

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ,
СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»

Кафедра линий связи и измерений в технике связи

Д.Е. ПРАПОРЩИКОВ

**РАСЧЕТ ЭКРАНИРУЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОЛОЧЕК
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ**

Методические указания по выполнению практической работы по
дисциплине «Направляющие системы связи»

Самара
2021

УДК 621.395.73
ББК 32.889
П69

Прапорщиков, Д.Е.

П69 Расчет экранирующих характеристик оболочек электрических кабелей связи: Методические указания по выполнению практической работы по дисциплине «Направляющие системы связи» / Д.Е. Прапорщиков – Самара: ПГУТИ, 2021. – 11 с.

В учебно-методической разработке приводятся основы теории экранирования. В результате выполнения практической работы студенты рассчитывают экранирующие характеристики металлических оболочек электрического кабеля связи, выполненных из различных материалов. По результатам расчета формулируется вывод об эффективности экранирования.

Практическая работа предназначена для студентов заочного отделения, обучающихся с применением дистанционных образовательных технологий, по направлению подготовки 11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи, уровень бакалавриата.

©, Прапорщиков Д.Е., 2021

Цель работы

Изучение конструкций экранов и оболочек кабелей связи, исследование их экранирующих свойств при воздействии внутреннего и внешнего электромагнитного поля.

Литература

1. Андреев, В.А. Направляющие системы электросвязи [Электронный ресурс]: учебник для вузов, Т. 1. Теория передачи и влияния / В.А. Андреев, Э.Л. Портнов, Л.Н. Кочановский; под ред. В.А. Андреева; ПГУТИ – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 8,23 Мб). – Самара: ПГУТИ, 2017 (http://elib.psuti.local/Andreev_Portnov_Kochanovskiy_Napravlyayuywie_sistemy_elektrosvyazi_T1_Teoriya_peredachi_i_vliyaniya.pdf).

2. Направляющие системы электросвязи [Электронный ресурс]: учебник для вузов, Т. 2. Проектирование, строительство и техническая эксплуатация / В.А. Андреев [и др.]; под ред. В.А. Андреева; ПГУТИ – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 3,61 Мб). – Самара: ПГУТИ, 2017 (http://elib.psuti.local/andreev_buridin_portnov_kochanovskiy_popov_napravlyayuywie_sistemy_elektrosvyazi_t2_proektirovanie_stroitelstvo_i_tekhnicheskaya_ekspluatatsiya.pdf).

3. Андреев, В.А. Направляющие системы электросвязи [Текст]: учебник 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. – 424 с.

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

5. Нефедов, Е.И. Техническая электродинамика [Текст]: учебное пособие для вузов / Е.И. Нефедов. – М.: Академия, 2008. – 416 с.

6. Строительство кабельных сооружений связи: справочник [Текст] / Д. А. Барон [и др.]. – Москва: Радио и связь, 1988. – 768 с.

Содержание работы

1. Изучение основ теории экранирования.
2. Исследование изменения коэффициента защитного действия и затухания экранирования для немагнитных и магнитных экранов в зависимости от частоты.

3. Исследование взаимного влияния между цепями.
4. Формулировка выводов по полученным результатам.
5. Подготовка письменного отчета.

Порядок выполнения работы

1. Изучение основ теории экранирования

Пользуясь Приложением данной учебно-методической разработки, изучить основные аспекты теории экранирования.

2. Исследование изменения коэффициента защитного действия и затухания экранирования для немагнитных и магнитных экранов в зависимости от частоты

2.1 Запустить файл приложения ЛР №14.exe.

2.2. Нажать на кнопку «Ввести частоты». В появившемся окне ввести первую частоту 50 Гц и нажать кнопку «Ввести».

2.3. Далее стереть первую частоту и набрать вторую 200 Гц. Нажать на кнопку «Ввести». Для оставшихся трех частот 400, 600 и 800 Гц порядок ввода аналогичен. После ввода последней частоты в строке «Параметр» появятся введенные значения.

2.4. Далее, поочередно выбирая ВСЕ марки кабелей и нажимая на кнопку «Измерить», записать частотные зависимости КЗД в таблицу. Вид таблицы произвольный.

2.5. На одном графике отобразить все полученные зависимости КЗД(f).

3. Исследование взаимного влияния между цепями

3.1. Нажать на кнопку 2 часть.

3.2. Выбрать произвольную марку влияющего кабеля.

3.3. Далее выбрать первую по списку марку кабеля, подверженного влиянию.

3.4. Нажать на кнопку «Ввести напряжения». Порядок ввода значений влияющего напряжения аналогичен вводу частот в разделе 2.

3.5. Ввести поочередно напряжения 5, 10, 15, 20, 25 В.

3.6. После ввода напряжений нажать кнопку «Измерить».

3.7. Записать зависимость наведенного в оболочке напряжения кабеля, подверженного влиянию, от напряжения во влияющем кабеле.

3.8. Аналогично получить зависимости для ВСЕХ остальных подверженных влиянию кабелей. Влияющий кабель оставить без изменений. Данные занести в таблицу произвольного вида.

3.9. На одном графике отобразить полученные зависимости $U_{об}(U_{вых})$.

4. Формулировка выводов по полученным результатам

По полученным результатам разделов 2 и 3 сделать выводы об эффективности экранирования оболочек из различных металлов. Выстроить в порядке убывания эффективности экранирования металлы, применяемые для оболочек кабелей связи. Выводы обосновать по графикам.

5. Подготовка письменного отчета

Письменный отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Цель работы
2. Таблицы с полученными результатами
3. Графики зависимостей по разделам 2 и 3
4. Выводы

Приложение

ПРИНЦИПЫ ЭКРАНИРОВАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКРАНОВ

Экраны в кабелях связи используются как для защиты цепей связи от влияния внешних электромагнитных полей, так и для уменьшения взаимных влияния между цепями. По своей конструкции в кабелях связи применяются преимущественно цилиндрические сплошные экраны (металлические оболочки) и экраны из алюминиевых и стальных лент, наложенных спирально.

По принципу работы экраны могут быть электростатические, магнитостатические и электромагнитные.

Электростатические экраны основаны на принципе разделения зарядов вследствие электростатической индукции. Обычно они изготавливаются из металлизированной бумаги и предназначены для экранирования низкочастотных цепей с высоким уровнем передачи с целью уменьшения их влияния на соседние цепи.

Магнитостатические экраны выполняются из металла с большим значением относительной магнитной проницаемости материала экрана.

Применяются они для экранирования аппаратуры или её блоков от воздействия внешних магнитных полей и основаны на том, что магнитный поток вследствие повышенной магнитопроводности экрана проходит в его толще и не попадает за экранированное пространство. Эти экраны, как и электростатические, пригодны только для низкочастотного диапазона.

С увеличением частоты в экране будут наводиться вихревые токи и магнитостатический режим переходит в электромагнитный, при котором воздействие экрана на электромагнитную волну проявляется в её частичном отражении от границ раздела двух сред: "диэлектрик - металл" и "металл - диэлектрик", а также в затухании волны в толще экрана. В области сверхвысоких частот, при которых длина волны становится соизмеримой с поперечными размерами экрана, наступает волновой режим экранирования. Для экранов кабелей связи, которые не используются на столь высоких частотах, этот режим практически не представляет интереса.

Эффективность электростатического экрана практически не зависит от материала экрана и его толщины: в любом технологически возможном слое металла происходит разделение зарядов. При этом важным условием является хорошее заземление экрана. С повышением частоты эффективность снижается, так как не успевает происходить "стекание" зарядов на землю. Чем выше частота, тем ниже эффективность электростатического экранирования.

Магнитостатические экраны изготавливаются из магнитных материалов. Чем больше величина относительной магнитной проницаемости, тем

выше эффект магнитостатических экранов. Он возрастает с увеличением толщины экрана и уменьшении его радиуса, так как при этом уменьшается длина пути магнитного потока.

Одним из основных параметров, характеризующих эффективность экранирования, является коэффициент экранирования S , представляющий собою отношение напряжённости электрического или магнитного поля в какой-либо точке при наличии экрана ($E_{\text{э}}$, $H_{\text{э}}$) к напряженности в этой же точке, если экран отсутствует (E , H):

$$S = \frac{E_{\text{э}}}{E}; \quad S = \frac{H_{\text{э}}}{H}; \quad 0 \leq S \leq 1$$

Величина $S = 0$ характеризует наивысший эффект экранирования, при $S = 1$ – экранирующий эффект отсутствует.

Для электромагнитных экранов коэффициент экранирования имеет составляющие поглощения ($S_{\text{п}}$) и отражения ($S_{\text{о}}$) и для цилиндрической поперечно-электромагнитной волны T определяется по формуле:

$$S = S_{\text{п}} * S_{\text{о}} = \frac{1}{chK_{\text{м}}t} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{Z_{\text{д}}}{Z_{\text{м}}} + \frac{Z_{\text{м}}}{Z_{\text{д}}} \right) \cdot thK_{\text{м}}t}$$

Где: $K_{\text{м}} = \sqrt{i\omega\mu_a\sigma}$ - коэффициент распространения волны в экране;

t - толщина экрана, мм;

$Z_{\text{д}}$ - волновое сопротивление диэлектрика, Ом;

$Z_{\text{м}}$ - волновое сопротивление металла, Ом.

Эта формула может быть применена для любых частотных диапазонов и режимов экранирования, а также для электрического и магнитного полей. Коэффициент экранирования поглощением зависит от электрической толщины экрана Kt .

При $Kt < 0,3$ - электрически тонкий экран;

$Kt > 5$ - электрически толстый экран.

В электрически тонких экранах затухание поглощения мало, электрически толстые экраны являются практически непрозрачными.

Эффект экранирования отражением зависит в основном от соотношения величин волновых сопротивлений металла и диэлектрика. Волновое сопротивление диэлектрика для электрической и магнитной волны различно, определяется оно через цилиндрические функции и их производные по довольно сложным и громоздким выражениям. Однако в диапазоне частот до 10^9 Гц для основной волны ($n = 1$) волновые сопротивления можно определить по упрощенной формуле:

$$Z_{\text{д}}^E = \frac{1}{i\omega\epsilon_a r_{\text{э}}}; \quad Z_{\text{д}}^H = i\omega\mu_a r_{\text{э}}; \quad Z_{\text{м}} = \sqrt{i\omega\mu_a / \sigma}.$$

где: r_2 – внутренний радиус экрана.

Графики частотной зависимости волновых сопротивлений диэлектрика и металла в электромагнитном режиме представлены на рис.2.

Волновое сопротивление диэлектрика для электрической волны больше, чем для магнитной, поэтому эффективность экранирования электрического поля выше, чем магнитного за счёт составляющей экранирования отражением. Поэтому обычно исследуют экраны по составляющей магнитного поля.

Эффективность применения экранов из магнитных и немагнитных материалов зависит от диапазона частот, в котором используется экран. На рис.3 показана частотная зависимость затухания экранирования магнитных и немагнитных экранов, рассчитываемая по формуле:

$$A_{\text{э}} = 20 \lg 1/S, \text{ дБ.}$$

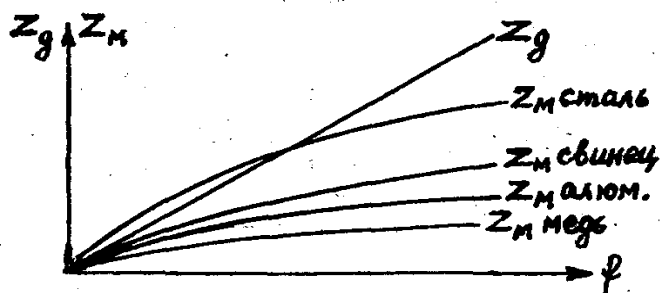


Рис.2. Волновые сопротивления диэлектриков и металлов для магнитной волны.

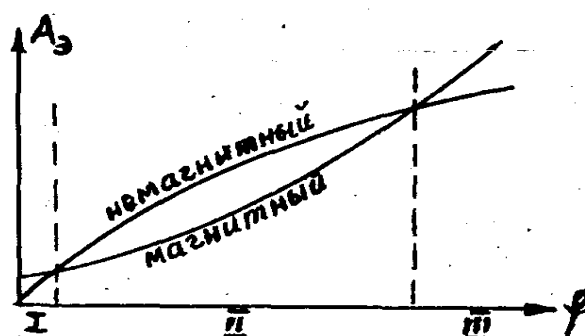


Рис.3. Эффективность экранов в разных диапазонах частот

Составляющая экранирования поглощением у магнитного экрана всегда выше, чем у немагнитного из-за преобладания вихревых токов в магнитном экране. Эффект отражения выше у немагнитных экранов, так как различие волновых сопротивлений между металлом и диэлектриком больше у немагнитных экранов, чем у магнитных. В низкочастотной об-

ласти I, когда экраны работают в электро- и магнитостатическом режиме, эффективнее магнитные экраны.

При заземлении электростатического экрана и соединении корпуса источника помех через землю с экраном (металлизация) его эффективность по электрической составляющей поля бесконечно велика, и он полностью экранирует от электрической составляющей.

В области сравнительно высоких частот ($10^3 - 10^6$ Гц) экранирование отражением играет более существенное влияние, чем составляющая поглощения.

В этом режиме немагнитные экраны эффективнее магнитных. По мере увеличения частоты (свыше 10^6 Гц) различие между волновыми сопротивлениями диэлектрика и металла приводит к уменьшению экранирования отражением, но при этом возрастают потери в экране на вихревые токи и затухание экранирования поглощением будет преобладать над экранированием за счёт отражения. В этом диапазоне частот магнитные материалы для экранов более эффективны.

Следует иметь в виду, что экран, изменяя внешнее электромагнитное поле, тем самым изменяет и параметры цепи. Отраженное от экрана электрическое поле увеличивает напряжённость действующего поля, поэтому ёмкость экранированной цепи больше, чем не экранированной. Магнитное поле отражается от экрана с изменением фазы на 180° , напряжённость суммарного магнитного поля уменьшается, поэтому индуктивность экранированной цепи меньше, чем неэкранированной.

Из-за дополнительных потерь на вихревые токи в экране возрастает активное сопротивление цепи. Так как в области высоких частот при электрически толстых экранах потери, вносимые экраном в цепь передачи, определяются лишь тонким внутренним слоем, обращенным к цепи передачи, то при чисто стальном экране (рис.3, область III) с целью уменьшения потерь, вносимых экраном, первый слой у такого экрана делают из алюминиевой ленты, например, у кабелей со стальной гофрированной оболочкой.

При использовании экранов в области средних и высоких частот (рис.3, область II), когда превалирует эффект отражения, применяют многослойные экраны с чередованием тонких слоев из немагнитных и магнитных металлов.

Кроме экранирующего действия отражением и поглощением, оказываемого экраном на поперечные составляющие электромагнитного поля, в реальных условиях следует учитывать также экранирующий эффект, вызываемый продольными токами, возникающими в третьей цепи "экран--земля" (рис.4). Особенно существенное значение имеет экранирующий эффект от продольных токов при влиянии внешних электромагнитных полей.

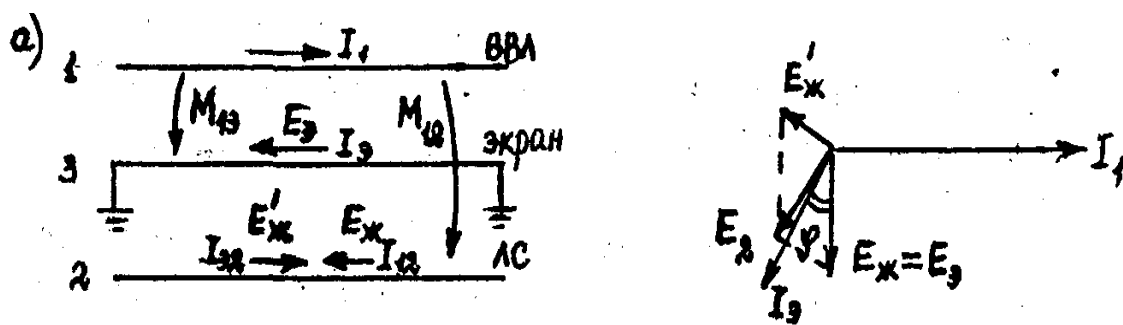


Рис. 4. Экранирующее действие продольных токов в цепи "экран-земля"

а) схема влияния; б) векторная диаграмма

Суммарное экранирующее действие экрана будет определяться составляющими поглощения и отражения, а также дополнительной составляющей затухания экранирования от продольных токов. Особое значение приобретает эта составляющая при защите цепей кабеля от внешних влияний в низкочастотном диапазоне (влияние высоковольтных линий, контактных сетей электрифицированных железных дорог и др.). В этом диапазоне составляющие поглощения и отражения очень малы и экранирующий эффект будет определяться лишь коэффициентом экранирования от продольных токов, называемым коэффициентом защитного действия оболочки (экрана) кабеля (КЗД) и обозначаемым как S и коэффициент экранирования S . Различают идеальный и реальный КЗД. Идеальный КЗД рассчитывается при значениях величины сопротивления заземления оболочки (экрана), равных нулю. В реальных условиях практически равных нулю сопротивлений заземлений не бывает, поэтому с учетом значения сопротивления заземления оболочки рассчитывают реальный КЗД, который всегда больше идеального. Величина КЗД рассчитывается по формуле:

$$S = U_{ж}/U_{об}, B.$$

Эффект экранирования продольными токами увеличивается при уменьшении активного сопротивления цепи "экран-земля", которое включает в себя продольное сопротивление экрана и сопротивление заземлений и при увеличении индуктивности цепи, состоящей из внутренней индуктивности экрана и внешней индуктивности цепи "экран-земля".

При протекании тока во влияющей линии I_1 (рис. 4) магнитное поле наводит продольные ЭДС в оболочке кабеля (экране) E_3 и жиле кабеля $E_{ж}$. Под действием ЭДС наведенной в экране, в цепи образованной заземлениями экрана потечет ток I_3 , наводящий в жиле ЭДС $E'_{ж}$ направленную встречно ЭДС $E_{ж}$, при этом происходит их взаимокompенсация. Чем

больше угол φ , тем выше экранирующий эффект. С ростом частоты эффективность экранирования за счёт продольных токов уменьшается и диапазон частот, в котором рассматривается КЗД, обычно не превышает 10 кГц для оболочек из немагнитных материалов, а для магнитных до 1 кГц.