



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИДО

С.И. Качин

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 г.

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ**

Методические указания и индивидуальные задания  
для студентов ИДО, обучающихся по направлению  
140400 «Электроэнергетика и электротехника»  
профиль «Электроэнергетические системы и сети»

*Составитель Д.В Тихонов*

Семестр	6 (8)
Кредиты	3
Лекции, часов	6
Практические занятия	4
Лабораторные занятия, часов	4
Индивидуальные задания	1
Самостоятельная работа, часов	94
Формы контроля	зачёт

Издательство

Томского политехнического университета

2013





УДК 621.314.632(075.8)

Электромагнитная совместимость: метод. указ. и индивид. задания для студентов ИДО, обучающихся по напр. 140400 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электроэнергетические системы и сети» / сост. Д.В. Тихонов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 28 с.

Методические указания и индивидуальные задания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры электроэнергетических систем « » \_\_\_\_\_ 2013 г., протокол № ....

Зав. кафедрой ЭЭС  
доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_ Ю.С. Боровиков

### **Аннотация**

Методические указания и индивидуальные задания по дисциплине «Электромагнитная совместимость» предназначены для студентов ИДО, обучающихся по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электроэнергетические системы и сети». Данная дисциплина изучается в одном семестре.

Указаны темы практических занятий, приведено содержание основных тем дисциплины, указаны темы практических и лабораторных занятий. Даны варианты индивидуального домашнего задания и методические указания по его выполнению.





## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.....</b>	<b>4</b>
<b>2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>5</b>
Тема 1. Основные положения курса .....	5
Тема 2. Источники электромагнитных помех.....	6
Тема 3. Механизмы передачи электромагнитных помех.....	7
Тема 4. Пассивные помехоподавляющие и защитные компоненты.....	9
Тема 5. Определение электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики .....	10
Тема 6. Электромагнитная совместимость технических средств в узлах нагрузки электрических сетей .....	12
Тема 7. Экологическое и техногенное влияние полей .....	13
Тема 8. Испытания и нормативные документы в области электромагнитной совместимости .....	14
<b>3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>17</b>
3.1. Тематика практических занятий .....	17
3.2. Перечень лабораторных работ .....	17
<b>4. ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ .....</b>	<b>18</b>
4.1. Общие методические указания.....	18
4.2. Задачи.....	18
<b>5. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ .....</b>	<b>24</b>
5.1. Вопросы для подготовки к зачету.....	24
5.2. Образец экзаменационного билета .....	26
<b>6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>27</b>
6.1. Обязательная литература .....	27
6.2. Дополнительная литература .....	27
6.3. Интернет-ресурсы.....	27





## 1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

В дисциплине «Электромагнитная совместимость в электроэнергетике» излагается материал, относящийся к специальной области обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) на объектах электроэнергетики. Дисциплина базируется на знаниях по физике, теоретическим основам электротехники, технике высоких напряжений, электрической части электростанций.

В рамках дисциплины «Электромагнитная совместимость в электроэнергетике» рассматриваются источники и приемники электромагнитных помех, механизмы передачи электромагнитных помех, пассивные помехоподавляющие и защитные компоненты, обеспечение электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики, электромагнитная совместимость технических средств в узлах нагрузки электрических сетей, экологическое и техногенное влияние полей, нормативные документы в области электромагнитной совместимости.

Дисциплина ЭМС относится к профессиональному циклу. Для ее освоения требуются знания курсов «Общая физика», «Теоретические основы электротехники», «Высшая математика» – *пререквизиты*. *Корреквизиты* – «Электромагнитные переходные процессы».



## 2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

### Тема 1. Основные положения курса

Понятие электромагнитной совместимости; электромагнитные влияния; передатчики и приемники электромагнитных помех; уровни помех; помехоподавление; логарифмические относительные характеристики уровней помех; степень передачи помех; помехоподавление; основные типы и возможные диапазоны значений электромагнитных помех; противофазные и синфазные помехи; земля и масса; способы описания и основные параметры помех. Описание электромагнитных влияний в частотной и временной областях. Представление периодических функций времени в частотной области. Ряд Фурье. Представление непериодических функций времени в частотной области. Интеграл Фурье. Возможные диапазоны значений электромагнитных помех. Учет путей передачи и приемников электромагнитных помех.

**Рекомендуемая литература:** [1, гл. 1], [2, гл. 1], [3, гл. 1], [4, п. 1.1].

#### Методические указания

Необходимо ознакомиться с основными определениями курса: понятия электромагнитной совместимости, понятия передатчиков и приемников электромагнитных помех, понятия противофазных и синфазных помех, понятия земля и масса, понятия уровня и степени передачи. Знать логарифмические относительные характеристики уровней помех, основные типы и способы описания помех.

#### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что понимается под электромагнитной совместимостью технических средств?
2. Что понимается под техническим обеспечением электромагнитной совместимости?
3. Перечислите виды электромагнитных помех.
4. Поясните понятия узкополосных и широкополосных электромагнитных помех.
5. Поясните понятия синфазных и противофазных электромагнитных помех.
6. Поясните понятия «земля» и «масса».

7. Поясните термины «уровень помехи» и «помехоподавление». Как для их характеристики используются относительные логарифмические масштабы?
8. Что такое *децибел* и *непер*? Как они соотносятся?
9. Как осуществляется переход представления электромагнитных помех из временной области в частотную область, и наоборот?
10. Что такое *спектр периодической помехи*? Какой математический аппарат применяется для его получения?
11. Что такое *спектральная плотность распределения амплитуд импульсной помехи*?

## Тема 2. Источники электромагнитных помех

Классификация источников помех; функциональные источники; нефункциональные источники; широкополосные источники; узкополосные источники; источники со сплошным спектром помехи; источники с дискретным спектром помехи; спектр; спектральная плотность; энергетический спектр помехи; источники узкополосных помех; источники широкополосных помех; влияние на сеть; влияние линий электропитания; уровень помех в городах; автомобильные устройства зажигания; газоразрядные лампы; коллекторные двигатели; разряды статического электричества; катушки индуктивности; электромагнитный импульс молнии; переходные процессы в сетях различных классов напряжения; электромагнитный импульс ядерного взрыва; классификация окружающей среды по уровням помех.

**Рекомендуемая литература:** [1, гл. 2], [2, гл. 2], [3, гл. 1, 2], [4, гл. 1].

### Методические указания

При изучении источника электромагнитной помехи необходимо представлять, какой физический процесс приводит к ее появлению и каковы параметры этой помехи.

### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Поясните понятия «функциональные» и «нефункциональные» источники электромагнитных помех.
2. Поясните понятия «широкополосный» и «узкополосный» источник электромагнитных помех. Что является количественной характеристикой, данных понятий?
3. Какая характеристика называется шириной полосы энергетического спектра?

4. Как влияют дуговые печи и сварочные установки на электромагнитную обстановку?
5. Как влияют мощные выпрямители и преобразователи частоты на электромагнитную обстановку?
6. Какие технические средства определяют электромагнитную обстановку в городах?
7. Поясните физические процессы, происходящие в газоразрядных лампах и приводящие к появлению электромагнитных помех.
8. Поясните физические процессы, происходящие на высоковольтных воздушных линиях и приводящие к появлению электромагнитных помех.
9. Поясните физические процессы, происходящие в коллекторных электродвигателях и приводящие к появлению электромагнитных помех.
10. Поясните физические процессы, происходящие в системах зажигания автомобилей и приводящие к появлению электромагнитных помех.
11. Почему разряд статического электричества представляет собой источник электромагнитных помех?
12. Почему коммутация катушек индуктивности приводит к появлению электромагнитных помех?
13. Какие процессы в сетях низкого напряжения вызывают возникновение электромагнитных помех?
14. Какие процессы в сетях высокого напряжения вызывают возникновение электромагнитных помех?
15. Какие физические процессы при ударе молнии приводят к возникновению электромагнитных помех?
16. Какие физические процессы, происходящие при ядерном взрыве, вызывают появление электромагнитного импульса? Какими параметрами характеризуется электромагнитный импульс?
17. Какие классы окружающей среды выделяются при передаче электромагнитных помех по проводам?
18. Какие классы окружающей среды выделяются при передаче электромагнитных помех электромагнитным излучением?

### **Тема 3. Механизмы передачи электромагнитных помех**

Гальваническое влияние; гальваническое влияние через цепи питания и сигнальные контуры; гальваническое влияние по контурам заземления; мероприятия по снижению гальванического влияния; емкостное влияние; гальванически разделенные контуры; контуры с общим проводом системы опорного потенциала; токовые контуры с большой емко-



стью относительно земли; емкостное влияние молнии; мероприятия по снижению емкостного влияния; индуктивное влияние; индуктивное влияние между гальванически несвязанными контурами; индуктивное влияние разрядов статического электричества; индуктивное влияние тока молнии; индуктивное влияние тока молнии на электрический контур внутри здания; мероприятия по снижению индуктированных напряжений; воздействие электромагнитного излучения.

**Рекомендуемая литература:** [1, гл. 3], [2, гл. 4], [3, гл. 3], [4, гл. 2].

### **Методические указания**

При изучении этой темы необходимо изучить все возможные пути передачи помех от источника к приемнику и их особенности. Помеха может передаваться от источника к приемнику через гальванические связи, либо через поле. При рассмотрении передачи помехи путем электромагнитного излучения (через поле) обратить внимание на понятия «ближнее поле» и «дальнее поле».

### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Какие виды возможных связей между контурами и возможных путей проникновения помех вам известны?
2. Какие существуют способы снижения гальванического влияния и проникновения электромагнитных помех из одного контура в другой?
3. Какие существуют способы снижения гальванического влияния и проникновения электромагнитных помех по цепям заземления?
4. Какие существуют способы снижения емкостного влияния и проникновения электромагнитных помех из одного контура в другой?
5. Какие существуют способы снижения емкостного влияния токовых контуров с большой емкостью относительно земли?
6. Чем опасно емкостное влияние молнии на сигнальные линии?
7. Какие существуют способы снижения индуктивного влияния и проникновения электромагнитных помех из одного контура в другой?
8. В чем состоит опасность индуктивного влияния разряда молнии в молниеотвод при наличии вблизи сигнальных линий?
9. В чем состоит опасность индуктивного влияния тока молнии на электрический контур внутри здания, образованный проводами питания и сигнальными линиями, при ударе молнии в молниеприемник здания?
10. При каких параметрах помехи начинают соблюдаться условия «ближнего поля»?
11. Назовите способы снижения помех от излучения электромагнитного поля.





#### **Тема 4. Пассивные помехоподавляющие и защитные компоненты**

Фильтры; фильтровые элементы; сетевые фильтры; силовые резонансные фильтры; рекомендации по выбору сетевых фильтров; защита катушками индуктивности и конденсаторами от синфазных и противофазных токов помех; коэффициент затухания фильтра; схемы сетевых фильтров; ограничители перенапряжений; защитные разрядные промежутки, варисторы, лавинные диоды; экранирование; принцип действия экранов; материалы для изготовления экранов; экранирование приборов и помещений; экраны кабелей; разделительные элементы.

**Рекомендуемая литература:** [1, гл. 4], [2, гл. 5], [3, гл. 4, 5], [4, гл. 5].

#### **Методические указания**

При изучении помехоподавляющих свойств фильтров следует иметь в виду: их применение предполагает, что спектральные составляющие полезного сигнала и помехи достаточно отличаются друг от друга. Это позволяет при соответствующих параметрах фильтра обеспечить селективное демпфирование помехи при отсутствии заметного искажения полезного сигнала.

При изучении электромагнитных экранов необходимо помнить, что эффективность экранирования зависит от наличия дефектов и отверстий в стенке экрана, а также то, что внутри экранированных объемов могут возникать резонансные эффекты, так как любой корпус прибора с проводящими стенками можно рассматривать как объемный резонатор.

#### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Поясните принцип действия фильтра.
2. Что такое «коэффициент затухания» фильтра?
3. Приведите примеры схем простейших фильтров.
4. Приведите примеры возможных схем сетевых фильтров при разных соотношениях величины сопротивлений источника и приемника электромагнитных помех.
5. Приведите примеры выполнения помехозащитных конденсаторов.
6. Приведите примеры выполнения помехозащитных катушек.
7. Приведите примеры использования защитных катушек и конденсаторов от синфазных и противофазных токов помех.
8. В чем состоит принцип действия ограничителей перенапряжений?
9. Поясните принцип действия газонаполненного разрядника. Как выглядит его вольтамперная характеристика?

10. Для чего служат воздушные защитные промежутки?
11. Что такое «сопровождающий ток разрядника»? Каковы мероприятия по его ликвидации?
12. Что такое варистор? Каковы его сфера применения, вольтамперная характеристика?
13. Поясните сферу применения и принцип действия экранов.
14. Что такое «коэффициент затухания», «коэффициент отражения», «коэффициент поглощения» экрана?
15. Как влияют относительная магнитная проницаемость и электрическая проводимость материала экрана на его экранирующие свойства?
16. Какие материалы используются для изготовления экранов?
17. Приведите примеры конструктивного исполнения экранирующих материалов и устройств.
18. Приведите примеры конструктивного исполнения экранов приборов и помещений.
19. Приведите примеры конструктивного исполнения экранов кабелей.
20. Как влияет способ заземления экрана кабеля на его экранирующие свойства?
21. Какие элементы используются для гальванической развязки с целью исключения возникновения синфазных помех?

### **Тема 5. Определение электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики**

Основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки; исходные данные и состав работ по определению электромагнитной обстановки (ЭМО) на объекте; воздействие на кабели систем релейной защиты и технологического управления токов и напряжений промышленной частоты; импульсные помехи, обусловленные переходными процессами в цепях высокого напряжения при коммутациях и коротких замыканиях; импульсные помехи при ударах молнии; электромагнитные поля радиочастотного диапазона; разряды статического электричества; магнитные поля промышленной частоты; помехи, связанные с возмущениями в цепях питания низкого напряжения; импульсные магнитные поля.

**Рекомендуемая литература:** [1, гл. 5], [4, гл. 8, 9], [6, гл. 3].

## Методические указания

При изучении темы следует иметь в виду, что при определении ЭМО на действующем энергообъекте необходимо применять сочетание экспериментальных методов (натурные эксперименты и имитация электромагнитных возмущений) и численный анализ.

Для получения достоверных результатов при численном анализе необходимо использовать результаты экспериментов, так как невозможно математически точно смоделировать реальный объект, и ошибки могут быть существенными.

## Вопросы и задания для самоконтроля

1. Назовите основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки на энергообъекте.
2. Перечислите исходные данные для определения ЭМО на объекте.
3. Перечислите состав работ для определения ЭМО на объекте.
4. В чем состоит воздействие на кабели систем релейной защиты технологического управления токов и напряжений промышленной частоты при однофазных коротких замыканиях?
5. Назовите работы, выполняемые при определении возможных уровней напряжений и токов, воздействующих на кабели систем релейной защиты и технологического управления при однофазном коротком замыкании на землю.
6. С какими явлениями в первичных цепях связано возникновение импульсных помех в цепях вторичной коммутации?
7. Что называют имитационными испытаниями на энергообъекте?
8. Какие воздействия на элементы энергообъекта возможны при ударе молнии?
9. Как осуществляется измерение электромагнитных полей радиочастотного диапазона на энергообъектах?
10. Как осуществляется измерение электростатического потенциала тела человека на энергообъектах?
11. Как осуществляется измерение магнитных полей промышленной частоты на энергообъектах?
12. Как осуществляется измерение электрических полей промышленной частоты на энергообъектах.
13. Назовите причины появления периодических и импульсных помех в цепях питания низкого напряжения.
14. Какие виды измерений проводят в ходе определения уровней периодических и импульсных помех в цепях питания низкого напряжения?
15. Как определяется приближенно величина импульса напряженности магнитного поля при ударе молнии в молниеприемник?

## **Тема 6. Электромагнитная совместимость технических средств в узлах нагрузки электрических сетей**

Статический преобразователь как источник гармоник, другие источники гармоник; влияние гармоник на системы электроснабжения; вращающиеся машины; статическое оборудование; устройства релейной защиты в энергосистемах; оборудование потребителей; влияние гармоник на измерение мощности и энергии; ограничение уровней гармоник напряжений и токов.

**Рекомендуемая литература:** [1, гл. 6], [4, гл. 15], [6, гл. 12].

### **Методические указания**

При изучении данного раздела следует помнить, что основными формами воздействия высших гармоник на системы электроснабжения являются: увеличение токов и напряжений гармоник вследствие параллельного и последовательного резонансов; снижение эффективности процессов генерации, передачи и использования электроэнергии; старение изоляции электрооборудования и сокращение вследствие этого срока его службы; ложная работа оборудования.

### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Назовите мощные нелинейные нагрузки на предприятиях.
2. В чем заключается отрицательное влияние тиристорных преобразователей на питающие электрические сети?
3. В чем заключается вредное влияние гармонических составляющих напряжений и токов на элементы электрических сетей и узлов нагрузки?
4. Когда возникает и чем опасен параллельный резонанс в системах электроснабжения?
5. Когда возникает и чем опасен последовательный резонанс в системах электроснабжения?
6. Поясните физические процессы в электрических машинах переменного тока, происходящие при несинусоидальном питающем напряжении на их зажимах.
7. Поясните физические процессы в высоковольтных линиях переменного тока, происходящие при несинусоидальном напряжении.
8. Поясните физические процессы в силовых трансформаторах, происходящие при несинусоидальном питающем напряжении на их зажимах.
9. Поясните физические процессы в силовых конденсаторах, происходящие при несинусоидальном питающем напряжении на их зажимах.

10. Как влияют высшие гармонические составляющие напряжения и тока на системы релейной защиты в нормальных режимах?
11. Как влияют высшие гармонические составляющие напряжения и тока на системы релейной защиты в аварийных режимах?
12. Как влияют высшие гармонические составляющие напряжения на электрооборудование потребителей: телевизоры, газоразрядные лампы, компьютеры, выпрямительное оборудование, преобразователи частоты?
13. Как влияют высшие гармонические составляющие напряжения на приборы измерения электрической энергии и мощности?
14. Приведите примеры схем настроенных силовых резонансных фильтров. Поясните принцип их работы.
15. Приведите пример схемы силового резонансного фильтра двойной настройки. Поясните принцип его работы.
16. Для чего применяются широкополосные фильтры? Приведите примеры схемных решений для таких фильтров.

### **Тема 7. Экологическое и техногенное влияние полей**

Экологические аспекты электромагнитной совместимости; роль электрических процессов в функционировании живых организмов; электромагнитная обстановка на рабочих местах и в быту; механизмы воздействия электрических и магнитных полей на живые организмы; нормирование безопасных для человека напряженностей электрических и магнитных полей; нормативная база за рубежом и в РФ; нормирование условий работы персонала и проживания людей в зоне влияния подстанций (ПС) и воздушных линий (ВЛ) сверхвысокого напряжения (СВН); экологическое влияние коронного разряда; влияния линий электропередачи на линии связи.

**Рекомендуемая литература:** [1, гл. 7], [4, гл. 14], [6, гл. 11].

#### **Методические указания**

При изучении темы следует обратить внимание на физические процессы в клетках организма, которые возникают в результате воздействия внешних полей и приводят к нарушению естественных процессов функционирования органов.

### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какую роль играют электрические процессы при функционировании живых организмов?
2. Какие объекты являются источниками электрических и магнитных полей на объектах электроэнергетики, в промышленности, на транспорте, в быту?
3. В чем заключаются механизмы воздействия электрических и магнитных полей на живые организмы?
4. Назовите нормативные значения напряженностей электрических и магнитных полей на рабочих местах и для населения.
5. В чем заключается экологическое влияние коронного разряда?
6. В чем состоит влияния линий электропередачи на линии связи?

### Тема 8. Испытания и нормативные документы в области электромагнитной совместимости

Лабораторные испытания технических средств (ТС). Лабораторные испытания электронного оборудования и систем. Ограничение на излучение помех и методика проведения испытаний. Полевые испытания. Проверка эффективности специальных мер по снижению помех. Мониторинг постоянных помех. Измерения кондуктивных и полевых воздействий, возникающих при переключениях. Оценка временных кратковременных воздействий. Испытательные установки, схемы испытаний, и измерений.

Федеральный закон «О государственном регулировании в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств».

ГОСТ Р 50397-92. Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения.

ГОСТ 29280-92. Испытания на помехоустойчивость. Общие положения.

ГОСТ 29254-91. Совместимость технических средств электромагнитная. Аппаратура измерения, контроля и управления технологическими процессами. Технические требования и методы испытаний на помехоустойчивость.

ГОСТ Р 51317.4.1-2000. Испытания на помехоустойчивость, МЭК 61000-4-1-2000.

ГОСТ Р 51317.4.14-2000. Устойчивость к колебаниям напряжения электропитания, МЭК 61000-4-14-99.

ГОСТ Р 51317.4.11-2007. Устойчивость к провалам, кратковременным прерываниям и изменениям напряжения электропитания, МЭК 61000-4-11:2004.



ГОСТ Р 51317.4.28-2000. Устойчивость к изменениям частоты питающего напряжения, МЭК 61000-4-28-99.

МЭК 61000-4-27. Несимметрия питающего напряжения.

ГОСТ Р 51317.4.16-2000. Устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 0 до 150 кГц, МЭК 61000-4-16-98.

МЭК 61000-4-29-2000. Динамические изменения напряжения электропитания постоянного тока.

ГОСТ Р 51317.4.17-2000. Устойчивость к пульсациям напряжения электропитания постоянного тока, МЭК 61000-4-17-99.

МЭК 61000-4-13. Низкочастотные гармоники и интергармоники, включая сигналы, передаваемые по силовым линиям.

ГОСТ Р 50648-94. Устойчивость к магнитному полю промышленной частоты, МЭК 1000-4-8-93.

ГОСТ Р 51317.4.4-2007. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам, МЭК 6100-4-4:2004.

ГОСТ Р 51317.4.5-99. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии, МЭК 6100-4-5-95.

ГОСТ Р 51317.4.6-99. Устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями, МЭК 6100-4-6-96.

ГОСТ Р 51317.4.12-99. Устойчивость к колебательным затухающим помехам, МЭК 6100-4-12-96.

ГОСТ Р 51317.4.3-99. Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю, МЭК 6100-4-3-95.

ГОСТ Р 50649-94. Устойчивость к импульсному магнитному полю, МЭК 1000-4-9-93.

ГОСТ Р 50652-94. Устойчивость к затухающему колебательному магнитному полю, МЭК 1000-4-10-93.

ГОСТ Р 51317.4.2-99. Устойчивость к электростатическим разрядам, МЭК 6100-4-2-95.

**Рекомендуемая литература:** [6, гл. 3], [4, гл. 13], [7, гл. 5, 7].

### **Методические указания**

При изучении данного раздела следует обратить внимание, что в настоящее время в России частично введены новые отечественные стандарты, гармонизированные с международными стандартами и европейскими нормами, регламентирующими объем современных требований к техническим средствам по обеспечению ЭМС.

Устройства автоматических и автоматизированных систем технологического управления электротехническими объектами



проходят испытания на устойчивость к воздействию электромагнитных помех в соответствии с базовыми нормативно-техническими документами в области электромагнитной совместимости – ГОСТ 29280-92 «Испытания на помехоустойчивость. Общие положения», в котором рассматриваются практически все виды испытаний. По отдельным испытаниям (в более подробном изложении) выпущены серии ГОСТ Р 51317.4.

### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Каковы цели проведения лабораторных испытаний, и каков порядок их проведения?
2. Каковы цели проведения полевых испытаний, и каков порядок их проведения?
3. Каковы цели проведения мониторинга постоянных помех? Назовите технические средства, которые при этом используются.
4. Какие факторы необходимо учитывать при выборе степени жесткости испытаний технических средств?
5. Какие условия необходимо соблюдать при испытаниях ТС на устойчивость к одновременному воздействию помех нескольких видов?
6. Что необходимо учитывать при выборе видов испытаний для конкретных ТС?
7. Каковы параметры импульсов, применяемых при испытаниях ТС на устойчивость к наносекундным импульсным помехам?
8. Какова форма испытательного напряжения «звонящей волны»?
9. Какой метод является основным при испытаниях ТС на устойчивость к электростатическим помехам?
10. Каковы параметры испытательного воздействия при испытаниях ТС на устойчивость к затухающему колебательному магнитному полю?





### **3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **3.1. Тематика практических занятий**

Тема 1. Расчет коэффициента затухания фильтров (2 часа).

**Рекомендуемая литература:** [1, гл. 4].

Тема 2. Логарифмические относительные характеристики уровней помех (2 часа).

**Рекомендуемая литература:** [1, гл. 1].

#### **3.2. Перечень лабораторных работ**

К выполнению лабораторной работы студент может приступить только после того, как получит у преподавателя допуск к её выполнению. Допуск к выполнению лабораторной работы студент получает по результатам устного или письменного ответа на контрольные вопросы, с которыми он должен ознакомиться при изучении методических указаний по данной лабораторной работе. Если лабораторные работы не сделаны, то студент не допускается до сдачи зачета. Лабораторные работы выполняются в соответствии с методическими указаниями по лабораторным работам [5], которую можно скопировать с сайта преподавателя [11].

**Лабораторная работа № 1.** Измерение напряженности электрического поля промышленной частоты, создаваемого установками высокого напряжения (2 часа).

**Лабораторная работа № 2.** Измерение напряженности магнитного поля промышленной частоты создаваемого установками высокого напряжения (2 часа).



## 4. ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

### 4.1. Общие методические указания

В соответствии с учебным графиком предусмотрено выполнение одного индивидуального домашнего задания.

Индивидуальное домашнее задание включает в себя решение задач, что необходимо для получения навыков использования теоретических знаний для решения типовых задач.

Студенты выполняют индивидуальное домашнее задание в течение семестра в редакторе MS Word и отсылают его на проверку преподавателю. После проверки преподаватель высылает контрольную работу студенту по электронной почте с комментариями на доработку.

При выполнении индивидуального домашнего задания по дисциплине «Электромагнитная совместимость» следует пользоваться учебным пособием [1], в котором приведены основные формулы, используемые для решения задач.

При решении задач (для тех задач, в которых формула выводится) сначала необходимо вывести общую конечную формулу, а затем уже подставлять численные значения.

**Номер варианта индивидуального задания определяется по последней (табл. 1) и предпоследней (табл. 2) цифре номера зачетной книжки.** Например, если номер зачетной книжки 3-9211/53, то номер варианта задания 53 и, следовательно, из табл. 1 необходимо данные взять из колонки 5, а из табл. 2 данные следует взять из колонки 3. Таким образом, исходные данные для каждой задачи следует взять из этих двух таблиц согласно своему варианту.

**Индивидуальные домашние задания, выполненные не по варианту, на проверку не принимаются.**

Требования к оформлению индивидуального задания размещены на сайте ИДО в разделе **СТУДЕНТУ→ДОКУМЕНТЫ** (<http://portal.tpu.ru/ido-tpu>).

### 4.2. Задачи

1. Студент ТПУ Алексей Егоров налил в чайник 1,2 литра холодной воды температурой  $T_0$  (°C) и включил его. Напряжение в розетке было  $U$  (дБ), а протекающий ток по нагревательному элементу чайника составил  $I$  (Нп). Через какое время вода в чайнике закипит (достижение

температуры воды  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), если принять теплоемкость воды  $4,21\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ , коэффициент мощности  $\cos\varphi = 0,83$ , КПД чайника принять равным  $0,98$ . При нагревании испарилось  $m$  (г) воды. Теплоту парообразования принять  $2250\text{ кДж}/\text{кг}$ .

2. При касании пальцем интегральной схемы, лежащей на столе, произошел разряд статического электричества с тела человека. Какой потенциал получит интегральная схема, если тело человека имело потенциал  $U_{и}$ ? Емкость тела человека  $C_{и} = 145\text{ пФ}$ , а емкость интегральной микросхемы  $C_3$ . Токами утечки и падением напряжения на искре пренебречь.

3. При ударе молнии в молниеотвод в двухпроводной линии, находящейся вблизи от канала разряда молнии, возникает напряжение помехи. До какой величины поднимется потенциал сигнальной линии  $U_{st}$ , если максимальный потенциал канала разряда молнии принять  $98\text{ кВ}$  (рис. 1)?

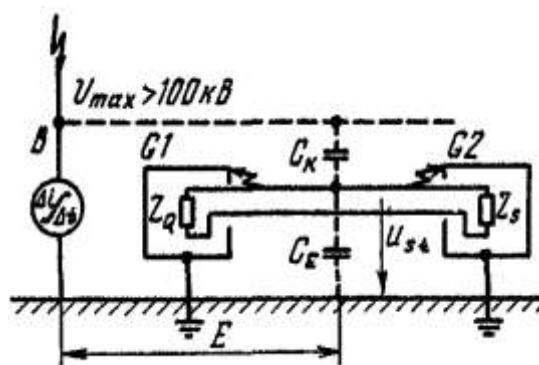


Рис. 1. Емкостное влияние молнии на линию:  $B$  – канал разряда молнии;  $G_1, G_2$  – приборы;  $C_k$  – емкости связи сигнальной линии относительно канала разряда;  $C_E$  – емкости связи сигнальной линии относительно земли

4. При касании пальцем проводящего заземленного корпуса прибора  $G$  возникает разряд статического электричества (рис. 2). При этом в контуре, находящемся внутри прибора и удаленном от проводника с током разряда  $i_{ESD}$  на среднее расстояние  $r_0$ , индуцируется напряжение помехи  $U_{st}$ . Чему равно напряжение помехи  $U_{st}$ , если скорость изменения тока во времени  $6\text{ А}/\text{нс}$ ?

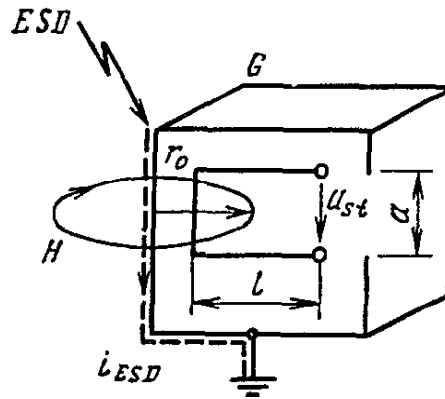


Рис. 2. Индуктивное влияние разряда статического электричества  $ESD$  на контур внутри прибора  $G$

5. Вычислить напряженность электрического поля за экраном, если перед экраном она равна  $E$  (кВ/м), а коэффициент экранирования равен  $a_s$  (Нп).

6. Определить напряжение помехи  $U_{st}$  возникающее вследствие гальванического влияния при ударе молнии в молниеотвод через разомкнутую петлю заземлений, в соответствии с рис. 3. Величину  $Z_L$  принять равной  $8 + j4000$  Ом, а  $Z_C = 4 - j3000$  Ом.

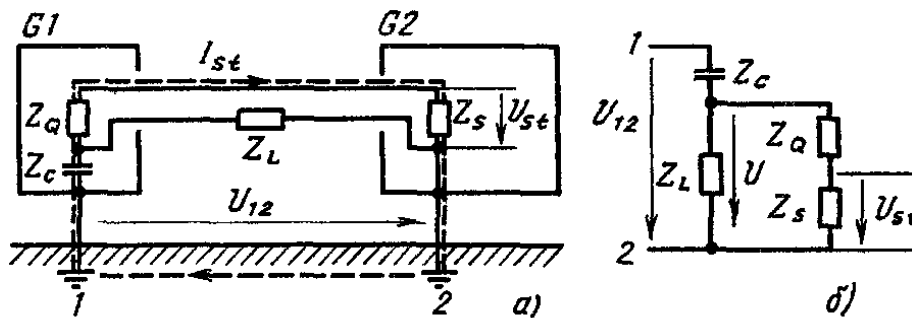


Рис. 3. Гальваническое влияние через разомкнутую петлю заземлений:  $a$  – схема устройства;  $b$  – схема, поясняющая формирование напряжения помехи  $U_{st}$

7. Определить коэффициент затухания сигнала частотой  $f$  (МГц) в Т-фильтре (рис. 4). Принять величину ёмкости равной  $C$  (мкф), величины индуктивностей  $L_1 = L_2 = 1$  мкГн. Принять активные сопротивления конденсатора и катушек индуктивностей равным  $R$  (Ом),  $Z_Q = Z_S = 75$  Ом.

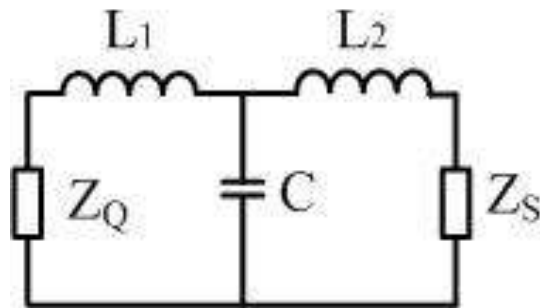


Рис. 4. Помехоподавляющий С-фильтр

8. Определить коэффициент затухания сигнала частотой  $f$  (МГц) в П-фильтре (рис. 5). Принять величину индуктивности  $L$  (мкГн), величины ёмкостей  $C$  (мкф), активные сопротивления конденсаторов и катушки индуктивности принять равным  $0,05 \text{ Ом}$ ,  $Z_Q = Z_S = 10 \text{ кОм}$ .

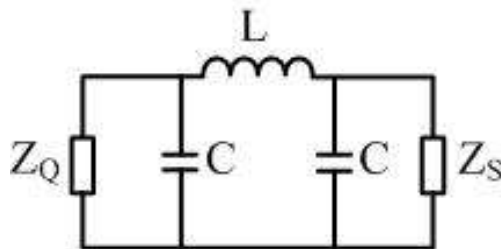


Рис. 5. Помехоподавляющий L-фильтр

9. Определить напряжения помехи  $U_{st1}$  и  $U_{st2}$ , индуцируемые магнитным полем канала молнии в контурах двухпроводной линии. Принять  $r_0 = 30 \text{ м}$ ,  $l = 26 \text{ м}$ ,  $\Delta I / \Delta t = 200 \text{ кА/мкс}$  (рис. 6).

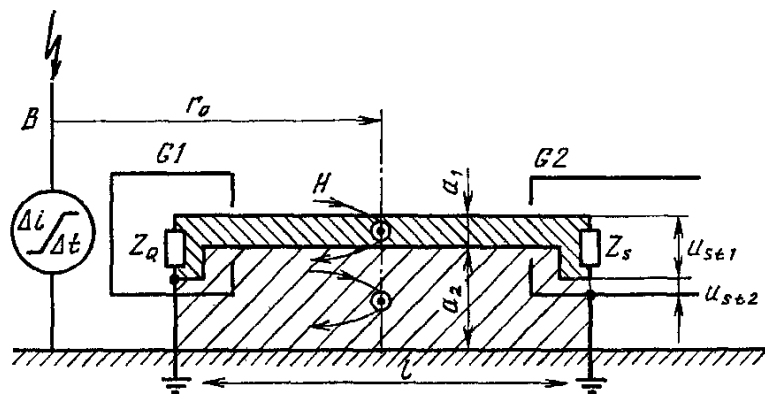


Рис. 6. Индуктивное влияние тока молнии на электрические контуры в устройстве автоматизации:  
 $B$  – канал молнии;  $G_1, G_2$  – приборы устройства

10. Вычислить максимальное напряжение  $U_{\max}$  на контактах выключателя, возникающее при размыкании контура выключателем в котором протекает ток. Принять значения тока, протекающего в контуре до момента отключения равным 5 А, индуктивность контура принять равной  $L$ , а величину паразитной ёмкости принять равной  $C$ . Потери энергии не учитывать (рис. 7).

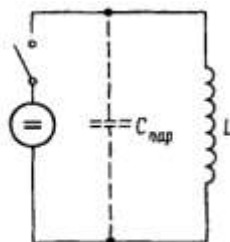


Рис. 7. Схема контура, содержащего индуктивность  $L$  и паразитную емкость  $C_{\text{пар}}$

Таблица 1

Исходные данные для задач  
(строка – номер задачи, столбец – номер варианта,  
последняя цифра зачетной книжки)

№		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$U$ , дБ	163	164	163,5	165	166	164	167	166,5	166,8	166,5
	$I$ , Нп	15,6	15,5	15,5	15,4	15,45	15,3	15,2	15,3	15,3	15,5
2	$U_{\text{и}}$ , кВ	5,5	4,5	5,2	4,9	4,1	4,8	5,0	6,8	6,6	4,8
3	$C_{\text{к}}$ , мкФ	12	10	15	11	18	12	17	16	13	14
4	$r_0$ , см	5	5,5	4	4,5	6	4,3	5,8	5,1	4,9	4,8
5	$E$ , кВ/м	20	21	22	30	34	18	35	41	39	50
6	$Z_S$ , Ом	1000	1200	1300	900	950	1100	1500	950	1050	850
	$Z_Q$ , Ом	950	850	1100	850	1000	1200	1300	1400	1630	1500
7	$f$ , кГц	70	30	80	110	50	200	130	95	150	105
	$C$ , мкф	20	25	15	10	30	8	12	32	24	32
8	$C$ , мкФ	5	10	3	4	7	2	8	6	5,5	3,5
9	$a_1$ , мм	2	2,5	2,7	2,2	3,5	3,3	4,2	3,6	2,1	2,8
10	$C$ , нФ	3	1,5	4	2,5	2	3,5	5	6	7	6,5

Таблица 2

Исходные данные для задач  
(строка – номер задачи, столбец – номер варианта,  
предпоследняя цифра зачетной книжки)

№		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$T_0, ^\circ\text{C}$	11	10	10,5	12	14,5	13,2	12,5	15,5	18,6	16,7
	$m, \text{г}$	5,5	6,7	7,4	8,8	6,5	8,0	5,7	3,8	7,5	9,9
2	$C_3, \text{пкФ}$	20	18	19	17	15	12	25	23	22	8,7
3	$C_E, \text{мкФ}$	1600	1500	1550	1700	1600	1650	1800	2000	1660	1900
4	$a, \text{см}$	0,8	0,9	1,2	1,3	0,7	1,8	1,7	1,6	1,4	1,5
	$l, \text{см}$	1,5	1,2	1,4	1,1	0,9	0,8	1,3	1,6	1,0	1,8
5	$a_s, \text{Нп}$	5	5,5	3,9	4,5	5,3	3,3	4,9	5,9	7,6	6,2
6	$U_{12}, \text{кВ}$	3	2	2,2	2,3	2,5	2,8	2,1	2,6	2,9	2,7
7	$R, \text{Ом}$	0.2	0.3	0.1	0.25	0.3	0.08	0.4	0.06	0.05	0.15
8	$f, \text{МГц}$	20	50	30	80	100	40	120	90	60	70
	$L, \text{мкГн}$	4,7	5,6	2,2	1,5	2,7	8,2	3,3	1,8	3,9	6,8
9	$a_2, \text{см}$	60	55	56	65	58	62	63	68	54	70
10	$L, \text{мкГн}$	1,2	3.8	4,3	2.5	1,5	3,5	3,3	4,2	2.9	2.2

## 5. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ

После завершения изучения дисциплины студенты сдают зачет.

К зачету допускаются только те студенты, у которых зачтено индивидуальное задание и лабораторные работы.

Образец экзаменационного билета для студентов, приведен в п. 5.2.

### 5.1. Вопросы для подготовки к зачету

1. Логарифмические относительные характеристики. Уровни помех.
2. Степень передачи. Помехоподавление.
3. Узкополосные и широкополосные процессы.
4. Противофазные и синфазные помехи.
5. Земля и масса.
6. Способы описания и основные параметры помех.
7. Представление периодических функций времени в частотной области. Ряд Фурье.
8. Представление непериодических функций времени в частотной области. Интеграл Фурье.
9. Возможные диапазоны значений электромагнитных помех.
10. Спектры некоторых периодических и импульсных процессов.
11. Учет путей передачи и приемников электромагнитных помех.
12. Классификация источников помех.
13. Источники узкополосных помех.
14. Влияние на сеть.
15. Автомобильные устройства зажигания.
16. Газоразрядные лампы.
17. Коллекторные двигатели.
18. Разряды статического электричества.
19. Коронный разряд на воздушных линиях высокого напряжения.
20. Коммутация тока в индуктивных цепях.
21. Переходные процессы в сетях высокого напряжения.
22. Электромагнитный импульс молнии.
23. Электромагнитный импульс ядерного взрыва.
24. Классификация окружающей среды по помехам, связанным с проводами.
25. Классификация окружающей среды по помехам, вызванным электромагнитным излучением.
26. Гальваническое влияние через цепи питания и сигнальные контуры.
27. Гальваническое влияние по контурам заземления.





28. Емкостное влияние. Гальванически разделенные контуры.
29. Емкостное влияние. Контуры с общим проводом системы опорного потенциала.
30. Емкостное влияние. Токовые контуры с большой емкостью относительно земли.
31. Емкостное влияние молнии.
32. Индуктивное влияние.
33. Воздействие электромагнитного излучения.
34. Фильтры. Принцип действия.
35. Фильтровые элементы.
36. Сетевые фильтры.
37. Ограничители перенапряжений. Принцип действия.
38. Защитные элементы.
39. Экранирование. Принцип действия экранов.
40. Материалы для изготовления экранов.
41. Экранирование приборов и помещений.
42. Экраны кабелей.
43. Разделительные элементы.
44. Основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки. Исходные данные и состав работ по определению ЭМО на объекте.
45. Воздействие на кабели систем релейной защиты и технологического управления токов и напряжений промышленной частоты.
46. Импульсные помехи, обусловленные переходными процессами в цепях высокого напряжения при коммутациях и коротких замыканиях.
47. Импульсные помехи при ударах молнии.
48. Определение электромагнитной обстановки. Электромагнитные поля радиочастотного диапазона.
49. Определение электромагнитной обстановки. Разряды статического электричества.
50. Определение электромагнитной обстановки. Магнитные поля промышленной частоты.
51. Помехи, связанные с возмущениями в цепях питания низкого напряжения.
52. Влияние гармоник на системы электроснабжения. Элементы систем электроснабжения.
53. Влияние гармоник на измерение мощности и энергии.
54. Ограничение уровней гармоник напряжений и токов.
55. Механизмы воздействия электрических и магнитных полей на живые организмы.



56. Нормирование безопасных для человека напряженностей электрических и магнитных полей. Нормативная база за рубежом и в РФ.

57. Нормирование условий работы персонала и проживания людей в зоне влияния ПС и ВЛ сверхвысокого напряжения.

58. Экологическое влияние коронного разряда. Радиопомехи.

59. Нормативная база на радиопомехи и акустические шумы.

60. Влияния линий электропередачи на линии связи.

## 5.2. Образец экзаменационного билета

В данном разделе приведен образец зачетного (экзаменационного) билета для студентов, сдающих экзамен в очной форме, во время сессии в Томске. Билет содержит два теоретических вопроса.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт дистанционного образования

**БИЛЕТ № 1**

по дисциплине «Электромагнитная совместимость»

1. Способы описания и основные параметры помех.
2. Влияние гармоник на измерение мощности и энергии.

Зав. кафедрой ЭЭС  
к.т.н., доцент

Ю.С. Боровиков



## **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Обязательная литература**

1. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учеб. пособие / Н.Н. Харлов; Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 208 с.
2. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость: Основы ее обеспечения в технике / Э. Хабигер; под ред. Б. К. Максимова; пер. с нем. И.П. Кужекина. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 304 с.
3. Шваб А. Электромагнитная совместимость / А. Шваб; под ред. И.П. Кужекина; пер. с нем. В.Д. Мазина и С.А. Спектора. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 480 с.
4. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике./ А.Ф. Дьяков [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 768 с.
5. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: метод. указ. / Н.Н. Харлов, Д.В. Тихонов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 32 с.
6. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике / под ред. А.Ф. Дьякова. – М.: Энергоатомиздат, 2009. – 455 с.
7. Жгун Д.В. Электромагнитная совместимость высоковольтной техники: учеб. пособие / Д.В. Жгун. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 150 с.

### **6.2. Дополнительная литература**

8. Гармоники в электрических системах: пер. с англ. / Дж. Аррилага, Д. Брэдли, П. Боджер. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с., ил.
9. Кармашев В.С. Электромагнитная совместимость технических средств: справочник / В.С. Кармашев. – М.; 2001.
10. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И.В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 1994.

### **6.3. Интернет-ресурсы**

11. Харлов Н.Н. Тихонов Д.В. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике [Электронный ресурс]: метод. указ. / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – Режим доступа: [http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/d/DV\\_DIMA/Uchebnaya/Tab2](http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/d/DV_DIMA/Uchebnaya/Tab2), свободный.





Учебное издание

## **ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ**

Методические указания и индивидуальные задания

*Составитель*

**ТИХОНОВ Дмитрий Владимирович**

*Рецензент*

*к. т. н., доцент*

*К.И. Заповодников*

*Компьютерная верстка О.В. Нарожная*

Подписано к печати . Формат 60×84/16. Бумага «Снегурочка»

Печать Херох. Усл.печ.л. 1,63. Уч.-изд.л. 1,47.


Заказ . Тираж экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества

Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)

