \frac{r_C + t_3}{r_C} \right) \cdot 10^{-4}, \quad (2.11)$$

где μ_3 – относительная магнитная проницаемость экрана, для экрана из стальных лент $\mu_3 = 100$.

Значение сопротивления третьей цепи Z_3 в формулах (2.7) и (2.8) при наличии поверх экрана изолирующего покрытия:

$$Z_3 = \left(4\mu_3 \omega \ln \frac{r_C + t_3}{r_C} \right) \cdot 10^{-4}. \quad (2.12)$$

В заключение выполнения контрольной работы, как указывалось в условиях задач, необходимо построить графики частотной зависимости рассчитанных параметров и письменно объяснить их характер.