

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Ставропольский государственный аграрный университет»

*Кафедра теоретических
основ электротехники*

А. Ф. Шаталов, М. А. Мастепаненко, Воротников И. Н.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Ставрополь
«АГРУС»
2015

УДК 537.86/87:621.31
ББК 32.86-01:31.2

Авторский коллектив:

А. Ф. Шаталов, М. А. Мастепаненко, Воротников И. Н.

Рецензенты:

доцент кафедры Э и ЭЭО ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет»

В.Н. Шемякин

Доцент кафедры автоматики, электроники и метрологии кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Ш. Ж. Габриелян

Электромагнитная совместимость : учебное пособие / А. Ф. Шаталов, М. А. Мастепаненко, И. Н. Воротников ; Ставропольского гос. аграрного ун-та. – Ставрополь, 2015. – 37 с.

Методические указания к выполнению домашних и контрольных работ по дисциплине **ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ**.

Учебное пособие подготовлено в соответствии с основной образовательной программой подготовки бакалавра по направлениям 140400 «Электроэнергетика и электротехника» и 110800 «Агроинженерия».

Курс рассчитан на студентов всех форм обучения.

УДК 537.86/87:621.31
ББК 32.86-01:31.2

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из основных видов занятий по курсу «Электромагнитная совместимость в электроэнергетике» является выполнение контрольных работ (домашнего задания). Предлагаемые в настоящем пособии задания охватывают основной материал курса и соответствуют Государственному образовательному стандарту по плану 2003 года ОПД. Ф. 09.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТ

Целью контрольных работ (домашнего задания) является окончательная проверка усвоения студентами разделов курса. Приступать к выполнению работ следует после изучения соответствующего материала. При выполнении каждой задачи необходимо приводить задание с численными значениями, чертежи и схемы выполнять с принятыми буквенными обозначениями. В контрольной работе необходимо указать расчетные формулы, а конечный результат выделить из основного текста. Этапы выполнения должны иметь соответствующие пояснения. Вычисления возможно осуществлять с помощью микрокалькулятора или посредством пакетов математических программ на компьютере, подтверждая расчеты распечатками. Обязательно приведение размерности полученных результатов. Вывод формул в тексте не проводится.

Титульный лист работы содержит название института, кафедры фамилию, имя и отчество студента, шифр, соответствующий варианту (см. пример).

Общие требования к выполнению работы и оформлению отчета

1. Отчет по работе оформляется на листах формата А4, на одной стороне листа. На первом (титульном листе) указывается название университета, кафедры, предмета, название (тема) КР, номер варианта и год выполнения работы. Также указывается Ф.И.О. преподавателя, группа, Ф.И.О. студента. Отчет может быть как рукописным, так и машинописным.

2. Отчет должен содержать:

- полный текст задания;
- описательную часть поставленной задачи;
- расчетную схему фильтра;
- все промежуточные результаты расчетов с указанием единиц измерения;
- графические результаты расчетов (АЧХ);
- выводы по работе.

3. Расчет производится в комплексных величинах, обязательно указывать единицы измерений.

4. При использовании дополнительной литературы указать ссылки и привести список литературы.

ВВЕДЕНИЕ

Электромагнитная совместимость (ЭМС) является современным понятием, объединяющим электромагнитные явления, такие как радиопомехи, влияния на сеть, перенапряжения, колебания напряжения сети, паразитные связи, фон промышленной частоты и т.д. В последнее время вопросы ЭМС благодаря применению микроэлектроники в системах автоматизации, а также из-за повсеместного увеличивающегося электромагнитного загрязнения окружающей среды приобрели особое значение.

По своему содержанию дисциплина объединяет изучение способов и средств борьбы с радиопомехами; вопросы нормального функционирования электронных систем и коммуникаций, систем автоматики, сетей и промышленных предприятий. Изучение дисциплины "Электромагнитная совместимость в электроэнергетике" предусматривает рассмотрение следующих тем:

- электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики;
- источники помех;
- чувствительные к помехам элементы;
- каналы передачи помех;
- уровни помех;
- помехоустойчивость;
- методы испытаний и сертификации элементов вторичных цепей на помехоустойчивость;
- влияние полей, создаваемых устройствами электроэнергетики на биологические объекты;
- нормы по допустимым напряженностям электрических и магнитных полей промышленной частоты для персонала и населения, Закон РФ об электромагнитной совместимости.

В настоящем указании приведена в конспективном порядке теория, касающаяся представления импульсных помех в частотной области, определения формы импульсной помехи по ее спектральной плотности распределения амплитуд, оценки уровней напряженности электрического и магнитного полей по методу Щелкунова (метод полных

сопротивлений), в пространстве экрана. Кроме этого в указаниях приведены задания к выполнению контрольных и домашних работ.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ № 1

1. УРОВЕНЬ ПОМЕХ И КОЭФФИЦИЕНТ ЭКРАНИ- РОВАНИЯ

Для количественной оценки электромагнитной совместимости пользуются логарифмическими масштабами электрических и магнитных величин. Различают логарифм отношения уровней и степени передачи помехи.

Применяя десятичный логарифм, определим в децибелах напряжение, ток, напряженность полей, мощность, принимая базовыми величинами, соответственно $U_0=1$ мкВ, $I_0=1$ мкА, $E_0=1$ мкВ/м, $H_0=1$ мкА/м, $P_0=1$ пВт:

$$u = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_x}{U_0}\right), \quad i = 20 \cdot \lg\left(\frac{I_x}{I_0}\right), \quad e = 20 \cdot \lg\left(\frac{E_x}{E_0}\right), \quad H = 20 \cdot \lg\left(\frac{H_x}{H_0}\right),$$
$$P = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_x}{P_0}\right). \quad (1.1)$$

Применяя натуральный логарифм, можно принимая те же базовые значения определить аналогичным образом отношение величин в неперах ($1 \text{ Нп}=8,686 \text{ дБ}$).

Уровнем помех называют относительное значение помехи, при этом предел ее допустимых уровней определяют в стандартах DIN/VDE, ГОСТ, ОСТ.

2. ОПИСАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЛИЯНИЙ

Описание электромагнитных влияний осуществляют в частотных и временных областях. Поскольку передаточные свойства путей связи и средств помехоподавления удобно представлять в частотной области, то для перехода из временной в частотную область используют ряды и интегралы Фурье.

Для быстрой практической реализации преобразования Фурье используют ЭМС - номограмму. Она позволяет построить огибающую плотности распределения амплитуд, синтезировать импульс, эквивалентный помехе, учесть частотно зависимые свойства пути и канала передачи помех, а также средств защиты от помех (фильтров, экранов).

Для трапециевидного импульса, который описывает большинство импульсных помех плотность распределения амплитуд определяется выражением:

$$U(f) = 2U_m \tau \frac{\sin \pi f \tau}{\pi f \tau} \frac{\sin \pi f \tau_k}{\pi f \tau_k}.$$

При $\tau_k=0$ трапециевидный импульс преобразуется в прямоугольный, а при $\tau=0$ в треугольный, что соответствует молниевым разрядам, переходным процессам, разрядам статического электричества, импульсам, используемым в цифровой технике.

ЭМС - номограмма базируется на аппроксимации огибающей плотности распределения амплитудной плотности тремя отрезками прямой.

Для низкочастотного диапазона $f < f_H$ ($f_H = 1/\pi\tau$) огибающая параллельна оси абсцисс, так как синус приблизительно равен своему аргументу:

$$U(f) = 2U_m\tau = const.$$

Плотность распределения амплитуд гармоник (в дБ) зависит исключительно от площади импульса:

$$U(f)_{дб} = 20\lg\left(\frac{2U_m\tau}{A_0}\right), \text{ где } A_0=1 \text{ мкВ}\cdot\text{с} \quad (2.1)$$

Для среднечастотного диапазона $1/\pi\tau < f < 1/\pi\tau_k$:

$$U(f) = \frac{2U_m\tau}{\pi f\tau} = \frac{2U_m}{\pi f},$$

то есть спад амплитуды с частотой составляет 20 дБ/декаду:

$$u(f)_{дб} = 20\lg \frac{2U_m}{\pi f A_0}. \quad (2.2)$$

В высокочастотном диапазоне $f > f_B$ ($f_B = 1/\pi\tau_k$)

$$U(f) = 2U_m\tau \frac{1}{\pi f\tau} \frac{1}{\pi f\tau_k},$$

или

$$u(f)_{дб} = 20\lg \frac{2U_m}{\pi^2 f^2 \tau_k A_0}, \quad (2.3)$$

то есть 40 дБ/декаду.

Для перехода из частотной во временную область необходимо найти площадь импульса:

$$U_m \tau = \frac{1}{2} 10^{\frac{u(f)_{Дб}}{20}} \text{ мкВ} \cdot \text{с}, \quad (2.4)$$

плотность распределения амплитуд импульса:

$$U = \frac{\pi f_H}{2} 10^{\frac{U(f_H)_{Дб}}{20}} \text{ мкВ}, \quad (2.5)$$

крутизну фронта нарастания импульса:

$$U_m / \tau_k = \frac{\pi^2 f_B^2}{2} 10^{U(f_B)^2_{Дб}/2} \text{ мкВ/с}. \quad (2.6)$$

Длительность импульса определится из соотношения:

$$\tau = 1 / \pi f_H. \quad (2.7)$$

Время нарастания импульса:

$$\tau_k = 1 / \pi f_B. \quad (2.8)$$

3. МЕТОД ПОЛНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Помехоподавление экрана характеризует степень его защитного действия, оно чаще всего указывается в функции частоты в децибелах или неперах это, так называемый, коэффициент экранирования:

$$\mathfrak{A} = 20 \cdot \lg\left(\frac{E_1}{E_2}\right), \quad \mathfrak{A} = 20 \cdot \lg\left(\frac{H_1}{H_2}\right).$$

Величины E и H в случае переменного электромагнитного поля связаны между собой посредством волнового сопротивления среды \underline{Z} :

$$E/H = \underline{Z} = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}{\mu \cdot \mu_0}}. \quad (3.1)$$

Аналитический расчет экранирующего действия электромагнитных экранов требует решения уравнений Максвелла для областей внутри и вне экрана, а также в самой его стенке. Однако, этот метод математически трудоемок, поэтому и не получил широкого распространения.

Для быстрых практических оценок Щелкунов разработал простой способ определения коэффициента затухания, который основан на аналогии с распространением электромагнитных волн в электрически длинных двухпроводных линиях. Эти волны являются распространяющимися вдоль проводящих линий ТЕМ-волнами (электромагнитные волны с векторами напряженностей электрического и магнитного полей E и H , ориентированными перпендикулярно к направлению распространения), так что разработанные для них формальные методы нетрудно пе-

ренести на плоские волны в свободном пространстве. Необходимо просто заменить в уравнениях комплексные амплитуды входного и выходного напряжения, входного и выходного тока комплексными напряженностями электрического и магнитного полей.

Общий коэффициент затухания электромагнитного экрана состоит из коэффициента затухания вследствие отражения на граничных плоскостях **P**, коэффициента затухания из-за поглощения в стенке экрана **Π** (переход энергии электромагнитного поля в тепло), корректирующего коэффициента **B**, учитывающего многократные волны отражения внутри экрана:

$$\mathbf{\Xi} = \mathbf{P} + \mathbf{\Pi} + \mathbf{B}. \quad (3.2)$$

Рассмотрим расчет каждого из компонентов в отдельности.

Коэффициент затухания вследствие отражения. Этот коэффициент состоит из двух составляющих, они обусловлены двумя граничными плоскостями - снаружи и внутри экрана. При условии, что волновое сопротивление внешней области $Z_{ВШ}$ значительно больше волнового сопротивления материала стенки экрана Z_{Ξ} большая часть энергии, приходящейся на граничную плоскость снаружи экрана отражается обратно к источнику. Отношение напряженностей электромагнитного поля падающей и прошедшей волн определяется формулой:

$$\frac{E_{ВШ}}{E_{\XiВШ}} = \frac{(Z_{ВШ} + Z_{\Xi})}{2 \cdot Z_{\Xi}}. \quad (3.3)$$

Аналогичным образом это отношение определится и на внутренней стенке экрана - на внутреннем погранич-

ном слое. Суммарное влияние отражения можно получить из соотношения:

$$\frac{E_{BII}}{E_{BH}} = \frac{(Z_{BII} + Z_{\mathcal{O}})^2}{4 \cdot (Z_{\mathcal{O}} + Z_{BII})}. \quad (3.4)$$

Введя обозначение $K = Z_{BII}/Z_{\mathcal{O}}$ эта формула принимает вид:

$$\frac{E_{BII}}{E_{BH}} = \frac{(1 + K)^2}{4 \cdot K}. \quad (3.5)$$

Переходя к логарифмическим характеристикам получаем выражение для коэффициента затухания вследствие отражения:

$$P_{\partial B} = 20 \cdot \lg \frac{|(1 + K)^2|}{4 \cdot |K|}, \quad (3.6)$$

для его определения необходимо знать волновые сопротивления.

Волновое сопротивление в пространстве источника помехи для дальней зоны:

$$Z_{BII} = Z_0 = 377 \text{ Ом}, \quad (3.7)$$

для ближней зоны в высокоомных полях:

$$Z_{BII} = Z_0 \cdot \frac{\lambda}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{0.018}{r \cdot f}, \quad (3.8)$$

В НИЗКООМНЫХ ПОЛЯХ:

$$Z_{ВШ} = Z_0 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} = 7.9 \cdot 10^{-6} \cdot r \cdot f . \quad (3.9)$$

Волновое сопротивление стенки экрана:

$$Z_{\mathcal{E}} = \sqrt{\frac{i \cdot \varpi \cdot \mu}{(\sigma + i \cdot \varpi \cdot \varepsilon)}} , \quad (3.10)$$

а при условии, что толщина стенки больше глубины проникновения:

$$Z_{\mathcal{E}} = \sqrt{\frac{i \cdot \varpi \cdot \mu}{\sigma}} . \quad (3.11)$$

Выразим коэффициенты затухания вследствие отражения через параметры материала экрана и частоту:

1) дальняя зона:

$$P_{\partial Б} = 108 - 10 \cdot \lg \frac{\mu \cdot f}{\sigma_r} , \quad (3.12)$$

2) электрическое поле в ближней зоне:

$$P_{\partial Б} = 142 - 10 \cdot \lg \frac{\mu \cdot f^3 \cdot r^2}{\sigma_r} , \quad (3.13)$$

3) магнитное поле в ближней зоне:

$$P_{\partial Б} = 75 - 10 \cdot \lg \frac{\mu}{f \cdot \sigma_r \cdot r^2} , \quad (3.14)$$

где r - расстояние от источника помехи, м;
 f - частота, МГц;

σ_r - относительная удельная электропроводность, за базовую принята электропроводность меди:

$$\sigma_r = \frac{\sigma}{5.8 \cdot 10^7} . \quad (3.15)$$

Коэффициенты затухания вследствие поглощения Π описывают экспоненциальное ослабление падающей волны при прохождении стенки экрана толщиной d :

$$\frac{E_{ЭВШ}}{E_{ЭВН}} = e^{\alpha \cdot d} . \quad (3.16)$$

В логарифмических величинах получаем:

$$\Pi_{дБ} = 20 \cdot \lg \frac{E_{ЭВШ}}{E_{ЭВН}} . \quad (3.17)$$

Учитывая, что $\alpha = \sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma}$ получаем для коэффициента затухания вследствие поглощения:

$$\Pi_{дБ} = 1314 d \cdot \sqrt{f \cdot \mu \cdot \sigma_r} , \quad (3.18)$$

где μ и σ_r - относительная магнитная проницаемость и относительная удельная электропроводность соответственно, частота f выражена в МГц.

Коррекция коэффициента затухания при многократном отражении В волне в стенке экрана осуществляется на основании формулы:

$$B_{дБ} = 20 \cdot \lg \left| 1 - \frac{(K-1)^2}{(K+1)^2} \cdot e^{2 \cdot \gamma \cdot d} \right| , \quad (3.19)$$

где $\gamma = (1+i) \cdot \sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma}$ - комплексный коэффициент распространения.

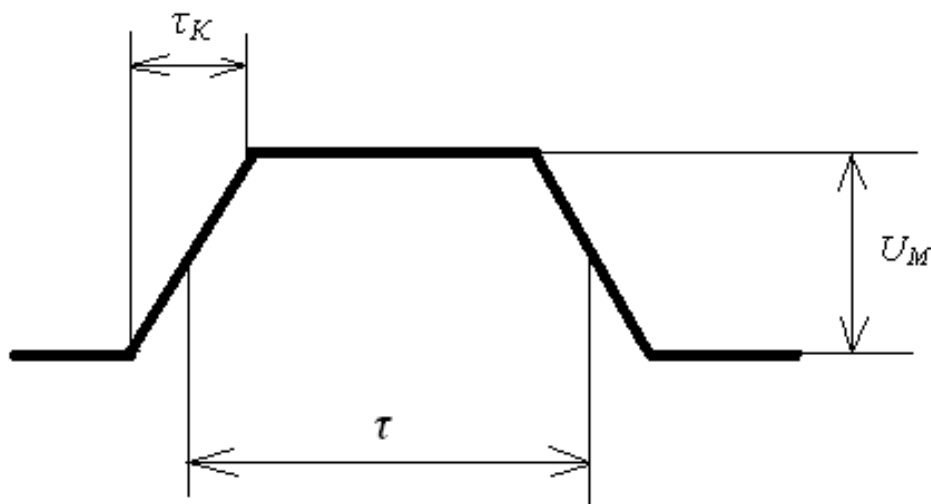


Рисунок 2 – Трапецивидный импульс

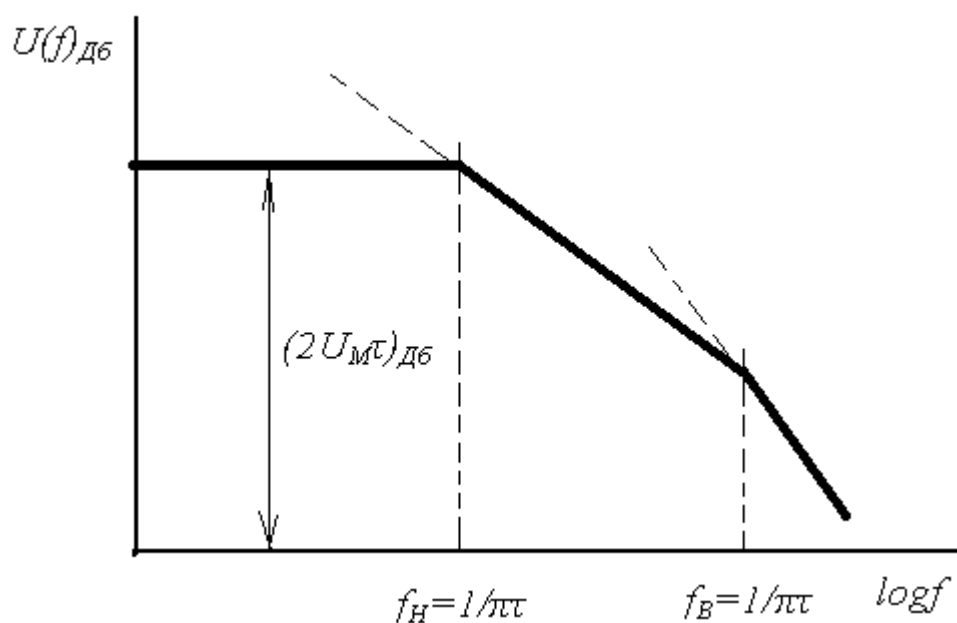


Рисунок 3 – Огибающая «физической» плотности распределения амплитуд трапецивидного импульса (линейная аппроксимация).

4. ЗАДАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ

1. Дан импульс трапецивидной формы рис. 2, амплитудой U_m , длительностью τ и временем нарастания τ_k . Параметры импульса указаны в таблице 1.

Требуется:

а) аппроксимировать тремя отрезками прямых огибающую спектральной плотности распределения амплитуд;

б) найти эффективную ширину Π полосы частот импульса;

в) определить огибающую спектральной плотности распределения амплитуд по прохождении импульса через канал передачи, имеющий амплитудно-частотную характеристику $A(f)_{дб}$, представленную на рисунке 4, где a коэффициент затухания;

г) найти амплитуду U_m , длительность τ , время нарастания τ_k , крутизну фронта U_m/τ_k импульса по данным спектральной плотности распределения амплитуд, полученной в пункте в). Построить этот импульс в системе координат U, t .

2. Даны параметры плоского экрана: относительные электрическая ϵ и магнитная μ проницаемости, проводимость σ , толщина d . Известна частота излучения f , напряженности электрического E и магнитного H полей вне экрана. Данные приведены в таблице 2.

Требуется:

а) рассчитать по методу полных сопротивлений коэффициенты затухания электромагнитного экрана в ближней зоне на расстоянии равном половине её максимального диаметра, в дальней зоне;

б) определить величины напряженностей электрического и магнитного полей внутри экрана для ближней и дальней зон.

3. Ответить на контрольный вопрос, данный в таблице 2.

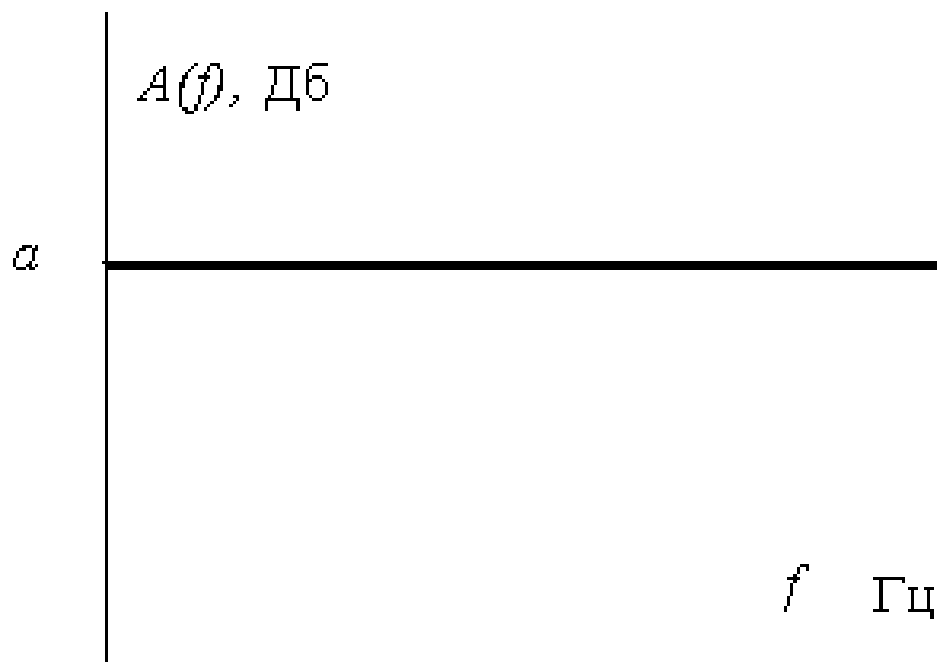


Рисунок 4 – Амплитудно-частотная характеристика канала передачи помех.

Таблица 1 – Параметры импульсной помехи

№ варианта	U_M, В	τ, мс	τ_K, мс	a, Дб	№ варианта	U_M, В	τ, мс	τ_K, мс	a, Дб
1	1	10	0	10	26	3.2	10	10	30
2	2	20	0	15	27	2.2	20	20	25
3	3	10	1	20	28	1.8	15	15	10
4	4	20	1	25	29	2.75	7	7	20
5	5	10	0	30	30	3.75	7	1	30
6	6	25	0	30	31	4.25	8	2	40
7	7	10	5	60	32	6.25	9	3	50
8	8	20	5	65	33	6.75	10	2	50
9	9	10	10	65	34	3.2	11	1	35
10	10	20	20	80	35	2.3	12	12	15
11	2.5	15	5	30	36	9.1	13	5	60
12	1.5	1	0.1	15	37	7.75	14	4	50
13	4.5	4	0.2	60	38	0.75	15	3	10
14	8.5	10	1	60	39	0.5	16	2	10
15	10.5	15	5	90	40	1.2	17	1	15
16	7.5	1	0.1	80	41	1.75	18	18	15
17	6.5	2	0.2	50	42	1.25	19	9	10
18	5.5	5	0.1	40	43	2.7	20	8	30
19	1.5	10	3	10	44	6.7	21	7	60
20	3.5	7	3	35	45	7.7	22	6	70
21	1.25	8	2	20	46	9.75	23	5	75
22	2.25	15	2	40	47	7.25	24	4	60
23	3.25	20	5	50	48	5.25	25	3	30
24	4.25	20	1	50	49	4.25	26	2	30
25	5.25	10	0	50	50	5	27	1	40

Таблица 2 – Варианты заданий к расчету экранирующего действия и контрольные вопросы.

№ варианта	$\sigma \times 10^6$ См/м	μ	d мм	f МГц	$H_{ВШ}$ А/м	$E_{ВШ}$ В/м	№ вопроса
1	0.2	3	4	5	6	7	8
1	0.58	1	1	0.05	-	100	1
2	0.105	1	3	0.006	-	100	2
3	0.06	1	2	0.1	-	100	3
4	0.026	1	1	0.5	-	50	4
5	0.02	200	0.5	0.2	-	100	5
6	0.015	1	5	0.2	-	200	6
7	0.58	1	2	0.1	-	50	7
8	0.105	1	0.5	0.1	-	150	8
9	0.06	1	5	0.04	-	200	9
10	0.026	1	1.5	0.01	-	200	10
11	0.015	1	2	0.1	3	-	11
12	0.58	1	3	0.02	5	-	12
13	0.105	1	4	0.015	1	-	13
14	0.06	1	3	0.03	0.5	-	14
15	0.026	100	2	0.05	2	-	15
16	0.015	1	1	1	4	-	16
17	0.58	1	0.1	0.03	2	-	17
18	0.105	1	0.2	0.07	5	-	18
19	0.06	1	0.3	0.08	3	-	19
20	0.026	120	0.2	0.07	1	-	20
21	0.02	100	0.78	0.8	3	-	21

Продолжение таблицы 2

№ вари-	$\sigma \times 10^6$ См/м	μ	d мм	f МГц	$H_{ВШ}$ А/м	$E_{ВШ}$ В/м	№ вопроса
22	0.002	50	1	0.045	3	-	22
23	0.115	1	0.075	2	2	-	23
24	0.58	1	0.01	0.05	1	-	24
25	0.105	1	0.1	1	2	-	25
26	0.06	1	1	1	3	-	26
27	0.026	100	2	0.02	1	-	27
28	0.2	300	0.5	0.5	1	-	28
29	0.015	1	0.75	0.2	2	-	29
30	0.002	20	0.2	0.35	4	-	30
31	0.58	1	0.1	1	-	10	31
32	0.105	1	0.2	1.5	-	30	32
33	0.06	1	0.25	1	-	80	33
34	0.026	1	0.75	0.75	-	50	34
35	0.02	30	1	0.01	-	150	35
36	0.015	1	0.8	0.075	-	30	36
37	0.02	80	1	0.05	-	100	37
38	0.58	1	1	0.03	-	150	38
39	0.105	1	2	0.1	-	75	39
40	0.06	1	5	0.8	-	60	40
41	0.026	1	0.3	0.75	-	50	41
42	0.02	40	0.55	0.065	-	75	42
43	0.015	1	0.2	1	-	250	43
44	0.002	200	1	0.75	-	200	44
45	0.58	1	0.8	0.9	-	75	45

Продолжение таблицы 2

№ вари-	$\sigma \times 10^6$ См/м	μ	d мм	f МГц	$H_{ВШ}$ А/м	$E_{ВШ}$ В/м	№ вопроса
46	0.105	1	0.01	0.8	-	50	46
47	0.06	1	1	0.75	-	100	47
48	0.026	1	2	2	-	150	48
49	0.02	10	0.1	1	-	100	49
50	0.015	1	1	3	-	120	50

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ № 2

1. АНАЛИЗ ПАССИВНЫХ ЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ

1.1 ЗАДАНИЕ

Для анализа задан тип, порядок и структура пассивного частотного фильтра с определенными номиналами его элементов и сопротивлений генератора Z_Q и нагрузки Z_S .

Состав работы:

1. Объясните принцип работы частотных фильтров, области их применения.
2. Нарисуйте заданную схему фильтра и обозначьте на ней номиналы элементов.
3. Рассчитайте зависимость коэффициента передачи фильтра (в дБ) от частоты.
4. Постройте АЧХ фильтра в диапазоне частот 10 Гц..100 кГц. Масштаб по оси частот – логарифмический.
5. По графику АЧХ фильтра определите и укажите частоту среза, произведите расчет крутизны спада АЧХ в полосе подавления и определите по нему порядок фильтра.
6. Определите частоты, на которых исходный синусоидальный сигнал будет ослаблен фильтром в 100 и 1000 раз.
7. Рассчитайте и постройте АЧХ при заданном изменении номиналов элементов фильтра - при заданном увеличении или уменьшении емкости C или индуктивности L .
8. Сделайте вывод по результатам расчетов, опишите влияние изменения номиналов элементов на характеристики фильтра.

1.2. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

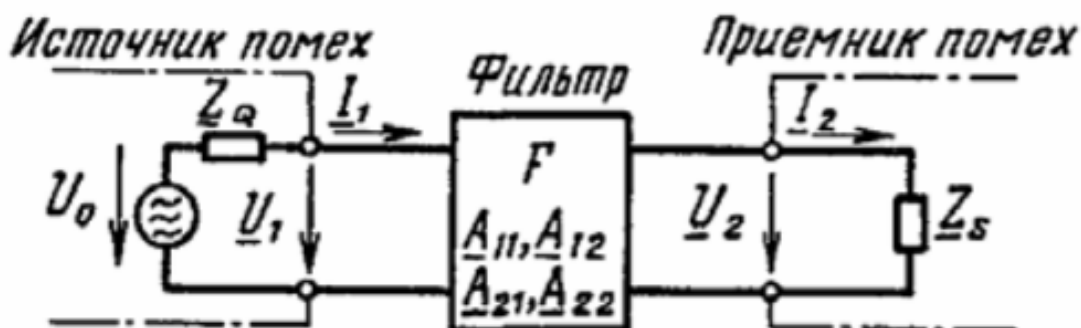
Вар.	Тип фильтра	Порядок/ Структура	Z_Q , Ом	Z_S , Ом	L_1 , мГн	C_1 , нФ	L_2 , мГн	C_2 , нФ	Изменение номиналов
1	ФНЧ	3 / Т	75	75	11,9	4244	11,9	-	0,1*L1
2	ФНЧ	3 / Т	100	100	7,96	1592	7,96	-	10*L1
3	ФНЧ	3 / П	750	750	-	70,7	79,6	70,7	0,1*C1
4	ФНЧ	3 / П	1000	1000	-	39,8	79,6	39,8	10*C1
5	ФНЧ	3 / Т	75	75	2,98	1061	2,98	-	0,2*L2
6	ФНЧ	3 / Т	100	100	5,3	1061	5,3	-	5*L2
7	ФНЧ	3 / П	750	750	-	106,1	119,4	106,1	0,2*C2
8	ФНЧ	3 / П	1000	1000	-	159,1	318,3	159,1	5*C2
9	ФНЧ	2 / Г	75	75	-	3000	16,9	-	0,25*C1
10	ФНЧ	2 / Г	750	750	84,4	150,1	-	-	0,25*L1
11	ФВЧ	3 / Т	75	75	-	707,4	1,99	707,4	0,1*C1
12	ФВЧ	3 / Т	100	100	-	397,8	1,99	397,8	10*C1
13	ФВЧ	3 / П	750	750	23,9	21,2	23,9	-	0,1*L2
14	ФВЧ	3 / П	1000	1000	26,5	13,3	26,5	-	10*L2
15	ФВЧ	3 / Т	75	75	-	356,7	0,995	353,7	0,2*C2
16	ФВЧ	3 / Т	100	100	-	318,3	1,59	318,3	5*C2
17	ФВЧ	3 / П	750	750	29,8	26,5	29,8	-	0,2*L1
18	ФВЧ	3 / П	1000	1000	53,1	26,5	53,1	-	5*L1
19	ФВЧ	2 / Г	75	75	4,22	750,3	-	-	5*C1
20	ФВЧ	2 / Г	750	750	-	150	84,4	-	5*C1
21	ФНЧ	3 / Т	75	75	15,9	5659	15,9	-	0,1*L1
22	ФНЧ	3 / Т	100	100	31,8	6366	31,8	-	10*L1
23	ФНЧ	3 / П	750	750	-	282,9	318,3	282,9	0,1*C1
24	ФНЧ	3 / П	1000	1000	-	159,1	318,3	159,1	10*C1
25	ФВЧ	3 / Т	75	75	-	1061	2,98	1061	0,1*L2
26	ФВЧ	3 / Т	100	100	-	530,5	2,65	530,5	10*L2
27	ФВЧ	3 / П	750	750	17,1	15,16	17,1	-	0,1*C1
28	ФВЧ	3 / П	1000	1000	26,5	13,3	26,5	-	10*C1
29	ФНЧ	2 / Г	75	75	1,69	300,1	-	-	0,1*L1
30	ФНЧ	2 / Г	750	750	-	37,5	21,1	-	10*L2

1.3 УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1.3.1 СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ ФИЛЬТРА

В соответствии с заданием (заданы структура, порядок и тип фильтра) следует составить принципиальную схему фильтра и отметить на ней номиналы ее элементов. Общее правило при составлении схемы фильтра: в ФНЧ индуктивности включены последовательно с сигналом, емкости – на землю, в ФВЧ – наоборот. В качестве сопротивлений генератора и нагрузки используются чисто активные сопротивления. Порядок следования элементов в фильтре определен в задании наличием или отсутствием значений номиналов его элементов.

Для анализа и выполнения расчетов удобно представление фильтра в виде четырехполюсника F :



1.3.2 РАСЧЕТ ФИЛЬТРА

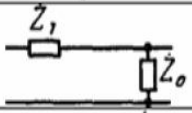
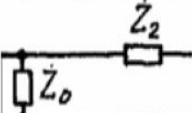
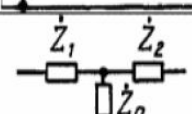
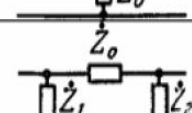
Если представить фильтр в виде четырехполюсника, то его коэффициент пропускания, выраженный в дБ, определяется по выражению:

$$a_e = -20 \lg \left| \frac{Z_s}{Z_Q + Z_s} \dot{A}_{11} + \frac{1}{Z_Q + Z_s} \dot{A}_{12} + \frac{Z_Q Z_s}{Z_Q + Z_s} \dot{A}_{21} + \frac{Z_Q}{Z_Q + Z_s} \dot{A}_{22} \right|, \quad * (1.1)$$

где Z_Q – сопротивление источника (генератора) сигнала, Z_S – сопротивление нагрузки.

* под логарифмом – модуль комплексного числа.

Параметры четырехполюсников, соответствующие структура и порядок используемых в работе фильтров приведены в таблице:

Структура, порядок	Схема	Коэффициент			
		\dot{A}_{11}	\dot{A}_{12}	\dot{A}_{21}	\dot{A}_{22}
Г 2		$1 + \dot{Z}_1 / \dot{Z}_0$	\dot{Z}_1	$1 / \dot{Z}_0$	1
Г 2		1	\dot{Z}_2	$1 / \dot{Z}_0$	$1 + \dot{Z}_2 / \dot{Z}_0$
Т 3		$1 + \dot{Z}_1 / \dot{Z}_0$	$\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \frac{\dot{Z}_1 \dot{Z}_2}{\dot{Z}_0}$	$1 / \dot{Z}_0$	$1 + \dot{Z}_2 / \dot{Z}_0$
П 3		$1 + \dot{Z}_0 / \dot{Z}_2$	\dot{Z}_0	$1 / \dot{Z}_1 + 1 / \dot{Z}_2 + \frac{\dot{Z}_0}{\dot{Z}_1 \dot{Z}_2}$	$1 + \dot{Z}_0 / \dot{Z}_1$

По таблице и соответствующей схеме фильтра следует определить формулы для коэффициентов четырехполюсника A_{11} , A_{12} , A_{21} , A_{22} и подставить их в формулу (1.1).

В качестве комплексных сопротивлений элементов фильтра Z_0 , Z_1 и Z_2 принимаются реактивные сопротив-

ления соответствующих схеме элементов – индуктивностей и емкостей:

$$X_L = j\omega L, X_C = \frac{1}{j\omega C}, \omega = 2\pi f,$$

где f – частота, Гц.

По полученному выражению следует произвести расчет коэффициента пропускания в заданном диапазоне частот. Рекомендуемые для расчета значения частот: 10, 100, 200, 500 Гц, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 кГц.

По рассчитанным значениям коэффициента пропускания строится АЧХ фильтра (масштаб по оси частот – логарифмический), например АЧХ ФНЧ:

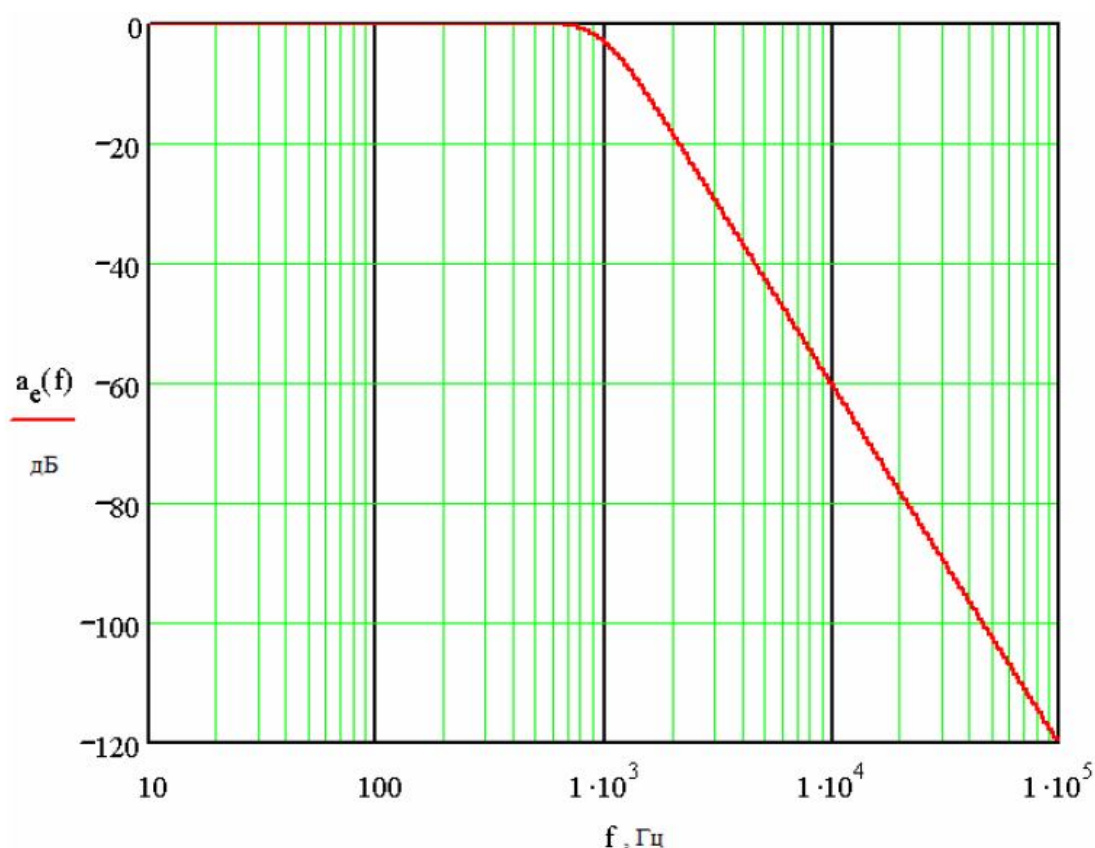


Рисунок 1 - АЧХ фильтра

На полученном графике АЧХ отмечается частота среза, определяемая при отклонении АЧХ на -3 дБ от максимального значения коэффициента пропускания фильтра. Крутизна спада АЧХ определяется на линейном участке

АЧХ в полосе подавления в децибелах (дБ) при двойном изменении частоты (одна октава). Следует соотнести полученную крутизну спада АЧХ с порядком фильтра.

Затем аналогично следует провести расчет АЧХ фильтра при изменении номиналов элементов фильтра – изменении заданной емкости или индуктивности. Полученную при этом АЧХ следует построить на том же графике, где построена исходная АЧХ и описать различия этих АЧХ.

Сделать выводы по работе.

Приложения

1. Титульный лист

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Ставропольский государственный аграрный университет»

Кафедра теоретических основ электротехники

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № ____

по дисциплине Электромагнитная совместимость

Тема: _____

Вариант _____

Выполнил студент гр.

(Фамилия И.О.)

(номер зачетной книжки)

(дата, подпись)

Проверил _____
(должность)

(Фамилия И.О)

(оценка)

(дата, подпись)

Ставрополь 20__ г.

2 .Содержание работ

Контрольная работа должна содержать:

1. Титульный лист
2. Индивидуальное задание
3. Текст решения
4. Заключение.
5. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Охарактеризуйте природу электромагнитных влияний и пути их передачи.
2. Охарактеризуйте источники широкополосных помех.
3. Дайте характеристику источникам узкополосных помех, приведите примеры.
4. Классифицируйте окружающую среду по помехам, связанным с электромагнитным излучением.
5. Механизмы передачи помех через гальваническую связь и способы их ослабления.
6. Передача помех через емкостную и индуктивную связи и методы их ослабления.
7. Разрядные устройства в электроэнергетических установках как элементы обеспечивающие ЭМС.
8. Охарактеризуйте способы электростатического экранирования и опишите физический механизм явления.
9. Опишите способы магнитного экранирования, а так же физический механизм явления.
10. Экранирование в переменном электромагнитном поле.
11. Способы и средства измерения напряжения и тока помехи.
12. Способы и средства измерения напряженностей электрического и магнитного полей помехи.
13. Экранирующие действия оболочки кабеля.
14. Как осуществляется подавление помех, создаваемых коллекторными двигателями.
15. Воздействия электромагнитных полей на биологические организмы.
16. В чем состоит и для чего проводится спектральный анализ помех.
17. Как осуществляется обеспечение электромагнитной совместимости в лабораториях.
18. Нормы в области электромагнитной совместимости.
19. Классифицируйте окружающую среду по помехам идущим по проводам.

20. Дать понятие и привести примеры противофазных и синфазных помех, и способов их ослабления.
21. Дать понятия Земли и массы.
22. Описание электромагнитных влияний в частотной и временной областях.
23. Воздушные линии высокого напряжения как источники помех.
24. Электромагнитная связь через контур заземления.
25. Помехи в измерительных линиях.
26. L-, C-, LC- фильтры для подавления помех и их конструкции.
27. Разделительные трансформаторы как элементы обеспечивающие ЭМС.
28. Как осуществляется испытание на устойчивость к помехам.
29. Как и для чего осуществляется экранирование помещений.
30. Как осуществляется выбор материала экрана для дальней и ближней зон.
31. Уровни помех и их измерение.
32. Оценка качества электрической энергии.
33. Защита в сетях электропитания как элемент ЭМС.
34. Экспериментальное определение помехоустойчивости.
35. Снижение проникших помех средствами вычислительной техники.
36. Сетевые фильтры как элементы обеспечивающие ЭМС.
37. Материалы для изготовления экранов.
38. Идентификация механизмов связи.
39. Электромагнитные импульсы и их характеристики.
40. Передатчики связи как источники помех.
41. Борьба с проникшими помехами программными средствами.
42. Мероприятия по обеспечению электромагнитной совместимости.
43. Помехоустойчивость и стойкость к повреждению чувствительных элементов.

44. Электромагнитная совместимость в силовом оборудовании.

45. Источники широкополосных помех и их подавление.

46. Противофазные и синфазные помехи и их подавление.

47. Способы описания электромагнитных влияний.

48. Механизмы ослабления гальванических связей.

49. Представление импульсных помех в частотной и временной областях.

50. Как обеспечивается электромагнитная совместимость на предприятиях?

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шваб Адольф Электромагнитная совместимость: Пер. с нем. В.Д. Мазина и С.А. Спектора 2-е изд., перераб. и доп./ Под. ред. Кужекина. М.: Энергоатомиздат, 1998, 480 с., ил.
2. Математические модели и методы обработки измерительных сигналов емкостных преобразователей на постоянном токе : монография / М. А. Мастепаненко, И. Н. Воротников, С. В. Аникуев, И. К. Шарипов. Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2015. 232с.
3. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике: Пер. с нем. / И.П. Кужекин, Под ред. В.К. Максимова. - М.: Энергоатомиздат, 1995.- 304 с.: ил.
4. Иванов В.А., Ильинский Л.Я., Фузик М.И. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Киев: Техника, 1993.
5. Воротников И. Н., Мастепаненко М. А. Способы измерения электрической емкости по параметрам переходного процесса // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2013. № 10. С. 60–65.
6. Воротников И. Н., Мастепаненко М. А. Исследование методов измерения электрической емкости на постоянном токе // Методы и средства повышения эффективности технологических процессов АПК : сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та. 2013. С. 66–68.
7. Гурковский А. А., Фалько К. А., Мастепаненко М. А. Методы определения информативного параметра при обработке измерительных сигналов емкостных преобразователей // Молодые аграрии Ставрополья : сборник студенческих научных трудов по материалам 78 научно-практической конференции (апрель – май 2014 г.) / Ставропольский государственный аграрный университет. Ставрополь, 2014. С. 108 – 111.
8. Гурковский А. А., Тарануха Д. С., Фалько К. А., Мастепаненко М. А. Численный метод аппроксимации по-

стоянной времени при дифференцировании интерполяционного полинома Ньютона // Молодые аграрии Ставрополя : сборник студенческих научных трудов по материалам 78 научно-практической конференции (апрель – май 2014 г.) / Ставропольский государственный аграрный университет. Ставрополь, 2014. С. 105 – 108.

9. Байрамалиев С. Ш., Пахомова А. М., Мастепаненко М. А. Моделирование погрешности квантования по уровню округления входных отсчетов // Молодые аграрии Ставрополя : сборник студенческих научных трудов по материалам 78 научно-практической конференции (апрель – май 2014 г.) / Ставропольский государственный аграрный университет. Ставрополь, 2014. С. 108 – 111.

10. Гроднев И.И. Электромагнитное экранирование в широком диапазоне частот. М.: Связь 1995.

11. А. Ф. Шаталов, И. Н. Воротников, Боровлев И.И. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике : Учебное пособие. СтГАУ. Ставрополь: АГРУС, 2012. 200с.

12. Шаталов А. Ф., Воротников И. Н., Мастепаненко М. А., Шарипов И. К., Аникуев С. В. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике : Учебное пособие. СтГАУ. Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос. аграрного университета, 2014. 64 с.

13. Шаталов А. Ф., Воротников И. Н., Мастепаненко М. А., Шарипов И. К., Аникуев С. В. Моделирование в электроэнергетике : учебное пособие. Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2014. 140 с.

СОДЕРЖАНИЕ:

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛ-	3
НЕНИЮ РАБОТ.....	4
Общие требования к выполнению работы и оформле-	
нию отчета.....	
ВВЕДЕНИЕ.....	5
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ	7
РАБОТЫ № 1.....	7
1 УРОВНЬ ПОМЕХ И КОЭФФИЦИЕНТ	
ЭКРАНИРОВАНИЯ.....	7
2 ОПИСАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЛИЯНИЙ.....	8
3 МЕТОД ПОЛНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ.....	11
4 ЗАДАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ.....	17
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ	23
РАБОТЫ № 2.....	23
1 АНАЛИЗ ПАССИВНЫХ ЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ	23
1.1 ЗАДАНИЕ.....	23
1.2. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ.....	24
1.3 УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ.....	25
1.3.1 СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ ФИЛЬТРА.....	25
1.3.2 РАСЧЕТ ФИЛЬТРА.....	26
1.3.3	
Приложения.....	29

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ..... 31

ЛИТЕРАТУРА..... 34