**Е.Ф. БАЗЛОВ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С РАСПРДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

***Методические*** ***указания*** ***к*** ***лабораторной*** ***работе***

Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А.Н. ТУПОЛЕВА-КАИ»

Е.Ф. БАЗЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

*Методические* *указания* *к* *лабораторной* *работе*

Казань 2017

УДК 621.373(075)

**Базлов Е.Ф.**

Исследование электрических цепей с распределенными параметрами.

Проводится исследование режимов работы однородной длинной линии с потерями и без потерь. Работа выполняется с использованием электронной лаборатории Multisim.

Работа предназначена для студентов очной и заочной форм обучения направлений подготовки 11.03.01 «Радиотехника», 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и специальностей 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы», 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» и 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

### Цель работы: исследовать распределение напряжений в однородной длинной линии, находящейся под гармоническим внешним воздействием, при различных нагрузках.

1. **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

### ЦЕПИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Цепями с распределенными параметрами называются идеализированные электрические цепи, процессы в которых описываются дифференциальными уравнениями в частных производных. Токи и напряжения в одномерной цепи с распределенными параметрами являются функциями двух переменных – времени  и координаты : 

Первыми в качестве одномерных цепей с распределенными параметрами стали представлять так называемые *длинные линии*, т.е. линии передачи энергии от источника к нагрузке, длина которых  значительно превышает длину волны  передаваемых электромагнитных колебаний. Поэтому одномерные цепи (рис.1) с распределенными параметрами часто называют *длинными линиями или линиями*

















Конец линии

Начало линии

Рис. 1.



Электромагнитные свойства такой линии характеризуются первичными параметрами, т.е. параметрами, отнесёнными к единице длины линии:  – погонная индуктивность,  – погонная емкость,  – погонное сопротивление,  – погонная проводимость. Если представить длинную линию в виде отрезков длиной , то в пределе, при , такие малые элементы линии могут быть описаны методами, принятыми в теории цепей. В этом случае любой малый отрезок линии можно представить в виде эквивалентной схемы (рис. 2), состоящей из сосредоточенных малых элементов .





Рис. 2







Вся линия может быть представлена каскадным соединением элементарных четырёхполюсников (рис. 3), где  – **погонное комплексное сопротивление**,  – **погонная комплексная проводимость**.

При анализе цепей с распределенными параметрами необходимо определить характер изменения токов и напряжений вдоль цепи.















Рис. 3





##### ОДНОРОДНАЯ ДЛИННАЯ ЛИНИЯ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВНЕШНЕМ ВОЗДЕЙСТВИИ

**Волновые процессы в однородной длинной линии**

Распределение комплексных действующих значений напряжения  и тока

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1)  (2) |

 в однородной длинной линии, находящейся под гармоническим внешним воздействием, определяется выражениями

Коэффициент

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| называется *коэффициентом распространения*, а | (3) | |
| – | (4) | |
|  | |  |

*волновым сопротивлением линии.*

Постоянные интегрирования  и  определяются с учетом начальных условий: при :, где  – напряжение и ток в начале линии. Тогда



Уравнения (1) и(2) с учетом этих формул для постоянных интегрирования принимают вид

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5)  (6) |

Коэффициент распространения линии можно представить в алгебраической форме

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |

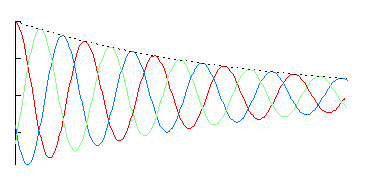
Переходя от комплексных действующих значений напряжения и тока к мгновенным, получаем

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8)  (9) |

Из этих выражений следует, что установившиеся значения напряжения и тока в произвольном сечении линии, находящейся под гармоническим воздействием, можно представить в виде суммы двух подобных по структуре, но отличающихся знаками перед коэффициентами α и β составляющих:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (10)  (11) |

При фиксированном  каждая из составляющих тока и напряжения представляет собой гармоническую функцию времени . В связи с тем, что сумма двух гармонических функций времени, имеющих одинаковую частоту, есть гармоническая функция той же частоты, напряжение и ток во всех сечениях линии изменяются по гармоническому закону с частотой внешнего воздействия (рис. 4). Как видно из рисунка 4а, для каждого фиксированного момента времени напряжение  изменяется вдоль линии по косинусоидальному закону, причем амплитуда напряжения экспоненциально уменьшается с ростом .







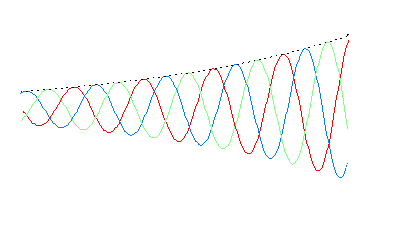








а)















б)

Рис. 4. Распределение напряжения падающей (а) и отраженной (б) волн вдоль линии (

При увеличении  точки функции  имеющие одинаковую фазу, смещаются вправо. Аналогичный вид имеют зависимости . Следовательно,  и  представляют собой волны напряжения и тока, распространяющиеся в направлении увеличения х. Эти волны называют падающими или прямыми.

Из рассмотрения зависимостей  и , следует, что они представляют собой волны напряжения и тока, распространяющиеся в направлении уменьшения , т.е. от конца линии к ее началу (рис. 4б). Эти волны называются отраженными или обратными.

Амплитуды напряжений и тока падающей и отраженной волн уменьшаются в направлении распространения волн. Это уменьшение зависит от величины коэффициента , который называется *коэффициентом ослабления*. Он характеризует уменьшение амплитуды (или действующего значения) падающей или отраженной волны на единицу длины линии.

Следовательно, напряжение и ток в любом сечении проводника можно рассматривать как результат наложения падающей и отраженной волн. Первое и второе слагаемые, входящие в выражения (1) и (2), представляют собой комплексные действующие значения напряжения или тока падающей и отраженной волн:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (12)  (13) |

В этих формулах

|  |
| --- |
|  |

Из выражений (12), (13) следует, что волновое сопротивление линии  является коэффициентом пропорциональности между напряжением и током падающей или отраженной волн в отдельности:

|  |
| --- |
|  |

Таким образом, волновое сопротивление однородной линии можно рассматривать как сопротивление линии падающей или отраженной волн в отдельности.

* 1. **Коэффициент отражения линии.**

*Комплексными коэффициентами отражения длинной линии по напряжению (току)* называются соответственно отношения комплексных действующих (амплитудных) значений напряжений или токов отраженной волн в произвольном сечении линии:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (14)  (15) |

Коэффициент отражения увеличивается при изменении расстояния от источника к нагрузке, достигая максимального значения на нагрузке.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | (16) | |
|  | |  | |

Следовательно, .

|  |
| --- |
| Коэффициент отражения по напряжению показывает, какую часть падающей волны в конце линии составляет амплитуда отраженной волны. |

Коэффициент отражения по току , т.е. он равен по значению и противоположен по знаку коэффициенту отражения по напряжению.

Некоторые частные режимы работы линии.

1. . Коэффициент отражения равен нулю (). Это значит, что отраженной волны нет () и вся энергия падающей волны выделяется в нагрузке

|  |  |
| --- | --- |
|  | (17) |

Этот режим называется *режимом бегущих волн* и характеризует *согласование линии с нагрузкой.*

2. . Этот режим называется коротким замыканием линии. Коэффициент отражения по напряжению в этом режиме . Падающая и отраженные волны напряжения в конце линии имеют равные амплитуды и сдвинуты по отношению друг к другу по фазе на , т.е. . амплитуда результирующей волны напряжения в конце линии будет равна нулю.

3. . Это режим холостого хода. Коэффициент отражения по напряжению . Падающая и отраженная волны напряжения в конце линии равны по амплитуде и совпадают по фазе, а результирующее напряжение увеличивается вдвое.

Режим волн, при котором коэффициент отражения , *называется режимом стоячих волн.*

4. , коэффициент . В линии прямая волна частично отражается от нагрузки. Этот режим называется *режимом смешанных волн*.

* 1. **Коэффициент распространения.**

Коэффициент распространения введен формулой

|  |
| --- |
|  |

В режиме согласованного включения линии из (20) следует, что напряжение и ток в любой точке  линии и на входе линии при  равны соответственно



Отношение этих напряжений и токов равно



Записав комплексные действующие значения в показательной форме, получим

****

Отсюда,

.

Для отрезка линии единичной длины (1км, 1м и т.д.) можно записать

.

Вещественная часть коэффициента распространения  характеризует изменение напряжения и тока по абсолютной величине при распространении энергии на расстояние, равное единице длины линии. Она называется *коэффициентом ослабления* линии и измеряется в неперах, отнесенных к единице длины линии (в радиосвязи – Нп/м).

При использовании десятичного логарифма вместо натурального

**

измеряется в дБ/м.

Мнимая часть коэффициента распространения  характеризуется изменением напряжения и тока по фазе. Она называется *коэффициентом фазы* линии и измеряется в рад/м. Вместо радиан могут использоваться градусы. Скорость перемещения вдоль линии точки волны, фаза колебания в которой остается неизменной, называется фазовой скоростью волны: .

**1.5. Входное сопротивление линии.**

Входное сопротивление линии определяется отношением напряжения и тока в начале линии. Воспользуемся уравнениями (5) и (6). Если учесть, что

 и ,

то

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Используя эту формулу можно определить входное сопротивление линии для различных нагрузок.

* 1. **Линия без потерь.**

**Вторичные параметры и уравнения передачи.**

Реальная линия всегда обладает потерями. Однако, в ряде случаев удобно считать линию идеальной, т.е. не имеющей потерь: . Такая идеализация оправдана для коротких линий, работающих на сверхвысоких частотах (фидеров, элементов радиотехнических устройств, полосковых линий и др.), где выполняются условия:  и .

Коэффициент распространения линии без потерь является чисто мнимым

|  |
| --- |
|  |

Следовательно, коэффициент ослабления , а коэффициент фазы  линейно зависит от частоты.

Коэффициент фазы  связан с длиной волны электромагнитного колебания. Длиной волны называется расстояние между двумя точками, взятыми в направлении распространения волны, фазы которых отличаются на . Следовательно,  и . Фазовая скорость для линии без потерь 

Волновое сопротивление линии без потерь

|  |
| --- |
|  |

является резистивным.

При анализе процессов в линии без потерь общепринято расположение той или иной точки в линии характеризовать ее удалением не от начала линии, а от конца (от нагрузки). В этом случае уравнения передачи линии без потерь, выражающие комплексные значения напряжения и тока в произвольной точке линии , отсчитанной от ее конца, записываются в виде

|  |  |
| --- | --- |
|  | (18)  (19) |

**Режимы волн в линии без потерь.**

1. Режим бегущих волн. При нагрузке линии на резистивное сопротивление, равное волновому, ток в нагрузке



и уравнения (26) (27) преобразуются следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (20)  (21) |

Комплексные напряжение и ток в показательной форме



Полагая для упрощения  и , для мгновенных значений напряжений и т оков, получим

|  |  |
| --- | --- |
|  | (22)  (23) |

Эти уравнения описывают падающие волны, распространяющиеся в линии от генератора к нагрузке. На направление распространения волн указывает знак "+" перед , так как расстояние отсчитывается от нагрузки.

Коэффициент отражения в этом режиме равен 0, т.е. отраженные волны напряжения и тока в линии не образуются. Такой режим волн называются согласованным режимом или режимом бегущих волн, а падающие волны называются *бегущими*. При этом амплитуды колебаний постоянны по всей длине линии. Сдвиг фаз между напряжением и током равен нулю, поэтому в режиме бегущих волн передача энергии в линии производится только в одном направлении – от источника к нагрузке. Вся энергия, передаваемая падающей волной, потребляется нагрузкой. Этот режим используется для передачи сигнала от источника в нагрузку.

2. Режим стоячих волн. Если модуль коэффициента отражения линии равен 1, т.е. амплитуды отраженной и падающей волн во всех сечениях линии одинаковы, то в линии устанавливается режим, называемый *режимом стоячих волн.*

Режим стоячих волн может установиться в линии без потерь при коротком замыкании или холостом ходе на выходе, а также, если сопротивление нагрузки имеет чисто реактивный характер.

При коротком замыкании напряжение в конце линии равно нулю:. Уравнения передачи принимают вид

|  |  |
| --- | --- |
|  | (24) |

Если положить для простоты начальную фазу тока в конце линии равной нулю (), то мгновенные значения напряжения и тока в любой точке линии описываются выражениями:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (25)  (26) |

Из этих выражений следует, что при коротком замыкании на выходе линии амплитуды напряжения и тока меняются вдоль линии по периодическому (гармоническому) закону:



Максимальные значения напряжения  и тока  называются пучностями. Те точки в линии, где напряжения или тока равны нулю, называются узлами. На рисунке 5 показаны законы распределения амплитуд напряжения и тока вдоль линии в режиме короткого замыкания.0

Как видно из этого рисунка, узлы напряжения соответствуют пучностям тока и, наоборот, узлы тока соответствуют пучностям напряжения.

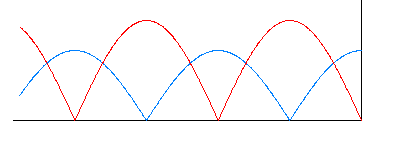




















Рис.5. Расределение амплитуд напряжения () и тока () вдоль линии в режиме короткого замыкания

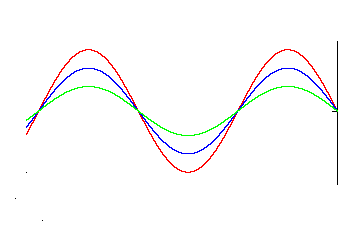






















Рис. 6. Распределение мгновенных значений2 напряжения вдоль линии в режиме короткого замыкания.

Распределение мгновенных значений напряжения (рис. 6) (или тока) вдоль линии происходит по гармоническому закону, однако с течением времени координаты точек, имеющих одинаковую фазу, остаются неизменными, т.е. волны напряжения (или ока) как бы "стоят на месте". Именно по этому такой режим работы линии получил название *режима стоячих волн.*

Координаты узлов напряжения определяются из условия , откуда при  , где ., а координаты пучностей напряжения – из условия , откуда .

Пучности возникают в тех сечениях линии, в которых падающая и отраженная волны напряжения (тока) совпадают по фазе и, следовательно, суммируются, а узлы располагаются в сечениях, где падающая и отраженная волны находятся в противофазе и, следовательно, вычитаются.

Мгновенная мощность в узлах напряжения и тока в любой момент времени равна нулю.

Следовательно, в режиме стоячих волн энергия вдоль линии не распространяется и на каждом участке линии происходит только обмен энергией между электрическим и магнитным полями. Этот режим не используется для передачи сигнала от источника в нагрузку.

Напряжение и ток в короткозамкнутой линии сдвинуты по фазе на  (см. (32)). Это свидетельствует о том, что энергия стоячей волны имеет реактивный характер, т.е. входное сопротивление линии чисто реактивное.

Входное сопротивление короткозамкнутой линии в произвольной точке  линии



Резистивная составляющая комплексного входного сопротивления равна нулю, а реактивная составляющая меняется по закону тангенса и является периодической функцией электрической длины  и может принимать любые значения от  до  (рис.7).

При  величина  и входное сопротивление . При , величина  и входное сопротивление .

При  входное сопротивление линии имеет индуктивный характер, а при  – емкостной характер. Как следует из рисунка 7, увеличение  на величину, кратную , не изменяет входного сопротивления отрезка линии без потерь.

В режиме холостого хода ,  уравнения передачи имеют вид

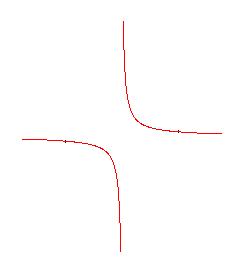
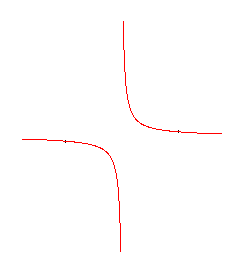










Рис. 7. Изменение входного сопротивления линии в режиме короткого замыкания.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (27) |

Для мгновенных значений имеем (при начальной фазе напряжения ):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (28)  (29) |

Сравнивая уравнения передачи (27) и (28, 29) с аналогичными уравнениями короткозамкнутой линии, видим, что и в режиме холостого хода в линии будут стоячие волны. Разница состоит в том, что узлы и пучности напряжения при холостом ходе совпадают с узлами и пучностями тока при коротком замыкании, а узлы и пучности тока разомкнутой линии – с узлами и пучностями напряжения короткозамкнутой линии. В нагрузке разомкнутой линии образуются пучность напряжения и узел тока.

Входное сопротивление разомкнутой линии без потерь определяется формулой

|  |  |
| --- | --- |
|  | (30) |

Стоячие волны образуются в линии без потерь и в том случае, если нагрузка линии будет чисто реактивной: емкостной или индуктивной. Например, пусть линия нагружена на индуктивность .При заданной частоте  сопротивление нагрузки . Из рисунка 7 следует, что отрезок закороченной линии длиной меньше  имеет входное сопротивление индуктивного характера. Поэтому всегда можно подобрать такую длину отрезка , при которой его входное сопротивление равнялось бы заданному сопротивлению  Заменим индуктивность  отрезком короткозамкнутой линии (рис. 8б). Эта замена позволяет применить теорию короткозамкнутой линии и сразу же построить кривые распределения напряжения и тока в линии, нагруженной на индуктивность (рис. 8в). В этой линии возникают стоячие волны. Этот режим отличается от режима короткого замыкания тем, что ближайший узел и пучность сдвинуты от конца линии на некоторое расстояние.

Входное сопротивление линии, нагруженной на индуктивность имеет реактивный характер в любом сечении линии, но на нагрузке оно не равно нулю или бесконечности.

Если линия нагружена на емкость  с сопротивлением , можно заменить эту емкость отрезком разомкнутой линии длиной , входное сопротивление которого равняется заданному сопротивлению нагрузки. И в этом

случае в линии возникают стоячие волны.

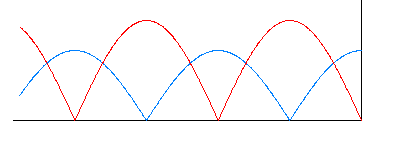










Рис. 8. Линия, нагруженная на индуктивность.

а) цепь с индуктивностью, б) индуктивность заменена эквивалентным отрезком к.з. линии, длиной , в) распределение амплитуд напряжения и тока вдоль к.з. линии.













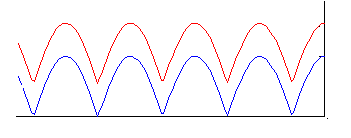




3. Режим смешанных волн. Если линия нагружена на резистивное сопротивление, не равное волновому или на комплексное сопротивление, в линии возникает режим смешанных волн. Для определенности положим, что . Рассмотрим распространение по линии волны напряжения. Падающая волна не вся поглощается нагрузкой, часть ее отражается обратно в линию. Амплитуда

отраженной волны меньше амплитуды падающей волны, поэтому падающую волну можно представить в виде суммы двух волн. Одна из них, равная по амплитуде отраженной волне, взаимодействуя с ней, образует стоячую волну. Оставшаяся падающая волна является бегущей. Таким образом, в линии возникает смешанная волна, состоящая из бегущей и падающей волн. Такой режим работы и называется режимом смешанных волн. Распределение амплитуд напряжения в режиме смешанных волн показано на рис. 9. В этом режиме в линии отсутствуют узлы и пучности, а будут наблюдаться минимумы и максимумы амплитуд волн.

Чтобы оценить близость этого режима к режиму бегущей волны, вводится *коэффициент бегущей волны*:









Бегущая волна

Стоячая волна

Смешанная волна

Рис. 9. Распределение амплитуд напряжения в линии в режиме смешанных волн.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (31) |
|  | |

Величина  меняется в пределах от  до .Если  в линии имеет место режим стоячей волны, при  – режим бегущей волны.

Коэффициент бегущей волны выражается через отношение волнового сопротивления и сопротивление нагрузки:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (32) |
|  | |

Кроме  используется коэффициент стоячей волны

|  |  |
| --- | --- |
|  | (32) |

1. **ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА**

Для выполнения работы используется система компьютерного моделирования электрических и электронных схем Multisim.

Модель однородной длинной линии с потерями в Multisim изображена так, как показано на рисунке 10. Эта модель находится в меню "Реальные компоненты"  Для изменения параметров модели надо дважды щелкнуть по изображению линии. При этом откроется диалоговое окно "LOSSI TRANSMISSION\_LINE", в котором можно установить длину линии и первичные параметры .



Рис. 10

Если требуется измерять распределение напряжения вдоль линии, можно каскадно соединять отдельные отрезки (Рис. 11). Выводы 101 и 102 являются входом линии, к ним подключается источник напряжения. Выводы 103 и 104 − выход линии. К этим выводам подключается нагрузка.



Рис. 11

В работе исследуется неискажающая линия. Первичные параметры ее выбраны следующими:

. Волновое сопротивление этой линии 

Чтобы исследовать линию, приближающуюся по своим свойствам к линии без потерь, сопротивление  и проводимость  уменьшены: , .

Частота воздействующего гармонического напряжения  Этой частоте соответствует длина волны .

1. **ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАДАНИЯ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.**

Включить Multisim.

**Задание 1.** Исследовать затухание напряжения в линии с потерями.



Рис. 12

1) Собрать схему рис. 12.

2) Установить следующие значения параметров источника:

напряжение установить  (действующее значение),

частота 

начальная фаза .

3) Включить последовательно с источником сопротивление, равное волновому: .

4) Включить сопротивление нагрузки  также равное волновому. Следовательно, будет реализован согласованный режим работы линии.

5) Подключить вольтметры в режиме измерения переменного напряжения "AC"на входе и выходе линии. Вольтметр U1 измеряет напряжение на входе линии, а вольтметр U2 − на выходе.

**Примечание. Чтобы изменить параметры модели, надо отключить режим моделирования, произвести изменения и заново запустить модель.**

6) Включить режим моделирования кнопкой .

7) Занести в таблицу 1 значение входного напряжения .

8) Меняя длину линии (как указано в таблице 1), занести значения выходного напряжения .

Таблица

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| (В) |  | | | | | |
| (м) | 300 | 600 | 1000 | 1200 | 1800 | 2400 |
| (В) |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

1

9) По результатам измерений построить график зависимости  от длины линии .

**Задание 2.** Исследовать задержку выходного напряжения относительно входного. Для выполнения этого задания использовать схему рис. 12. Задержку фиксировать на экране осциллографа.

1) Установить развертку осциллографа:

"Одн.",

"Уровень 1μV",



"Запуск ".

2) Включить режим моделирования.

3) Меняя длину линии фиксировать задержку, заполняя таблицу 2

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| (В) |  | | | | | |
| (м) | 300 | 600 | 1000 | 1200 | 1800 | 2400 |
| Задержка с |  |  |  |  |  |  |
| Длина линии по результатам измерений |  |  |  |  |  |  |

На рисунке 13 показан пример того, как надо определять время задержки. После включения режима моделирования, на экране появятся две осциллограммы. Красная соответствует входному напряжению, белая − выходному. Выходной сигнал появляется с задержкой Установив визирную линию 2 в точ ке, соответствующей возникновению выходного сигнала, зафиксировать в индикаторном окне время  (на рис. 13 оно обведено красной рамкой). В этом примере .Зная это время, можно определить длину линии по формуле:. В воздушной линии фазовая скорость равна скорости света. Следовательно, в этом случае . Ошибка в определении длины линии возникает из-за неточности оценки  по осциллограмме. Амплитуда выходного напряжения, как видно по осциллограммам, меньше амплитуды входного. Это соответствует затуханию напряжения в линии с потерями, как показано в **Задании 1.**

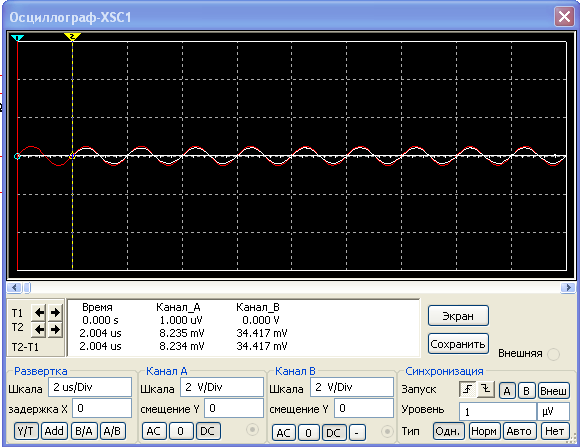


Рис. 13

**Задание 3.** Исследовать распределение напряжения вдоль линии.

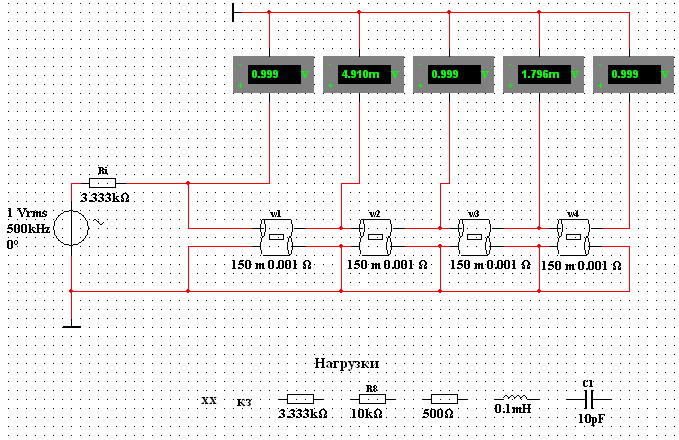


Рис. 14

1) Собрать схему, представленную на рис. 14.

2) Линию собрать из четырех отрезков.

3) Установить длину каждого отрезка . Следовательно длина всей линии равна длине волны .

4) Первичные параметры линии задать следующими: , , , .

Можно сформировать один отрезок линии, а затем его скопировать.

Такая модель линии дает возможность измерять напряжение в точках, расстояние между которыми равно .

5) Согласовать источник с линией, включив последовательно с ним сопротивление, равное волновому.

6) Подключить вольтметры в режиме "AC".

7) По заданию преподавателя исследовать распределение напряжения в трех режимах: режим бегущей волны, режим стоячей волны, режим смешанных волн. Нагрузку устанавливать по заданию преподавателя.

7) Подключив нагрузку, измерить напряжения в точках, к которым подключены вольтметры, результаты измерений занести в таблицу 3.

Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Нагрузка |  | | | | |
| Расстояние от нагрузки |  |  |  |  |  |
| Показания вольтметра |  |  |  |  |  |

8) По результатам измерений построить качественный график зависимости напряжения от .

9) Изменив нагрузку повторить п.7 еще для двух нагрузок.

1. **ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА.**

Отчет должен содержать:

1. Схемы проведения эксперимента и объяснение их работы.

2. Таблицы проведенных измерений.

3. Графики по всем заданиям. Объяснение результатов. Выводы по выполненным измерениям

### 5. Контрольные вопросы

1. Какие цепи называются цепями с распределенными параметрами?

2. Нарисовать эквивалентную схему цепи с распределенными параметрами.

3. Какие параметры линии называются первичными?

4. Какие колебания в линии называются падающими и отраженными волнами?

6. Дать определение коэффициенту распространения, коэффициенту затухания и постоянной фазы.

7. Что такое фазовая скорость?

8. По какому закону изменяется амплитуда напряжения в линии с потерями?

9. Как определяется время задержки в линии? Как его определить, если известна длина линии?

10. Какая линия называется линией без потерь?

11. Какая линия называется неискажающей?

12. Какой режим в линии называется режимом бегущей волны?

13. При каких нагрузках в линии возникает режим стоячей волны?

14. Что такое режим смешанных волн?

15. Линия без потерь замкнута на конце. Чему равно входное сопротивление линии на расстоянии λ/4.

1. Линия без потерь разомкнута на конце. Чему равно входное сопротивление линии на расстоянии λ/4.
2. Сопротивление нагрузки линии равно волновому сопротивлению. Чему равно входное сопротивление линии?

|  |
| --- |
|  |