

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра радиотехнических систем

ЗАЩИТА СИГНАЛЬНЫХ ЛИНИЙ ОТ ПОМЕХОВЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Методические указания
к лабораторной работе по курсу
«Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств»
для студентов специальности 1-39 01 02 «Радиоэлектронные системы»
дневной формы обучения

Минск БГУИР 2011

УДК 621.396.6:621.391.827(076)
ББК 32.844я73+32.811.7я73
3-40

С о с т а в и т е л и:
В. Н. Левкович, В. Г. Устименко

Защита сигнальных линий от помеховых магнитных полей : метод. указания к лаб. работе по курсу «Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств» для студ. спец. 1-39 01 02 «Радиоэлектронные системы» днев. формы обуч. / сост. В. Н. Левкович, В. Г. Устименко. – Минск : БГУИР, 2011. – 22 с. : ил.

В методических указаниях к лабораторной работе рассматриваются модели образования помех в сигнальных линиях за счет магнитных связей, а также способы защиты сигнальных линий от магнитных наводок.

УДК 621.396.6:621.391.827(076)
ББК 32.844я73+32.811.7я73

© Левкович В. Н., Устименко В. Г.,
составление, 2010
© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники», 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....	4
1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	4
1.1. Индуктивная связь.....	4
1.2. Магнитная связь между экраном и заключенным в него проводником.....	7
1.3. Экранирование для предотвращения излучения магнитных полей....	10
1.4. Экранирование приемника от магнитных полей.....	13
1.5. Сравнение коаксиального кабеля и экранированной витой пары.....	15
1.6. Экраны в виде оплетки.....	17
2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	18
2.1. Описание лабораторной установки.....	18
2.2. Лабораторное задание.....	19
3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.....	19
4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	19
ЛИТЕРАТУРА.....	21

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучить методы уменьшения уровней помех, наводимых в сигнальных проводниках за счет магнитных связей.
2. Закрепить и углубить практические навыки работы с реальной контрольно-измерительной аппаратурой.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Индуктивная связь

При прохождении тока I через замкнутую цепь возникает магнитный поток Φ , пропорциональный этому току. Коэффициент пропорциональности называется индуктивностью L :

$$\Phi = L \cdot I . \quad (1)$$

Величина индуктивности зависит от геометрии и магнитных свойств среды, в которой создается поле. Индуктивность имеет смысл лишь для замкнутой цепи. Однако иногда можно говорить об индуктивности какой-либо части цепи. При этом подразумевается вклад данной части в общую индуктивность всей замкнутой цепи.

Если магнитный поток, создаваемый током, проходящим в одной цепи, пересечет другую, то имеет место взаимдукция между этими цепями, коэффициент которой определяется как

$$M_{12} = \Phi_{12} / I_1 . \quad (2)$$

Здесь Φ_{12} обозначает поток через цепь 2, вызванный током цепи 1 I_1 .

Можно показать, что магнитное поле с плотностью потока B наводит в замкнутом контуре с площадью S напряжение помех

$$U_{\text{II}} = - \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} d\vec{S} , \quad (3)$$

где \vec{B} и \vec{S} – векторы.

Если замкнутый контур неподвижен, а плотность потока в нем изменяется во времени по синусоидальному закону и перекрывает всю площадь контура (рис. 1), то уравнение (3) преобразуется к следующему виду:

$$U_{\text{II}} = j\omega BS \cos \Theta , \quad (4)$$

где ω – циклическая частота в рад/с;

B – действующее значение плотности магнитного потока, изменяющегося по синусоидальному закону с частотой ω (Вб/м²);

S – площадь замкнутого контура в м²;

Θ – угол между вектором \vec{B} и нормалью к плоскости S ;

U_{Π} – действительное значение наведенного напряжения.

Данное соотношение можно выразить также через коэффициент взаимной индукции M двух цепей:

$$U_{\Pi} = j\omega MI_1 = M \frac{di_1}{dt} . \quad (5)$$

Уравнения (4) и (5) – основные уравнения, описывающие индуктивную связь двух цепей. На рис. 2 показана индуктивная связь между двумя цепями, выраженная уравнением (5). Здесь I_1 – ток в цепи, создающей помехи, а M – член, отражающий геометрические и магнитные свойства пространства между этими двумя цепями. Наличие ω в уравнениях (4) и (5) указывает на то, что связь между цепями пропорциональна частоте. Для снижения напряжения помех необходимо уменьшить B , S или $\cos\Theta$. Величину B можно уменьшить, разнося цепи в пространстве или применив в цепи источника питания витую пару проводов, в результате чего ток пойдет по витой паре, а не по заземляющей плоскости. Необходимые для этого условия рассматриваются ниже. При выполнении этих условий скручивание проводов приводит к тому, что магнитные поля, создаваемые каждым проводом, взаимно компенсируются. Площадь S цепи-приемника можно уменьшить, расположив проводник ближе к плоскости заземления (если возвратный ток течет по ней) или применив витую пару проводников (если возвратный ток течет по одному из витой пары проводов, а не по плоскости заземления). Значение $\cos\Theta$ можно уменьшить путем соответствующей ориентации в пространстве цепей источника и приемника.

Отметим некоторые различия в связях через электрические и магнитные поля. Во-первых, в случае магнитной связи уменьшение сопротивления цепи-приемника не снижает наводки, как это имеет место в случае связи через электрическое поле. Во-вторых, в случае связи через магнитное поле напряжение помех оказывается приложенным последовательно с проводниками-приемниками, тогда как в случае связи через электрическое поле оно падает между проводником-приемником и землей. Если теперь проводник 2 поместить в незаземленный немагнитный экран, схема станет такой, как показано на рис. 3, где $M_{1Э}$ – взаимная индуктивность (коэффициент взаимной индукции) между проводником 1 и экраном. Поскольку экран не влияет на конфигурацию или магнитные свойства пространства между цепями 1 и 2, он не оказывает влияния и на напряжение, наведенное на проводник 2. Однако вследствие прохождения в проводнике 1 тока на экран наводится напряжение:

$$U_{\Pi} = j\omega M_{1Э} I_1 . \quad (6)$$

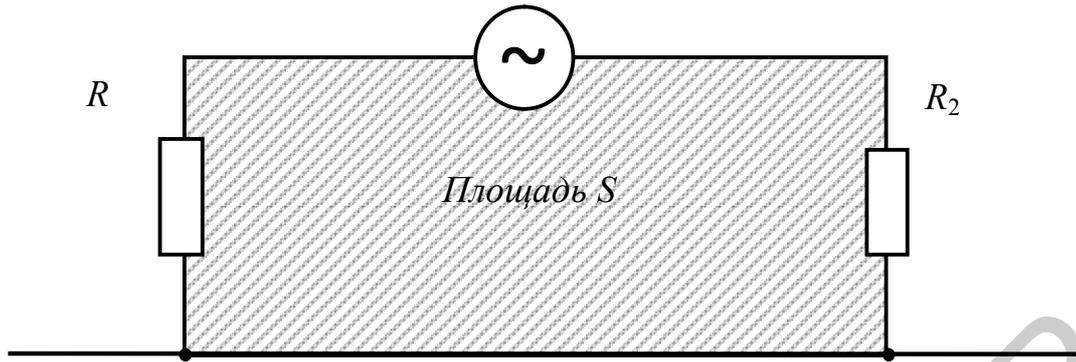


Рис. 1. Магнитное поле с плотностью потока B пересекает площадь S под углом θ

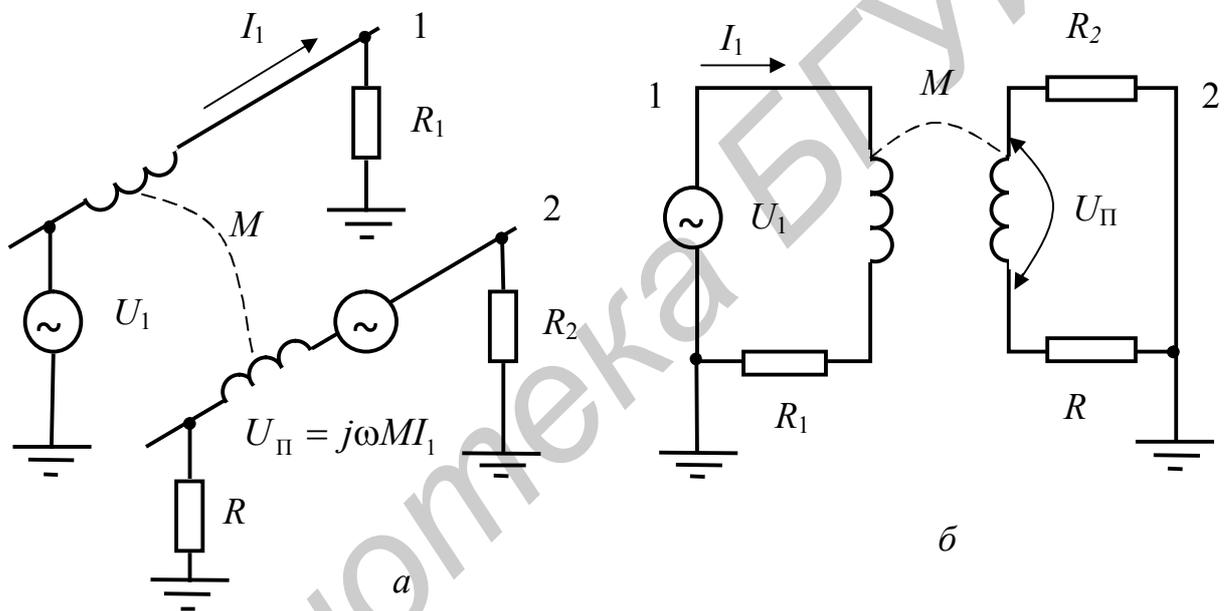


Рис. 2. Магнитная связь между двумя цепями:
a – физическое представление; *б* – эквивалентная схема

Заземление одного из концов экрана не меняет дела. Таким образом, можно сделать вывод, что помещение проводника в экран и заземление экрана с одной стороны не влияют на величину напряжения, наводимого на этот проводник магнитным полем.

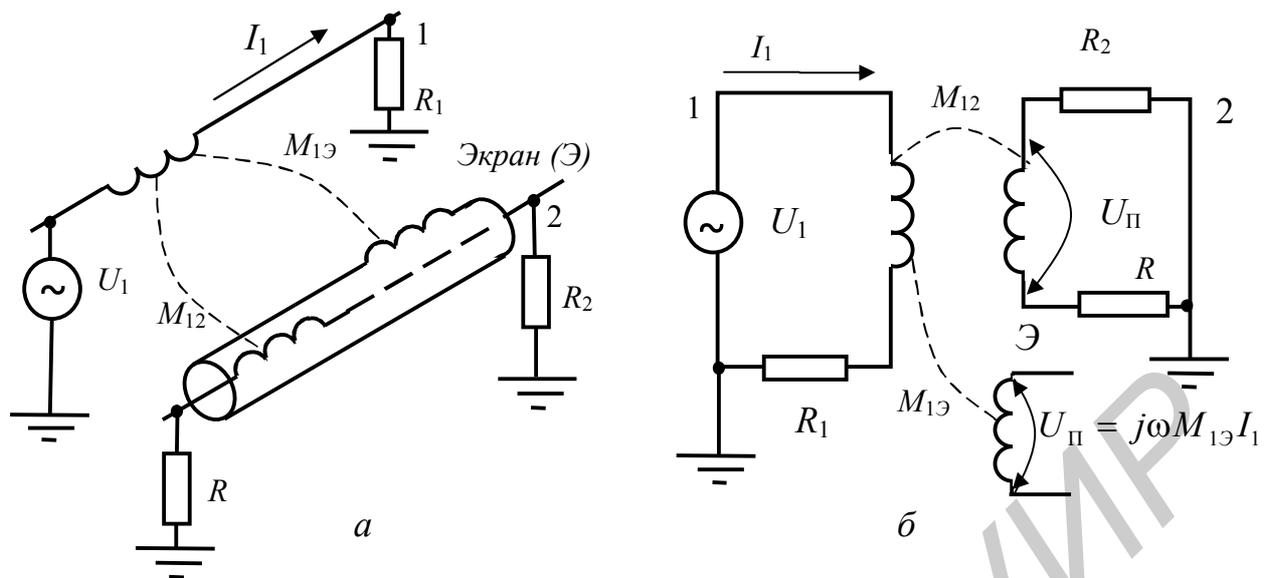


Рис. 3. Магнитная связь при наличии экрана вокруг проводника-приемника:
а – физическое представление; *б* – эквивалентная схема

1.2. Магнитная связь между экраном и заключенным в него проводником

Определим величину магнитной связи между проводящей трубкой и любым помещенным в нее проводником.

Рассмотрим вначале магнитное поле, создаваемое трубчатым проводником, по которому вдоль его оси течет равномерно ток (рис. 4). Если отверстие в трубке расположено концентрично с ее внешней поверхностью, магнитное поле в полости отсутствует и сосредоточено вне трубки. Поместим в нее проводник, получив, таким образом, коаксиальный кабель (рис. 5). Весь поток Φ от тока I_3 , проходящего по экранирующей трубке, окружает внутренний проводник. Индуктивность экрана равна

$$L_3 = \Phi / I_3 . \quad (7)$$

Коэффициент взаимной индукции между экраном и внутренним проводником равен

$$M = \Phi / I_3 . \quad (8)$$

Поскольку весь поток, создаваемый током экрана, окружает центральный проводник, поток в обоих уравнениях один и тот же.

Отсюда следует, что коэффициент взаимной индукции между экраном и центральным проводником равен собственной индуктивности экрана:

$$M = L_3 . \quad (9)$$

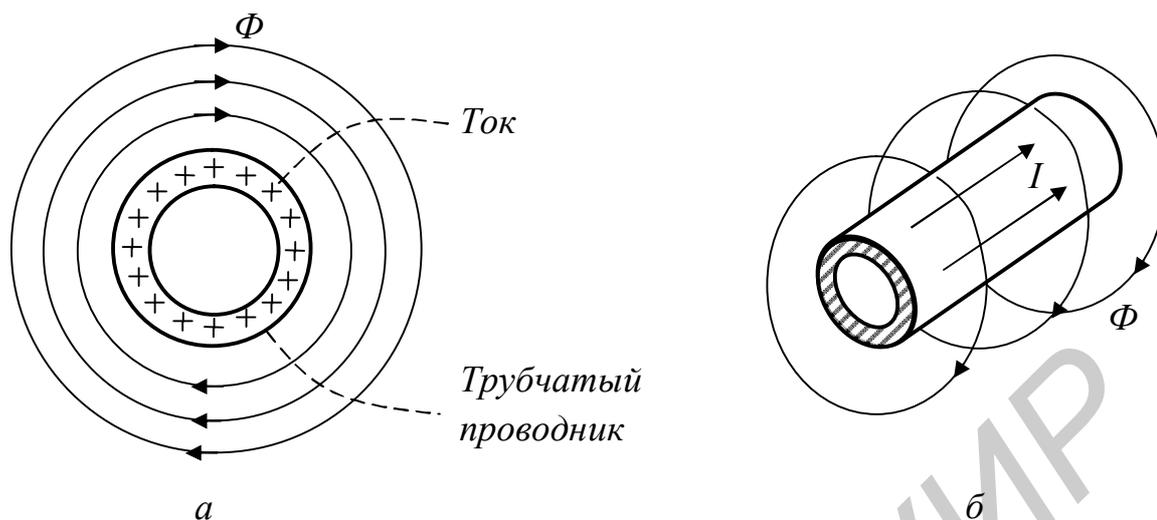


Рис. 4. Магнитное поле тока в трубчатом проводнике:
a – вид с торца; *б* – аксонометрическое представление
 (в полости трубки поля нет)

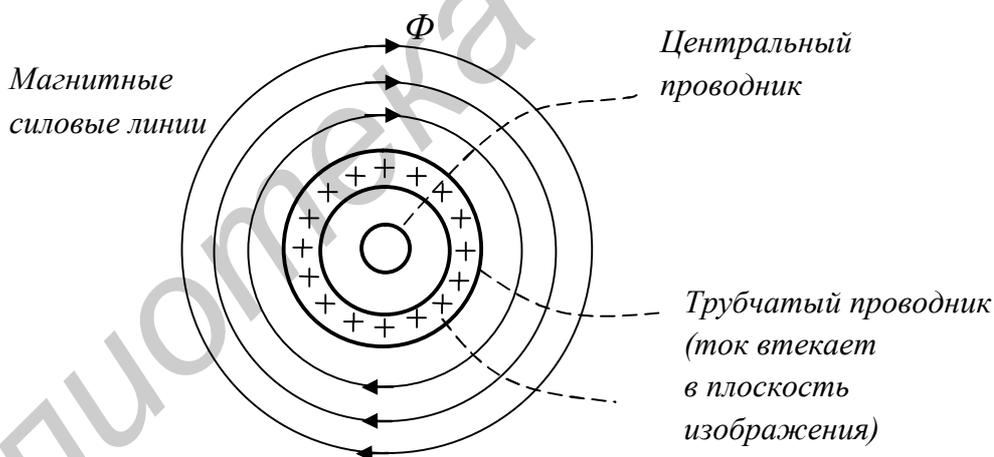


Рис. 5. Коаксиальный кабель с протекающим по экрану током

Уравнение (9) – очень важный результат. Оно показывает, что взаимная индуктивность между экраном и центральным проводником равна индуктивности экрана. Справедливо и обратное утверждение: взаимная индуктивность между центральным проводником и экраном равна индуктивности последнего. Справедливость уравнения (9) зависит только от того, действительно ли ток экрана не создает магнитного поля в плоскости трубки. Для выполнения этого условия необходимо, чтобы трубка была цилиндрической, и ток был равномерно распределен по окружности.

Уравнение (9) справедливо независимо от положения центрального проводника внутри трубки. Другими словами, оба проводника не обязательно должны быть коаксиальными.

Теперь вычислим $U_{\text{п}}$, наводимое на центральный проводник вследствие прохождения по экрану тока $I_{\text{э}}$. Предположим, что ток экрана создается напряжением $U_{\text{э}}$, наведенным на него от какой-то другой цепи. На рис. 6 внизу показана схема, которую при этом следует рассматривать: $L_{\text{э}}$ и $R_{\text{э}}$ – здесь индуктивность и сопротивление экрана.

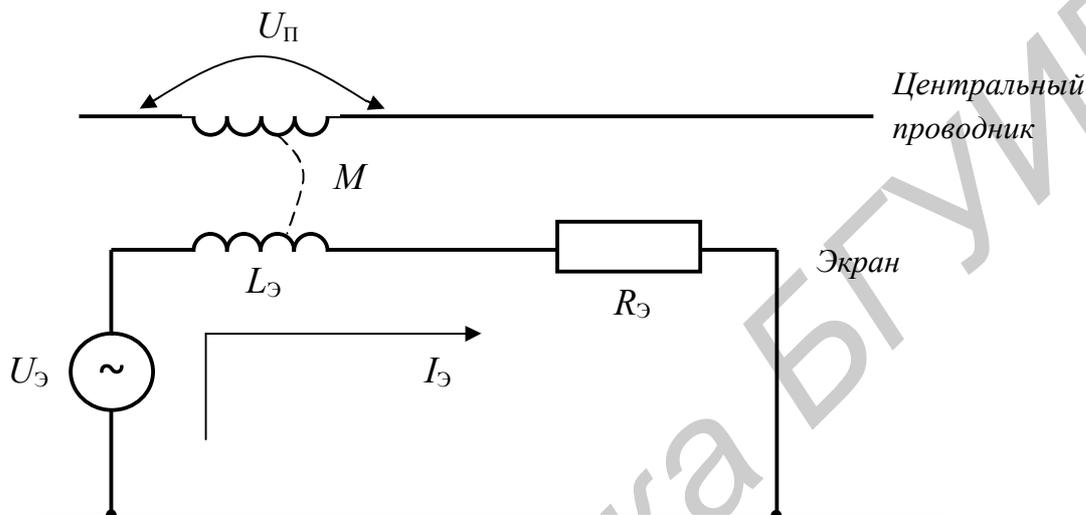


Рис. 6. Эквивалентная схема экранированного проводника

Получаем

$$U_{\text{п}} = j\omega M I_{\text{э}}. \quad (10)$$

Ток $I_{\text{э}}$ определяется следующим выражением:

$$I_{\text{э}} = \frac{U_{\text{э}}}{L_{\text{э}}} \frac{1}{j\omega + R_{\text{э}}/L_{\text{э}}}. \quad (11)$$

Отсюда

$$U_{\text{п}} = \frac{j\omega M U_{\text{э}}}{L_{\text{э}}} \frac{1}{j\omega + R_{\text{э}}/L_{\text{э}}}. \quad (12)$$

Так как $L_{\text{э}} = M$ [из уравнения (9)], то

$$U_{\text{п}} = \frac{j\omega}{j\omega + R_{\text{э}}/L_{\text{э}}} U_{\text{э}}. \quad (13)$$

График, соответствующий уравнению (13), показан на рис. 7. Сопрягающая частота для этой кривой определяется как частота среза экрана $\omega_{\text{ср}}$, и для нее действительны выражения:

$$\omega_{\text{ср}} = R_{\text{э}}/L_{\text{э}} \quad \text{или} \quad f_{\text{ср}} = R_{\text{э}}/2\pi L_{\text{э}}. \quad (14)$$

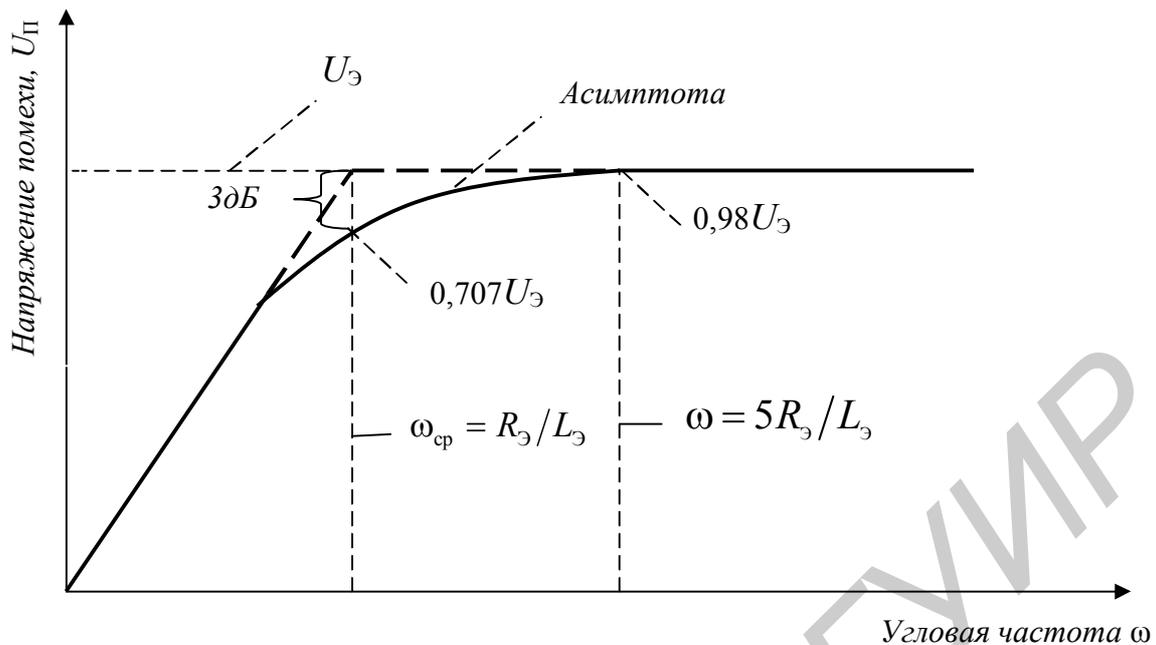


Рис. 7. Частотная характеристика напряжения помех, наводимых в коаксиальном кабеле током экрана на центральный проводник

Напряжение помех, наводимых на центральный проводник на постоянном токе, равно нулю и увеличивается почти до $U_э$ на частоте $5R_э/L_э$ рад/с. Таким образом, при создании условий для протекания тока по экрану наводимое на центральный проводник напряжение на частотах, более чем в пять раз превышающих частоту среза экрана, практически равно напряжению экрана.

1.3. Экранирование для предотвращения излучения магнитных полей

Чтобы предотвратить излучение, источник помех можно заключить в экран. На рис. 8 показаны электрическое и магнитное поля проводника с током, находящегося в вакууме.

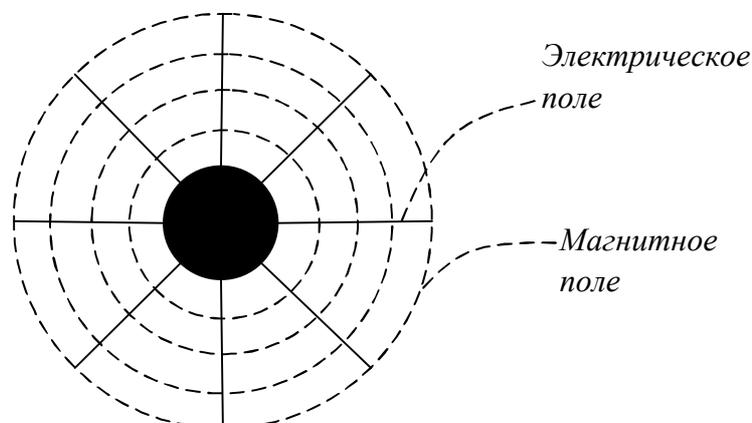


Рис. 8. Поле проводника с током

Если проводник поместить в экран, заземленный в одной точке, линии электрического поля будут замыкаться на экран, однако на магнитное поле последний будет оказывать очень слабое влияние (рис. 9). Если сделать ток экрана равным по величине току центрального проводника и противоположным ему по направлению, он будет создавать равное и противоположно направленное магнитное поле. В результате возникает ситуация, представленная на рис. 10, когда поле вне экрана отсутствует. Экран заземлен и по нему протекает ток, равный току в центральном проводнике и направленный ему навстречу.

На рис. 11 показана заземленная с обоих концов цепь, по которой проходит ток I_1 . Чтобы предотвратить излучение этой цепью магнитного поля, необходимо, чтобы оба конца экрана были заземлены и возвратный ток протекал от точки A к точке B по экрану (I_3 на рисунке), а не по заземленной плоскости (I_2). Но почему ток должен возвращаться от точки A к точке B по экрану?

Для ответа на этот вопрос воспользуемся эквивалентной схемой на рис. 11, а. Записав контурное уравнение для цепи $A - R_3 - L_3 - B - A$ в виде

$$0 = I_3 (j\omega L_3 + R_3) - I_1 j\omega M, \quad (15)$$

где M – взаимная индукция между экраном и центральным проводником [как было показано выше – см. (9), $M = L_3$], можно определить из него ток экрана I_3 .

Таким образом, решив данное уравнение относительно I_3 и сделав указанную подстановку, получим

$$I_3 = I_1 \frac{j\omega}{j\omega + R_3/L_3} = I_1 \frac{j\omega}{j\omega + \omega_{cp}}. \quad (16)$$

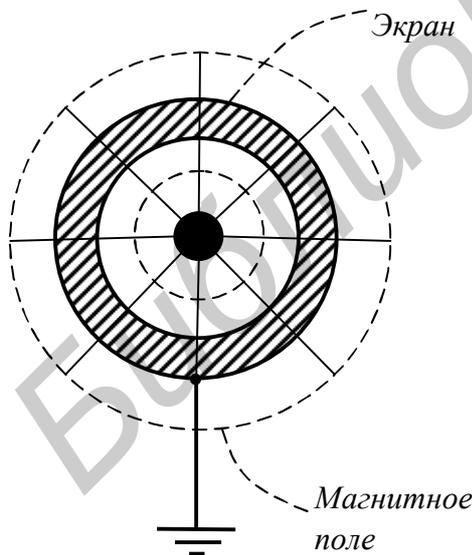


Рис. 9. Поле экранированного проводника, заземленного в одной точке

Из этого уравнения видно, что на частоте, немного превышающей частоту среза экрана ω_{cp} , ток последнего приближается по величине к току через центральный проводник. Поэтому на высоких частотах вследствие наличия взаимной индуктивности между экраном и центральным проводником первый создает цепь возврата тока с более низкой индуктивностью, чем плоскость заземления. По мере того как частота становится ниже $5\omega_{cp}$, магнитное экранирование кабеля ухудшается, так как при этом все большая часть тока возвращается через плоскость заземления.

Чтобы предотвратить излучение магнитного поля проводником, заземленным на обоих концах, его нужно экранировать, а экран необходимо заземлять с двух сторон. Это обеспечивает хорошее экранирование магнитного поля на частотах, значительно превышающих частоту среза экрана. Такое ослабление магнитного поля не является следствием магнитных экранирующих свойств кабеля. Скорее возвратный ток кабеля создает поле, которое компенсирует поле, создаваемое проводником.

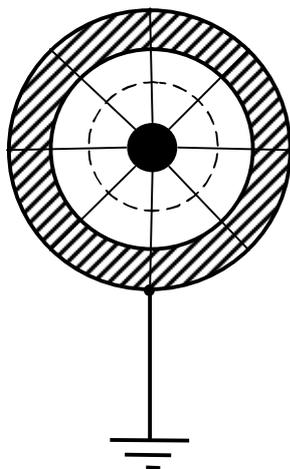


Рис. 10. Поле экранированного проводника, заземленного с двух концов

Если один из концов цепи не заземлен (рис. 12), экран с этого конца также не следует заземлять, поскольку в этом случае весь возвратный ток будет проходить по экрану. Это относится к

частотам, меньшим частоты среза экрана. В этом случае заземление обоих концов экрана уменьшает экранирование, поскольку часть тока может возвращаться через плоскость заземления.

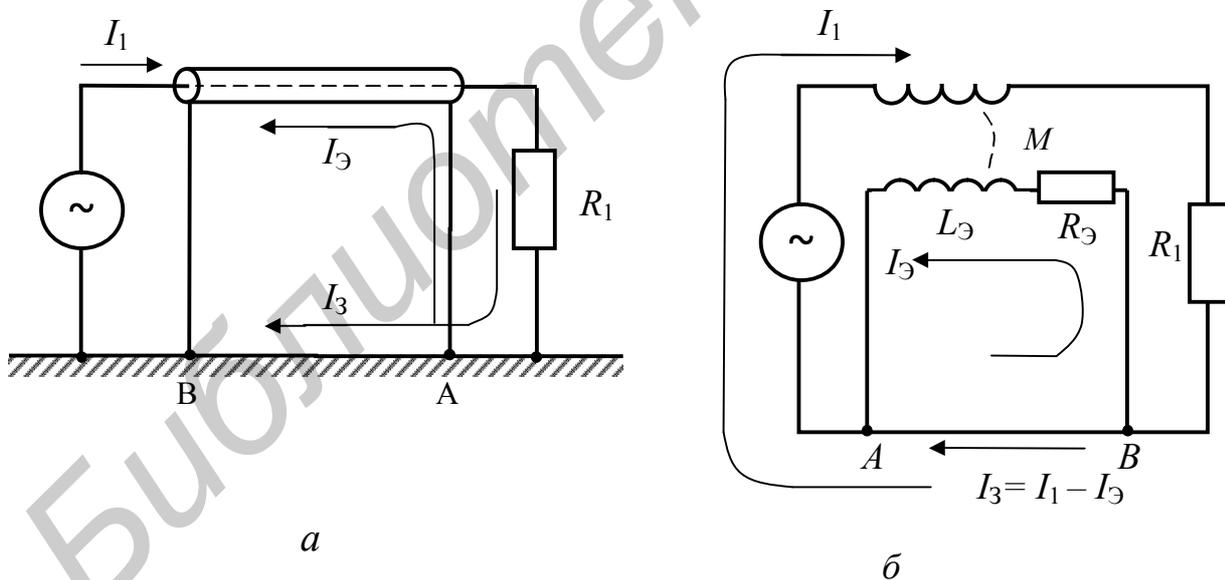


Рис. 11. Разделение тока между экраном и заземляющей плоскостью:
а – физическое представление; *б* – эквивалентная схема

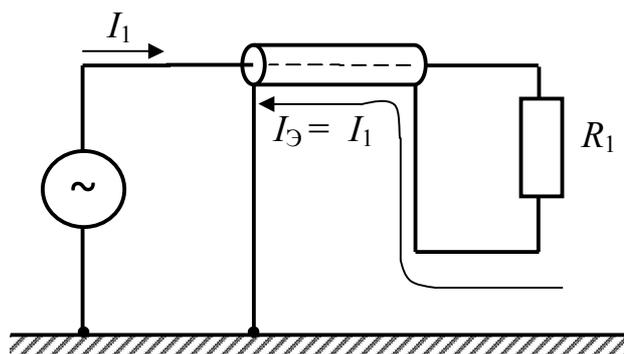


Рис. 12. Протекание возвратного тока при отсутствии заземления удаленного конца экрана

1.4. Экранирование приемника от магнитных полей

Лучший способ защиты приемника от магнитных полей – уменьшение площади его контура. Площадь, представляющая интерес в этом плане, – это общая площадь, охваченная током, проходящим в приемной цепи. Важен тот факт, что контур берется по току, возвращающемуся к источнику. Очень часто ток возвращается по цепи, которая охватывает меньшую площадь, и поэтому экран обеспечивает некоторую защиту от магнитных полей. Эта защита, однако, обусловлена уменьшением площади контура, а не магнитными свойствами экрана.

Рис. 13 иллюстрирует влияние экрана на площадь контура цепи. На рис. 13, а источник $U_{Г}$ соединен с нагрузкой $R_{Н}$ одним проводом, а возвратную цепь образует шасси заземления. Площадь, охватываемая током, – это прямоугольник между проводником и шасси заземления. На рис. 13, б проводник помещен в экран, заземленный с обоих концов. Если большая часть тока возвращается по экрану, а не по шасси, площадь контура уменьшается и тем самым до некоторой степени обеспечивается магнитная защита. Как указывалось выше, это происходит в том случае, если частота превышает частоту среза экрана более чем в пять раз. Заключение проводника в экран и заземление последнего только с конца (рис. 13, в) не изменяет площади контура и тем самым не обеспечивает магнитной защиты.

Включение, показанное на рис. 13, б, не защищает от магнитных полей на частотах ниже частоты среза экрана, поскольку в этом случае большая часть тока возвращается по шасси, а не по экрану. Эту схему не следует применять на низких частотах по следующим причинам. Во-первых, экран – один из проводников цепи, и любой ток помех, протекающий по нему, создает здесь

падение напряжения IR , которое схема воспринимает как напряжение помех. Во-вторых, если между двумя точками заземления экрана окажется разность потенциалов, имеющихя на шине земли, она также проявит себя в цепи как напряжение помех.

При заземлении обоих концов цепи всегда возможна лишь ограниченная защита от магнитного поля, поскольку в контуре заземления наводится большой ток помех. Так как этот ток течет через сигнальный проводник, на экране возникает напряжение помех, равное току через экран, умноженному на сопротивление последнего (рис. 14). Если просуммировать напряжения по всему входному контуру, получим следующее выражение:

$$U_{\text{вх}} = -j\omega MI_{\text{э}} + j\omega L_{\text{э}}I_{\text{э}} + R_{\text{э}}I_{\text{э}}.$$

Поскольку, как показано выше, $L_{\text{э}} = M$, то $U_{\text{вх}} = R_{\text{э}}I_{\text{э}}$.

В любом случае, когда по экрану проходит ток, на нем возникает напряжение помех, равное $R_{\text{э}}I_{\text{э}}$.

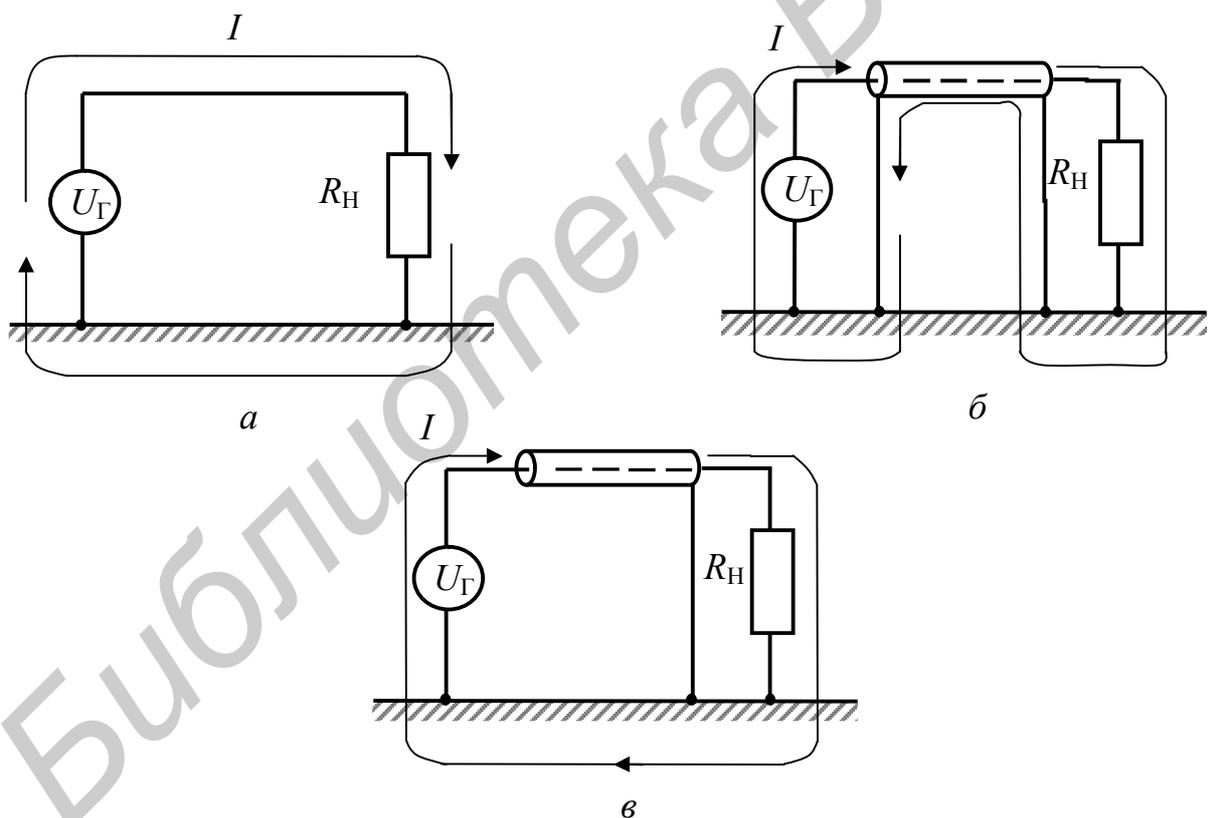


Рис. 13. Влияние экрана на площадь контура цепи-приемника:
 а – при отсутствии экрана площадь контура велика;
 б – заземление экрана с обеих сторон уменьшает S контура;
 в – заземление экрана с одной стороны не уменьшает S контура

Даже если экран заземляется на одном конце через него все же могут протекать токи помех из-за емкостной связи с экраном. Таким образом, для получения максимальной защиты на низких частотах экран не должен служить одним из сигнальных проводников, и один конец цепи необходимо изолировать от земли.

Степень экранирования между двумя цепями можно выразить через коэффициент, который определяется как отношение наведенного напряжения в схеме (приемнике) при отсутствии экрана к наведенному напряжению после введения последнего:

$$K_{\text{э}} = \frac{U_{\text{П(без экрана)}}}{U_{\text{П(с экраном)}}} \quad (17)$$

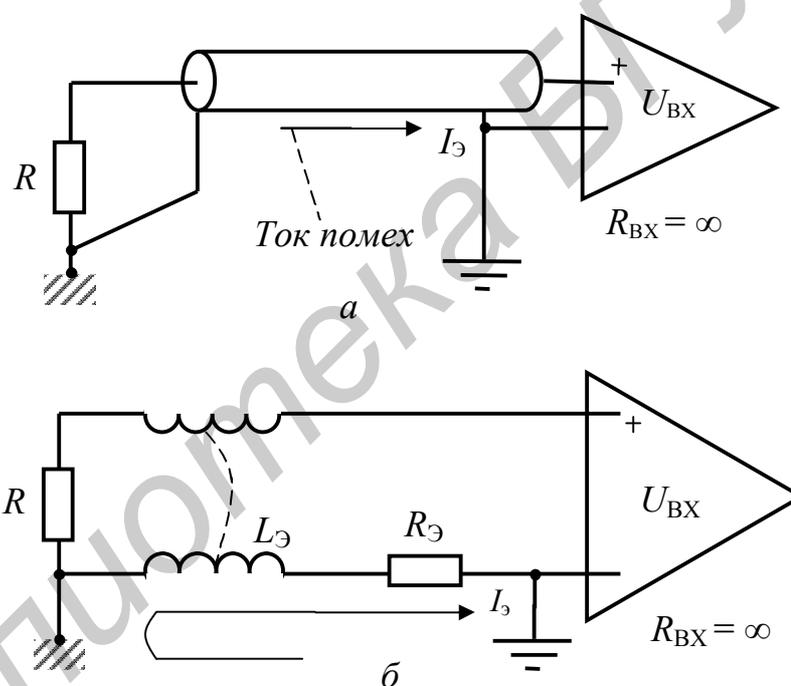


Рис. 14. Влияние тока помех, протекающего в экране коаксиального кабеля:
а – физическое представление; *б* – эквивалентная схема

1.5. Сравнение коаксиального кабеля и экранированной витой пары

При таком сравнении важно уяснить полезность обоих типов кабеля, а не стать сторонником точки зрения, при которой их экранирующие характеристики не учитываются. Как можно видеть на рис. 15, экранированная витая пара очень полезна на частотах до 100 кГц и в некоторых случаях – до 10 МГц. На частотах выше 1 МГц потери в ней значительно возрастают.

В то же время коаксиальный кабель имеет более равномерное волновое сопротивление при малых потерях. Поэтому его применяют от нулевой (постоянный ток) до очень высоких частот (в некоторых случаях вплоть до СВЧ). На частотах выше нескольких сот мегагерц потери в коаксиальном кабеле становятся велики, и здесь более целесообразно применять волноводы. Экранированная витая пара обладает большей емкостью, чем коаксиальный кабель, и поэтому она не так хорошо подходит для высоких частот и схем с высоким импедансом.

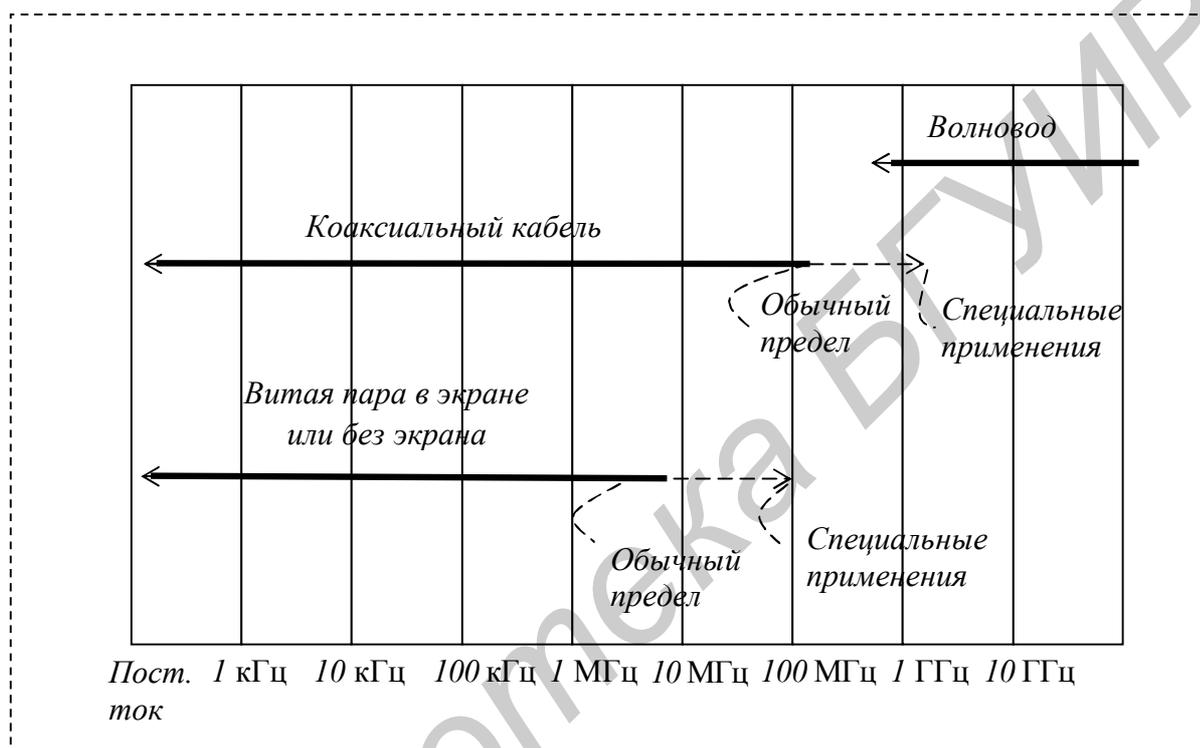


Рис. 15. Диапазоны рабочих частот для различных линий передачи

Коаксиальный кабель с заземленным на одном конце экраном обеспечивает хорошую защиту от емкостных наводок. Но если по экрану течет ток помех, на нем наводится напряжение помех, равное произведению этого тока на сопротивление экрана. Поскольку экран является частью сигнальной цепи, это напряжение помех оказывается включенным последовательно с входным сигналом. Помехи, создаваемые на сопротивлении экрана, можно исключить, применяя кабель с двойным экранированием (триаксиальный), в котором между двумя экранами имеется изоляция. Ток помех течет здесь по внешнему, а сигнальный – по внутреннему экрану, т.е. эти токи не имеют общей цепи.

К сожалению, триаксиальные кабели дороги и неудобны в использовании. На высоких частотах коаксиальный кабель работает так же, как и триаксиальный, что обусловлено скин-эффектом. У типичного экранированного кабеля этот

эффект становится заметным на частоте около 1 МГц. При этом ток помех течет по внешней поверхности экрана, тогда как сигнальный ток проходит по его внутренней поверхности. По этим причинам коаксиальный кабель лучше применять на высоких частотах.

Экранированная витая пара имеет свойства, аналогичные триаксиальному кабелю. Она дешевле кабеля и удобнее в использовании. Сигнальный ток в ней проходит по двум внутренним проводникам, а любой ток помех течет по экрану. Связь через общее сопротивление исключается. Кроме того, любой ток, проходящий по экрану, наводит через взаимную индуктивность в обоих внутренних проводниках равные напряжения, взаимно уничтожающие друг друга.

Неэкранированная витая пара, если она не сбалансирована, очень слабо защищает от емкостных наводок, но очень хорошо – от магнитных. Экранированная витая пара обеспечивает наилучшее экранирование низкочастотных сигналов, при работе с которыми основной проблемой являются магнитные наводки. Эффективность витой пары возрастает при увеличении числа витков на единицу длины.

1.6. Экраны в виде оплетки

Большинство кабелей имеет экран в виде оплетки, а не сплошного проводника. Оплетка гибка, прочна на разрыв и допускает многократные перегибы. Однако она перекрывает лишь 60–90 % требуемой площади и как экран менее эффективна, чем сплошной проводник. Наличие отверстий в оплетке обычно слабо влияет на экранирование электрических полей (исключая СВЧ-диапазон), но сильно ухудшает экранирование магнитных полей. Это объясняется тем, что оплетка нарушает однородность распределения тока в экране. По защите от магнитных полей она обычно на 5–30 дБ менее эффективна, чем сплошной экран.

На высоких частотах эффективность оплетки еще более ухудшается. Это происходит потому, что с ростом частоты длина волны становится меньше размеров отверстий в оплетке. Многослойное экранирование дает большую защиту, однако при этом растет стоимость и уменьшается гибкость кабеля. В некоторых критических случаях применяют двойные и даже тройные экраны. С недавнего времени стали выпускаться кабели со сплошным экраном из алюминиевой фольги. Последние обеспечивают почти стопроцентное покрытие и более эффективное экранирование. Однако эти кабели не столь прочны, как оплетка, и имеют обычно более высокую частоту среза экрана из-за более высокого экранного сопротивления.

Проводимое выше рассмотрение магнитного экранирования основывалось на однородности распределения продольного тока в экране по его окружности. Например, сплошные экраны, выполненные из алюминиевой фольги, дают наиболее равномерное распределение экранного тока, обеспечивая тем самым на частотах выше частоты среза экрана наилучшее магнитное экранирование. Плетеные экраны значительно хуже в отношении магнитного экранирования, так как ток в них распределяется менее однородно, чем в сплошном экране. Оплетка может иметь покрытие (обычно из оловянно-свинцового припоя или из серебра), и ток в такой оплетке будет распределен более равномерно из-за лучшего контакта между проводниками. В плетеных экранах без покрытия проводники окисляются и электрический контакт между ними обычно плохой.

Эффективность магнитного экранирования вблизи концов кабеля зависит от способа подключения экрана. Подключение «косичкой» приводит к тому, что экранный ток концентрируется на определенной части поверхности экрана. Для максимальной защиты экран следует подключать равномерно по всей плоскости его поперечного сечения. Это можно сделать, используя специальные коаксиальные разъёмы. Такой разъём обеспечивает электрический контакт с экраном по всей окружности. Коаксиальное подключение создает, кроме того, полное перекрытие внутреннего проводника, сохраняя полноту экранирования от электрических полей.

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Описание лабораторной установки

На рис. 16 показана схема установки для исследования индуктивной связи, а на рис. 17 и 18 – все возможные варианты передачи полезного сигнала от источника к приемнику с помощью кабеля. Установка содержит генератор (Г) сигнала помехи, катушку индуктивности L , линию связи в виде витой пары в экране и осциллограф (О). На схемах резистор 100 Ом имитирует выходное сопротивление источника сигнала, а резистор 1 МОм – входное сопротивление приемника. L представляет собой несколько витков провода, имитирующего источник помехи. С помощью перемычек, резисторов 100 Ом и 1 МОм и имеющихся в схеме восьми гнезд можно собрать все варианты соединений, изображенные на рис. 17 и 18.

Степень магнитной связи между проводниками оценивается по уровню наведенных помех U_{Π} на резисторе 1 МОм, измеряемому с помощью осциллографа.

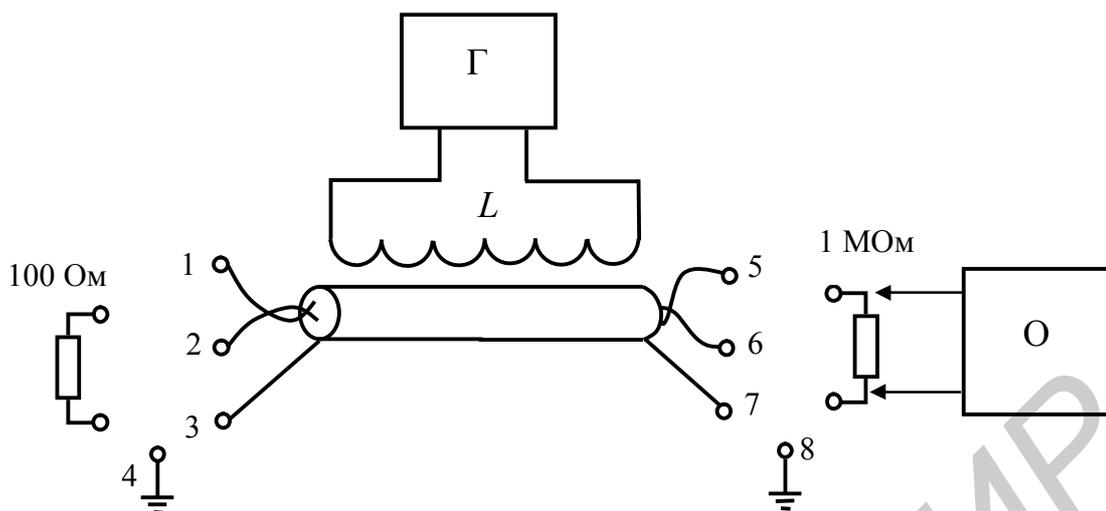


Рис. 16. Схема установки для исследования индуктивной связи

2.2. Лабораторное задание

1. Изучить методические указания.
2. Включить лабораторную установку для исследования индуктивной связи (рис. 16).
3. Измерить уровни наведенных помех для всех вариантов цепей, показанных на рис. 17, 18. Рассчитать по формуле (19) коэффициенты экранирования для исследуемых вариантов цепей.
4. По результатам измерений и расчетов сделать выводы об эффективности различных вариантов экранирования.

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Схема лабораторной установки для исследования индуктивной связи, схемы исследуемых цепей.
3. Таблица результатов измерений и расчетов.
4. Выводы.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните суть магнитной связи между проводниками.
2. Укажите различия в связи между проводниками через электрические и магнитные поля.
3. Поясните частотную характеристику напряжения помех, наводимых в коаксиальном кабеле током экрана на центральный проводник.
4. Как предотвратить излучения магнитных полей?
5. Как защитить приемник от магнитных полей?
6. Прокомментируйте результаты измерений.

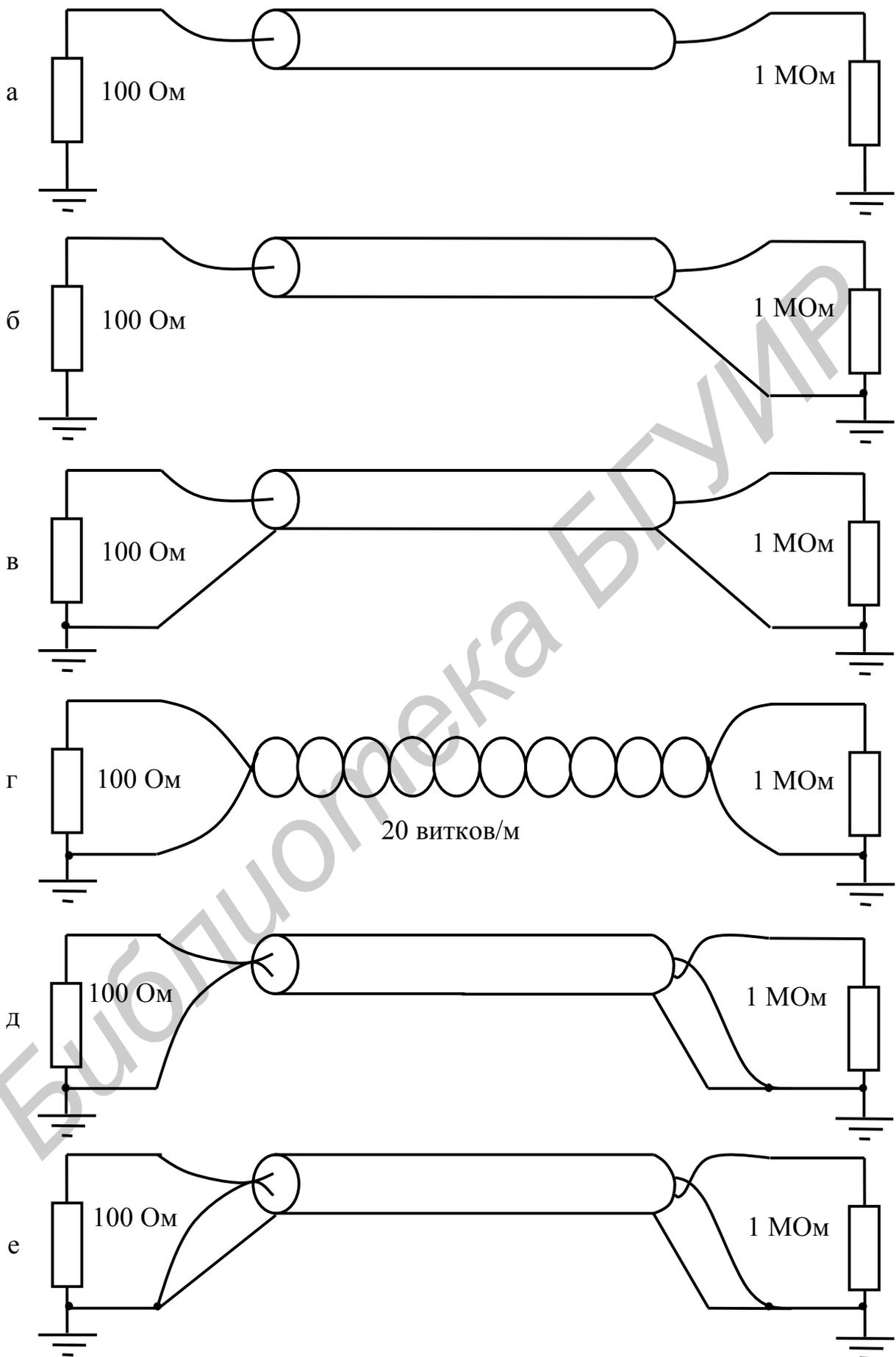


Рис. 17. Варианты подключения кабеля при заземлении его с обеих сторон

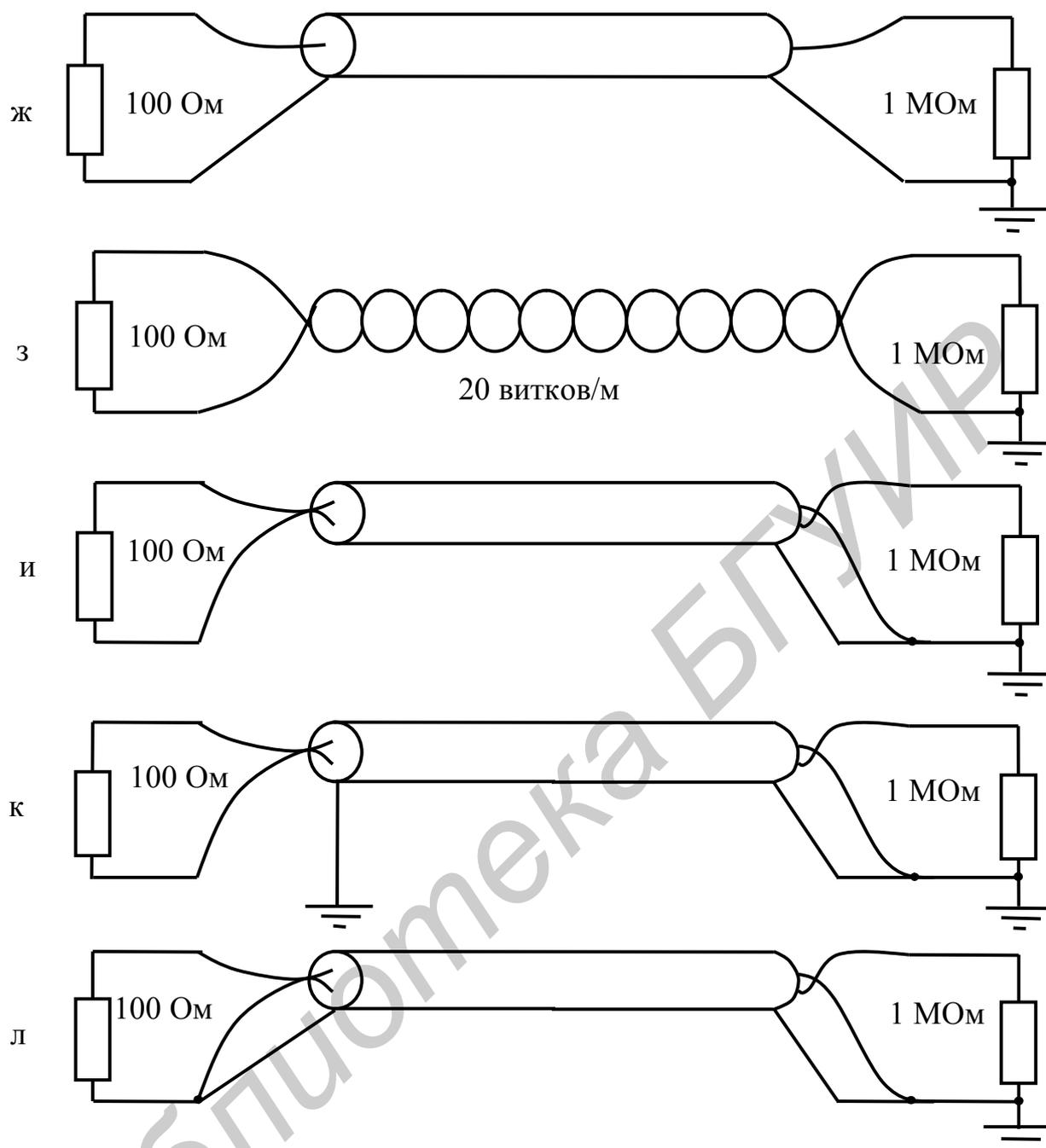


Рис. 18. Варианты подключения кабеля при заземлении его с одной стороны

ЛИТЕРАТУРА

1. Седельников, Ю. Е. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств: учеб. пособие / Ю. Е. Седельников. – Казань : ЗАО «Новое знание», 2006. – 304 с.
2. Отт, Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах / Г. Отт: пер. с англ.; под ред. М. В. Гальперина. – М. : Мир, 1979. – 317 с.

Учебное издание

ЗАЩИТА СИГНАЛЬНЫХ ЛИНИЙ ОТ ПОМЕХОВЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Методические указания
к лабораторной работе по курсу «Электромагнитная совместимость
радиоэлектронных средств» для студентов специальности
1-39 01 02 «Радиоэлектронные системы»
дневной формы обучения

С о с т а в и т е л и:
Левкович Василий Николаевич
Устименко Виктор Григорьевич

Редактор Т. П. Андрейченко
Корректор Е. Н. Батурчик
Компьютерная верстка М. В. Гуртатовская

Подписано в печать
Гарнитура «Гаймс».
Уч.-изд. л. 1,3.

Формат 60x84 1/16.
Отпечатано на ризографе.
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л.
Заказ 428.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6