Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

«Санкт-Петербургский государственный  
морской технический университет»

*А.А. Воршевский, П.А. Воршевский*

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО КУРСУ

«ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ»

Санкт-Петербург

2013

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по специальностям 180201 «Системы электроэнергетики и автоматизации судов», 180202 «Системотехника объектов морской инфраструктуры», по направлениям 180100 «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры», 090900 «Информационная безопасность».

ВОРШЕВСКИЙ

Александр Алексеевич

ВОРШЕСКИЙ

Петр Александрович

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО КУРСУ

«ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ»

© СПбГМТУ,

2013

# 1. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ

# ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

## 1.1. Цель работы

Экспериментальное исследование закономерностей возникновения импульсных помех при включениях резистивной и емкостной цепи в трехфазную электрическую сеть.

Определение параметров схемы замещения для расчета импульсных помех. Сравнение расчетных и экспериментальных результатов

## 1.2. Основные теоретические положения

Включения электродвигателей, нагревателей, батарей конденсаторов, различных нагрузок и цепей в электроэнергетической системе (ЭЭС) приводят к возникновению импульсных помех, наложенных на синусоиду рабочего напряжения (рис. 1.1). Под амплитудой импульсной помехи подразумевается максимальное отклонение напряжения от рабочего значения (в данном случае от синусоиды). Теоретические основы и математическое описание процесса возникновения импульсных помех предлагается изучить по учебнику [1].

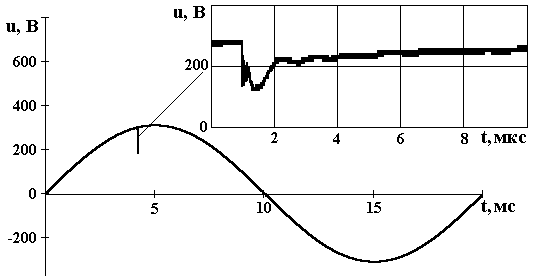


Рис.1.1. Изменение напряжения в ЭЭС при включении активной нагрузки.

При включении нагрузки активного характера *R*Н на напряжение сети накладывается импульс (рис.1.2), амплитуда которого определяется как

Длительность импульсной помехи (время, в течение которого напряжение отклоняется более чем на половину амплитуды) рассчитывается по формуле:

где е - мгновенное значение напряжения в сети, непосредственно предшествующее коммутации; *R, L, С* - параметры схемы замещения ЭЭС (рис. 1.3). В упрощенных расчетах полагают *С*=0.

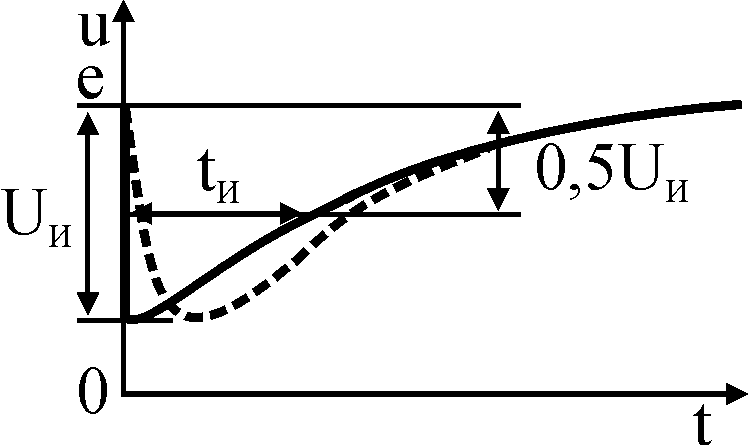


Рис.1.2. Изменение напряжения при включении активной нагрузки (сплошная линия – упрощенный расчет, пунктирная линия – эксперимент).

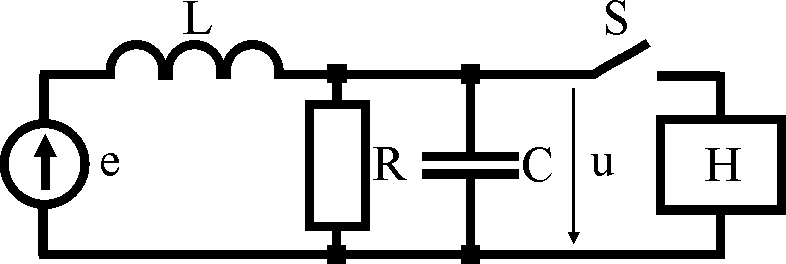


Рис.1.3. Схема замещения ЭЭС для расчета микросекундных переходных процессов

При включении конденсатора *С*Н, заряженного до напряжения. *U*Сн, на напряжение сети накладывается импульс колебательной формы (рис.1.4), амплитуда и период колебаний которого определяется как

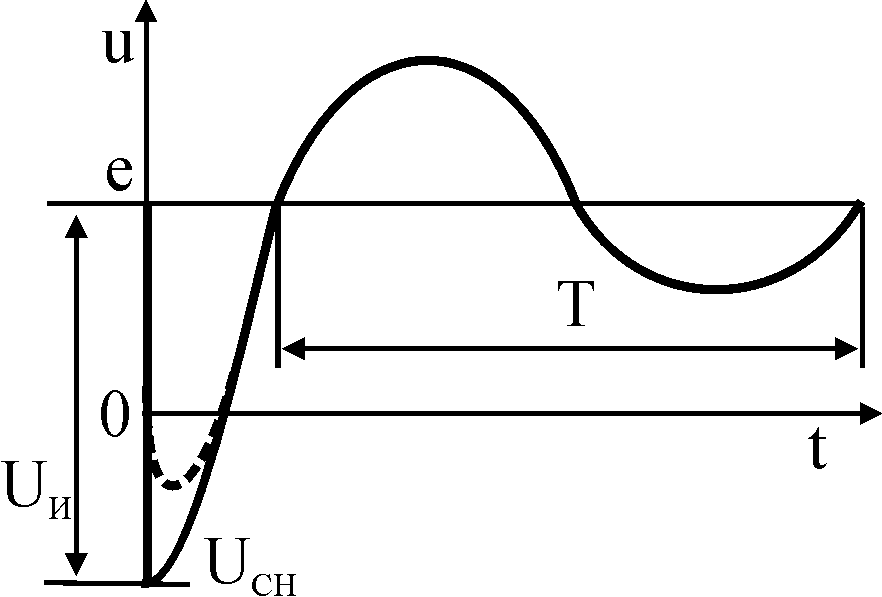


Рис.1.4. Изменение напряжения при включении конденсатора *С*Н, заряженного до напряжения. *U*Сн,(сплошная линия – упрощенный расчет, пунктирная линия – эксперимент).

Значения параметров схемы замещения могут быть определены из осциллограмм импульсов, возникающих при включении известной нагрузки.

Так, если известны амплитуда *UИ*, длительность *tИ* импульса при включении резистора *RН* и значение *е*, то из (1.1) и (1.2) можно найти *R* и *L*:

Если измерены *UИ*, *UСн*, Т и значение *е* при включении конденсатора *СН* малой емкости, то из (1.3) и (1.4) можно определить

Зная параметры схемы замещения, можно рассчитать импульсные помехи при включении других нагрузок.

## 1.3. Расчетно-графическое задание

Рассчитать амплитуду и длительность импульса напряжения, возникающего при включении нагрузки в соответствии с заданным вариантом. Фазное напряжение 220 В, линейное 380 В, *R*=20 Ом, *L*=20 мкГн, *С*=0,005 мкФ.

Построить в масштабе графики изменения напряжения от времени в микросекундном масштабе и в масштабе 0-20 мс по образцу рис. 1.1, приняв момент включения, соответствующий условиям варианта (табл.1.1).

Таблица 1.1

Исходные данные для расчета изменений напряжения

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Цепь включения | *RH*, Ом | *СH*, мкФ | *UCн*, В | *е*, В |
| 1 | Фаза А-фаза В | 10 | - | - | 500 |
| 2 | Фаза В-фаза С | 20 | - | - | 500 |
| 3 | Фаза А-фаза В | - | 1 | 0 | 500 |
| 4 | Фаза В-фаза С | - | 1 | -500 | 500 |
| 5 | Фаза А-корпус | - | 0,1 | 0 | 300 |
| 6 | Фаза В-корпус | - | 0,1 | -300 | 300 |
| 7 | Фаза А-фаза В | 15 | - | - | 500 |
| 8 | Фаза В-фаза С | 30 | - | - | 500 |
| 9 | Фаза А-фаза В | - | 4 | 0 | 500 |
| 10 | Фаза В-фаза С | - | 4 | 300 | 500 |
| 11 | Фаза А-корпус | - | 2 | 0 | 300 |
| 12 | Фаза В-корпус | - | 2 | -100 | 300 |

**1.4. Описание лабораторной установки**

Лабораторная установка (рис.1.5) содержит модель ЭЭС, нагрузку в вида резистора *RН,* конденсатора *СН* с переключаемыми сопротивлением и емкостью и электронный ключ *S*, коммутирующий нагрузку с частотой напряжения сети. Конструкция установки позволяет включать нагрузку между любыми фазами и между фазой и корпусом. Конденсатор *С*Н перед коммутацией заряжается до амплитудного значения напряжения сети *UCн*= *–51 В.*

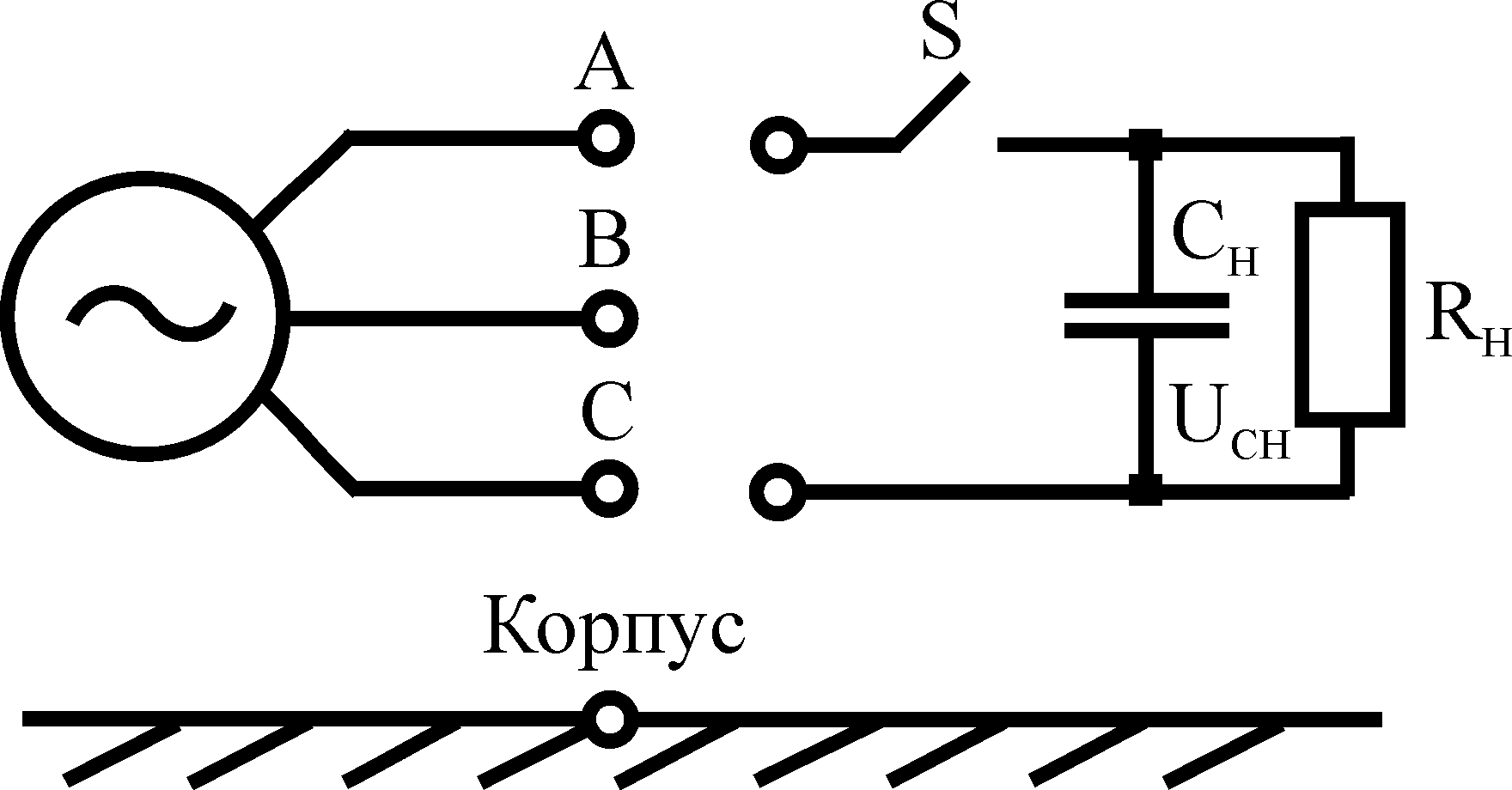


Рис. 1.5. Схема лабораторной установки

**1.5. Порядок выполнения работы**

1.5.1. Определение параметров схемы замещения ЭЭС.

Подключить между фазами модели ЭЭС через электронный ключ указанную преподавателем нагрузку. Подготовить осциллограф для снятия осциллограммы соответствующего линейного напряжения. Подать трехфазное питание 36 В на установку (амплитудное значение *Еm=*51 В).

Снять осциллограмму импульсной помехи по образцу рис.1.1, 1.2, 1.4, отметив оси, соответствующие *u=*0*, t=*0. Определить параметры импульса, необходимые для расчета.

Рассчитать параметры *R, L, С* схемы замещения по формулам (1.5), (1.6).

1.5.2. Определение параметров импульсных помех при включении различных нагрузок.

Снять осциллограммы импульсных помех при включении резистора между фазами в масштабе, позволяющем определить длительность помех (аналогично рис 1.2). Кривые, соответствующие различным значениям сопротивления включаемого резистора, следует изображать на одном графике. Определить амплитуду *UИ*, длительность *tИ* импульсных помех и мгновенное значение напряжения *e* перед включением.

Снять осциллограммы импульсных помех при включении конденсаторов различной емкости, заряженных до амплитудного значения напряжения сети *UCн*= *–Em*. На осциллограммах необходимо отметить оси, соответствующие *u=*0, *u=–Еm, t=*0. Определить амплитуду *UИ,* период колебаний *Т* импульсов, значение *е* перед включением.

Снять осциллограммы трех фазных напряжений при включении конденсатора между фазами и между фазой и корпусом. Масштаб развертки должен быть таким, чтобы на экране можно было наблюдать несколько полупериодов сетевого напряжения. Обратить внимание на положение импульсов относительно синусоид фазных напряжений.

Оценить влияние параметров нагрузки и момента коммутации на параметры импульсных помех.

1.5.3. Определение погрешности расчета параметров импульсных помех с помощью упрощенной схемы замещения.

Составить таблицу, занести в нее результаты измерений *UИ, tИ,* *Т* по п.1.5.2 и результаты расчета *UИ , tИ* на основе схемы замещения с параметрами по п.1.5.1. Рассчитать и записать в таблицу относительную погрешность расчета.

Оценить диапазон сопротивлений и емкостей нагрузок, при которых погрешность расчета импульсных помех не превышает 20%. Оценить границы применимости упрощенной схемы замещения ЭЭС. Предложить способ повышения точности расчета.

1.5.4. Исследовать влияние состава ЭЭС и длины кабеля на параметры импульсных помех путем моделирования на персональном компьютере в соответствии с заданием преподавателя.

**1.6. Содержание отчета**

* Схема лабораторной установки.
* Расчетные формулы.
* Осциллограммы напряжений, полученные расчетом и экспериментально на лабораторном стенде и оформленные по образцу рис.1.1, 1.2, 1.4.
* Результаты расчета параметров схемы замещения.
* Результаты расчетов и экспериментов по определению параметров импульсных помех, сведенные в таблицу.
* Заключение, содержащее подробные выводы по лабораторной работе.

**1.7. Контрольные вопросы**

* Физика возникновения импульсных помех в ЭЭС, их основные параметры.
* Схема замещения ЭЭС для расчета импульсных помех.
* Зависимость параметров импульсных помех от параметров включаемой нагрузки и момента коммутации.
* Импульсные помехи на фазах при включении нагрузки между фазами или между одной фазой и корпусом.
* Методы снижения импульсных помех при включении нагрузки.

**2. ИМПУЛЬСНЫЕ ПОМЕХИ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ**

**КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ**

**2.1. Цель работы**

Экспериментальное исследование закономерностей возникновения импульсных помех при отключении катушки индуктивности от сети переменного и постоянного тока, определение эффективности средств помехоподавления.

**2.2. Общие сведения**

Отключение трансформаторов, реакторов, катушек индуктивности приводит к появлению перенапряжений на них и импульсных помех в питающей сети (рис.2.1). Амплитуда импульсных напряжений определяется мгновенным значением тока в момент выключения, параметрами нагрузки, свойствами выключателя. Теоретические основы процесса возникновения помех при отключении индуктивности цепи предлагается изучать по учебнику [1].

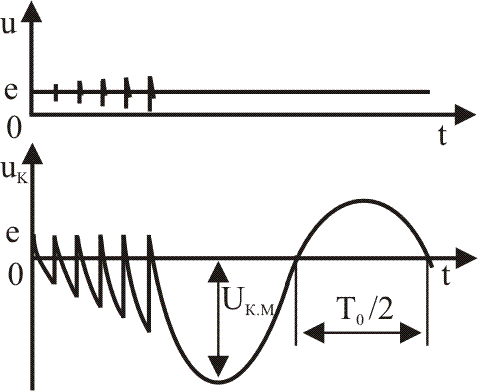


Рис. 2.1. Импульсные помехи при отключении обмотки.

При отключении катушки индуктивности возникают колебания в контуре, образованном индуктивностью *LК* и паразитной емкостью катушки *СК* (см. рис. 2.2) за счет энергии, накопленной в индуктивности *WL=0,5LKIK2*. Период колебаний определяется формулой: . Максимально возможное значение напряжение на катушке *uK* может значительно превысить напряжение электропитания:

Напряжение между контактами выключателя *uS =u–uK* может достигнуть значений, при котором между контактами возникает пробой, так как в этом промежутке напряженность электрического поля может превысить электрическую прочность воздуха (3 кВ/мм). При пробое напряжение на катушке индуктивности становится близким к напряжению источника питания, а в сети создается импульсная помеха, обусловленная включением заряженной емкости катушки *С*К в сеть. Если ток не превышает 10 А, а напряжение питания менее 20 В, то дуги не возникает и пробой прекращается. Напряжение на катушке вновь начинает возрастать. Процесс может повторяться сотни раз, вызывая появление пачек импульсных помех, до тех пор пока контакты не разойдутся на расстояние, при котором возникающего напряжения будет не достаточно для возникновения пробоя.

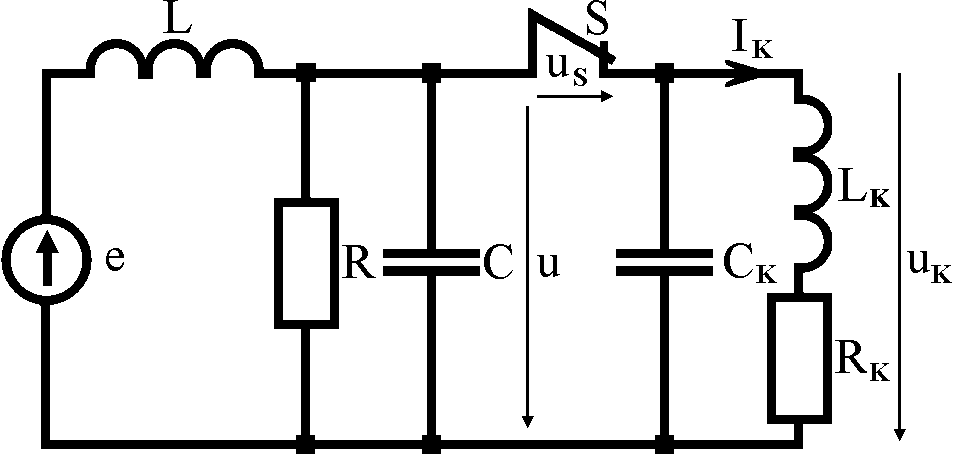


Рис. 2.2. Схема для расчета импульсных помех при отключении катушки индуктивности.

Дополнительный элемент, устанавливаемый параллельно катушке индуктивности (рис. 2.3), обеспечивает протекание тока после отключения катушки, уменьшая скорость его изменения и соответственно перенапряжение. При правильно выбранном элементе напряжение не успевает достичь напряжения пробоя воздушного промежутка между контактами, контакты выключателя расходятся без пробоев и импульсных помех в сети не возникает (табл. 2.1).

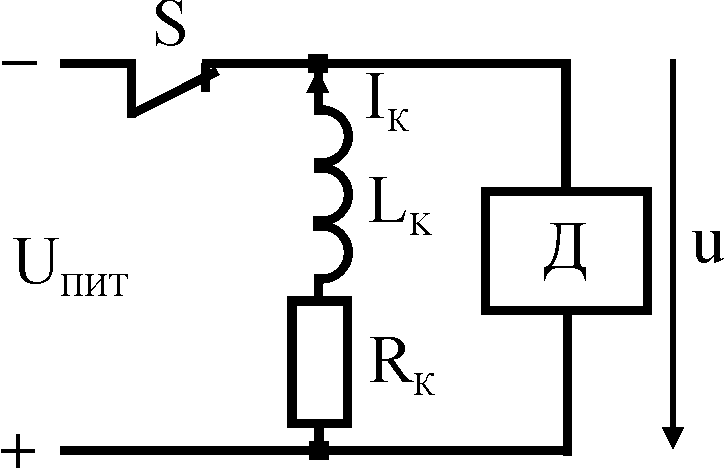


Рис. 2.3. Схема подавления помех путем установки дополнительного элемента Д параллельно катушке.

Табл. 2.1

Расчет напряжения на отключаемой катушке индуктивности

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Элемент | График изменения напряжения на катушке | Параметры напряжения |
| tab2_1.png | tab5_1_1b |  |
| tab2_1_2.png | tab5_1_2 |  |
| Tab1_3 | tab5_1_3 |  |
| Tab1_4 | tab5_1_4 |  |

**2.3. Расчетно-графическое задание**

Рассчитать запасенную энергию *WL* и амплитуду перенапряжения *UК.M*  при отключении катушки индуктивности от источника постоянного тока с напряжением *UП* при наличии и отсутствии дополнительного элемента. Варианты исходных данных приведены в табл.2.2. Дополнительный элемент *RД* или *СД* установлен параллельно катушке индуктивности.

По результатам расчета построить графики изменения напряжения на катушке индуктивности по образцу рисунков в табл. 2.1 при наличии и отсутствии дополнительного элемента.

**2.4. Описание лабораторной установки**

Лабораторная установка (рис.2.4) содержит выключатели S1, S2, средства помехоподавления с переключателем S3 и клеммы для подключения катушки индуктивности и источника питания.

Табл. 2.2

Исходные данные для расчета напряжения на катушке

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Параметры катушки индуктивности | | | *UП*, В | Дополнительный элемент | |
| *L*, Гн | *RК,* Ом | *СК,* пФ | *СД,* мкФ | *RД,* Ом |
| 1 | 0,5 | 50 | 500 | 12 | - | 200 |
| 2 | 0,5 | 50 | 500 | 6 | - | 200 |
| 3 | 0,25 | 20 | 300 | 12 | 1 | - |
| 4 | 0,1 | 10 | 100 | 12 | 1 | - |
| 5 | 0.1 | 10 | 100 | 12 | - | 1000 |
| 6 | 0,25 | 20 | 200 | 12 | - | 100 |
| 7 | 0,5 | 50 | 500 | 12 | 0,5 | - |
| 8 | 0,5 | 50 | 500 | 6 | 0,1 | - |
| 9 | 0,25 | 20 | 300 | 12 | - | 500 |
| 10 | 0,1 | 10 | 100 | 12 | - | 500 |
| 11 | 0.1 | 10 | 100 | 12 | 2 | - |
| 12 | 0,25 | 20 | 200 | 12 | 2 | - |
| 13 | 1 | 100 | 1000 | 12 | - | 1000 |
| 14 | 1 | 100 | 500 | 6 | - | 100 |

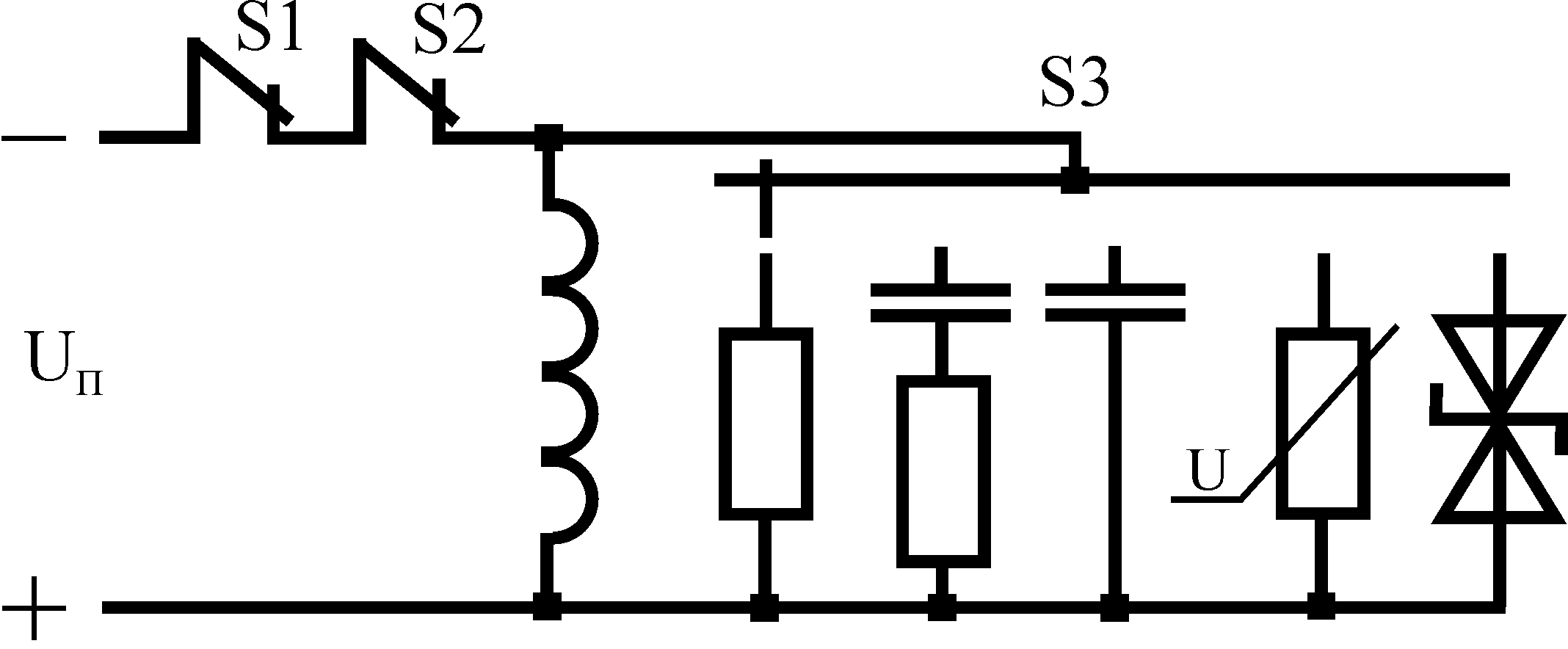


Рис. 2.4. Схема лабораторной установки

**2.5. Порядок выполнения работы**

2.5.1 Определение максимальной амплитуды на катушке индуктивности, отключаемой от источника постоянного тока.

Подсоединить катушку с числом витков 3600 (*LK*=0,5 Гн, *RK*=50 Ом) к соответствующим клеммам установки. Переключатель S3 установить в положение отсутствия средства помехоподавления. Осциллограф подготовить к снятию осциллограммы напряжения на катушке индуктивности и в цепи питания. Подать питание 12 В от источника постоянного тока.

Провести 5-10 коммутаций катушки выключателем S1, снимая осциллограммы напряжения на катушке и в цепи питания. Определить максимальную амплитуду напряжений *UK.M*, и период собственных колебаний катушки *Т*0.

Рассчитать емкость катушки по формуле

Повторить измерения для выключателя S2, напряжения питания 6 В, катушки индуктивности с числом витков 2400 и их различных сочетаний. Выявить влияние типа выключателя, напряжения питания, параметров катушки на перенапряжения.

2.5.2. Определение эффективности средств помехоподавления.

Переключателем S3 подключить средства помехоподавления. Повторить измерения амплитуды напряжения на отключаемой катушке и временные параметры напряжения для различных положений переключателя S3, нажимая кнопку S1. Сравнить эффективность средств помехоподавления.

2.5.3. Рассчитать максимальное значение напряжения на катушке для случая отсутствия средств подавления помех, используя формулу (2.1) и определенное по экспериментальным данным значение *CK.* Рассчитать максимальное значение напряжения на катушке для случаев использования средств подавления помех, используя формулы табл. 2.1 и значения параметров примененных средств подавления помех*.* Результаты измерений и расчетов оформить в виде таблицы. Сравнить результаты расчета и экспериментальные данные. Определить погрешность расчета.

**2.6. Содержание отчета.**

* Схема лабораторной установки и схема замещения.
* Расчетные формулы.
* Осциллограммы, полученные в ходе эксперимента и поясняющие сделанные выводы. Результаты измерений и расчетов амплитуды и временных параметров импульсных напряжений в виде таблицы.
* Заключение, содержащее анализ результатов и подробные выводы о лабораторной работе.

**2.7. Контрольные вопросы**

* Физика возникновения импульсных напряжений на отключаемой индуктивной нагрузке. Форма импульсов.
* Схема замещения для расчета.
* Зависимость амплитуды импульсов на нагрузке от ее параметров, свойств выключателя, величины тока.
* Возникновение импульсных помех в питающей сети при отключении индуктивной нагрузки.
* Средства и методы снижения импульсных помех при отключениях нагрузки.

**3. ОДНОФАЗНЫЕ ЗАМЫКАНИЯ В СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ**

**3.1. Цель работы**

Изучение закономерностей возникновения импульсных помех в судовых ЭЭС при однофазных замыканиях на корпус.

**3.2. Общие сведения**

Судовая ЭЭС - это система с изолированной нейтралью (рис. 3. 1). Металлическое замыкание одной фазы на корпус приводит повышению напряжения на здоровых фазах до линейного напряжения, а ток замыкания  ограничен емкостью сети относительно корпуса *СФ*<10 мкФ и на большинстве судов не превышает 5 А. Круговая частота тока в сети *Ω=2πf*=314 рад/с для частоты *f*=50 Гц.

Более опасным является однофазное замыкание на корпус через перемежающуюся дугу. При нарушении изоляции кабеля возможно приближение жилы кабеля к элементам корпуса на расстояние, достаточное для пробоя промежутка между жилой и корпусом.

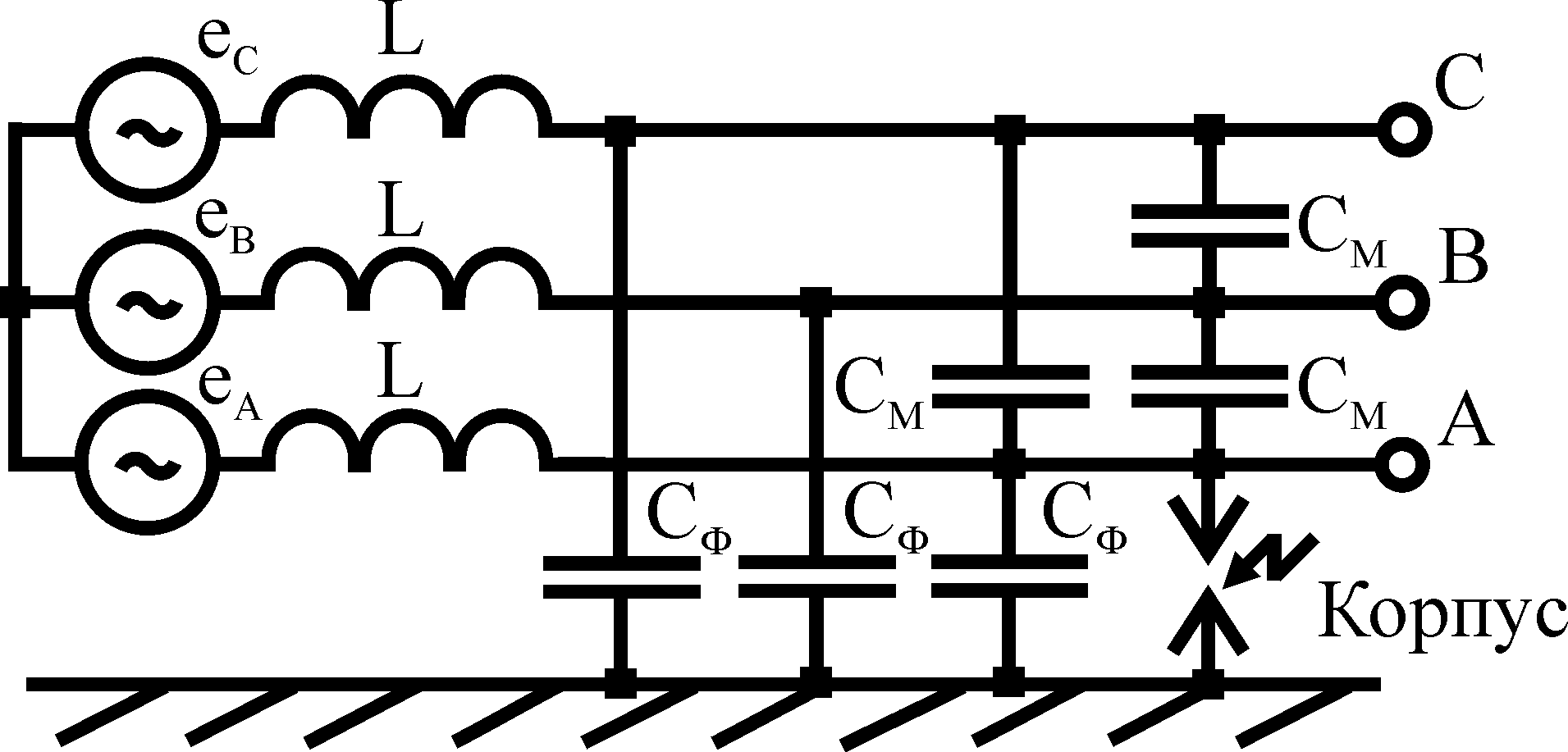


Рис. 3.1. Схема для расчета импульсных процессов при однофазном замыкании на корпус.

Если электрическая прочность промежутка между жилой кабеля и корпусом близка к амплитудному значению напряжения на нем, то возможно возникновение замыкания через перемежающуюся дугу. При этом дуга периодически зажигается и гаснет, ток замыкания представляет собой последовательность импульсов с паузами между импульсами (рис.3.2).

При первом зажигании дуги между поврежденной фазой А и корпусом напряжение *uА* падает до нуля за доли микросекунды, т.е. возникает помеха с амплитудой *еА* (момент *t=*0 на рис. 3.2), После чего возникает колебательный процесс в контуре, образованном емкостью сети и индуктивностью кабелей и генераторов, а ток изменяется по синусоидальному закону с высокой частотой и в момент *t*1 переходит через ноль. При этом дуга гаснет и начинается выравнивание зарядов фазных емкостей, в результате чего на нейтрали устанавливается напряжение



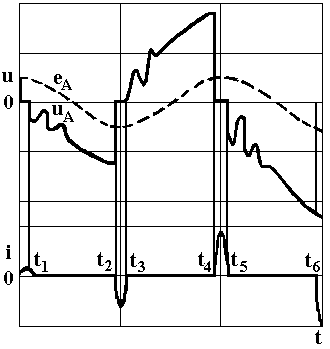


Рис. 3.2. Изменения напряжения и тока в судовой сети при однофазном замыкании на корпус.

Для наиболее неблагоприятного случая, когда фазное значение *еА* близко к амплитуде *UФ.М;* имеем  ; 

Через полпериода рабочей частоты в момент t2 напряжение на дуговом промежутке фазы А равно -2,63*UФ.М.* Дуга вновь загорится и фазное напряжение *u*А за доли микросекунды изменится от значения *uА=еА+uN.УСТ* до 0. Этот скачок напряжения может рассматриваться как помеха с амплитудой равной |*е*А+*u*N.УСТ|, которое в данном случае может достигнуть 2,63*UФ.М.* Напряжение нейтрали изменится до *UФ.М.*

В момент перехода высокочастотного тока через ноль (момент t3) дуга гаснет, а напряжения uВ и uС достигают максимальных значений порядка *4UФ.М.*

С каждым последующим циклом зажигание - погасание дуги возрастает напряжение смещения нейтрали *u*N.уст, а следовательно, и амплитуда создаваемых импульсных помех. При определенных напряжениях дуга начинает повторно зажигаться во время переходного процесса, что ограничивает величину напряжения на нейтрали. Установлено, что для судовых условий *uN.УСТ < 2UФ.М* и, следовательно, амплитуда импульсных помех на поврежденной фазе не превышает 3*UФ.М.*

Замыкание одной фазы ЭЭС на корпус через перемещающуюся дугу приводит к возникновению импульсных помех и перенапряжений во всей ЭЭС. Амплитуда помех зависит от параметров ЭЭС, емкости относительно корпуса, межфазной емкости и от свойств дуги. Теоретические основы процесса дугового замыкания и возникновения импульсных помех предлагается изучить по учебнику [1].

**3.3. Расчетно-графическое задание**

Построить в масштабе график изменения фазных напряжений при однофазном дуговом замыкании на корпус. Максимальное напряжение смещения положить равным двум амплитудам фазного напряжения. Действующее значение линейного напряжения 36 В, частота 50 Гц.

**3.4. Описание лабораторной установки.**

Лабораторная установка (рис.3.3) содержит модель ЭЭС с переключаемыми емкостями между фазами *С*M, между фазами и корпусом *С*Ф, электронный ключ S, имитирующий дугу. Схема управления ключом позволяет изменять вид имитируемой дуги.

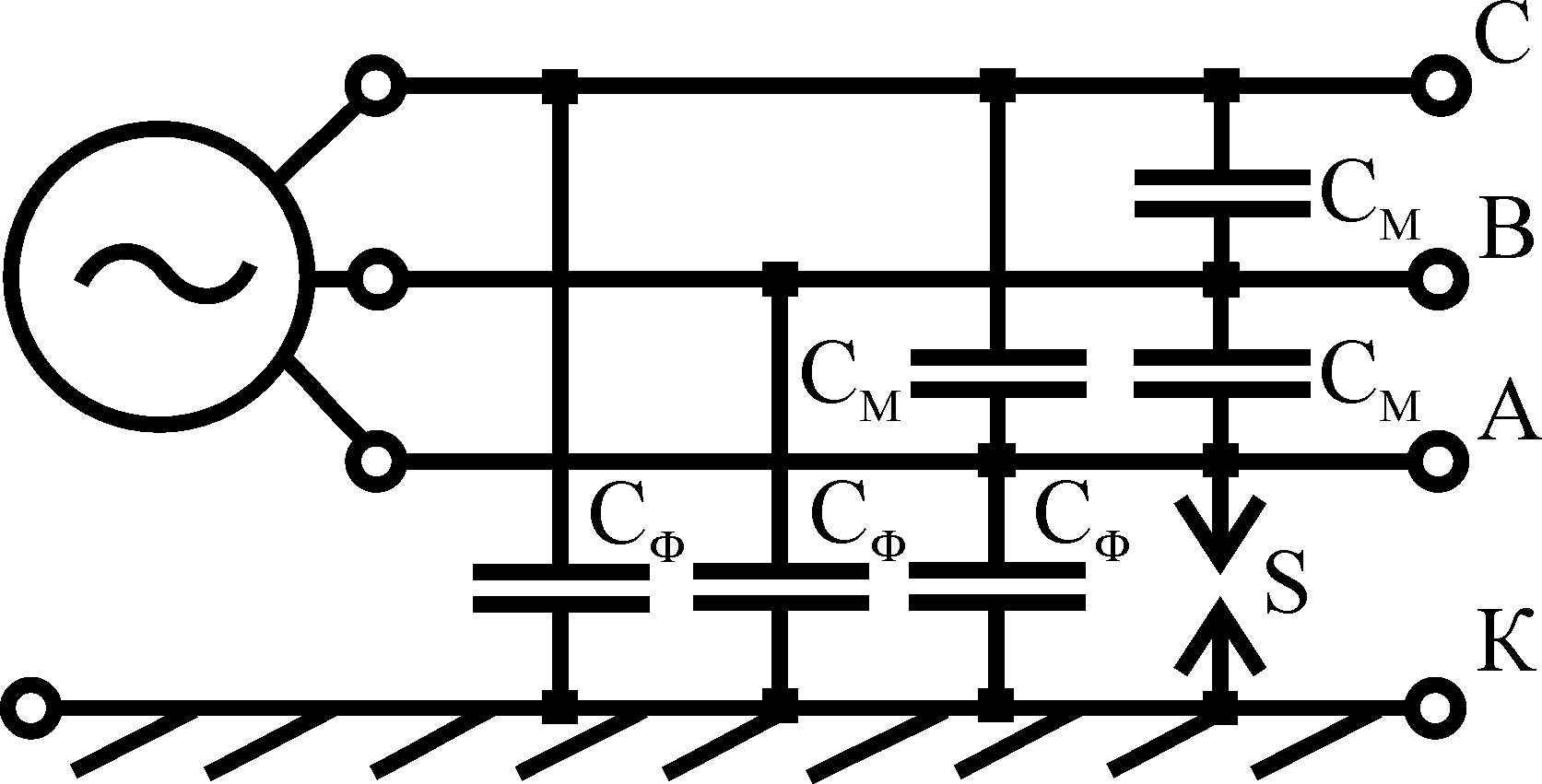


Рис. 3.3. Схема лабораторной установки.

**3.5. Порядок выполнения работы**

3.5.1. Исследование изменения напряжения в ЭЭС при замыкании на корпус.

Подготовить осциллограф для снятия осциллограмм фазных напряжений. Переключателем установить в положение минимального значения емкости *С*М, максимального *С*Ф и отсутствия замыкания на корпус.

Подать трехфазное питание с линейным напряжением 36 В на установку.

Снять осциллограммы фазных напряжений при отсутствии замыкания на корпус и при всех положениях переключателя "Вид дуги". Определить максимальное перенапряжение, амплитуду импульсной помехи и напряжение смещения нейтрали.

3.5.2.Определение влияния соотношения *С*Ф и *С*М на значение перенапряжения и амплитуды импульсных помех.

Установить переключатель и регулировку "Вид дуги" в положение, соответствующее максимальному перенапряжению. Снять осциллограммы фазных напряжений и определить перенапряжение, амплитуду помех для различных соотношений *С*Ф и *С*М. Результаты измерений занести в таблицу.

**3.6. Содержание отчета**

* Схема лабораторной установки.
* Осциллограммы, поясняющие сделанные выводы.
* Сведенные в таблицу результаты измерений.
* Заключение, содержащее подробные выводы о лабораторной работе.

**3.7. Контрольные вопросы**

* Физика процесса возникновения импульсных помех и перенапряжений при однофазном замыкании.
* Метода расчета напряжения смещения нейтрали и импульсных помех.
* Зависимость амплитуды импульсных помех от параметров ЭЭС и свойств дуги.
* Методы и средства снижения импульсных помех при однофазном замыкании.

**4. ИСКАЖЕНИЯ СИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПРИ РАБОТЕ ТИРИСТОРНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ**

**4.1. Цель работы**

Изучение закономерностей возникновения импульсных помех и искажения синусоидальности напряжения в ЭЭС в различных режимах работы тиристорного выпрямителя.

Приобретение навыков измерений параметров несинусоидальности напряжения и периодических импульсных помех.

**4.2. Общие сведения**

При работе тиристорного выпрямителя потребляется несинусоидальный ток, что приводит к искажению синусоидальности напряжения в ЭЭС ограниченной мощности. В моменты быстрого изменения тока, соответствующие коммутации тиристоров, на синусоиду накладываются импульсы, амплитудой *UИ* и длительностью *tИ=γ/ω* (где γ-угол коммутации). Параметры несинусоидальности напряжения и импульсных помех могут быть рассчитаны с помощью схемы замещения (рис.4.1). Теоретические основы процесса возникновения помех при работе полупроводникового преобразователя ПП предлагается изучить по учебнику [1].

Напряжение в электрической сети искажается вследствие падения напряжения на эквивалентном сопротивлении источника электроэнергии *XC* при протекании по нему тока преобразователя *i.*Индуктивное сопротивление *XП* характеризует входную цепь преобразователя.

ris4_2.bmp

Рис. 4.1. Схема замещения для расчета искажений синусоидальности напряжения

Напряжение в сети определяется по формуле:

, (4.1)

где *e* - ЭДС источника электроэнергии, *LC=XC/ω* - эквивалентная индуктивность источника электроэнергии, *ω=2πf* - круговая частота питающего напряжения.

Пример результата расчета приведен на рис. 4.2.

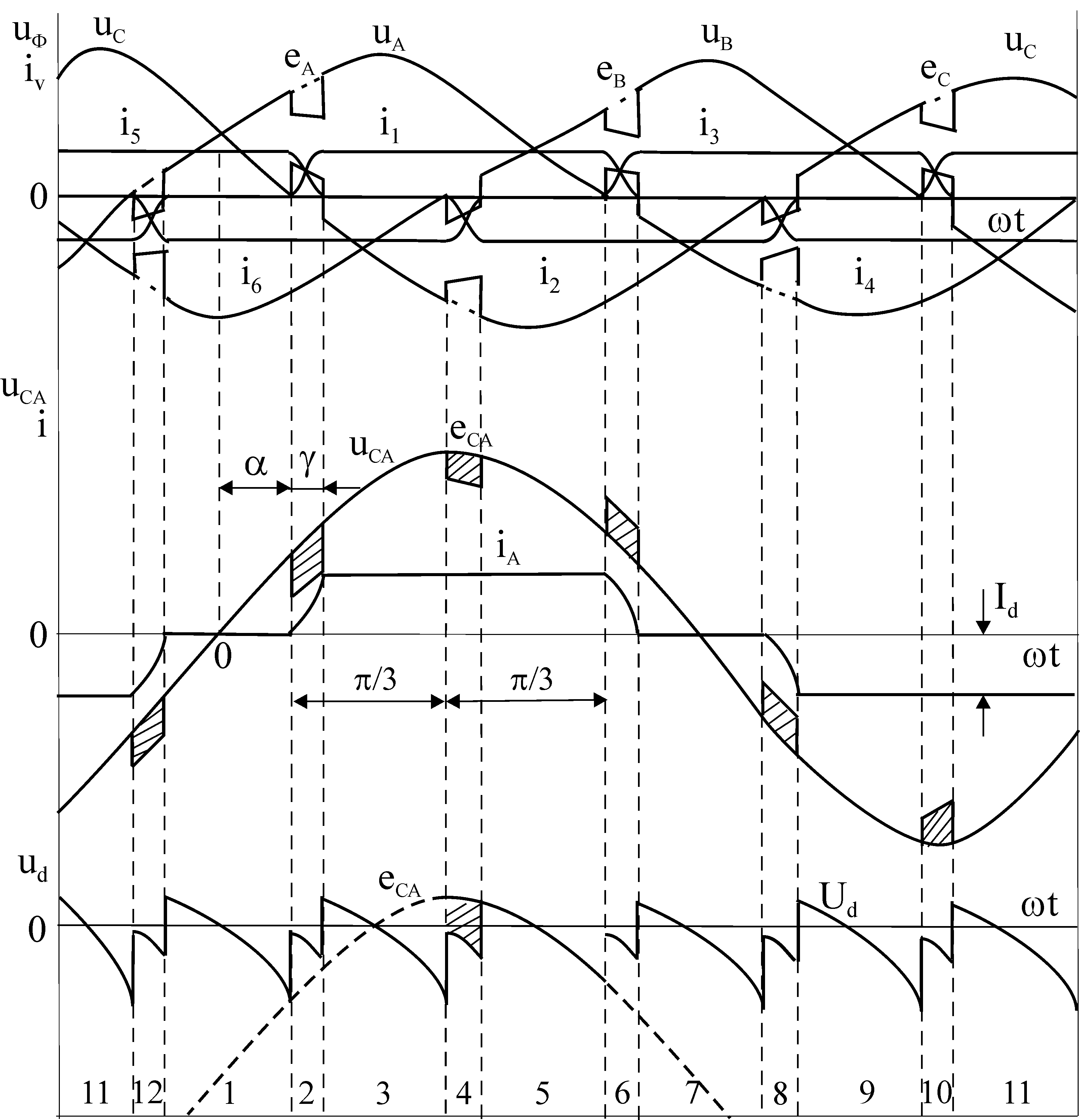


Рис.4.2. Графики изменения напряжений и тока

при работе тиристорного выпрямителя.

Коэффициент несинусоидальности напряжения может быть определен для ЭЭС с мостовым тириcторным выпрямителем по формуле

Угол коммутации *γ* определяется из соотношения

где *Еm*- амплитудное значение линейного напряжения на входе вентильной группы*; Id-* среднее значение тока нагрузки преобразователя.

Амплитуда импульсных помех (максимальное отклонение напряжения от синусоиды) равно

Длительность переднего фронта импульсов зависит от типа вентилей, индуктивности дросселей в цепи вентилей и может иметь значение 1-10 мкс.

Если известно значение *КНС* и *UИ* при определенном угле управления *α*, сопротивлении сети *ХС* и трансформатора (реактора) *ХП*, то *КНС* и *UИ* при других значениях параметров сети и преобразователя можно определить с помощью (4.2, 4.3).

**4.3. Расчетно-графическое задание**

Построить график зависимости коэффициента несинусоидальности напряжения от числа работающих генераторов в ЭЭС, содержащей мощный тиристорный выпрямитель и N синхронных генераторов. (Для одного генератора *XС*=1). Известно значение коэффициента несинусоидальности при работе одного генератора, значение *ХП* и *α+γ* (табл.4.1).

Определить число синхронных генераторов, обеспечивающих в ЭЭС коэффициент несинусоидадьности напряжения не более 5 и 10%. Оценить значение *ХП,* при котором *КНС* < 5% в ЭЭС с двумя параллельно работающими генераторами.

Табл.4.1.

Исходные данные для расчета искажений напряжения

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант | *КНС*, % | *ХП*, Ом | *α+γ,*  град. |
| 1 | 20 | 1 | 45 |
| 2 | 15 | 1 | 45 |
| 3 | 20 | 2 | 60 |
| 4 | 15 | 2 | 60 |
| 5 | 10 | 2 | 30 |
| 6 | 30 | 1 | 30 |
| 7 | 20 | 1,5 | 45 |
| 8 | 15 | 1,5 | 85 |
| 9 | 20 | 1 | 85 |
| 10 | 15 | 3 | 30 |
| 11 | 10 | 3 | 30 |
| 12 | 30 | 1,5 | 30 |
| 13 | 12 | 2 | 45 |
| 14 | 25 | 1 | 45 |

Рассчитать амплитуду импульсных помех при работе тиристорного выпрямителя в сети с номинальным линейным напряжением 380 В для заданного варианта при работе одного генератора. Определить максимально возможную амплитуду импульсных помех при изменении угла управления. Определить максимально возможную амплитуду импульсных помех при работе двух генераторов.

**4.4. Описание лабораторной установки**

Лабораторная установка (рис.4.3) состоит из двух синхронных генераторов, распределительного щита, различных нагрузок (резисторов, асинхронных двигателей), мощного мостового тиристорного выпрямителя. Индуктивность на входе выпрямителя может изменяться. Предусмотрена регулировка угла управления выпрямителя.

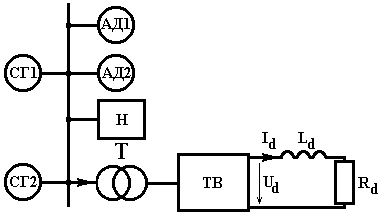


Рис. 4.3. Схема лабораторной установки.

**4.5. Порядок выполнения работы**

4.5.1. Определение индуктивного сопротивления *Х*П на входе выпрямителя и влияния угла управления на уровень создаваемых, помех.

Снять осциллограммы и измерить коэффициент несинусоидального линейного напряжения на шинах распределительного щита при работе одного синхронного генератора (напряжение 220 B, частота 50 Гц) и тиристорного выпрямителя для различных значений угла управления. Фиксировать значения потребляемого тока *I* , напряжения *Ud* и тока *Id* нагрузки выпрямителя в каждом режиме работы.

Определить режим с наибольшим уровнем помех. Измерить по осциллограмме угол управления *α* и амплитуду импульсной помехи *UИ* для этого режима. Рассчитать значение *ХП* на основе (4.3). Значение *Х”d* синхронного генератора установки указано в паспортных данных генератора.

Построить графики зависимости *UИ* и *КНС* от угла управления *α* по экспериментальным данным и на основе аналитических выражений (4.2), (4.3). Сопоставить теоретические экспериментальные данные. Оценить максимальную погрешность.

4.5.2. Определение зависимости создаваемых помех от состава ЭЭС.

Снять осциллограммы и измерить коэффициент несинусоидальности напряжения в установке для различного количества работающих генераторов, асинхронных двигателей, активных нагрузок и режима работы тиристорного выпрямителя, соответствующего наибольшему уровню помех. Фиксировать значения токов и мощности, соответствующие каждой осциллограмме. Напряжение в ЭЭС поддерживать равным 220 В, частоту 50 Гц, распределение мощности между генераторами - равномерным.

2.2. Результаты измерений амплитуды импульсных помех *UИ* и коэффициента несинусоидальности *К*НС напряжения свести в таблицу. Рассчитать *U*И и *К*НСс помощью (4.2), (4.3). Оценить погрешность расчета. Результаты занести в таблицу. Сделать выводы о влиянии изменения состава ЭЭС и нагрузок на уровень помех.

4.5.3. Определение зависимости параметров импульсных помех от режима работы тиристорного выпрямителя.

Снять осциллограммы напряжения в лабораторной трехфазной сети с напряжением 36 В при работе лабораторной установки "Трехфазный полууправляемый выпрямитель" с различными нагрузками и углами управления. Построить графики зависимости амплитуда и длительности импульсных помех от угла управления и тока нагрузки выпрямителя.

**4.6. Содержание отчета**

* Схема лабораторной установки.
* Осциллограммы, поясняющие сделанные выводы.
* Результаты измерений и расчетов, занесенные в таблицы.
* Графики зависимостей параметров помех от угла управления выпрямителя и тока нагрузки.
* Заключение, содержащее подробные выводы о лабораторной работе.

**4.7. Контрольные вопросы**

* Процесс возникновения искажений напряжения в ЭЭС при работе тиристорного выпрямителя.
* Метод расчета параметров помех в ЭЭС.
* Зависимости параметров помех от режима работы выпрямителя и состава ЭЭС.
* Методы и средства снижения искажений напряжения и импульсных помех в ЭЭС при работе тиристорного выпрямителя.

**5.** **РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ ПО СУДОВОМУ КАБЕЛЮ**

**5.1. Цель работы**

Изучение распространения импульсных помех по кабелю, отражения и преломления волн напряжения в узлах и на нагрузке.

Приобретение навыков работы с импульсным рефлектометром и освоение расчетов методом распространяющихся волн.

**5.2. Общие сведения**

Импульсные помехи распространяются от точки возникновения по кабелям ЭЭС cо скоростью *v*, меньшей скорости света. Наблюдается затухание, искажение фронта, отражение и преломление импульсных помех. Теоретические основы распространения помех по кабелям предлагается изучать по пособию [1].

Отношение напряжения к току распространяющейся волны называется волновым сопротивлением *Z*=*u*1/*i*1. То есть мгновенные значения напряжения и тока волны в линии связаны через волновое сопротивление *Z* по формуле:

. (5.1)

Если не учитывать потери при распространении, то волновое сопротивление *Z* и скорость распространения ***v*** в линии (волновом канале) определяются по формулам:

; (5.2)

, (5.3)

,

где *L* и *С* соответственно погонные индуктивность и емкость линии (параметры на единицу длины), *μr, εr*–относительные магнитная и диэлектрические постоянные материала, расположенного между проводниками линии, *ε0*=8,85415∙10-12 Ф/м, *μ0*=1,257∙10-6 Гн/м,*vC*=2,998∙108 м/с – скорость света в вакууме.

Величина *Z* зависит от геометрии линии и материала изоляции, для судовых кабелей она составляет 20-200 Ом

При распространении волны по линии ее энергия частично расходуется в проводнике и диэлектрике, причем потери для отдельных частотных составляющих волны различны, что приводит к различию в скорости их распространения и к искажению фронта импульсной волны. Длительность фронта возрастает, а амплитуда импульса напряжения уменьшается. Если длина кабеля составляет несколько десятков метров, то длительность фронта импульса напряжения на дальнем конце растягивается до 0,1 мкс, а амплитуда помех малой длительности (менее 0,1 мкс) уменьшается в 2 и более раз. Амплитуда импульсов напряжения длительностью свыше 1 мкс практически не изменяется.

При достижении волной точки, в которой волновое сопротивление отличается от сопротивления линии (соединение различных кабелей в распределительном щите, нагрузка), возникает отражение части волны, а часть волны может продолжить распространение в том же направлении. Начальная волна *u* обычно называется падающей, в точке перехода она разделяется на отраженную волну *uОТР*, распространяющуюся в том же направлении,и преломленную *uПР*, распространяющуюся в обратном направлении.

; (5.4)

, (5.5)

Коэффициент отражения равен: .

Коэффициент преломления равен: .

В точке перехода напряжение может в 2 раза превышать амплитуду падающей волны, если волновое сопротивление второй линии *Z2* много больше волнового сопротивления первой линии. При *Z2=Z1* отраженной волны не возникает, a амплитуда распространяющейся волны напряжения не изменяется. При *Z2<Z1* амплитуда напряжения преломленной волны меньше амплитуды падающей волны.

Расчет импульсной помехи на зажимах удаленного оборудования может быть выполнен методом распространяющихся волн. При падении на нагрузку с сопротивлением *RН* волны напряжения *u*, распространяющейся по кабелю с волновым сопротивлением *Z* (табл.5.1), возникает отраженная волна *uОТР*, а на нагрузке наблюдается напряжение *uH*:

; (5.6)

; (5.7)

где коэффициент отражения от нагрузки равен

.

Таким образом, на нагрузке также возможно удвоение напряжения при *R*H>>*Z*.

Если на конце линии стоит индуктивность, то напряжение на индуктивности при падении прямоугольной волны *u* изменяется в соответствии с выражением, приведенным в средней строке табл. 5.1. В начальный момент ток, проходящий через индуктивность, равен нулю и она проявляет себя как бесконечное сопротивление, амплитуда напряжения в два раза превосходит амплитуду падающей волны. Затем индуктивность начинает пропускать ток и в установившемся режиме ведет себя как короткое замыкание. Если на конце линии стоит конденсатор, то напряжение на нем изменяется в соответствии с выражением, приведенным в последней строке табл. 5.1. В начальный момент времени напряжение на конденсаторе равно нулю. Затем по мере заряда напряжение возрастает до 2*u*.

Табл. 5.1.

Падение волны напряжения на нагрузку

|  |  |
| --- | --- |
| Схема и график изменения напряжения на нагрузке | Расчетное выражение |
| Rload |  |
| Lload | *τL=LH/Z* |
| Cload | *τC=CHZ* |

В таблице также приведены формулы для расчета постоянной времени, т.е. времени, в течение которого экспоненциальная функция изменяется в *e*=2,72 раз. Например, за *τL* напряжение падает до 0,368 от максимума 2*u*, а за *τ*C напряжение возрастает до величины, отличающейся на 0,368 от максимума 2*u*.

**5.3. Расчетно-графическое задание**

Построить график изменения напряжения в точке 0 для схемы, изображенной на рис. 5.1, и исходных данных, приведенных в табл.5.2. Источник помех создает в начале кабеля длиной *l* ступеньку напряжения единичной амплитуда. Скорость распространения волн *v* принять равной 0,6 от скорости света. Затуханием волн в кабеле пренебречь.

Табл. 5.2.

Исходные данные для расчета распространения помех

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | *Z,* Ом | *l,* м | *RГ,* Ом | Нагрузка  на конце кабеля |
| 1 | 50 | 50 | 50 | *RH*= 150 Ом |
| 2 | 50 | 50 | 50 | *RH*= 500 Ом |
| 3 | 50 | 25 | 50 | *RH*= 10 Ом |
| 4 | 100 | 5 | 100 | *RH*= 200 Ом |
| 5 | 100 | 15 | 100 | *RH*= 500 Ом |
| 6 | 100 | 10 | 100 | *RH*= 10 Ом |
| 7 | 50 | 5 | 50 | *СH*= 100 пФ |
| 8 | 50 | 10 | 50 | *СH*= 500 пФ |
| 9 | 50 | 15 | 50 | *СH*= 1000 пФ |
| 10 | 50 | 10 | 50 | *LH*= 1 мкГн |
| 11 | 50 | 5 | 50 | *LH*= 0,5 мкГн |
| 12 | 50 | 8 | 50 | *LH*= 2 мкГн |
| 13 | 50 | 5 | 10 | *RH*= 500 Ом |
| 14 | 50 | 10 | 10 | *RH*= 10 Ом |

**5.4. Описание лабораторной установки**

Лабораторная установка выполнена в виде набора нагрузок (резисторов *R*H, конденсаторов *C*H, катушек индуктивности *L*H) и отрезков кабелей различных типов. Измеритель неоднородностей линии (рефлектометр) Р5-12 содержит импульсный генератор с внутренним сопротивлением *R*Г=50 Ом и штатный кабель длиной *l*=1,6 м с волновым сопротивлением *Z*=50 Ом. Встроенный осциллограф позволяет наблюдать напряжение в точке 0 (рис. 5.1).

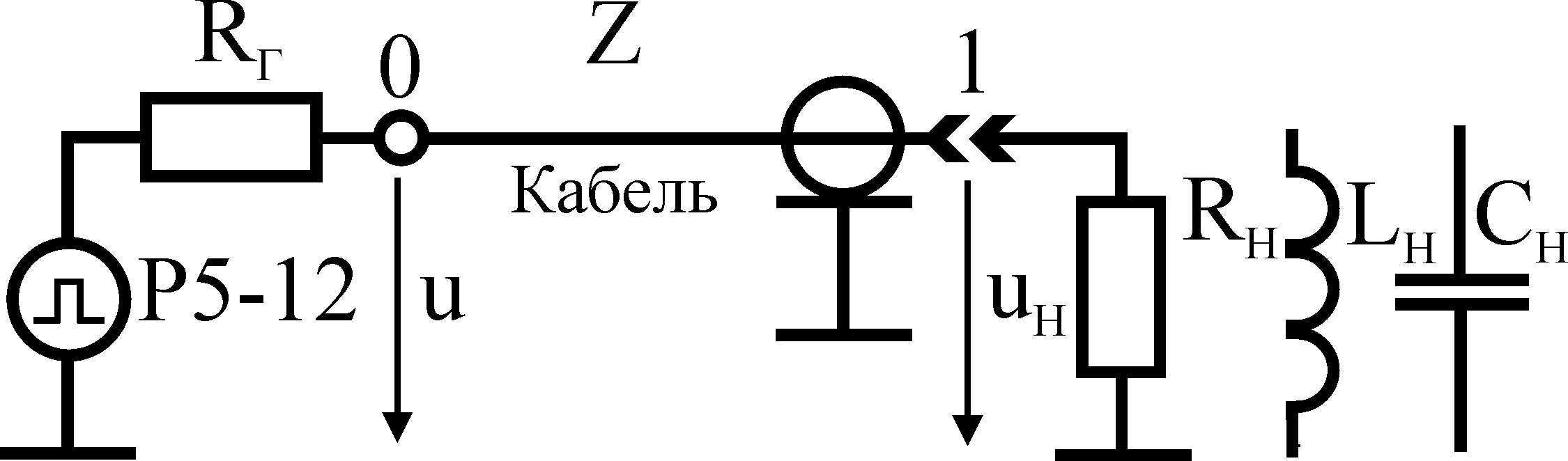


Рис. 5.1. Схема лабораторной установки

Генератор создает ступеньку напряжения с фронтом менее 1 нс или импульс регулируемой длительности в начале кабеля прибора. Волна напряжения и тока распространяется по кабелю до нагрузки кабеля, где отражается и возвращается через время *tЗ* в точку 0 (см. напряжение *uОТР* на рис. 5.2). Выходное сопротивление генератора *R*Г=*Z* и отражения в точке 0 не возникает.

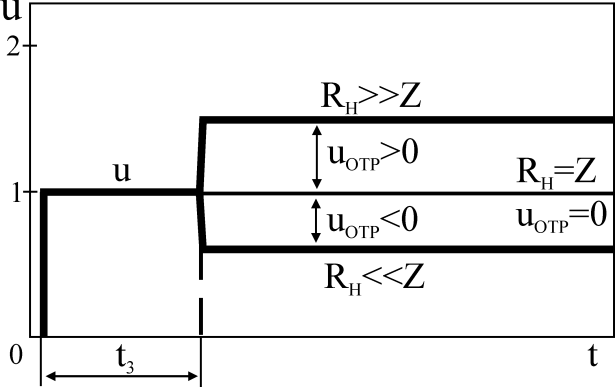


Рис.5.2. Осциллограмма напряжения в точке 0 установки

при активной нагрузке *RН* на конце кабеля.

Величина задержки определяется длиной кабеля и скоростью распространения волны:

,

что позволяет рассчитать скорость распространения волн по кабелю по экспериментальным данным:

. (5.8)

Определив по осциллограмме (рис. 5.2) коэффициент отражения

,

можно рассчитать сопротивление резистора, по формуле:

. (5.9)

При установке на конце кабеля катушки индуктивности по осциллограмме напряжения можно определить постоянную времени *τL* и рассчитатьзначение индуктивности (таблица 5.3). Аналогично по осциллограмме напряжения при установленном на конце кабеля конденсаторе можно определить постоянную времени изменения напряжения *τC* и рассчитатьемкость конденсатора *CH.*

При подключении отрезка кабеля с волновым сопротивление *Z*K вместо нагрузки (рис. 5.3) волна частично отразится от точки 1 соединения выходного кабеля с исследуемым кабелем, а частично перейдет в этот кабель.

Измеритель позволяет наблюдать на экране осциллограмму напряжения в точке 0 (см.рис.5.4). Первый скачок напряжения соответствует зондирующей ступеньке напряжения *u* (рис.5.4), второй скачок (а) - волне, отраженной от точки соединения кабелей 1, а скачок (б), наблюдаемый через время *t*З.K, соответствует возвращению волны, отраженной от нагрузки исследуемого кабеля и преломившейся в точке 1 с коэффициентом 2*Z*/(*Z+ZK*).

Значение волнового сопротивления исследуемого кабеля *Z*K может быть определено по формуле (5.9) при замене в ней *RH* на *Z*K. Скорость распространения волны по исследуемому кабелю определяется формулой (5.8), если подставить в нее длину этого кабеля и время задержки *tЗ.K* из рис. 5.4.

Табл. 5.3

Определение индуктивности и емкости цепи

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Нагрузка | Осциллограмма | Формула |
| *LH* | R5_12_L.png | *LH=ZτL* |
| *CH* | R5_12_C.png | *CH=Z/τC* |

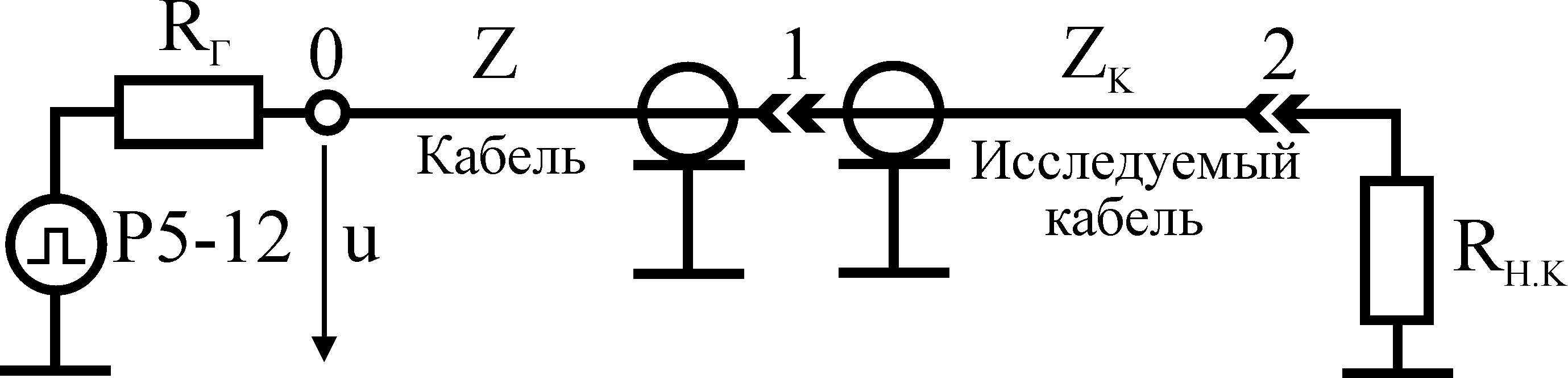


Рис. 5.3. Схема установки при исследовании кабеля.

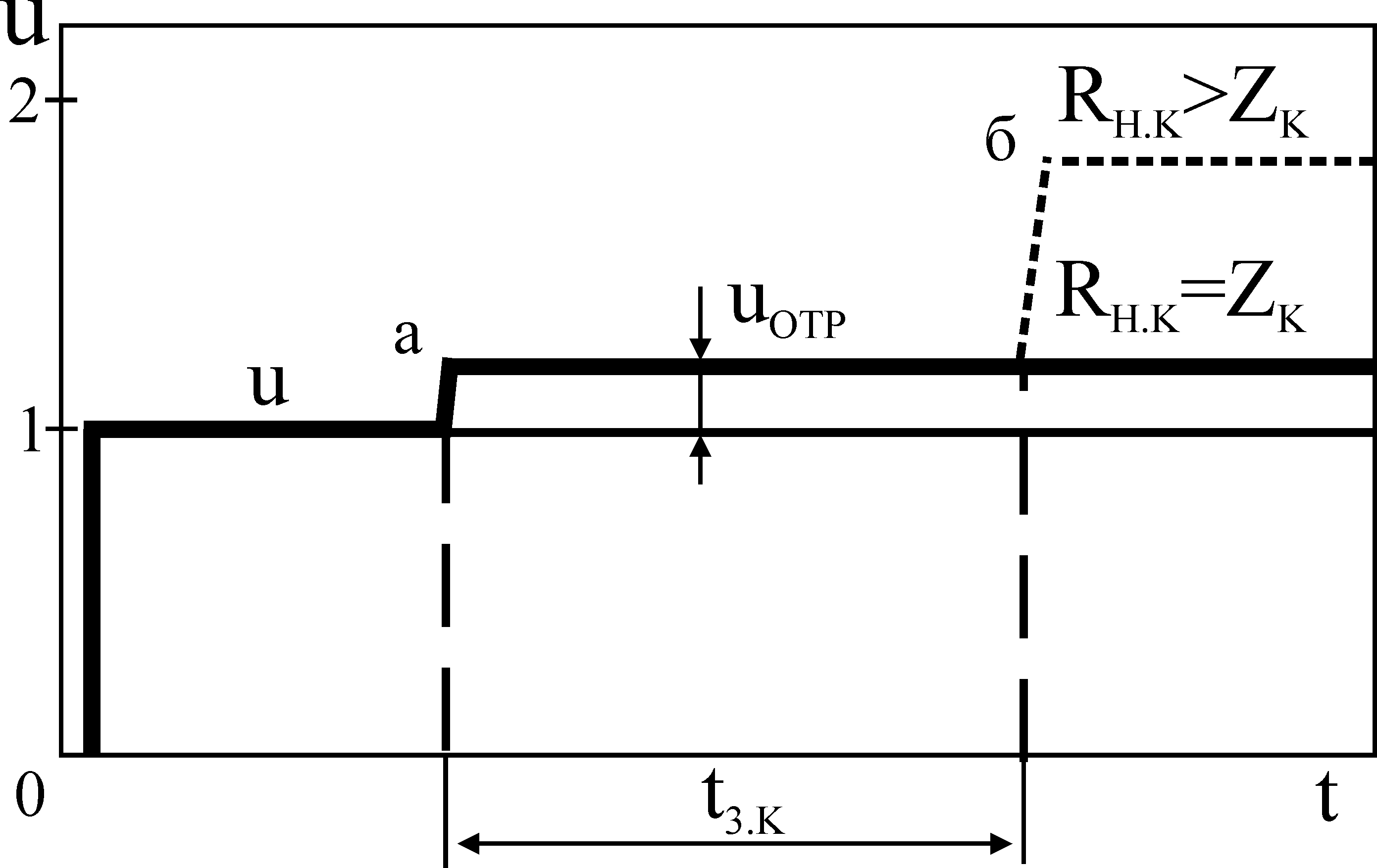


Рис. 5.4. Осциллограмма напряжения с исследуемым кабелем

**5.5. Порядок выполнения работы**

5.5.1. Исследование влияния нагрузки на отражение волны напряжения.

Снять осциллограммы напряжения (рефлектограммы) при работе рефлектометра без нагрузки и при коротком замыкании выхода кабеля прибора в режиме создания ступеньки напряжения и импульса напряжения минимальной длительности. Определить скорость распространения волны в кабеле прибора по формуле (5.8).

Подключить выход кабеля рефлектометра к заданному преподавателем резистору и снять рефлектограмму. Повторить измерения для нескольких резисторов с сопротивлением *R*H =10…500 Ом в режиме создания ступеньки напряжения. Подобрать резистор, при установке которого отсутствует отражение волны на конце кабеля. Сравнить результаты измерения с результатом расчета по формулам (5.6), (5.7).

Подключить выход кабеля рефлектометра к заданному конденсатору и снять рефлектограмму. Повторить измерения для нескольких конденсаторов с емкостью *С*H =100-10000 пФ в режиме создания ступеньки напряжения. Сравнить результаты измерения с результатом расчета по формулам табл. 5.1.

Подключить выход кабеля рефлектометра к заданной катушке индуктивности и снять рефлектограмму. Определить по ней постоянную времени и индуктивность катушки, используя формулу из табл.5.3. Повторить измерения и расчет для нескольких других катушек в режиме создания ступеньки напряжения.

5.5.2. Исследование кабеля.

Подключить выход кабеля рефлектометра к отрезку кабеля. Снять рефлектограмму при отсутствий нагрузки, при коротком замыкании на выходе этого кабеля и при нескольких значениях сопротвления резисторов *R*н=10…200 Ом. Подобрать резистор, при установке которого отсутствует отражение волны на конце кабеля. Волновое сопротивление кабеля принять равным сопротивлению этого резистора.

Снять рефлектограмму при использовании ступеньки и импульса минимальной длительности. Сравнить результаты измерения с результатом расчета.

Снять рефлектограммы для кабелей одного типа, но различной длины. Нагрузку не подключать.

Измерить время запаздывания *t*3.К отраженной волны. Рассчитать скорость распространения волны в кабеле по формуле (5.8).

5.5.3. Исследование распространения волн напряжения по различным волновым каналам многожильного кабеля.

Снять рефлектограмму для цепей жила - жила многожильного кабеля. Исследовать цепи, состоящие из пары соседних жил, из жил разных повивов и пары максимально отстоящих жил. Определить скорость распространения и волновые сопротивления для каждого случая, используя формулы (5.8), (5.9).

Снять рефлектограмму для цепи жила - корпус при отсутствии нагрузки. Определить волновое сопротивление, постоянную времени и скорость распространения.

**5.6. Содержание отчета**

* Схема лабораторной установки с указанием типа и длины исследованных кабелей.
* Снятые осциллограммы (рефлектограммы).
* Результаты измерений и расчетов.
* Заключение, содержащее подробные выводы по работе.

**5.7. Контрольные вопросы**

* Процесс распространения импульсов в кабелях.
* Метод распространяющихся волн.
* Отражение и преломление волн напряжения.
* Симметричные и несимметричные помехи.
* Методика проведения измерений.
* Зависимость параметров кабеля от его конструкции.

**6. НАВЕДЕННЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ**

**В СУДОВОЙ КАБЕЛЬНОЙ ТРАССЕ**

**6.1. Цель работы**

Изучение электромагнитных связей цепей в кабельной трассе и возникновения наведенных напряжений.

**6.2. Общие сведения**

Возникновение наведенных напряжений в цепях информационных кабелей за счет электромагнитных связей с силовыми кабелями трассы предлагается изучить по учебнику [1].

Электрическая связь преобладает в несимметричных неэкранированных цепях (рис. 6.1). Напряжение *u1*, приложенное к цепи 1 относительно корпуса, вызывает появление на цепи 2 напряжения

 (6.1)

или при наличии подключенной к кабелю нагрузки с емкостью *С*Н:

 (6.2)

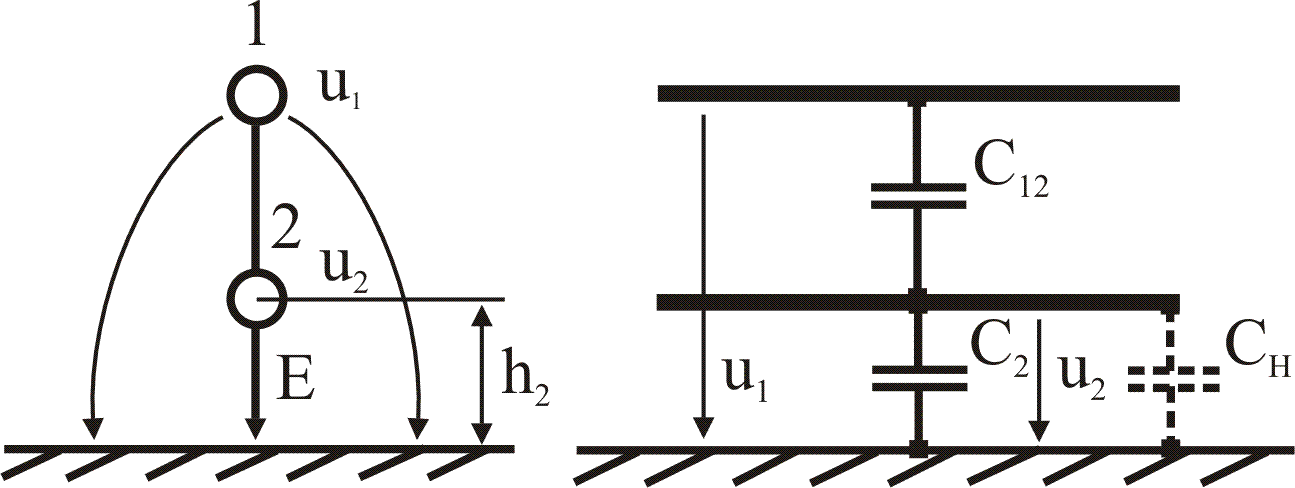


Рис. 6.1. Электрическая связь цепей кабелей в трассе.

Взаимная емкость *С*12 и емкость цепи 2 *С*2 относительно корпуса определяются геометрией цепей. Несимметрия цепей в информационном кабеле приводит к появлению напряжения между жилами. Напряжение *u*2 повторяет по форме напряжение *u*1 (табл.6.2). Для проводников 1 и 2, находящихся в соседних неэкранированных кабелях при условии их соседней прокладки по корпусу, напряжение *u*2 может достигать 0,3*u*1. Если проводники 1 и 2 находятся внутри многожильного кабеля, то напряжение *u*2 может превышать 0,7*u*1.

Наведенное напряжение между проводниками *u*22 определяется как разность напряжений, наведенных на проводниках 2 и 2’:

*u*22*= u*2 *- u*2’ (6.3)

Значения напряжений *u*2*, u*2’ определяются по формулам вида (6.1, 6.2). При равенстве емкостей между проводником 1 и каждым проводником кабеля 2 и равенстве емкостей проводников 2 относительно корпуса наведенное напряжение *u*22=0.

На практике всегда имеется некоторая несимметрия расположения проводников в кабеле и напряжение *u*22 может составлять (0,05-0,1)*u*2. В случае замыкания жилы 2’ на корпус *u*22*= u*2.

Магнитная связь преобладает для случаев экранированных цепей. Проводник с током несимметричных помех *i*1 создает магнитное поле, изменение которого создает наведенную ЭДС *е*2 в контуре, образованном проводником 2 и корпусом (рисунок 6.2).

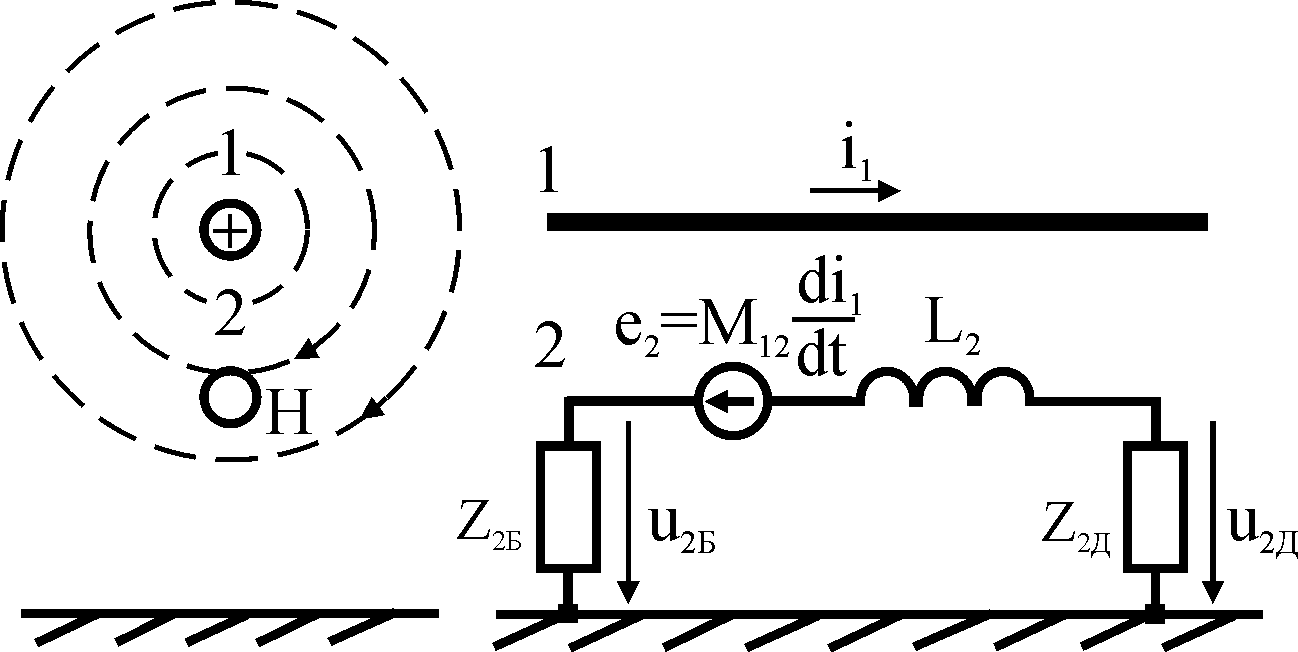


Рис.6.2. Магнитная связь цепей кабелей в трассе.

ЭДС *е*2  может быть выражено через взаимную индуктивность М12 контуров 1 и 2 по формуле

 (6.4)

Если цепь 2 является заземленной на концах оплеткой, то по ней будет протекать ток Значение импульсного тока *i*Э в экране кабеля 2 при протекании тока *i*1 в кабеле 1 может быть оценено по формуле:



где *M*1Э – взаимная индуктивность проводника 1 с экраном кабеля 2, *L*Э – собственная индуктивность экрана, которые определяются

геометрией цепей.

Напряжение *u*2 пропорционально производной тока *i*1 в проводнике 1 (табл. 6.2). Взаимная индуктивность может иметь значение порядка 10-5-10-6 Гн. Скорость изменения тока микросекундных импульсных помех в силовых кабелях имеет значение 107-108 А/с. Напряжение *u*2, наведенное через индуктивную связь, может достигать сотен вольт при соседнем расположении кабелей. При прокладке кабелей вплотную по корпусу ток в экране может достигать 0,3 *i*1.

Магнитная связь симметричных цепей приводит к возникновению в паре жил цепи 2 ЭДС *е*22 при изменении тока *i*11 в паре жил первой цепи

. (6.5)

Протекание тока *i*Э по оплетке кабеля создает на внутренней жиле относительно оплетки напряжение

 , (6.6)

где *M*Э2- индуктивность связи жил и оплетки; *R*Э -активное сопротивление оплетки.

Параметры электрической и магнитной связи цепей могут быть определены в соответствии со схемами и формулами при веденными в табл.6.2.

**6.3. Расчетно-графическое задание**

Рассчитать и построить временные графики наведенного напряжения в цепи 2 экранированного и неэкранированного кабелей при действии несимметричной и симметричной импульсной помехи в цепи 1 с амплитудами напряжения 1000 В и тока 10 А, длительностью 10 мкс и фронтом 1 мкс. Параметры электромагнитной связи цепей и длина совместной прокладки приведены в табл.6.2. Емкость *С*2 считать одинаковой для экранированного и неэкранированного кабелей.

Таблица 6.1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Кабель 2  неэкранированный | | | Кабель 2  экранированный | | | | *l*, м |
| *С*12, пФ  /м | *М*12, мкГн  /м | *С*2, пФ  /м | *С*12, пФ  /м | *М*Э2, нГн  /м | *R*Э, мОм  /м | *М*1122 нГн |
| 1 | 60 | 0,2 | 120 | 0,3 | 4 | 4 | 30 | 10 |
| 2 | 60 | 0,2 | 120 | 0,3 | 4 | 4 | 30 | 20 |
| 3 | 30 | 0,1 | 100 | 0,2 | 10 | 6 | 20 | 10 |
| 4 | 30 | 0,1 | 120 | 0,1 | 10 | 6 | 20 | 20 |
| 5 | 10 | 0,1 | 80 | 0,1 | 3 | 2 | 10 | 20 |
| 6 | 10 | 0,05 | 50 | 0,1 | 3 | 2 | 10 | 40 |
| 7 | 40 | 0,1 | 150 | 0,3 | 2 | 2 | 30 | 10 |
| 8 | 40 | 0,1 | 120 | 0,3 | 2 | 2 | 30 | 20 |
| 9 | 20 | 0,2 | 150 | 0,2 | 1 | 1 | 20 | 10 |
| 10 | 20 | 0,2 | 120 | 0,1 | 1 | 1 | 20 | 20 |
| 11 | 60 | 0,3 | 100 | 0,1 | 4 | 3 | 15 | 20 |
| 12 | 60 | 0,3 | 200 | 0,1 | 4 | 3 | 15 | 40 |
| 13 | 30 | 0,1 | 100 | 0,2 | 5 | 1 | 10 | 100 |
| 14 | 30 | 0,05 | 120 | 0,2 | 5 | 1 | 10 | 150 |

**6.4. Описание лабораторной установки**

Лабораторная установка выполнена в виде макета борта судна с проложенными по нему судовыми кабелями различных типов. Концы кабелей разделаны и подготовлены к подключению приборов. В состав установки также входит генератор импульсных напряжений ГИ и осциллограф И (табл.6.2).

Табл. 6.2.

Определение параметров электромагнитной связи цепей

|  |  |
| --- | --- |
| Cхема измерений | Осциллограмма |
| Емкостная связь  m1tab6_1 | pulseC12 |
| Взаимная индуктивность  несимметричных цепей  m1tab6_2 | pulseM12 |
| Взаимная индуктивность  симметричных цепей  m1tab6_3 | pulseM1122 |
| Параметры оплетки  m1tab6_4 | pulseM12scr |

Емкость связи *С*12 определяется на основе результатов измерения осциллографом амплитуды *U*1 импульса, создаваемого в цепи 1 генератором ГИ, и амплитуды напряжения, наведенного в цепи 2 относительно корпуса при подключенном и отключенном эталонном конденсаторе емкостью *С*H (соответственно *U\**2 и *U*2). Форма наводки должна совпадать с формой генерируемого импульса (строка 1 табл. 6.2).

,

,

где *С*И - емкость щупа осциллографа.

Взаимная индуктивность *М*12 несимметричных цепей определяется по результатам измерения максимальной скорости изменения импульсного тока (*di1 /dt*)m, создаваемого в цепи 1 генератором ГИ, и амплитуда напряжения *U*2 , наведенного в цепи 2 относительно корпуса. Осциллограмма наведенного напряжения по форме соответствует производной тока (строка 2 табл. 6.2).

.

Взаимная индуктивность *М*1122 симметричных цепей определяется по результатам измерения максимальной скорости изменения тока (*di1/dt*)m , создаваемого в цепи 1, и амплитуды симметричного напряжения *U*22 наведенного в цепи 2 тока (строка 3 табл. 6.2).

.

Параметры оплетки определяются при подаче в оплетку импульса тока i1 по осциллограмме напряжения, наведенного на внутренних жилах относительно оплетки. Испытуемый кабель длиной 1 м помещается внутри медной трубы. Соединение внутренних жил и оплетки выполняется в соответствии со схемой, приведенной в последней строке таблицы 6.2. Для определения параметра *М*Э2 измеряют амплитуду наведенного напряжения, а для определения сопротивления оплетки *R*Э используют значения наведенного напряжения и тока в оплетке в момент *t*2>>*t*Ф, когда ток изменяется медленно и наводкой от магнитной связи можно пренебречь.





Более подробно метод измерения параметров электромагнитной связи цепей изложен в учебнике [1].

**6.5. Порядок выполнения работы**

6.5.1. Определение параметров связи неэкранированных кабелей.

Измерить импульсным методом *С*12, *С*2, *М*12, *М*1122 двух соседних неэкранированных кабелей в трассах минимальной и максимальной длины.

Измерить параметры связи неэкранированных кабелей, расположенных в различных трассах, разнесенных в пространстве.

Измерить параметры связи жил внутри кабеля. Рассчитать удельные значения параметров связи на 1 м длины.

6.5.2. Определение параметров связи экранированного кабеля с неэкранированным.

Измерить параметры связи *С*12, *С*2, *М*12 кабелей, создавая импульсы напряжения и тока в неэкранированном кабеле и измеряя наведенные напряжения в кабеле с общим экраном.

6.5.3. Определение параметров связи экранированных кабелей.

Измерить параметры связи *С*12, *С*2, *М*12 двух экранированных кабелей в трассе.

6.5.4. Определение наведенного напряжение в экранированном кабеле при протекании по экрану импульсов тока.

Соединить внутренние жилы кабеля с оплеткой на одном конце. Создать в экране кабеля импульсы тока. Снять осциллограммы тока и наведенного напряжения на жилах кабеля относительно оплетки. Определить амплитуду наведенного напряжения и рассчитать взаимную индуктивность *М*Э2 и сопротивление оплетки *R*Э. Рассчитать значения удельных параметров на 1 м.

**6.6. Содержание отчета**

* Схема лабораторной установки с указанием типа и длины кабелей трассы.
* Осциллограммы, поясняющие сделанные выводы.
* Результаты измерений и расчетов.
* Заключение, содержащее подробные выводы о результатах измерений и расчетов.

**6.7. Контрольные вопросы**

* Электрическая связь цепей.
* Магнитная связь цепей.
* Связь симметричных и несимметричных цепей.
* Возникновение наведенных напряжений при протекании тока по оплетке кабеля.
* Методика измерения параметров электрической (емкостной) связи.
* Методика измерения параметров магнитной (индуктивной) связи.
* Методика измерения параметров оплетки кабеля.
* Зависимость параметров связи от конструкции и прокладка кабелей.
* Способы снижения наведенных напряжений.

**7. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ ЧЕРЕЗ ЭЛЕМЕНТЫ ВТОРИЧНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ**

**7.1. Цель работы**

Изучение распространения импульсных помех через трансформатор, выпрямитель, фильтры.

Получение навыков применения средств помехозащиты.

**7.2. Общие сведения**

Теоретические основы и метод расчета прохождения импульсов напряжения через элементы вторичного источника питания предлагается изучить по учебнику [1].

На пути распространения кондуктивных помех по питающей сети от источника к электронному оборудованию могут быть установлены фильтры и трансформаторы. Эти же элементы входят в состав вторичных источников питания оборудования. Симметричные и несимметричные помехи распространяются через элементы с разным затуханием и поэтому должны рассматриваться отдельно. Значение затухания помех зависит не только от самого элемента, но и от сопротивления источника помех *R1* и сопротивления оборудования (нагрузки) *R2*, которые должны учитываться при расчете распространения помех (рис. 7.1). Фильтр, трансформатор или специальный защитный элемент описываются некоторыми параметрами связи (передачи, распространения). Затухание помех характеризуется коэффициентом вносимого затухания *K*З, под которым понимают отношение напряжение помех на рецепторе (нагрузке) при отсутствии элемента на пути распространении помех *U*1 и при его наличии *U*2. То есть коэффициент равен *K*З=*U*1/*U*2

Сетевые фильтры предназначены для защиты рецепторов от помех и содержат компоненты с частотнозависимым сопротивлением (катушки индуктивности, конденсаторы). Сопротивление катушки индуктивности *X*L=*ωL* возрастает с частотой и поэтому включается в основном последовательно с защищаемой нагрузкой для ограничения высокочастотного тока через нее. Сопротивление конденсатора *X*С=*1/ωC* уменьшается с частотой и поэтому включается обычно параллельно с защищаемой нагрузкой для уменьшения напряжения высокой частоты на нагрузке.

|  |
| --- |
| ris3_10a |
| а) |
| ris3_10b |

б)

Рис. 7.1. Схема распространения помех

а) – при отсутствии элемента ЭЭС, б) – при его наличии.

При определении затухания несимметричных помех полагают *R1*=*R2*=50 Ом, а при оценке затухания симметричных помех берут *R1*=*R2*=100 Ом.

Коэффициенты вносимого затухания синусоидальных помех для простейших фильтров приведены в табл. 7.1.

Анализ расчетных формул показывает, что фильтр на катушке индуктивности обеспечивает хорошее затухание помех лишь при малых значениях сопротивления нагрузки *R*2. При возрастании *R*2 коэффициент *К*З стремится к 1, т.е. фильтр перестает выполнять свои функции. Фильтр на конденсаторе *С*, наоборот, имеет меньший коэффициент затухания помех при уменьшении *R*2. *LC*-фильтр обеспечивает затухание помех при малых и больших значениях сопротивления нагрузки, но имеет резонанс на определенной частоте, при котором возможно не затухание, а возрастание напряжение помех на выходе фильтра

Необходимо учитывать возможное снижение коэффициента при реальных значениях параметров сети и защищаемого оборудования. Можно рекомендовать производить расчет распространения помех для наихудшего случая сочетания этих параметров.

Табл. 7.1

Коэффициенты вносимого затухания синусоидальных помех

|  |  |
| --- | --- |
| Схема | Формула расчета КЗ |
| filtL |  |
| filtC |  |
| filtLC |  |

Расчет прохождения импульсных помех через фильтр может быть выполнен через определение переходной функции *h2(t),* т.е. зависимости выходного напряжения от времени при подаче на вход единичного напряжения. Прямоугольный импульс, действующий на входе цепи, можно представить как сумму двух ступенек напряжения амплитудой *E*, но разной полярности, сдвинутых на длительность импульса *t*1. Тогда выходное напряжение выражается через *h2(t):*

*u*2(*t*)=*E*[*h2(t)*-*h2(t-t1)*].

Результаты расчета *h*2(*t*), амплитуды выходного напряжения *U*2 для простейших фильтров приведены в табл.7.2.

LC-фильтр эффективно ослабляет импульсные помехи малой длительности, но может удвоить напряжение импульсных помех большой длительности.

Табл. 7.2

Расчет распространения импульсных помех через фильтр

|  |  |
| --- | --- |
| Схема | Формула расчета *h2(t)*, *U*2 |
| filtL |  |
| filtC |  |
| filtLC | При и    При  . |

Симметричные и несимметричные помехи распространяются через трансформатор различным образом.

Трансформатор содержит первичную 1 и вторичную 2 обмотки, намотанные на общем магнитопроводе (рис. 7.2).

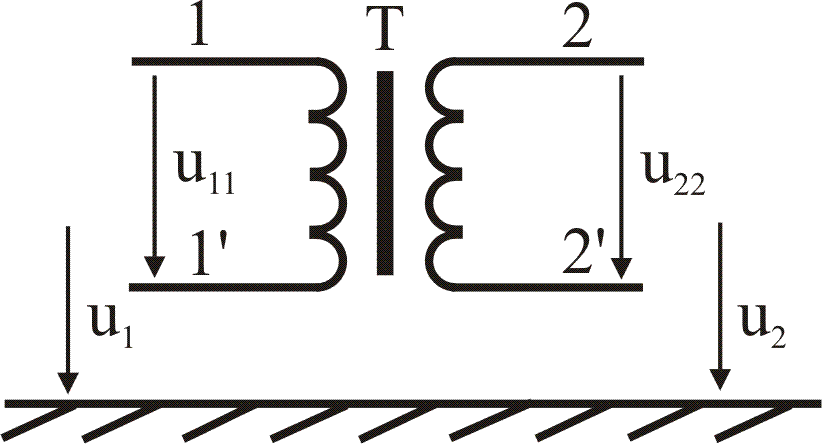


Рис.7.2. Симметричные и несимметричные напряжения,

приложенные к трансформатору

Переменное напряжение *U*11, приложенное между зажимами первичной обмотки, создает ток в обмотке и переменное магнитное поле в магнитопроводе, которое в соответствии с законом электромагнитной индукции наводит во вторичной обмотке ЭДС. Переменное напряжение на вторичной обмотке *U*22=*U*11/*К*ТР, где *К*ТР=w1/w2 –коэффициент трансформации, определяемый соотношением числа витков обмоток *w*1, *w*2.

Симметричные помехи *u*11 приложены к первичной обмотке как рабочее напряжение и передаются аналогично. Расчет распространения симметричных помех может быть выполнен на основе схемы замещения на рис. 7.3а., где *L*S - индуктивность рассеяния трансформатора, приведенная ко вторичной обмотке, *С*S – емкость вторичной обмотки.

|  |  |
| --- | --- |
| ris3_18a | ris3_18b |
| а) | б) |

Рис. 7.3. Схемы замещения для расчета распространения помех через трансформатор: а) – для симметричных помех, б) – для несимметричных помех.

Таким образом, для симметричных помех трансформатор помимо преобразования напряжения по величине проявляет себя и как LC-фильтр. Амплитуда импульса на вторичной обмотке может дополнительно возрасти до 2 раз за счет колебаний в LC-контуре.

Несимметричное напряжение на первичной обмотке *u*1 создает электрическое поле, которое воздействует на вторичную обмотку, вызывая наведенное напряжение *u*2. Расчет распространения может быть выполнен на основе схемы замещения, показанной на рис. 7.3б, где *С*12 – емкость между обмотками, *С*2 – емкость вторичной обмотки относительно корпуса. Емкости определяются геометрическими размерами обмоток трансформатора, их расположением, материалом диэлектрика и мало зависят от коэффициента трансформации.

Несимметричное напряжения на вторичной обмотке при подключенной нагрузке, имеющей емкость *С*Н, можно определить по формуле

 (7.1)

Унифицированные трансформаторы небольшой мощности имеют следующие значения емкостей:

ТПП118...272 С2=80...300 пФ, C12 = 50... 420 пФ;

TA54...I26 С2=50...200 пФ, C12 = 200...400 пФ;

ТАН72...118 С2=20...50 пФ, С12 = 700... 1000 пФ.

Несимметричные импульсные помехи проходят через трансформатор с небольшим ослаблением, не зависящим от коэффициента трансформации. То есть, на вторичной низковольтной обмотке могут появится несимметричные помехи, близкие по амплитуде к амплитуде помех в питающей сети. Форма напряжения при этом изменяется мало.

**7.3. Расчетно-графическое задание**

Рассчитать и построить в масштабе графики изменения напряжения на выходе понижающего трансформатора *u*2 и *u*22, если к его первичной обмотке приложен симметрично и несимметрично прямоугольный импульс напряжения амплитудой 1000 В, длительностью 10 мкс. Параметры трансформатора приведены в табл. 7.3.

Табл. 7.3.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | КТР | С12, пФ | С2, пФ | LS, мкГ | СS, пФ |
| 1 | 1 | 400 | 300 | 1000 | 2000 |
| 2 | 1 | 400 | 200 | 5000 | 2000 |
| 3 | 2 | 1000 | 300 | 2000 | 500 |
| 4 | 2 | 1000 | 500 | 2000 | 500 |
| 5 | 5 | 200 | 50 | 200 | 200 |
| 6 | 5 | 100 | 80 | 50 | 100 |
| 7 | 0,5 | 500 | 300 | 10000 | 3000 |
| 8 | 0,5 | 500 | 200 | 2000 | 3000 |
| 9 | 2 | 800 | 300 | 2000 | 1000 |
| 10 | 2 | 800 | 200 | 2000 | 1000 |
| 11 | 5 | 300 | 100 | 200 | 500 |
| 12 | 5 | 300 | 50 | 50 | 500 |
| 13 | 10 | 200 | 100 | 200 | 100 |
| 14 | 10 | 100 | 50 | 50 | 50 |

**7.4. Описание лабораторной работы**

Лабораторная установка содержит LC -фильтр с переключаемыми значениями индуктивности и емкости, диодный мост, фильтры с фиксированными значениями параметров, трансформаторы различных типов.

Вносимое затухание импульсных помех предлагается определять методом отношений (рис. 7.1) по аналогии с ГОСТ 13661. Генератор импульсов ГИ создает в измерительной схеме импульс; напряжения со стандартными параметрами. Резисторы *R*=50 Ом обеспечивают стандартное сопротивление источника помех и нагрузки. Осциллографом или импульсным вольтметром измеряют амплитуду напряжение на выходе схемы без средства защиты *U*1 и при подключенном средстве защиты *U*2. Коэффициент вносимого затухания К3 находится как отношение *U*1 к *U*2. При измерении вносимого затухания симметричных помех необходимо использовать генератор импульсов с симметричным выходом и осциллограф с дифференциальным входом. Результаты измерений могут представляться в виде графиков зависимостей вносимого затухания от длительности, фронта, амплитуды импульса, создаваемого генератором.

Обязательно следует привести схему установки и параметры испытательных импульсных напряжений.

Параметры трансформатора *L*S, *С*S определяются по результатам измерения осциллографом И (1 строка табл. 7.4) круговой частоты колебаний напряжения на вторичной обмотке трансформатора *ω*1 и *ω*2 соответственно при отключенном и подключенном конденсаторе *С*Н.

Табл. 7.4

## Определение параметров трансформатора

|  |  |
| --- | --- |
| Cхема измерения | Осциллограмма |
| Распространение симметричных помех  tab7_4_1.bmp | pulseLsCs |
| Распространение несимметричных помех  m1tab7_1 | pulseC12 |

Колебания вызываются подачей на первичную обмотку трансформатора симметрично импульсов напряжения от генератора ГИ. Значение емкости конденсатора *С*Н должно быть достаточным для существенного изменения частоты колебаний. Расчет выполняется по формулам:

; 

Емкости трансформатора *С*12 , *С*2 определяются на основе измерения осциллографом И (2 строка табл. 7.4) амплитуды импульса *U*1 , создаваемого генератором ГИ на первичной обмотке трансформатора относительно корпуса, и амплитуд *U*2 и *U*\*2 напряжений, наведенных на вторичной обмотке соответственно при отключенном и подключенном эталонном конденсаторе *С*Н (табл. 7.4). Расчет ведется по ниже приведенным формулам:.

, ,

где СИ - емкость щупа осциллографа.

**7.5. Порядок выполнения работы**

7.5.1. Определение вносимого затухания фильтра.

Измерить в соответствии с приведенной выше методикой вносимое затухание LC -фильтра для различных значений *L, С* и длительности импульса. Сравнять результат измерений с расчетными значениями затухания.

7.5.2. Определение параметров трансформатора.

Подать на первичную обмотку трансформатора импульсы напряжения от генератора импульсов длительностью 10 мкс, снять необходимые осциллограммы напряжений и в соответствии с описанной выше методикой определить значения *С*12, *C*2, *L*S, *С*S для случая отсоединенного и соединенного с корпусом электростатического экрана трансформатора.

7.5.3. Определение вносимого затухания сетевого фильтра.

Измерить вносимое затухание симметричных и несимметричных импульсных помех длительностью 0,1; 1; 10 мкс

7.5.4. Определение вносимого затухания для вторичного источника питания.

Собрать источник питания из трансформатора, фильтров, диодного моста. Измерять вносимое затухание импульсных помех. Повторить измерение для другой последовательности соединения элементов. Выявить наиболее эффективный вариант с точки зрения увеличения затухания помех.

**7.6. Содержание отчета**

* Схема лабораторной установки.
* Схемы измерения параметров трансформатора и вносимого затухания.
* Осциллограммы, поясняющие метод измерений.
* Результаты измерений и расчетов.
* Заключение, содержащее подробные выводы.

**7.7. Контрольные вопросы**

* Прохождение импульсов напряжения через фильтры.
* Распространение помех через трансформатор.
* Методика измерения параметров трансформатора.
* Методика измерения вносимого затухания.
* Зависимость вносимого затухания от конструкции и параметров элементов.
* Способы и средства помехозащиты по цепям питания.

**8. ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ К ИМПУЛЬСНЫМ ПОМЕХАМ**

**8.1.Цель работы**

Изучение восприимчивости электронных схем, построенных на основе транзисторов, тиристоров и микросхем к импульсным помехам во входных цепях и цепях питания.

**8.2. Общие сведения**

Импульсные помехи во входных цепях и цепях питания электронных схем могут привести к ложному срабатывание, потере информации, снижению качества функционирования схем. Способность схемы функционировать с заданным качеством в условиях действия помех называется помехоустойчивостью. Уровень помехоустойчивости характеризуется максимальной величиной помехи (амплитудой в случае импульсной помехи) при которой устройство или блок сохраняют свою работоспособность. Восприимчивость схемы характеризуется минимальным уровнем помех, при котором возникают сбои в работе, качество функционирования схемы снижается до уровня ниже допустимого. Уровни помехоустойчивости и восприимчивости схемы различны для помех разной длительности, полярности, приложенных ко входу шинам питания и цепям заземления. Теоретические основы воздействия помех на электронные схемы предлагается изучить по учебнику [1].

Элементная база цифровых устройств включает в себя запоминающие и формирующие цифровые микросхемы, сбой в работе которых может вызвать даже одиночный импульс напряжения. Импульсные помехи в питающей сети имеют энергию на 4-6 порядков больше энергии полезных сигналов и способны навести в цепях питания, заземления и входных цепях микросхем напряжения, достаточные для их ложного переключения.

Помехи могут воздействовать на микросхемы по входам, выходам, по цепи питания и вдоль общей шины (рис. 8.1).

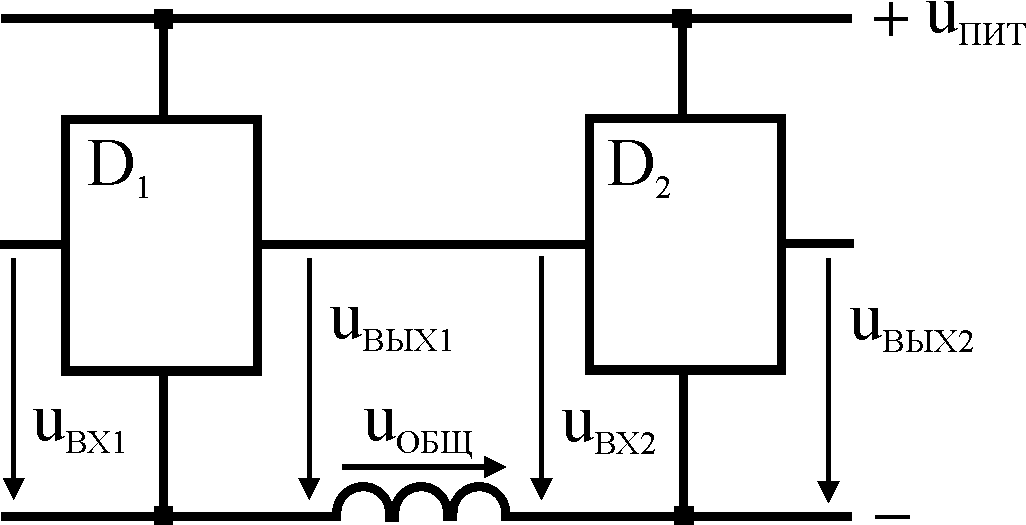


Рис. 8.1. Пути воздействия помех на цифровые микросхемы

Помехоустойчивость цифровых микросхем к помехам на входах оговаривается в технических документах и определяется уровнем помехи, при котором еще не происходит ложного срабатывания схемы. При увеличении напряжения помехи увеличивается вероятность ложного переключения (рис. 8.2).

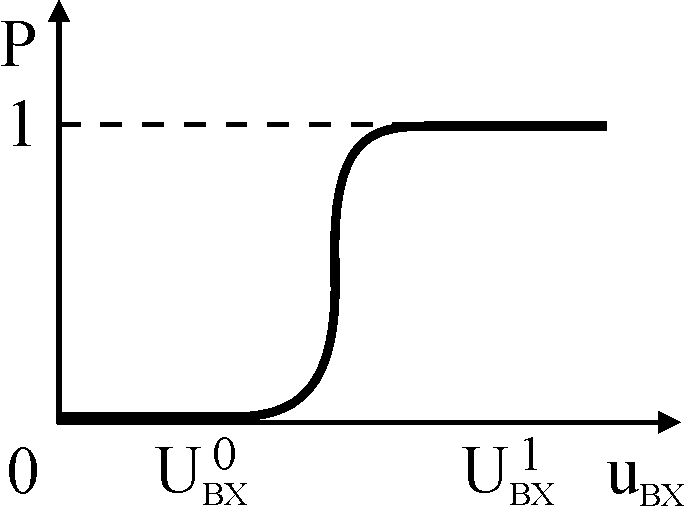


Рис. 8.2. Зависимость вероятности переключения микросхем от напряжения входного напряжения

Значения помехоустойчивости для ряда отечественных серий цифровых микросхем приведены на рис. 8.3

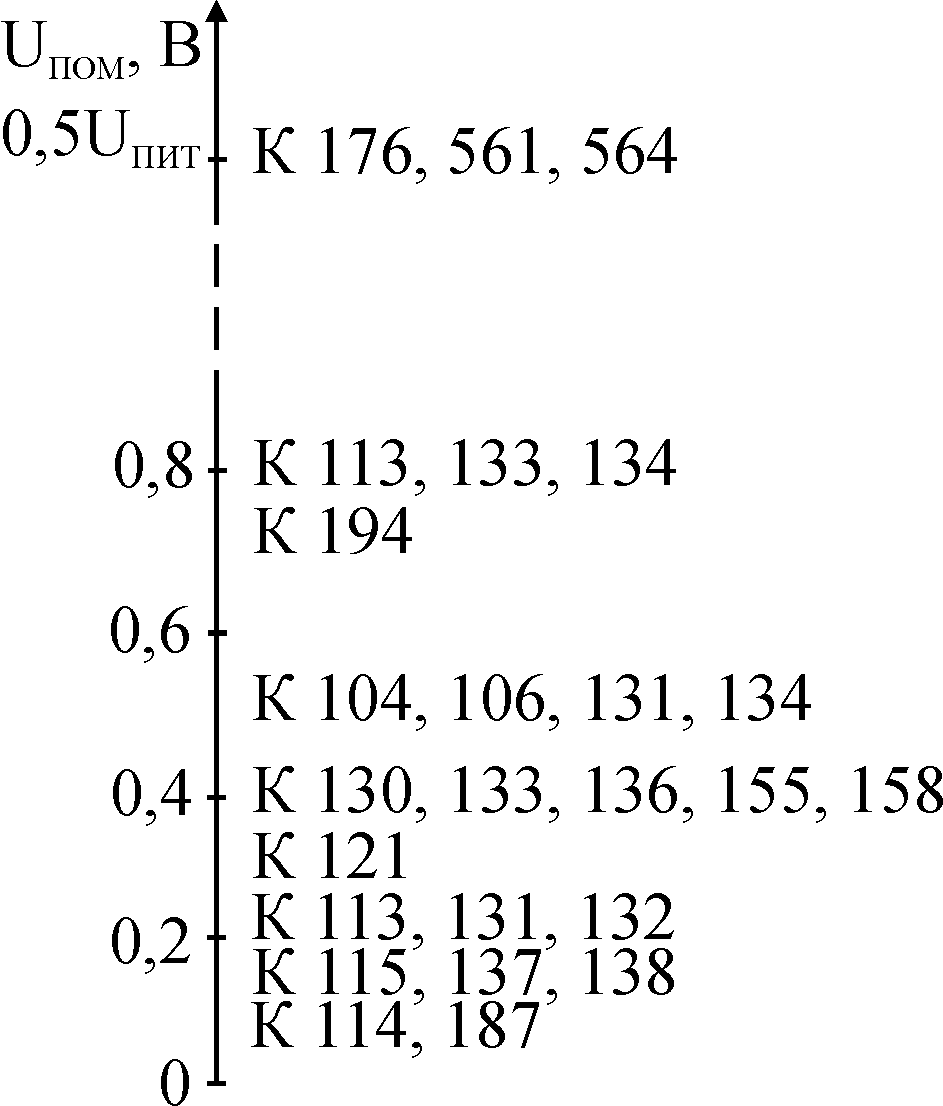


Рис. 8.3. Уровни статической помехоустойчивости некоторых серий отечественных цифровых микросхем

Реальный запас помехоустойчивости микросхем ТТЛ выше приведенных гарантированных значений. Например, пороговое входное напряжение, при котором происходит переключение микросхем серии 133, 155 составляет 1,3-1,4 В. Микросхемы КМОП-структуры имеют большую помехоустойчивость, которая обеспечивается тем, что переключение происходит при входном напряжении близком к половине питающего напряжения.

Появление наведенных напряжений помехи на шинах питания (рис. 8.4а) микросхем также может привести к их ложному переключению. Вероятность ложного переключения возрастает при увеличении амплитуды импульсной помехи *U*И. Устойчивость к помехам этого вида можно характеризовать пороговым напряжением *U*ПОР, после которого вероятность переключения быстро возрастает (рис. 8.4б).

|  |  |
| --- | --- |
| ris4_11a | ris_porog |
| а) | б) |

Рис. 8.4. Помехоустойчивость к импульсных помехам в цепи питания микросхем: а) - помехи в питающей цепи, б) – зависимость вероятности переключения микросхем от амплитуды помехи

При уменьшении длительности импульсов пороговое напряжение возрастает. Напряжения разной полярности неодинаково влияют на работу конкретных микросхем.

При протекании тока по общей шине питания микросхем могут также возникать помехи *u*ОБЩ вдоль общей шины (см. рис. 8.1). В конечном итоге напряжение помех складываются с полезным сигналом и прикладывается к входу следующей микросхемы.

Аналоговые устройства осуществляют обработку непрерывных сигналов, то есть сигналов, принимающих любое значение в определенных пределах, например, от -15 до +15 В. Поэтому помехи даже низкого уровня складываются с полезным сигналом и могут повлиять на выходное напряжение устройства. Степень влияния помехи определяется свойствами обрабатываемого сигнала, полосой пропускания и чувствительностью устройства. Помехи с параметрами, близкими к параметрам полезных сигналов, оказывают наибольшее влияние.

**8.3. Описание лабораторной установки**

Лабораторная установка содержит набор электронных схем, таких как триггеры, ждущие мультивибраторы, выполненные на биполярных, однопереходных транзисторах, тиристорах и микросхемах. В установке предусмотрен переключатель с устройством связи, позволяющий вводить помеху в различные части схем и светодиодная индикация состояния схем, наглядно фиксирующая сбои в их работе.

**8.4. Порядок выполнения работы**

8.4.1. Подключить генератор импульсов или имитатор импульсных помех через устройство связи к испытуемым схемам. Подготовить осциллограф для наблюдения осциллограммы напряжения на схемах. Подать питание на установку.

8.4.2. Установить длительность импульсов 1 мкс, частоту следования 50 Гц, положительную полярность. Плавно увеличивая амплитуду импульсов, зафиксировать значение амплитуды, при котором возникают сбои в работе испытуемой схемы. Аналогично зафиксировать уровень восприимчивости для другой полярности импульсов и для нескольких значений фронта и длительности от 0,1 до 10 мкс. Определить уровень помехоустойчивости схемы для любой полярности и длительности. Испытание необходимо выполнить при действии помехи на всех входах схемы и по цепям ее питания.

8.4.3. Провести испытание всех электронных схем лабораторной установки.

8.4.4. По результатам испытаний построить графики зависимости уровня восприимчивости схем от длительности импульсной помехи. Сформулировать выводы о восприимчивости испытанных схем. Оценить и сравнить их помехоустойчивость.

**8.5. Содержание отчета**

* Схемы испытанных электронных схем.
* Осциллограммы создаваемых импульсных помех.
* Графики зависимостей уровней восприимчивости и помехоустойчивости схем от параметров импульсов.
* Заключение, содержащее подробные выводы.

**8.6. Контрольные вопросы**

* Восприимчивость элементов схем к импульсным помехам.
* Восприимчивость электронных схем к помехам во входных цепях, цепях питания и заземления.
* Методика определения восприимчивости и помехоустойчивости схем.
* Сравнение помехоустойчивости устройств, выполненных на различных элементах.
* Способы повышения помехоустойчивости электронных устройств.

**9. ИМИТАТОРЫ ПОМЕХ**

**9.1. Цель работы**

Ознакомление с принципом действия имитаторов помех. Приобретение навыков работы с испытательным оборудованием.

**9.2. Общие сведения**

Имитаторы помех предназначены для создания испытательных напряжений, токов, электромагнитных полей с заданными параметрами и применяются для испытаний электронного оборудования на помехоустойчивость. В настоящее время применяют имитаторы радиопомех, представляющие собой генераторы модулированных синусоидальных сигналов высокой частоты; имитаторы импульсных помех, имитирующие импульсы, возникающие при коммутации нагрузок, разряде молнии; имитаторы электростатического разряда и имитаторы отклонений питающего напряжения и нарушений его синусоидальности. Помехи подаются в цепи питания и входные цепи испытуемого оборудования через устройства связи. Электромагнитные поля создаются антеннами, испытательными камерами. Принцип действия имитаторов и их применение предлагается изучить по учебнику[1], базовым стандартам серии ГОСТ Р 51317.4 и техническому описанию приборов. Некоторые схемы имитации помех приведены в табл. 9.1.

Табл. 9.1.

Имитация помех при испытаниях технических средств

|  |  |
| --- | --- |
| Стандарт и  вид помехи | Схема имитации |
| IEC 61000-4-2  ГОСТ Р 51317.4.2  Электростатический разряд  2; 4; 6; 8; 15 кВ | Imit4_2  Э – разрядный электрод  Rp=330 Ом  С=150 пФ |
| IEC 61000-4-3  ГОСТ Р 51317.4.3  Электромагнитное поле  1; 3; 10 В/м  80-2000 МГц  модуляция 1 кГц, 80% | Imit4_3  А - антенна |
| IEC 61000-4-4  ГОСТ Р 51317.4.4  Наносекундные импульсные помехи  0,5; 1; 2; 4; кВ  5/50 нс, 5 кГц  пачки 15 мс  период 0,3 с | Imit4_4  Rв=50 Ом |
| IEC 61000-4-5  ГОСТ Р 51317.4.5  Микросекундные импульсные помехи  0,5; 1; 2; 4; кВ  1/50 мкc | Imit4_5  Rв=2 Ом |
| IEC 61000-4-6  ГОСТ Р 51317.4.6  Напряжение радиочастотное  1; 3; 10 В  150 кГц-80 МГц  модуляция 1 кГц, 80% | Imit4_6 |
| IEC 61000-4-8  ГОСТ Р 50648-94  Магнитное поле  50 Гц  1; 3; 10; 30 А/м;  кратковременно  100; 300; 1000 А/м | Imit4_8 |
| Импульсное магнитное поле  100; 300; 1000 А/м  6,4/16 мкс  ГОСТ Р 50649-94  IEC 61000-4-9 | Imit4_8 |
| IEC 61000-4-11  ГОСТ Р 51317.4.11  Динамические изменения напряжения  -100; -60; -30; +20%  10 мс-5 с | Imit4_11 |
| IEC 61000-4-12  ГОСТ Р 51317.4.12  Затухающие колебательные помехи  0,5; 1; 2; 2,5; 4; кВ  0,1; 1 МГц  40; 400 Гц | Imit4_12  Rв=200 Ом |
| IEC 61000-4-13  Гармоники питающего напряжения  100-5000 Гц  до 10% | Imit4_13 |

**9.3. Описание лабораторной установки**

В лабораторный стенд входит планшет со схемой имитатора импульсных помех, позволяющий изучать принцип его действия при безопасном уровне напряжений, и ряд реальных имитаторов, предназначенных для испытаний оборудования.

**9.4. Порядок выполнения работы**

9.4.1. Исследование макета имитатора импульсных помех.

Подать питание 36 В переменного тока на макет имитатора импульсных помех. Сиять осциллограммы напряжений в характерных точках для всех режимов его работы. Измерить длительность, фронт и амплитуду создаваемых импульсов напряжения.

9.4.2. Имитатор импульсных помех.

Подготовить к работе имитатор импульсных помех в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Снять осциллограммы выходных напряжений во всех режимах его работы. Определить по осциллограммам фронт, длительность максимальную амплитуду создаваемых помех. Подать питание 220 В переменного тока 50 Гц на испытуемое оборудование. Снять осциллограммы напряжения на испытуемом оборудовании относительно корпуса для симметричной и несимметричной создаваемой помехи. Определить фазу переменного напряжения в момент подачи импульсов напряжения.

9.4.3. Имитатор провалов напряжения.

Подготовить к работе имитатор провалов напряжения в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Снять осциллограммы выходных напряжений при работе имитатора в режимах 100 и 30% провалов напряжения с различными длительностями и периодами повторения провалов.

9.4.4. Изучение имитаторов помех по заданию.

Изучить схемы имитаторов помех и их работу в соответствии с указанием преподавателя.

**9.5. Содержание отчета**

* Схема имитации помех.
* Осциллограммы напряжений, поясняющие принцип действия имитатора импульсных помех.
* Осциллограммы испытательных напряжений на выходе имитаторов.
* Результаты измерений.
* Заключение о работе.

**9.6. Контрольные вопросы**

* Назначение и применение имитаторов.
* Имитация импульсных помех.
* Имитация отклонений питающего напряжения.
* Имитация электростатического разряда.
* Способы подачи помех на испытуемое оборудование.

**10. ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ**

**10.1. Цель работы**

Получение навыков испытаний оборудования на электромагнитную совместимость. Определение уровней восприимчивости реального оборудования.

**10.2. Общие сведения**

Международные и отечественные стандарты на электромагнитную совместимость требуют проведения испытаний на помехоустойчивость электронного оборудования и проведения измерений создаваемых оборудованием помех. Требования и методику испытаний предлагается изучить по учебнику[1], базовым стандартам серии ГОСТ Р 51317.4 и непосредственно по нормативно-техническим документам, методикам испытаний. Испытания на помехоустойчивость заключаются в проверке работоспособности оборудования в условиях действия помех, создаваемых имитатором и подаваемых в цепи питания входные цепи.

Имитаторы изучаются в предыдущей лабораторной работе. Оборудование считается выдержавшим испытание, если оно сохраняет свою работоспособность с заданным качеством при воздействии помех с параметрами, оговариваемыми в требованиях. В некоторых случаях предусматривается определение уровней помех, при которых нарушается работа оборудования, т.е. уровень восприимчивости.

Требования стандартов устанавливают также максимально допустимый уровень электромагнитных помех, создаваемых оборудованием. Измерения эмиссии напряжения и электромагнитного поля должны проводиться в режиме работы оборудования, создающем максимальный уровень помех. Измерения проводятся специализированными измерителями радиопомех и анализаторами спектра.

**10.3. Описание лабораторной установки**

Установка содержит имитаторы импульсных помех, электростатических разрядов, провалов напряжения, рабочее место для проведения испытаний, измерительные приборы, а также испытуемое цифровое электронное оборудование.

**10.4. Порядок выполнения работы**

10.4.1. Испытание оборудования на воздействие импульсных помех в питающей сети.

Подключить испытуемое оборудование к имитатору импульсных помех. Подать питание и включить имитатор в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Плавно увеличивая амплитуду импульсов, зафиксировать ее максимальное значение, при котором оборудование сохраняет нормальную работу (уровень помехоустойчивости) и минимальное значение, при котором наблюдаются сбои в работе (уровень восприимчивости). Определить и занести в таблицу значения уровней для различных фронтов и длительность испытательных импульсов, для положительной и отрицательной полярности, при подаче помехи симметрично и несимметрично. Зафиксировать частоту следования помех. По результатам испытаний построить графики зависимости уровней восприимчивости и помехоустойчивости испытанного оборудования от длительности фронта импульсов для перечисленных выше условий испытаний. Сформулировать выводы о влиянии параметров испытательных импульсов на результат испытаний. Повторить испытания оборудования при установке в цепях питания средства защиты.

10.4.2. Испытание оборудования на воздействие провалов напряжения в питающей сети.

Подключить испытуемое оборудование к имитатору провалов напряжения к включить его в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Создать на оборудовании провалы напряжения минимальной длительности и величины. Плавко увеличивая величину провала, а затем его длительность, зафиксировать значения параметров провалов, приводящие к нарушению работы оборудования. По результатам испытаний построить график зависимости величины провала напряжения от его длительности, при которых наблюдаются сбои в работе. Определить область помехоустойчивости работы оборудования.

10.4.3. Испытание оборудование по заданию.

Провести испытания оборудования, измерение уровней создаваемых помех в соответствии с указанием преподавателя.

**10.5. Содержание отчета**

* Схемы испытаний.
* Технические характеристики имитаторов.
* Описание испытуемого оборудования.
* Протокол испытаний. Таблицы. Количественные данные.
* Заключение, содержащее подробные выводы.

**10.6. Контрольные вопросы**

* Схема и методика испытаний на устойчивость к импульсным напряжениям в питающей сети и в цепях передачи информации.
* Испытание оборудования на работоспособность в условиях провалов напряжения.
* Испытание оборудования на устойчивость к электростатическому разряду.
* Требования к судовому оборудованию по помехоустойчивости.
* Измерение уровней создаваемых помех.

# Литература

1. Воршевский А.А., Гальперин В.Е. Электромагнитная совместимость судовых технических средств. СПбГМТУ.-СПб., 2010.

2. Вилесов Д.В., Воршевский А.А., Гальперин В.Е., Сухоруков С. А. Возникновение и распространение импульсных помех в судовых электроэнергетических системах; Учеб., пособие. Л.: Изд. ЛКИ, 1987.

3. Вилесов Д.В., Воршевский А.А., Гальперин В.Е., Сухоруков С. А. Обеспечение ЭМС в судовых электроэнергетических системах: Учеб. пособие. Л.: Изд. ЛКИ, 1988.

4. Вилесов Д.В., Воршевский А.А., Гальперин В.Е., Сухоруков С. А. Измерения и испытания в области электромагнитной совместимости: Учеб. пособие. Л.: Изд. ЛКИ, 1989.

.

# Оглавление

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Возникновение импульсных помех при включении потребителей в судовых электроэнергетических системах................. | 3 |
| 2. Импульсные помехи при отключении катушки индуктивнсти.................................................................................................... | 9 |
| 3. Однофазные замыкания в судовой электроэнергетической системе............................................................................................ | 15 |
| 4. Искажения синусоидальности напряжения в электроэнергетической системе при работе тиристорного выпрямителя..... | 20 |
| 5. Распространение импульсных помех по судовому кабелю... | 26 |
| 6. Наведенные напряжения в судовой кабельной трассе........... | 36 |
| 7. Распространение импульсных помех через элементы вторичного источника питания.......................................................... | 44 |
| 8. Восприимчивость электронных схем к импульсным помехам................................................................................................... | 53 |
| 9. Имитаторы помех....................................................................... | 58 |
| 10. Испытание электронного оборудования на электромагнитную совместимость.................................................................. | 63 |
| Литература...................................................................................... | 66 |