

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет
информационных технологий
и электроники
наименование факультета

Кафедра
Нано – и микроэлектроника
наименование кафедры

Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и наноэлектроника»
код и наименование

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника
наименование профиля

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

ПензГУ 02. 11.03.04. 003 ПЗ
обозначение, присваиваемое кафедрой

на тему

Исследование токовых шумов толстопленочных керметных резисторов
тема бакалаврской работы

Студент группы 19ПД1
номер группы

Володин И.С.
подпись, дата 18.06.23 фамилия, иниц.

Руководитель к.т.н доцент
должность

Доросинский А.Ю.
подпись, дата 18.06.23 фамилия, иниц.

ПГУ
наименование организации

Нормоконтролер ст. преподаватель
должность

Рыжова Т.Н.
подпись, дата 18.06.23 фамилия, иниц.

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 15.06.23 № 11)

Заведующий кафедрой

Пронин И.А.
подпись, дата 19.06.23 фамилия, иниц.

Работа защищена с оценкой удовл. (протокол ГЭК от 28.06.23 № 14)

Секретарь ГЭК

Вольсков А.А.
подпись, дата 28.06.23 фамилия, иниц.

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 77 листов формата А4, 21 рисунок, 13 таблиц, список использованных источников содержит 11 наименований, 3 приложения.

Ключевые слова: токовый шум, толсто пленочный керметный резистор, спектральная плотность, методы и средства измерения токового шума, исследование спектральной плотности.

Объектом исследования являются токовые шумы в толсто пленочных керметных резисторах.

Цель работы: исследование токового шума в толсто пленочных керметных резисторах, который является одной из важнейших характеристик резисторов, информативным параметром, отражающим качество изготовления резистивного слоя, его однородности.

Отражены результаты экспериментальных исследований токового шума и спектральной плотности.

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		2

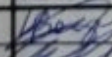
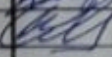
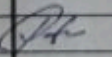
СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Виды и природа возникновения токовых шумов в толсто пленочных керметных резисторах.....	5
1.1 Понятие электрического шума и его виды	5
1.2 Природа возникновения токовых шумов	13
1.3 Зависимость токовых шумов от геометрии резистивного элемента	15
2 Анализ методик исследования токовых шумов.....	18
2.1 Измерение уровня токовых шумов	18
2.2 Структура установки для контроля параметров токовых шумов.....	19
2.3 Оценка спектральной плотности напряжения токовых шумов	23
3 Методы и средства контроля токовых шумов	25
3.1 Выбор оборудования для контроля токовых шумов.....	25
3.2 Выбор программных средств контроля спектральной плотности	27
3.3 Исследование спектральной плотности токовых шумов	29
4 Проект искусственного освещения измерительной лаборатории	43
4.1 Расчет освещенности рабочего места	45
Заключение.....	55
Список использованных источников	56
Приложение А. Техническое задание на ВКР.....	57
Приложение Б. Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе "Антиплагиат.ВУЗ"	61
Приложение В. Презентация ВКР.....	65

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время технические требования к характеристикам и эксплуатационным параметрам толстопленочных резисторов постоянно повышаются. Токовые шумы являются одной из важнейших характеристик резисторов, информативным параметром, отражающим качество изготовления резистивного слоя, его однородности

Исследования взаимосвязи спектральной плотности напряжения токовых шумов ТПР от состава, геометрии, технологических факторов позволили рекомендовать составы с легирующими добавками для снижения уровня токовых шумов ТПР, а также методы расчета геометрии с целью получения оптимального уровня шумов резисторов

					ПГУ 2.11.03.04. 003 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВВЕДЕНИЕ			
Выполнил	Володин			18.08				
Провер	Доросинский			19.08				
Н. Контр.	Рыжова			19.08				
Утверд					Группа 19ПД1			

Лит.	Лист	Листов
	5	77

1 Виды и природа возникновения токовых шумов в толстопленочных керметных резисторах

1.1 Понятие электрического шума и его виды

Токовые шумы являются одной из важнейших характеристик резисторов, информативным параметром, отражающим качество изготовления резистивного слоя, его однородности. В резистивном элементе при подключении к нему электрической нагрузки возникают специфические токовые шумы, обусловленные флуктуациями контактных сопротивлений между проводящими частицами, а также трещинами и неоднородностями резистивного элемента. Эти флуктуации являются следствием изменения площади контактирования отдельных токопроводящих частей структуры резистивного элемента, перераспределения напряжения на отдельных зазорах между этими частицами, возникновения новых проводящих цепочек в относительно больших зазорах под действием высокой напряженности электрического поля и т.п. Токовые шумы зависят от материала и конструкции резистивного элемента и наиболее характерны для непроволочных резисторов. Они значительно больше тепловых шумов. Их спектр частот также непрерывен и не подчиняется никакому периодическому закону. Поэтому собственные шумы измеряют действующим значением ЭДС шумов и выражают в микровольтах на вольт приложенного напряжения. Токовые шумы присущи только непроволочным резисторам и обусловлены дискретной неоднородностью структуры токопроводящего элемента, что приводит к местным нагревам, нарушениям контактов между одними частицами и появлению его между другими в результате спекания. Как следствие этих процессов – флуктуации сопротивления и напряжения на выводах резистора на фоне постоянного приложенного напряжения. Уровень токовых шумов $U_{ш}$ уменьшается с увеличением длины резистора и с уменьшением размеров зерен проводящего материала.

					ПГУ 2.11.03.04. 003 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Виды и природа возникновения токовых шумов в толстопленочных керметных резисторах	Лит.	Лист	Листов
Выполнил	Володин		<i>[Подпись]</i>	18.06			5	77
Провер.	Доросинский		<i>[Подпись]</i>	19.06				
Н. Контр.	Рыжова		<i>[Подпись]</i>	18.06				
Утверд.								
						Группа 19ПД1		

флуктуациями других неэлектрических величин, которые преобразуются во флуктуации тока или напряжения. Причины возникновения ряда шумов до конца не выяснены. Ниже рассматриваются некоторые типичные примеры электрических флуктуаций.

Равновесные флуктуации. Другими названиями этого шума являются тепловой шум, шум Найквиста, шум Джонсона. Джонсон первый экспериментально обнаружил эти флуктуации, а Найквист получил выражение для мощности шума. Тепловой шум представляет собой флуктуации, имеющие место в любой термодинамически равновесной системе, а формула Найквиста является частным случаем флуктуационно-диссипационной теоремы.

Система с постоянным числом частиц находится в термодинамическом равновесии со своим окружением (термостатом), если средний поток энергии между ними равен нулю. Равновесие подразумевает взаимодействие системы и термостата посредством некоторого физического механизма, который в среднем уравнивает противоположно направленные потоки энергии: от системы к термостату и обратный потоки. Это взаимодействие происходит на микроскопическом уровне и носит случайный характер. Флуктуации возникают уже в силу того, что термостат состоит из огромного числа частиц и поэтому имеет исключительно сложную траекторию движения в фазовом пространстве.

Когда на систему действует внешняя сила, равновесие нарушается, и возникает средний поток энергии от системы к термостату - диссипация энергии, сообщаемой системе за счет действия силы. Если внешняя сила достаточно мала, отклонение состояния системы от равновесного также невелико, и, в первом приближении, механизм, контролирующий потоки энергии между системой и термостатом, остается прежним. Таким образом, один и тот же механизм взаимодействия системы и термостата отвечает и за флуктуации и за рассеяние энергии. Отсюда возникает связь между величиной равновесных флуктуаций в системе и макроскопическими параметрами,

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

отвечающими за диссипацию энергии при действии внешней силы (диссипативными параметрами, коэффициентами трения). Флуктуационно-диссипационная теорема дает количественное выражение этой связи [1].

В электрических системах диссипативным параметром является активное сопротивление. Для того, чтобы учесть флуктуационное взаимодействие системы и термостата, с сопротивлением связывают так называемый случайный (шумовой) источник – генератор случайной ЭДС, включенный последовательно с сопротивлением, или генератор шумового тока, включенный параллельно сопротивлению (рисунок.1.1).

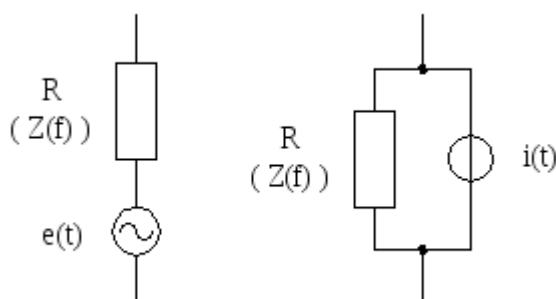


Рисунок 1.1 – Схемы двухполюсника с источниками теплового шума

На микроскопическом уровне причиной флуктуаций напряжения и тока в проводнике является хаотическое движение носителей заряда. Так, в металле оно обусловлено случайным рассеянием электронов на колебаниях кристаллической решетки, которая играет роль термостата для электронной системы. Время корреляции флуктуаций определяется характерным временем свободного пробега носителей, поскольку в ходе столкновений теряется информация о первоначальной скорости носителя. В большинстве практических случаев время корреляции, обусловленное конечным временем пробега носителей (например, порядка 10^{-14} с. в чистых металлах при комнатной температуре), пренебрежимо мало по сравнению с инерционностью электрической цепи, в которую включено сопротивление.

Величина спектральной плотности источников определяется общими термодинамическими соотношениями. Рассмотрим, например, цепь на рисунке 1.2, состоящую из параллельно включенных сопротивления и конденсатора емкостью. Считая гармоническим сигналом, с помощью обобщенного закона Ома можно рассчитать коэффициент передачи ЭДС и напряжение на конденсаторе.

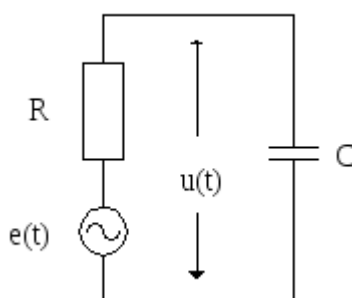


Рисунок 1.2 – Цепь с параллельно включенным резистором и конденсатором

Дробовой шум возникает, когда носители заряда случайно пересекают некоторый потенциальный барьер. При этом каждый носитель генерирует в цепи импульс тока, и суперпозиция этих импульсов образует флуктуирующий ток. Примерами являются флуктуации тока электронной лампы, обусловленные случайным выходом электронов из катода вследствие термоэлектронной эмиссии; флуктуации тока фотодиода из-за случайной генерации носителей под действием падающего излучения; флуктуации тока, протекающего через $p-n$ переход, также имеют характер дробового шума. Термин «дробовой шум» происходит из-за аналогии этого явления шуму сыплющихся дробин.

Влияние дробового шума в электронных схемах зависит не только от тока, протекающего через прибор, но и от нагрузки, подключенной к прибору. Как правило, приборы и системы, генерирующие дробовой шум (электровакuumные приборы, фотодиоды, коллекторные переходы транзисторов) имеют внутреннее сопротивление, намного превышающее сопротивление нагрузки. На электрической схеме дробовой шум прибора

(например, фотодиода) обычно представляют в виде источника тока, включенного параллельно внутреннему сопротивлению прибора (рисунок 3).

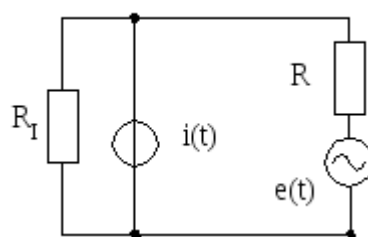


Рисунок 1.3 – Схема с источником дробового шума

Избыточные шумы. Тепловой и дробовой шумы, рассматриваемые выше, относят к фундаментальным типам флуктуаций. Механизм их возникновения хорошо изучен, и уровень флуктуаций предсказуем. В большинстве систем они определяют минимальную величину флуктуаций, которая может быть получена. Однако реальные системы часто генерируют шум, мощность которого превышает величину, ожидаемую для теплового и дробового шума. Эти добавочные флуктуации и называют избыточными. Из-за разнообразия механизмов возникновения, статистических свойств и условий проявления избыточных флуктуаций нет какой-то единой классификации этих шумов. Тем не менее, выделяют определенные типы шума, например, генерационно-рекомбинационный шум, шум токораспределения, взрывной шум, фликкерный шум и другие.

При рассмотрении избыточных шумов широко используется понятие о флуктуациях параметров системы. Например, в силу некоторых причин могут случайным образом изменяться емкость конденсатора или сопротивление резистора, высота потенциального барьера р-п перехода полупроводникового прибора. Если к электрической цепи, содержащей такие элементы, приложить напряжение, в цепи возникнут избыточные флуктуации тока.

Наиболее простой является модель равновесных флуктуаций сопротивления. Термин равновесные означает, что флуктуации сопротивления существуют вне зависимости от того, протекает ли по сопротивлению ток или нет, и что свойства этих флуктуаций не зависят от тока.

Мощность избыточного шума, вызванного флуктуациями сопротивления, пропорциональна квадрату протекающего тока, и это отличает его от дробового шума, имеющего линейную зависимость мощности от тока.

Физическими причинами флуктуаций сопротивления могут быть, например, флуктуации числа подвижных носителей в полупроводниковом материале из-за случайного характера процессов генерации/рекомбинации; флуктуации подвижности носителей из-за случайного рождения/уничтожения дефектов кристаллической решетки проводника, на которых происходит рассеяние носителей; случайный захват/освобождение носителей заряда ловушками, расположенными в обедненном слое p - n перехода, и другие.

Шум $1/f$ при тех или иных условиях наблюдается практически во всех электронных приборах и компонентах. Флуктуации этого типа также присутствуют в биологических, экономических, геофизических, астрофизических и других системах. Столь универсальный характер этого явления в настоящее время не объяснен. В электрических системах шум $1/f$ обычно связан с флуктуациями сопротивления. Физическими процессами, наиболее подходящими для объяснения шума на инфранизких частотах, являются захват носителей медленными ловушками в полупроводниках и рождение/уничтожение дефектов решетки в металлах. Модели, описывающие этот шум, в большинстве случаев основаны на предположении о суперпозиции шумовых релаксационных процессов, имеющих различные постоянные времени. Главная трудность таких теорий состоит в физическом обосновании распределения весовых коэффициентов, согласно которым должны складываться отдельные релаксационные процессы для получения спектра $1/f$.

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

Шумы усилителей. Усилители электрических сигналов, как и любые другие электронные устройства, содержат внутренние источники флуктуаций. Шумы действуют наряду с полезным сигналом и ухудшают его распознавание. Это особенно существенно, когда величина сигнала мала, поэтому в первую очередь важны шумы, присутствующие во входной цепи усилителя.

Шумовые характеристики усилителей определяются многими факторами: конфигурацией усилителя, расположением и свойствами внутренних источников шума, режимом работы активных элементов, импедансом источника сигнала и т.д. Влияние этих факторов на шум, создаваемый усилителем, можно точно установить лишь для конкретной схемы усилителя. Однако на практике достаточно полное описание шумов усилителей дает упрощенная схема, показанная на рисунке 1.4.

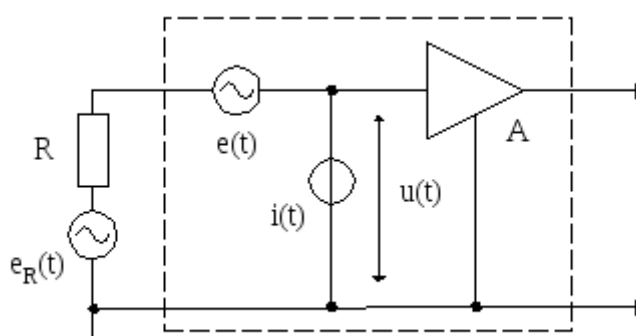


Рисунок 1.4 – Упрощенная схема усилителя

Всякий реальный источник сигнала помимо полезной составляющей производит некоторый шум. Идеальный источник с минимальным уровнем шума генерирует только тепловые флуктуации, определяемые величиной его внутреннего сопротивления. Качество усилителя с точки зрения его шумовой характеристики оценивается тем, насколько шум, вносимый усилителем, мал по сравнению с собственным шумом источника сигнала. Поэтому при

рассмотрении шумов усилителя достаточно считать, что источник сигнала вырабатывает только тепловые флуктуации.

При работе с высокоомными источниками необходимы усилители с минимальным шумовым током. В этом случае применяются усилители на полевых транзисторах [2].

1.2 Природа возникновения токовых шумов

Возникновение шумов связано с флуктуационными изменениями объемной концентрации свободных электронов в резистивном элементе, обусловленными их тепловым движением. Этот шум проявляется на концах резистора в виде переменного напряжения с непрерывным спектром частот.

Величина шумового напряжения может быть определена по формуле Найквиста

$$U_{\text{ш}} = (4kR\Delta f)^{\frac{1}{2}} \quad (1.1)$$

где $U_{\text{ш}}$ – шумовое напряжение в В; k – постоянная Больцмана, $1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$; T – абсолютная температура, 0 К; Δf – полоса частот, Гц.

Для практических расчетов применяется формула

$$U_{\text{ш}} = \frac{1}{8} \sqrt{R\Delta f} \quad (1.2)$$

где $U_{\text{ш}}$ – шумовое напряжение в мкВ; R – сопротивление, кОм; Δf – полоса частот, кГц.

Шумы не зависят от величины протекающего тока и для высокоомных резисторов имеют большие значения. При подключении к резистору электрической нагрузки появляются специфические токовые шумы. Они обуславливаются флуктуациями контактных сопротивлений между проводящими частицами, трещинами и неоднородностями резистивного элемента. Флуктуации возникают по причине изменения площади контакта отдельных частиц резистивного элемента. На зазорах между этими частицами происходит перераспределение напряжения. При достаточно высоких

значениях напряжённости электрического поля в относительно больших зазорах появляются новые проводящие цепочки. Токовые шумы более присущи непроволочным резисторам и зависят от конструкции и материала резистивного элемента. Они превосходят по уровню тепловые шумы. Спектр этих шумов тоже непрерывен. По этой причине собственные шумы резистора измеряются действующим значением ЭДС шумов и считаются в микровольтах на вольт приложенного напряжения. Чем больше температура резистора и напряжение на нём, тем больше его собственные шумы. Уровень шумов резисторов существенно влияет на некоторые параметры электронных схем с их применением. Например, он ограничивает чувствительность усилительных устройств. Также, шум создаёт помехи при воспроизведении звуковых сигналов. Типовые значения шумов у непроволочных резисторов – от долей до сотен микровольт на вольт.

Шумы двух резисторов, включенных последовательно, суммируются случайным образом, но в результате получается такой же шум, как и у суммарного сопротивления. Аналогично, шум резисторов, включенных параллельно, равен шуму параллельного сопротивления. Если бы это было не так, то у нас были бы проблемы: нам бы пришлось делить резистор на бесконечно малые сопротивления и каким-то образом учитывать влияние каждой отдельной составляющей. Но, к счастью, все работает так, как описано выше. Высокоомный резистор, лежащий на столе, не будет искриться от неограниченного самогенерируемого шума, так как паразитная параллельная емкость ограничивает полосу пропускания и общее напряжение. Аналогично этому, шум, который вы можете себе представить на изоляторах, шунтируется параллельной емкостью и сопротивлением проводников вокруг них [2].

1.3 Зависимость токовых шумов от геометрии резистивного элемента

Зависимость токовых шумов от геометрии резистивного элемента может быть определена из соотношения:

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 = \frac{\alpha \rho \mu q R_{\text{уд}} \Delta f}{l^2 f y^2 t^2} \quad (1.5)$$

где $\frac{\Delta R}{R}$ – среднеквадратичное значение флуктуации сопротивления;

α – постоянная величина, $2 * 10^{-3} * N^{-1}$; N – общее число носителей заряда;

$R_{\text{уд}}$ – удельное сопротивление слоя; q – заряд носителя тока; μ – эффективная подвижность; Δf – диапазон частот; l, y, t – геометрические параметры;

f – опорная частота.

Соотношение (1.5) учитывает геометрические факторы и размеры контактов и позволяет сделать следующие выводы:

– для толсто пленочных резисторов с проводимостью, на которую преобладающее влияние оказывает прослойка, относительный шум приблизительно пропорционален сопротивлению слоя;

– для толсто пленочных резисторов, где на проводимость резисторов преобладающее влияние оказывают ограничения тока на контактных площадках между гранулами, относительный шум пропорционален $R_{\text{уд}}^2$

Токовые шумы зависят только от радиуса контакта r . Важным свойством контактов малых размеров является то, что токовые шумы определяются флуктуационными свойствами только части резистивного материала, непосредственно примыкающей к поверхности контакта. Следует подчеркнуть, что в случае полусферического контакта применимы только объемные характеристика материала.

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Случай зависимости безразмерной шумовой величины $\Delta\varphi$ от двух координат иллюстрируют рисунки 1.5 и 1.6

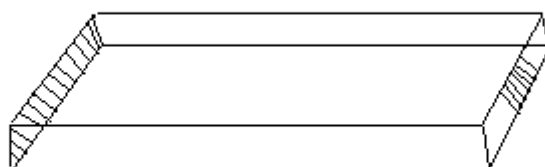


Рисунок 1.5 – Случай зависимости безразмерной шумовой величины от двух координат

На рисунке 1.5 поле в объеме V является плоскопараллельным относительно плоскости поверхности подложки, поэтому в данном случае применимы поверхностные характеристики материалов. При такой геометрии проявляются свойства малого контакта (их можно устранить увеличивая размеры правого контакта)

На рисунке 1.6 поле также плоскопараллельно, но относительно боковой вертикальной грани резистора, так что поверхностные характеристики не применимы. Погрешность, обусловленная их применением в данном случае, тем больше, чем короче резистивный элемент.

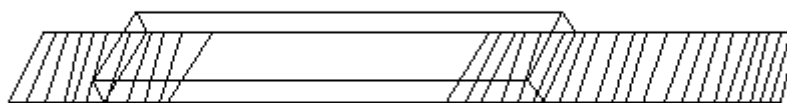


Рисунок 1.6 – Случай зависимости безразмерной шумовой величины от двух координат

Случай зависимости безразмерной шумовой величины от трех координат иллюстрирует рисунок 1.7, отражающий характер геометрии реального толсто пленочного резистора

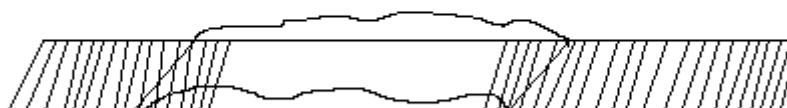


Рисунок 1.7 – Случай зависимости безразмерной шумовой величины от трех координат

Таким образом, при интерпретации флуктуационных свойств резистивного материала и контактных пар, основанной на данных измерениях токовых шумов резистора и на его модели, необходимо иметь ввиду рассмотренные источники погрешностей, связанные с геометрией [3].

2 Анализ методик исследования токовых шумов

2.1 Измерение уровня токовых шумов

При исследованиях токовых шумов толсто пленочных керметных резистивных элементов проводят измерения двух типов: измерения уровня шумов [мкВ/В] по ГОСТ 21342.19-78 в полосе частот 60-600 Гц и измерения спектральной плотности напряжения токовых шумов $S_{ш}(f)$ в узкой полосе спектра.

В первом случае принцип измерения (методом косвенного измерения) заключается в предварительном измерении напряжения шумов на испытываемом резистивном элементе с последующим вычислением суммарной ЭДС тепловых и токовых шумов и уровня шумов $D_{ш}$.

Уровень шумов рассчитывается по формуле:

$$D_{ш} = \frac{E_{ш}}{U_R} \quad (2.1)$$

где $E_{ш}$ – ЭДС шумов резистивных элементов; U_R – напряжение, подаваемое на испытываемый резистор;

Измерения проводились при комнатной температуре.

Различные методы измерения спектров токовых шумов являются, по существу, разновидностями двух методов измерения: прямого метода (более производительного) и метода двух отсчетов (более точного). Оба метода дают упрощенную интегральную характеристику токовых шумов резистора.

Измерения спектральной плотности напряжения токовых шумов $S_{ш}(f)$ проводят с использованием узкополосного анализатора спектра на частотах 10

					ПУ 2 11.03.04. 003 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Анализ методик исследования токовых шумов	Лит.	Лист	Листов
Выполнил	Володин			18.06			18	77
Провер.	Доросинский			19.06				
Н. Контр.	Рыжова			18.06				
Утверд.						Группа 19ПД1		

и 20 Гц при эффективной полосе пропускания $\Delta f_{эф} = 0.44$ Гц. Спектральную плотность напряжения токовых шумов $S_{ш}(f)$ измеряли методом, представляющим собой разновидность метода двух отсчетов. Измерения проводили при постоянном напряжении U_0 на резисторе. Значения U_{01} и U_{02} выбирались в зависимости от сопротивления резистора R , его геометрии и допустимой мощности рассеивания. При этом максимальная мощность постоянного тока I_0 , рассеиваемая на резисторе, $P_{max} \sim 0.01 + 0.1 P_{доп}$

Для устранения разброса значений U_0 , вследствие разброса сопротивления измеряемых резисторов, результаты представляли в виде относительных спектральных плотностей

Дисперсию напряжения токовых шумов в широкой полосе частот определяли в соответствии с формулой:

$$D_U = \int_{f_h}^{f_b} S_u(f) df, [B^2] \quad (2.2)$$

Наиболее простым методом измерения уровня шума является метод двух отсчетов. Сущность его состоит в измерении мощности шума на выходе испытуемого устройства ИУ при поочередном включении на входе двух шумовых сигналов генераторов Гш1 и Гш2 различной мощности [4].

2.2 Структура установки для контроля параметров токовых шумов

При исследованиях токовых шумов толсто пленочных керметных резистивных элементов проводят измерения двух типов: измерения уровня шумов [мкВ/В] по ГОСТ 21342.19-78 в полосе частот 60-600 Гц и измерения спектральной плотности напряжения токовых шумов $S_{ш}(f)$ в узкой полосе спектра.

Первый метод еще называют методом косвенного измерения уровня шумов, функциональная схема установки для косвенного измерения уровня шумов представлена на рисунке 2.1

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

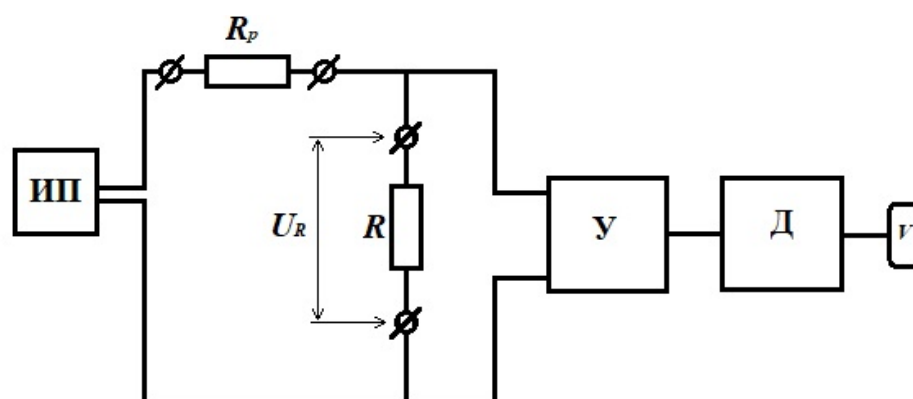


Рисунок 2.1 – Функциональная схема установки для косвенного измерения уровня шумов

Поясним условные обозначения на рисунке, ИП – источник питания постоянного тока; У – усилитель напряжения; Д – квадратичный детектор; V – вольтметр; R_p – разделительный резистор; R – испытываемый резистор ($R_p = R$).

Напряжение, подаваемое от источника тока вычисляется по формуле 2.3

$$U = U_R \frac{R + R_p}{R} \quad (2.3)$$

Напряжение, подаваемое на испытываемый резистор (U_R) соответствовало $0.5 P_{\text{ном}}$. ЭДС шумов резистивных элементов вычисляется по формуле 2.4:

$$E_{\text{ш}} = U_{\text{ш}} \left[1 + \frac{R(R_{\text{вх}} + R_p)}{R_{\text{вх}} R_p} \right] \quad (2.4)$$

Установка для измерения спектральной плотности токовых шумов $S_{\text{ш}}(f)$ функционально состоит из следующих блоков:

- системы калибровочного сигнала;
- измерительного блока МИБ-1;
- системы постоянного тока;
- системы регистрации выходного сигнала.

Структурная схема установки приведена на рисунке 2.2

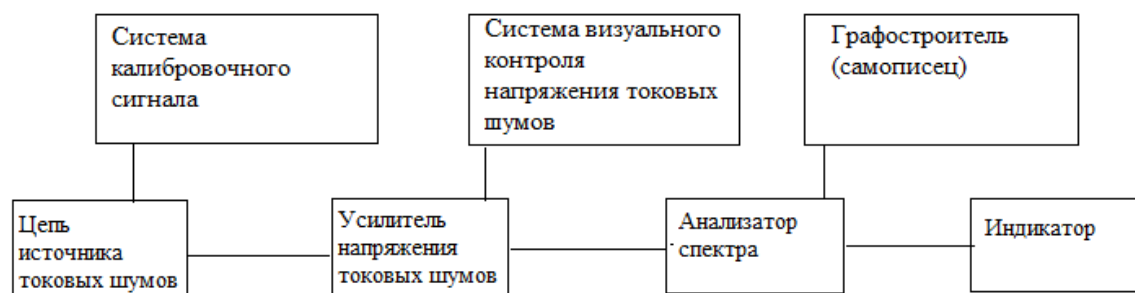


Рисунок 2.2 – Структурная схема установки

Структура установки для контроля параметров токовых шумов может включать в себя следующие компоненты:

1) источник тока: это устройство, которое генерирует стабильный ток заданной амплитуды и частоты. Источник тока может быть постоянным или переменным, в зависимости от требований эксперимента или измерений;

2) шунтирующий резистор: это резистор, подключенный параллельно к исследуемой цепи или устройству, чтобы создать обратную связь и измерить токовые шумы. Шунтирующий резистор представляет собой элемент низкого сопротивления, который позволяет минимизировать потери напряжения и искажения сигнала;

3) усилитель: это устройство, которое усиливает сигналы, полученные от шунтирующего резистора. Усилитель может иметь различные уровни усиления и фильтрацию для настройки и анализа сигналов шума;

4) анализатор спектра: прибор, который используется для анализа спектра токовых шумов. Анализатор спектра позволяет измерять и визуализировать амплитуду и частотный состав шумового сигнала;

5) контрольная система: это система используется для записи, обработки и анализа полученных данных о параметрах токовых шумов;

б) калибровочные и стандартные элементы: служат для обеспечения точности и калибровки установки, например, резисторы, источники сигналов и другие устройства.

Важно отметить, что конкретная структура установки может отличаться в зависимости от требований конкретного эксперимента или измерения.

Функциональная схема установки представлена на рисунке 2.3

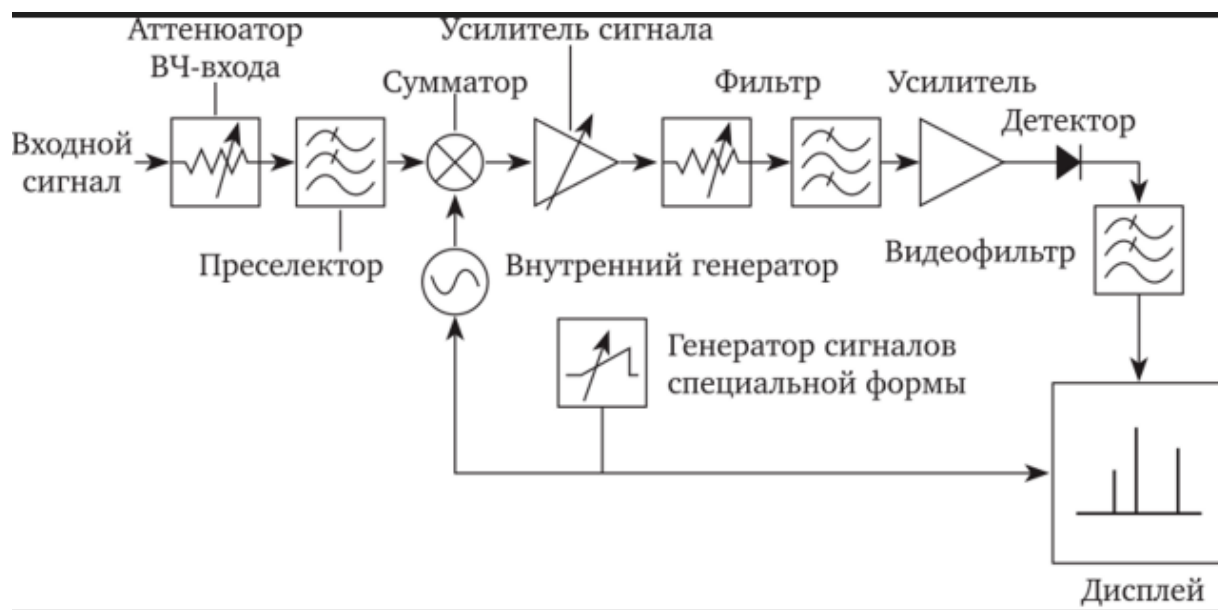


Рисунок 2.3 – Функциональная схема установки

Цепь источника токовых шумов служит для подключения исследуемого резистора R , подачи на него смещения U , выделения напряжения токовых шумов на нагрузке R_H и ввода калибровочного сигнала e_k .

При подаче $U = 0$ составляющая токовых шумов исчезает, вместо нее вводится сигнал e_k , частично компенсирующий эту составляющую. Полная компенсация, применяемая в методе при узкополостных измерениях, является трудоемкой (по времени) операцией. Достижение компенсации определяется по самописцу или индикатору.

Частичная компенсация упрощает процесс измерения, требуя лишь простых расчетов, связанных с масштабированием вертикальной оси выходных показаний установки [4].

2.3 Оценка спектральной плотности напряжения токовых шумов

Оценка спектрального повышения напряжения токовых шумов является аспектом анализа их характеристики. Спектральная плотность напряжения токовых шумов (также как спектральная мощность) представляет собой меру распределения мощности шума в зависимости от частоты.

Для оценки спектральной плотности напряжения токовых шумов обычно используется спектральный анализ. Этот процесс включает в себя преобразование временной зависимости тока в зависимости от частоты, которая позволяет определить спектральную величину мощности шума.

Существует несколько методов для выполнения спектрального анализа и оценки спектрального изменения напряжения токовых шумов. Некоторые из наиболее часто встречающихся методов включают в себя:

1) метод Фурье – этот метод основан на преобразовании Фурье, который позволяет разложить сигнал в набор гармонических составляющих различных частот. Применение преобразования энергии к временному сигналу дает ток спектральной мощности;

2) метод автокорреляции – использует корреляцию сигнала с самим собой для определения характеристики признака. Автокорреляционная функция может быть преобразована в спектральную мощность с использованием преобразования энергии;

3) методы оконного преобразования, где полученные спектры объединяются для получения спектральной мощности.

В зависимости от конкретных экологических требований к шуму, может потребоваться выбор метода или их набор. Также важны факторы, как

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

разрешение по времени и частоте, которые могут повлиять на оценку измерения спектрального напряжения токовых шумов.

На рисунке 2.4 изображена спектральная плотность шума электронных компонентов

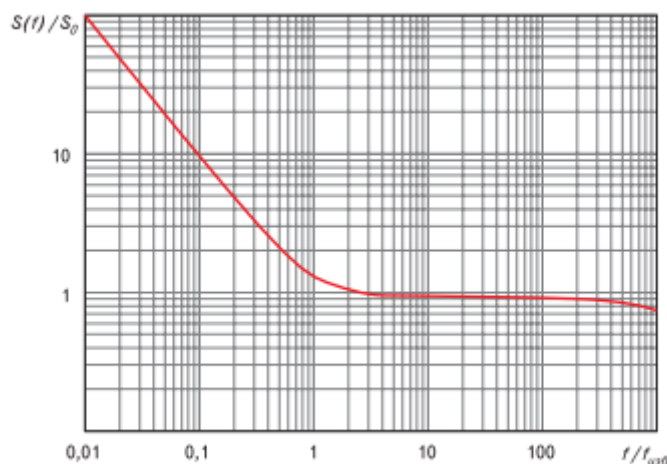


Рисунок 2.4 – Спектральная плотность шума электронных компонентов

Единственный вид шума, который может быть применен для контроля качества электронных компонентов – шум вида $1/f$ (токовый шум). Спектральная плотность этого шума зависит от частоты, размерность может $V^2/Гц$ или $A^2/Гц$, что определяется удобством конкретного применения.

Удивительной особенностью токового шума является то, что его спектральная плотность не имеет насыщения и неограниченно возрастает с уменьшением частоты [5].

3 Методы и средства контроля токовых шумов

3.1 Выбор оборудования для контроля токовых шумов

Когда дело доходит до выбора оборудования для контроля токового шума, необходимо учитывать несколько факторов, в том числе конкретные источники шума, окружающие среду и желаемый уровень шумоподавления.

Несколько часто используемых аппаратных опций шумоподавления:

1. Акустические панели – обычно изготавливаются из звукопоглощающих материалов, таких как пенопласт или стекловолокно и устанавливаются на стены или потолки, чтобы уменьшить эхо и реверберацию в помещении. Они эффективны для контроля высокочастотного шума.

На рисунке 3.1 представлена акустическая панель

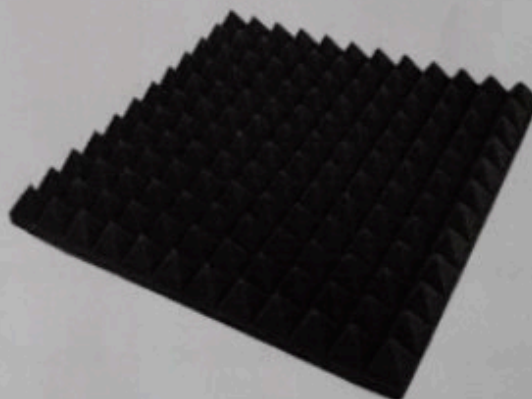
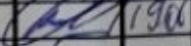
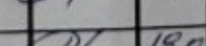


Рисунок 3.1 – Акустическая панель для шумоподавления

2. Звукоизоляционные шторы – это тяжелые шторы предназначены для блокировки и поглощения звуковых волн. Их можно использовать в различных условиях для уменьшения передачи шума через окна или двери;

					ПГУ 2 11.03.04 003 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Методы и средства контроля токовых шумов	Лит.	Лист	Листов	
Выполнил		Володин		19.06					
Провер.		Доросинский		19.06			25	77	
Н. Контр.		Рыжова		19.06		Группа 19ПД1			
Утверд.									

3. Акустические стеновые панели – эти панели похожи на акустические панели, но специально разработаны для установки на стены. Они помогают поглощать звуковую энергию и уменьшать отражения, улучшая общее акустическое качество помещения;

На рисунке 3.2 изображен пример акустической стеновой панели

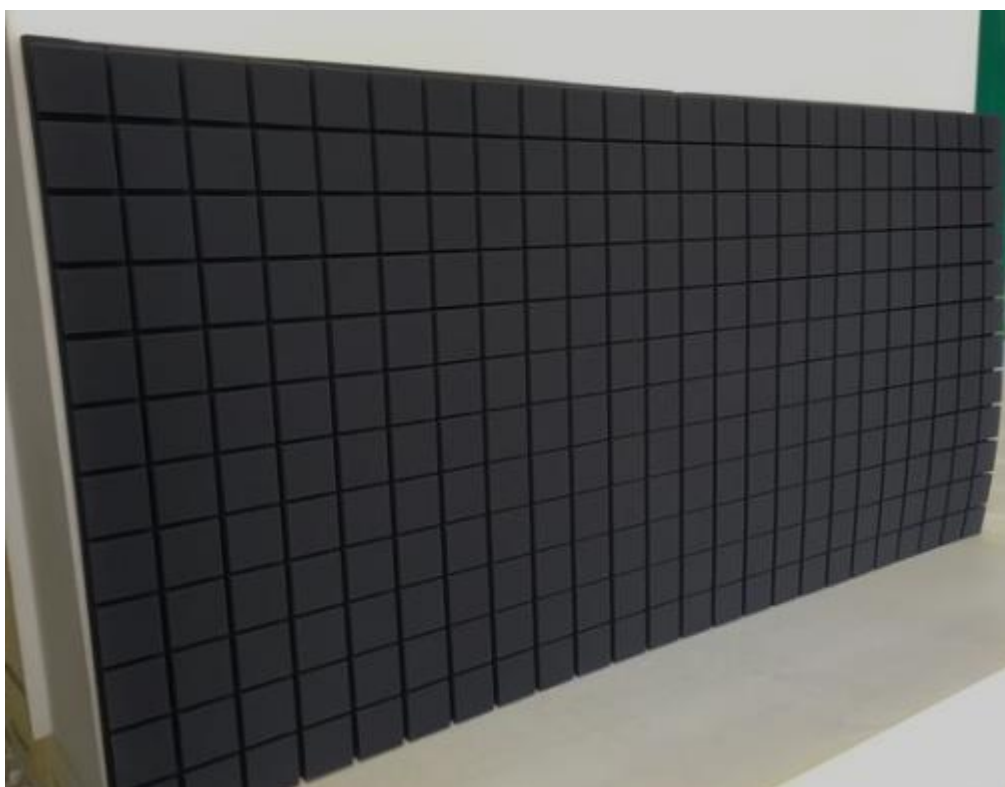


Рисунок 3.2 – Акустическая стеновая панель

4. Шумозащитные барьеры – предназначены для блокировки и поглощения звуковых волн, особенно на открытом воздухе. Как правило, они изготавливаются из материалов с хорошими звукоизоляционными свойствами, таких как металл или дерево;

5. Демпфирующие материалы – такие как вязкоупругие полимеры или резиновые листы используются для уменьшения вибрации конструкции и передачи шума. Они часто наносятся на поверхности, склонные к вибрации, такие как металлические панели или корпуса оборудования, для уменьшения шума. Демпфирующие материалы особенно полезны в промышленных условиях;

На рисунке 3.3 изображен пример демпфирующих материалов



Рисунок 3.3 – Демпфирующие материалы

Выбор оборудования для контроля шума должен основываться на конкретных требованиях и характеристиках проблемы с шумом [6].

3.2 Выбор программных средств контроля спектральной плотности

Когда речь идет о программных средствах для контроля спектральной плотности, стоит обратиться к следующему ряду инструментов, которые являются популярными. Вот некоторые из них:

1) *MATLAB* – широко распространенная среда и язык программирования для научных и инженерных вычислений. Он представляет собой множество функций и инструментов для анализа спектральной плотности, включая функции для вычисления спектральных преобразований Фурье, оконных функций, выявления сигналов и выявления спектральных данных;

2) *Python* с использованием *SciPy* – служит программой для исследования в научных и инженерных целях. Библиотека *SciPy* предоставляет множество функций для анализа спектральной плотности, включая возможности для использования преобразований Фурье, фильтрации сигналов, корреляции и дополнительных алгоритмов для спектрального анализа;

3) *LabVIEW* – платформа, разработанная специально для систем измерений и безопасности. Она предлагает расширенные инструменты для анализа и контроля спектральной плотности. *LabVIEW* имеет встроенные функции для спектрального анализа с возможностью обработки и обнаружения спектральных данных. Кроме того, *LabVIEW* охватила широкий спектр оборудования, поэтому к этой программе прибегают для исследования широкого круга измерительных приборов;

4) программное обеспечение *Spectrum Analyzer* – специализированное программное обеспечение для анализа спектра, которое разработано специально для контроля спектра распространения. Это ПО имеет широкий спектр функций для анализа, включая различные оконечные функции, возможности измерения пиковых значений, высокую вероятность сигналов различных типов.

Перед использованием того или иного программного обеспечения нужно обратить внимание на следующие характеристики:

а) функциональность – нужно убедиться, что выбранное ПО предоставляет все необходимые функции для контроля спектральной плотности, возможно, вероятностные функции, такие как выявление пиковых признаков, спектральные измерения и другие;

б) гибкость – возможность настройки параметров анализа, выбора различных оконных функций, режимов работы (например, спектральный анализ в режиме времени, запись и последующий анализ) и поддержку различных форматов файлов для импорта и экспорта данных;

в) точность и разрешение – являются важнейшими аспектами для контроля спектральной плотности;

г) интерфейс пользователя – удобный и понятный интерфейс пользователя необходим для работы с программным обеспечением, нужно удостовериться что выбранное ПО имеет интуитивно понятный и легко осваиваемый интерфейс, который позволяет быстро и удобно выполнять требуемые задачи;

д) поддержка и обновление – при выборе средств контроля спектральной поддержки следует обратить внимание на доступность поддержки и регулярные обновления от разработчика, это важно для стабильной работы ПО, а также для получения новых функций;

е) допустимость – при выборе ПО для контроля спектральной плотности предполагается, что оно будет совместимо с поставленными задачами, также нужно удостовериться, что программное обеспечение поддерживает вашу операционную систему и обеспечивает стабильную работу на вашем компьютере;

ё) пробный период или демо-версия – перед покупкой ПО для использования рекомендуется использовать пробные бесплатные периоды или демо-версию (если они предоставляются), это даст возможность оценить возможности использования программы, а также вероятность того, что она будет соответствовать требованиям [7].

3.3 Исследование спектральной плотности токовых шумов

Исследования токовых шумов толстопленочных керметных резисторов проводились с целью сравнения различных типов опорных резистивных паст по шумовым свойствам. Проводили измерения уровня шумов толстопленочных резисторов в соответствии с ГОСТ 21342.19-78 и спектральной плотности напряжения шумов.

Измерения проводились на тест-платах 26-Э-13300-1,2, изготовленных на основе опорных паст II-VI групп с ρ_s от 10^3 Ом/кв до 10^6 Ом/кв (Ом на число квадратов – образцы прямоугольной геометрии) Для сравнения шумовых свойств толстопленочных резисторов проводили измерения уровня шумов и $S_U(f)$ образцов из паст фирмы «Heraeus» и недрогметальной пасты на основе дисилицида молибдена СМ-12. Использовались образцы прямоугольной геометрии с числом квадратов n 1 до 5.

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

В таблицах 3.1 – 3.12 представлены значения уровня шумов толстопленочных резисторов. На рисунке 3.2 в качестве примера приведена спектральная плотность напряжения шумов.

По характеру токовых шумов исследованные образцы делятся на две группы. Часть образцов обладает только непрерывными шумами (осциллограмма имеет вид непрерывной временной функции). У другой части кроме непрерывных имеются импульсные шумы (осциллограмма имеет вид разрывной временной функции).

У образцов с непрерывными шумами в целом интенсивность шумов ниже, отмечено хорошее совпадение результатов при повторных измерениях через длительный интервал времени (сутки, неделя)

Характер импульсных шумов у различных образцов неодинаков. Образцы отличаются по амплитуде, средней длительности, частоте повторения и полярности импульсов. У некоторых образцов редкие, малые по амплитуде импульсы едва заметны. У других образцов – сплошной поток больших по амплитуде импульсов, на фоне которых непрерывная составляющая шумов практически не видна. Для таких образцов повторяемость результатов измерения хуже, наблюдалось изменение интенсивности шумов в течении короткого интервала времени после подачи на образец постоянного напряжения. В целом у образцов с импульсными шумами интенсивность шумов выше, чем у образцов с непрерывными шумами. Сравнительные данные по уровню шумов для паст II-IV групп приведены на рисунке 3.4. Статистическая обработка данных таблиц 3.1 – 3.7 приведена на рисунках 3.5 – 3.7 [8].

Таблица 3.1 – Уровень шумов D , мкВ/В. Паста – «Heraeus», $\rho_s = 1 \text{ кОм/кВ}$, ширина $a = 0.8 \text{ мм}$

Нобр.	Число кв.	N платы							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0.47	0.47	0.55	0.63	0.51	0.55	0.49	0.56
2	1	0.48	0.45	0.52	0.33	0.57	0.51	0.53	0.58
3	1	0.43	0.46	0.48	0.54	0.65	0.48	0.61	0.46
4	2	0.43	0.45	0.46	0.46	0.61	0.46	0.47	0.43
5	2	0.40	0.38	0.34	0.47	0.50	0.47	0.47	0.49
6	2	0.42	0.39	0.34	0.48	0.47	0.49	0.54	0.55
7	3	0.35	0.33	0.37	0.32	0.35	0.32	0.38	0.35
8	3	0.38	0.32	0.32	0.30	0.35	0.37	0.35	0.33
9	5	0.24	0.23	0.24	0.24	0.29	0.27	0.26	0.27

Таблица 3.2 – Уровень шумов D , мкВ/В. Паста – II гр., $\rho_s = 1 \text{ кОм/кВ}$, ширина $a = 0.8 \text{ мм}$

Нобр.	Число кв.	N платы							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1.67	1.43	0.86	1.48	0.90	0.49	0.90	1.94
2	1	0.86	1.54	0.92	1.20	2.50	1.11	1.86	1.29
3	1	2.15	1.13	1.52	1.33	0.87	1.03	1.23	1.26

Продолжение таблицы 3.2

4	2	0.78	0.77	1.06	0.92	1.14	0.89	0.78	0.87
5	2	0.73	0.83	0.75	0.75	0.81	0.77	0.13	1.06
6	2	0.67	0.78	0.31	0.74	0.77	0.76	0.97	1.07
7	3	0.78	0.67	0.65	1.14	0.86	0.71	0.65	0.88
8	3	0.57	0.56	0.58	0.69	0.90	0.90	0.70	1.60
9	5	0.53	0.50	0.59	0.58	0.44	0.54	0.79	0.60

Таблица 3.3 – Уровень шумов D , мкВ/В. Паста – III гр., $\rho_s = 1 \text{ кОм/кВ}$, ширина $a = 0.8 \text{ мм}$

Нобр.	Число кв.	N платы							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0.41	0.56	0.43	0.39	0.47	0.43	0.53	0.41
2	1	0.38	0.43	0.42	0.48	0.47	0.42	0.54	0.42
3	1	0.37	0.44	0.47	0.49	0.44	0.38	0.55	0.40
4	2	0.36	0.38	0.44	0.41	0.37	0.36	0.52	0.36
5	2	0.78	0.46	0.53	0.53	0.47	0.57	0.51	0.60
6	2	0.77	0.47	0.47	0.53	0.57	0.60	0.56	0.49

Продолжение таблицы 3.3

7	3	0.32	0.34	0.36	0.33	0.30	0.30	0.45	0.31
8	3	0.31	0.33	0.35	0.39	0.34	0.32	0.39	0.35
9	5	0.18	0.17	0.18	0.18	0.17	0.17	0.21	0.18

Таблица 3.4 – Уровень шумов D , мкВ/В. Паста – IV гр., $\rho_s = 1 \text{ кОм/кВ}$, ширина $a = 0.8 \text{ мм}$

Нобр.	Число кв.	N платы							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0.64	1.72	0.64	0.63	0.63	0.63	0.67	0.70
2	1	0.66	0.65	0.65	0.66	0.65	0.66	0.68	0.68
3	1	0.63	0.65	0.71	0.66	0.71	0.66	0.71	0.60
4	2	0.56	0.58	0.18	0.54	0.59	0.61	0.57	0.54
5	2	0.70	0.66	0.71	0.63	0.59	0.61	0.61	0.56
6	2	0.60	0.56	0.56	0.54	0.68	0.64	0.58	0.67
7	3	0.43	0.40	0.47	0.41	0.41	0.43	0.45	0.41
8	3	0.41	0.38	0.42	0.41	0.40	0.40	0.40	0.40
9	5	0.31	0.30	0.33	0.32	0.35	0.33	0.32	0.31

Таблица 3.5 – Уровень шумов D , мкВ/В. Паста – V гр., $\rho_s = 1 \text{ кОм/кВ}$,
ширина $a = 0.8 \text{ мм}$

Нобр.	Число кв.	N платы							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1.00	1.93	1.19	1.46	1.23	1.22	1.31	1.11
2	1	1.16	1.45	1.02	1.08	1.18	1.30	1.18	1.05
3	1	1.20	1.13	1.14	1.17	1.13	1.16	1.01	1.26
4	2	0.86	0.87	1.26	0.86	1.08	0.89	0.85	0.88
5	2	1.51	0.90	0.92	1.17	0.99	1.07	0.98	0.94
6	2	0.90	0.89	1.02	0.75	1.01	0.94	0.97	0.94
7	3	1.02	0.70	0.91	0.82	0.73	0.75	0.72	0.72
8	3	0.75	0.75	0.70	0.78	0.73	0.75	0.83	0.71
9	5	0.62	0.53	0.50	0.50	0.51	0.55	0.54	0.55

Таблица 3.6 – Уровень шумов D , мкВ/В. Паста – VI гр., $\rho_s = 1 \text{ кОм/кВ}$,
ширина $a = 0.8 \text{ мм}$

Нобр.	Число кв.	N платы							
		1	2	3	4	5	6	7	8

Продолжение таблицы 3.6

1	1	1.61	1.88	2.30	2.23	1.70	2.03	1.50	1.48
2	1	1.55	1.51	1.90	1.58	2.16	1.60	1.61	1.47
3	1	1.75	1.49	1.67	1.94	1.70	1.49	1.59	1.56
4	2	1.31	1.46	1.71	1.16	1.27	1.16	1.81	1.09
5	2	1.21	1.17	1.13	1.44	1.28	1.12	1.37	1.29
6	2	1.20	2.05	1.14	1.15	1.10	1.19	1.25	1.26
7	3	0.96	0.91	0.81	0.86	1.18	1.00	1.46	0.86
8	3	0.87	1.04	0.86	0.81	1.08	0.86	1.35	0.88
9	5	0.85	0.72	0.71	0.84	0.74	0.74	0.72	1.12

Таблица 3.7 – Уровень шумов Д, мкВ/В. Паста – СМ-12, $\rho_s = 1 \text{ кОм/кв}$, ширина а = 0.8 мм

Нобр.	Число кв.	N платы							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0.28	0.13	0.12	0.11	0.13	0.12	0.21	0.15
2	1	0.10	0.17	0.12	0.12	0.10	0.14	0.14	0.14
3	1	0.14	0.26	0.12	0.47	0.24	0.11	0.13	0.50
4	2	0.29	0.26	0.75	0.24	0.26	0.33	0.20	0.27

Продолжение таблицы 3.7

5	2	0.25	0.27	1.18	0.35	0.21	0.26	0.26	0.22
6	2	0.27	0.26	0.31	0.32	0.26	0.26	0.25	0.25
7	3	0.065	0.099	0.050	0.071	0.056	0.064	0.059	0.046
8	3	0.076	0.080	0.086	0.063	0.100	0.062	0.051	0.099
9	5	0.068	0.039	0.039	0.023	0.042	0.042	0.040	0.041

Таблица 3.8 – Уровень шумов D , мкВ/В. Паста – «Heraeus», $\rho_s = 10$ кОм/кв, ширина $a = 0.8$ мм, длина $l = 0.8$ мм

Нобр.	Число кв.	N платы							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	2.36	1.89	2.47	1.78	3.40	2.02	1.78	2.47
2	1	2.22	2.95	1.66	2.20	1.80	2.46	1.91	1.77
3	1	1.73	1.93	1.72	1.67	1.79	1.36	2.55	2.54

Таблица 3.9 – Уровень шумов D , мкВ/В. Паста – VI гр., $\rho_s = 10$ кОм/кв, ширина $a = 0.8$ мм, длина $l = 0.8$ мм

Нобр.	Число кв.	N платы							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	2.43	2.31	2.46	2.01	3.69	2.18	2.32	2.37
2	1	2.26	2.23	2.53	2.39	2.67	2.14	2.10	2.84
3	1	2.63	3.21	2.60	2.23	2.74	2.65	2.63	4.33

Таблица 3.10 – Уровень шумов Д, мкВ/В. Паста – СМ-12, $\rho_s = 10 \text{ кОм/кв}$, ширина $a = 0.8 \text{ мм}$, длина $l = 0.8 \text{ мм}$

Нобр.	Число кв.	N платы							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	6.01	1.22	5.45	1.11	2.74	3.20	3.66	1.77
2	1	7.57	1.84	2.50	0.95	16.50	7.50	18.60	6.72
3	1	4.65	1.51	1.78	1.21	10.10	0.56	24.20	2.97

Таблица 3.11 – Уровень шумов Д, мкВ/В. Паста – «Heraeus», $\rho_s = 100 \text{ кОм/кв}$, ширина $a = 0.8 \text{ мм}$, длина $l = 0.8 \text{ мм}$

Нобр.	Число кв.	N платы							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0.65	0.58	0.63	0.56	0.59	0.74	0.63	0.59

Таблица 3.12 – Уровень шумов Д, мкВ/В. Паста – VI гр., $\rho_s = 100 \text{ кОм/кв}$, ширина $a = 0.8 \text{ мм}$, длина $l = 0.8 \text{ мм}$

Нобр.	Число кв.	N платы							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	5.18	5.31	4.22	4.60	4.30	5.94	5.20	4.66

На рисунке 3.4 изображена зависимость спектральной плотности напряжения токовых шумов от частоты для резистора, обладающего импульсными шумами.

Паста СМ-12, $\rho_s=10\text{кОм/кВ}$, $a = 0.8 \text{ мм}$, $T = 300 \text{ К}$

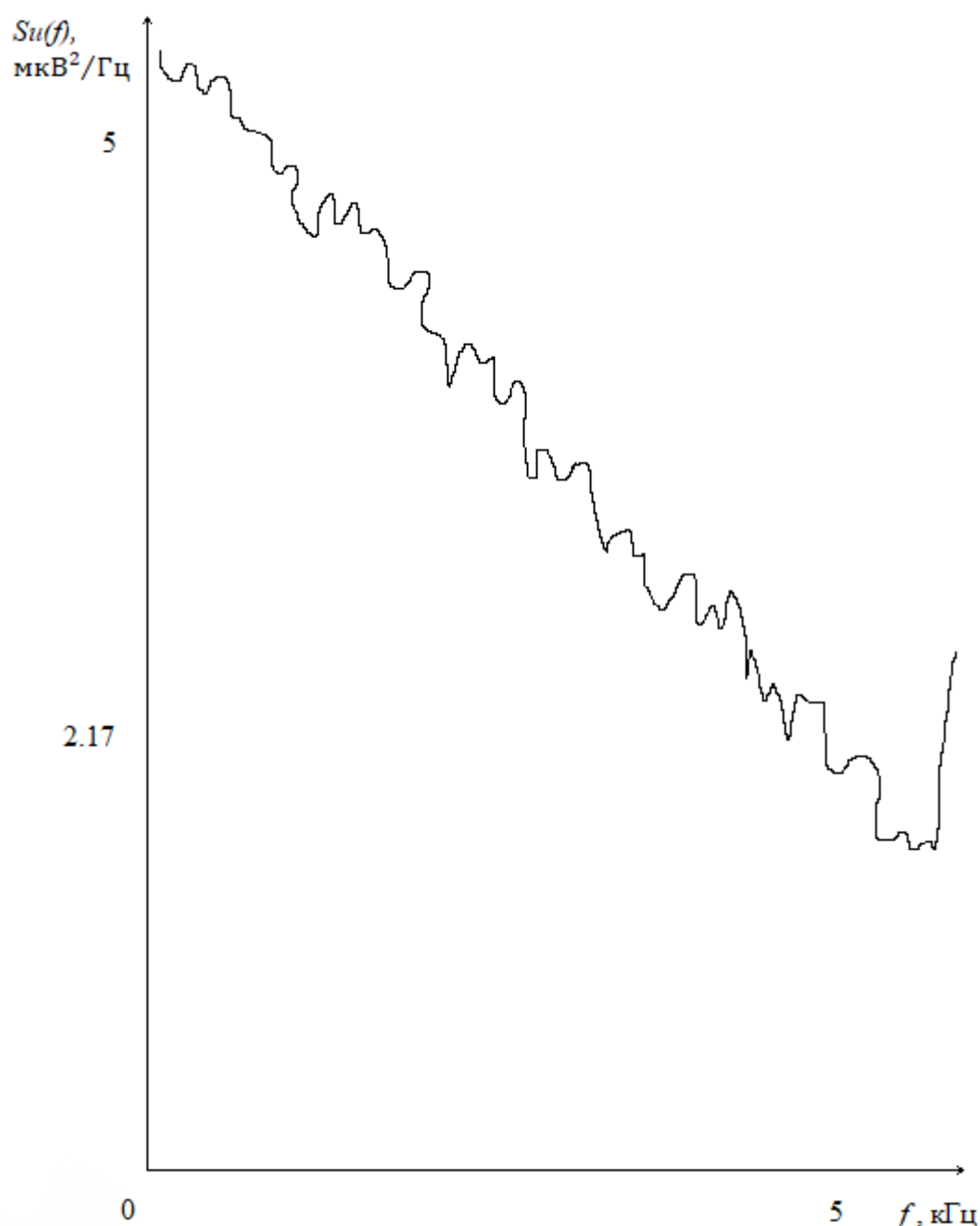


Рисунок 3.4 – Зависимость спектральной плотности напряжения звуковых шумов от частоты для резистора, обладающего импульсными шумами

По закономерностям рассмотренным выше, пасты «Heraeus» и II-VI групп очень близки друг к другу. От них существенно отличается паста СМ-12.

При $\rho_s = 1 \text{ кОм/кв}$ наименее шумящей из всех паст является паста СМ-12.

У паст II-VI групп наблюдается четкий шум по Д при всех значениях числа квадратов (рисунок 3.6); наименее шумящей из них является паста III группы.

Относительные значения разброса параметров Д рассчитываются по формуле 3.1

$$D^0 = \frac{\Delta D}{D_{\text{ср}}} \quad (3.1)$$

Относительные значения разброса параметров Д уменьшаются (рисунок 3.5). Исключение составляет паста СМ-12. Отметим характерное поведение этих кривых в области одного квадрата.

Рассмотрим зависимость $D_{\text{ср}}$ различных паст от числа квадратов (рисунок 3.8). Согласно формуле (3.1) при изменении числа квадратов от 1 до 5 Д должно уменьшиться в 2.24 раз. Наиболее точно это выполняется для паст II-VI групп, менее точно для пасты «Heraeus». Для пасты СМ-12 этот вид канонической зависимости не выполняется. Статистические данные по данным таблиц 3.8 – 3.12 представлены в таблице 3.13.

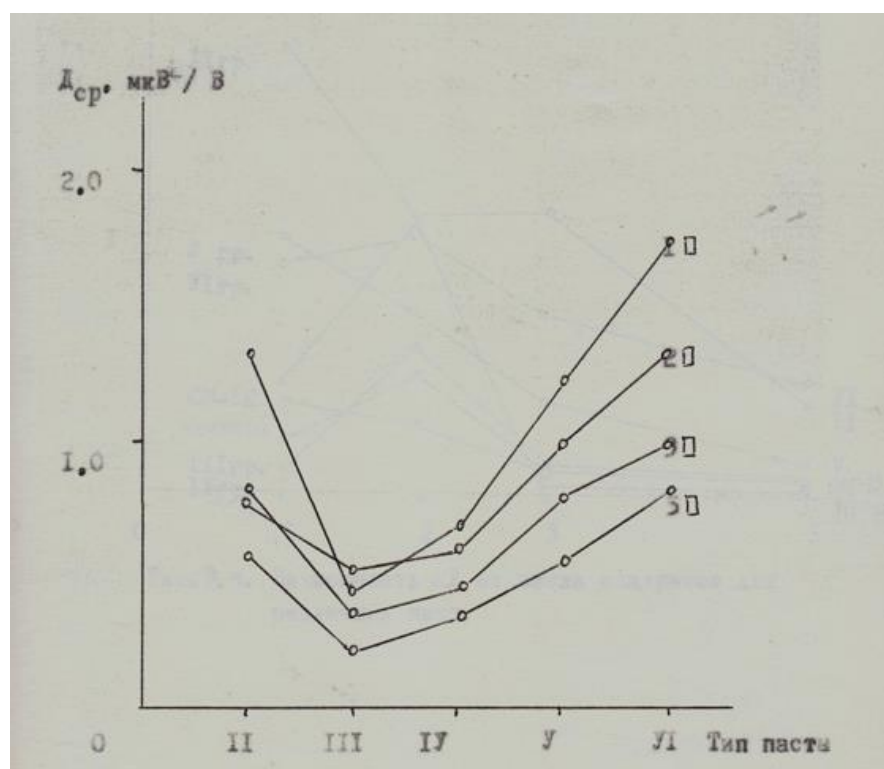


Рисунок 3.5 – Средние значения Δ пасти II-VI групп

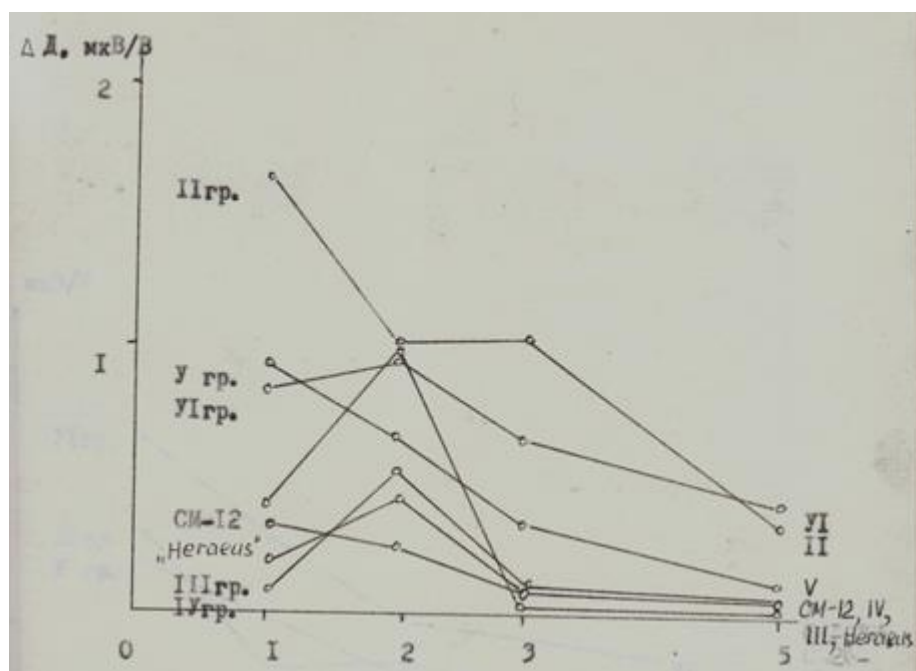


Рисунок 3.6 – Зависимость ΔΔ от числа квадратов для различных пасти

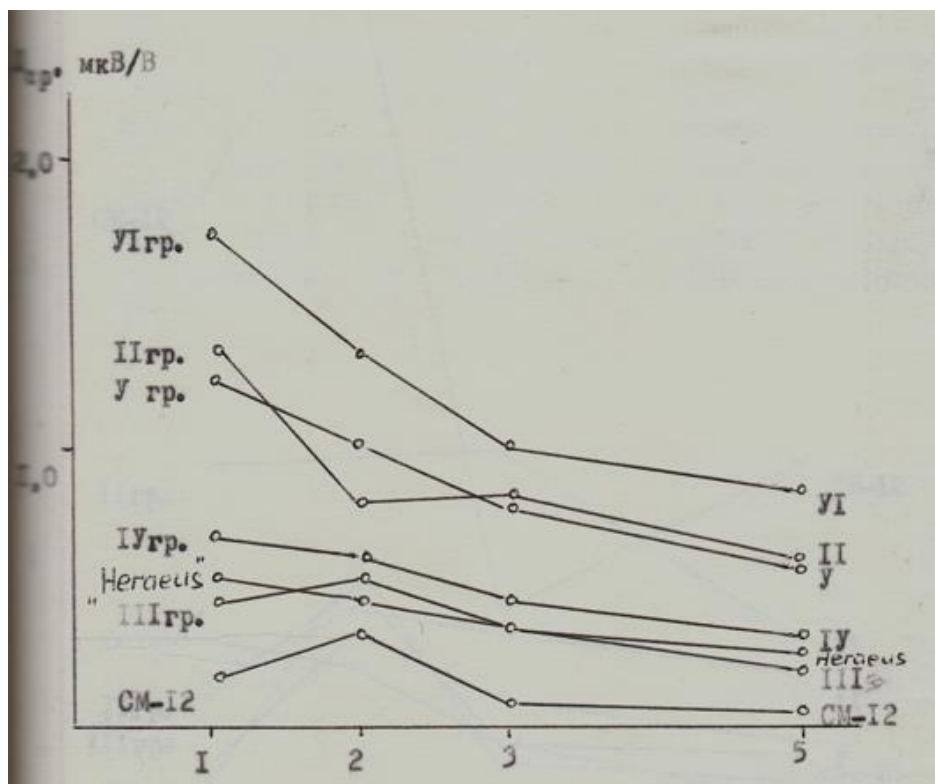


Рисунок 3.7 – Зависимость D_{cp} от числа квадратов для различных паст

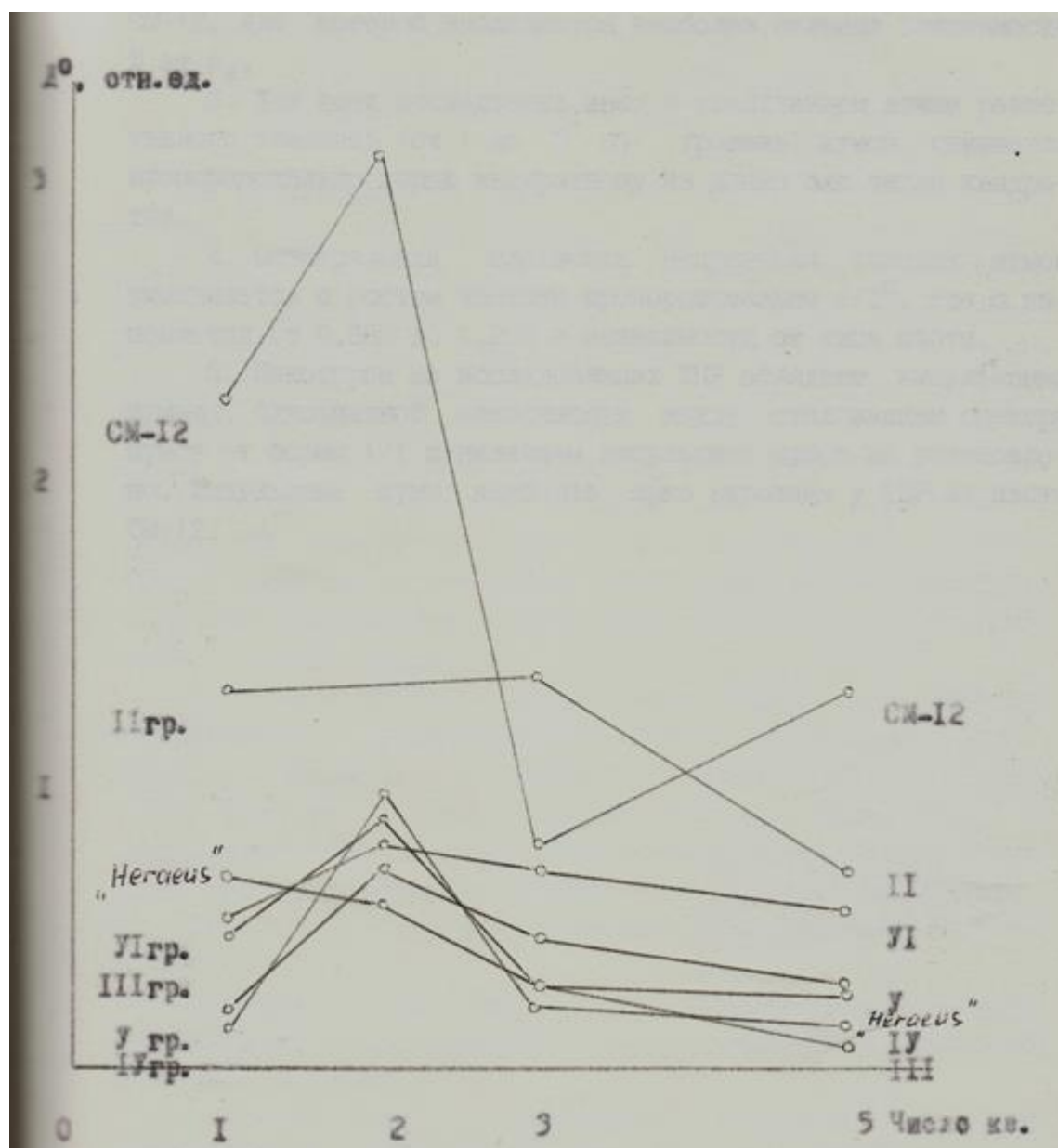


Рисунок 3.8 – Зависимость D^0 от числа квадратов для различных паст

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Сравнительные исследования паст показали что наблюдается зависимость уровня токовых шумов от ρ_s и длины резистивного элемента. При изменении ρ_s от 10 до 10^6 Ом/кв для паст II-VI групп уровень токовых шумов изменяется от 0.44 мкВ/В до 4.92 мкВ/В. Среди паст II-VI групп с $\rho_s = 10^6$ Ом/кв наименьшими значениями D обладает паста III группы;

2. Наименее шумящей пастой во всем измеряемом диапазоне ρ_s является паста фирмы «Heraeus», наиболее шумящей – паста СМ-12, для которой наблюдается наиболее сильная зависимость D от ρ_s ;

3. Для всех исследуемых паст с увеличением длины резистивного элемента (от 1 до 5 квадратов) уровень шумов снижается пропорционально корню квадратному из длины или числа квадратов;

4. Спектральная плотность напряжения токовых шумов уменьшается с ростом частоты пропорционально $1/f^a$, где a изменяется от 0.389 до 1.206 в зависимости от типа пасты;

5. Некоторые из исследованных толсто пленочных резисторов обладают импульсными шумами. Однозначной зависимости между отклонением спектра шумов от формы $1/f$ и наличием импульсных шумов не установлено. Импульсные шумы наиболее ярко выражены у толсто пленочных резисторов из пасты СМ-12 [9].

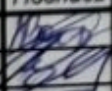
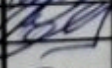
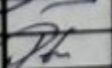
					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

4. Проект искусственного освещения измерительной лаборатории

Рациональное освещение рабочего места является одним из важнейших факторов, влияющих на эффективность трудовой деятельности человека, предупреждающих травматизм и профессиональные заболевания. Правильно организованное освещение создает благоприятные условия труда, повышает работоспособность и производительность труда. Освещение на рабочем месте программиста должно быть таким, чтобы работник мог без напряжения зрения выполнять свою работу. Утомляемость органов зрения зависит от ряда причин:

- недостаточность освещенности;
- чрезмерная освещенность;
- неправильное направление света.

Недостаточность освещения приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомленности. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики, дезориентировать работающего. Все эти причины могут привести к несчастному случаю или профзаболеваниям, поэтому столь важен правильный расчет освещенности. Для обеспечения комфортных условий при выполнении зрительно-напряженных работ необходимо применять наиболее рациональные системы освещения с правильным подбором светотехнической аппаратуры и источников света. Специальными исследованиями установлено, что наиболее благоприятное влияние на зрение оказывают относительно малонасыщенные цвета средней части видимого спектра (желто-зелено-голубые), так называемые оптимальные цвета. Уровни всех функций зрения резко снижаются при увеличении пульсаций светового потока. Соотношение яркости экрана и освещения в помещении должно приближаться к 1:10 как при естественном освещении, так и при ламповом.

					ПГУ 2 11.03.04 003 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Проект искусственного освещения измерительной лаборатории	Лит.	Лист	Листов
Выполнил		Володин		15.06				
Провер.		Доросинский		19.06			43	77
Н. Контр.		Рыжова		18.06		Группа 19ПД1		
Утверд.								

Поэтому не рекомендуется устанавливать монитор ни напротив, ни на фоне окна.

Существует три вида освещения – естественное, искусственное и совмещенное (естественное и искусственное вместе).

Естественное освещение – освещение помещений дневным светом, проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях помещений. Естественное освещение характеризуется тем, что меняется в широких пределах в зависимости от времени дня, времени года, характера области и ряда других факторов.

Искусственное освещение применяется при работе в темное время суток и днем, когда не удастся обеспечить нормированные значения коэффициента естественного освещения (пасмурная погода, короткий световой день). Освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным, называется совмещенным освещением.

При выполнении работ категории высокой зрительной точности (наименьший размер объекта различения 0,3...0,5 мм) величина коэффициента естественного освещения (КЕО) должна быть не ниже 1,5%, а при зрительной работе средней точности (наименьший размер объекта различения 0,5...1,0 мм) КЕО должен быть не ниже 1,0%.

В вычислительном центре, как правило, применяют одностороннее боковое естественное освещение, а также систему комбинированного освещения. Аварийное освещение предназначено на случай внезапного (при аварии) отключения рабочего освещения. Для искусственного освещения помещений вычислительного центра следует использовать главным образом люминесцентные лампы, у которых высокая световая отдача (до 75 лм/Вт и более), продолжительный срок службы (до 10 000 ч), малая яркость светящейся поверхности, близкий к естественному спектральный состав излучаемого света, что обеспечивает хорошую цветопередачу.

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Рекомендуемая освещенность для работы составляет 300-500 лк. Местное освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана и увеличивать освещенность экрана более 300лк. [10].

4.1 Расчет освещенности рабочего места

Расчет освещенности рабочего места сводится к выбору системы освещения, определению необходимого числа светильников, их типа и размещения. Исходя из этого, рассчитаем параметры искусственного освещения.

К современному производственному освещению, в том числе освещению измерительных лабораторий, предъявляются высокие требования как гигиенического, так и технико-экономического характера. Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое воздействие на работающих, способствует повышению производительности труда.

О важности вопросов производственного освещения для измерительных лабораторий говорит и тот факт, что условия деятельности инженера в системе "человек-машина" связаны с явным преобладанием зрительной информации - до 90% общего объёма.

Видимое излучение является частью электромагнитного излучения в диапазоне длин волн 380-770 нм. Используют такие количественные показатели, как световой поток, сила света, освещённость, яркость поверхности, коэффициенты отражения, пропускания и поглощения.

Световой поток Φ – это поток излучения, оцениваемый по его воздействию на человеческий глаз. За единицу светового потока принят люмен (лм).

Сила света J – пространственная плотность светового потока, которая определяется отношением светового потока к телесному углу W , в котором он

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

распространяется (единица силы света – кандела):

$$J = \frac{\Phi}{W}, \quad (4.1)$$

где Φ – световой поток; W – телесный угол.

Освещённость E – поверхностная плотность светового потока Φ (единица освещённости – люкс).

$$E = \frac{\Phi}{S}, \quad (4.2)$$

где S – площадь поверхности.

К системам производственного освещения предъявляются следующие требования:

- а) соответствие уровня освещённости рабочих мест характеру выполняемых зрительных работ;
- б) достаточно равномерное распределение яркости на рабочих поверхностях и в окружающем пространстве;
- в) отсутствие резких теней прямой и отражённой блескости;
- г) постоянство освещения во времени;
- д) оптимальная направленность излучаемого осветительными приборами светового потока;
- е) долговечность, экономичность, электро- и пожаробезопасность, эстетичность, удобство и простота эксплуатации.

В зависимости от природы источника световой энергии различают естественное и совмещённое освещение. В вычислительных центрах, как правило, применяют одностороннее естественное боковое освещение. Причём световые проёмы с целью уменьшения солнечной инсоляции устраивают с северной, северо-западной или северо-восточной ориентацией. В машинных

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

залах рабочие места операторов, работающих с дисплеями, располагают подальше от окон и таким образом, чтобы оконные проёмы находились сбоку. Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева. Окна рекомендуется снабжать светорассеивающими шторами, регулируемые жалюзи, или солнцезащитной плёнкой с металлическим покрытием. В тех случаях, когда естественного освещения в помещении недостаточно, то устраивают совмещённое освещение. При этом дополнительное искусственное освещение применяют не только в тёмное время, но и в светлое время суток.

Искусственное освещение по характеру выполняемых затрат делится на рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное и т.п. Для искусственного освещения помещений измерительных лабораторий следует использовать главным образом люминесцентные лампы, у которых высокая световая отдача (до 75 лм/Вт) и более продолжительный срок службы (до 10000 час), матовость светящейся поверхности, близкий к естественному спектральный состав излучаемого света, что обеспечивает хорошую светопередачу. Но есть и недостатки: высокая пульсация светового потока.

Более приемлемым для измерительных лабораторий являются лампы белого света и ЛТБ (тепло-белого света) мощностью 40 или 80 Вт. Для исключения засветки экранов световыми потоками светильники общего освещения располагают сбоку от рабочего места параллельно рабочему месту оператора и стене с окнами.

На стадии проектирования основной задачей светотехнических расчётов является определение требуемой площади световых проёмов при естественном освещении и потребной мощности осветительной установки при искусственном.

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

Задачей расчета освещенности является определение числа и мощности светильников, необходимых для обеспечения заданного значения освещенности.

При освещении "точечными" источниками света, т.е. лампами накаливания, а также лампами типа ДРЛ и др., обычно число и размещение светильников намечается до расчета, в процессе же расчета определяется необходимая мощность ламп.

При освещении трубчатыми люминесцентными лампами до расчета обычно намечается число и расположение рядов светильников, по результатам же расчета производится "компоновка рядов", т.е. определение числа и мощности светильников, устанавливаемых в каждом ряду.

Таким образом, при проектировании искусственного освещения производственного помещения необходимо выбрать тип источника света, систему освещения, вид светильника, наметить наиболее целесообразные высоты установки светильников и мощность ламп, необходимых для создания нормируемой освещенности на рабочем месте и в заключение провести проверку намеченного варианта освещения на соответствие его нормативным требованиям.

Расчет искусственного освещения в помещениях можно проводить следующими методами: методом коэффициента использования светового потока, точечным методом, методом удельной мощности и специальными методами расчета.

Метод коэффициента использования светового потока используется при расчете общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности, учитывающего как прямой, так и отраженный свет.

Потребный световой поток одной лампы определяется по формуле (4.3)

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S_n \cdot z \cdot K_3}{\eta \cdot N \cdot n} \quad (4.3)$$

где E_n – нормированная минимальная освещенность, лк; S_n – площадь пола

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

освещаемого помещения, м^2 ; z – коэффициент неравномерности освещения, равный отношению $E_{\text{ср}}/E_{\text{min}}$. обычно $z=1,1 \dots 1,2$; K_3 – коэффициент запаса; h – коэффициент использования светового потока; N – число светильников (как правило, намечаемое до расчета); n – число ламп в светильнике.

Коэффициент h характеризует отношение потока, падающего на расчетную точку (поверхность), к суммарному потоку всех ламп. Он находится в зависимости от типа светильника, отражательной способности стен, потолка, габаритов помещения (индекса помещения i).

Величина индекса i помещения определяется из выражения (3.4)

$$i = \frac{L \cdot \Gamma}{H_c \cdot (L + \Gamma)} \quad (4.4)$$

где L, Γ – соответственно длина и глубина помещения, м;

H_c – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, м.

Значение величины H_c целесообразно находить из представленной ниже формулы (3.5), на основании данных о высоте помещения, высоте рабочей поверхности и расстояния светильников от перекрытия

$$H_c = H - h_p - h_c \quad (4.5)$$

где H – высота помещения, м;

h_p – высота рабочей поверхности, м; h_c – расстояние светильников от перекрытия, м.

Зная величину индекса i , по таблицам (СНиП 23-05-95) определяют коэффициент η в относительных числах.

По определенному световому потоку лампы Φ (3.3), по ГОСТ 2239-79 и ГОСТ 6825-91 выбирается ближайшая стандартная лампа и определяется необходимая электрическая мощность. В практике допускается отклонение потока выбранной лампы от расчетного до -10% и $+20\%$, в противном случае выбирается другая схема расположения светильников.

Произведем расчет искусственного производственного освещения методом коэффициента использования светового потока, т.к. он даёт

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

возможность определить световой поток ламп, необходимый для создания нормированной освещённости при применении общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности (что чаще всего бывает на производстве).

Расчёт ведется по на основании формулы (4.3). В этой формуле величину нормируемой освещённости E_n в люксах выбираем равной 300 лк., т.к. эта освещенность соответствует точности производимых работ.

Коэффициент запаса K_z примем равным 1,4.

Величина коэффициента использования светового потока h находится (см. таблицу 1) в зависимости от величины индекса помещения i и коэффициентов отражения потолка, стен и пола. Задаёмся $r_{\text{пот}} = 70\%$, $r_{\text{ст}} = 50\%$, $r_{\text{п.}} = 30\%$. Число ламп в светильнике n равно 1. Число светильников N равно 9.

Обычно искусственное освещение выполняется посредством электрических источников света двух видов: ламп накаливания и люминесцентных ламп. Будем использовать люминесцентные лампы. Исходные данные:

- высота помещения $H=4$ м;
- глубина помещения $B=4$ м;
- длина помещения $A=6$ м;
- характер выполняемых зрительных работ – высокая точность, соответственно $E_n = 300$ лк, КЕО (e_n) = 2 %.

Искусственное освещение измерительной лаборатории применяется в часы суток, когда естественный свет недостаточен. Эскиз помещения с расположением ламп показан на рисунке 4.1.

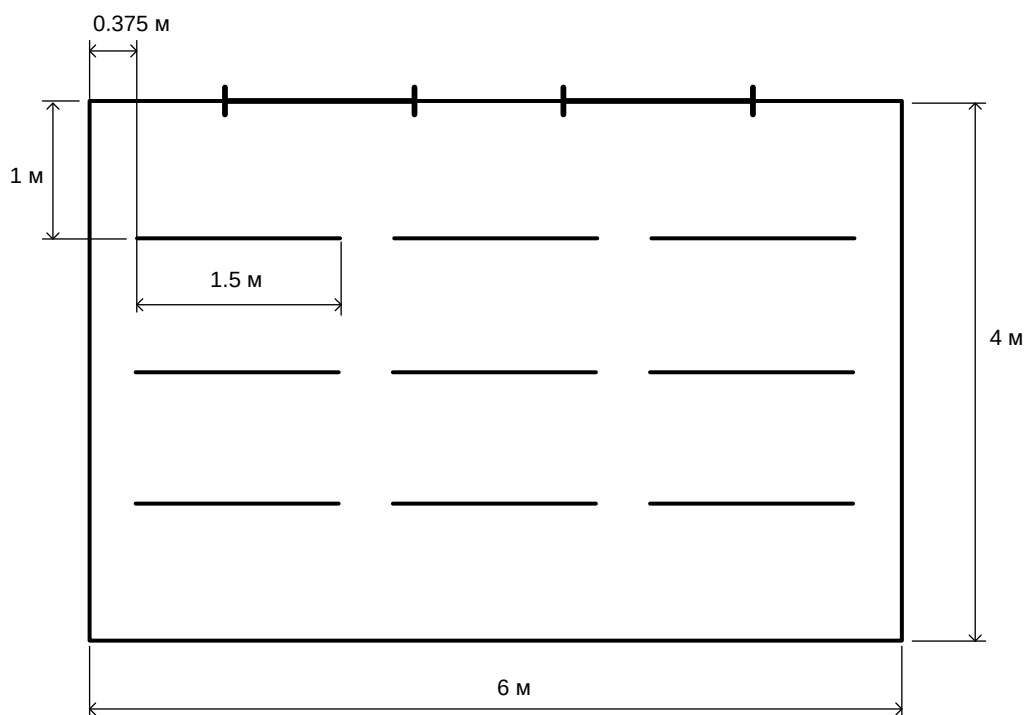


Рисунок 4.1 – Эскиз помещения с размещением ламп

Здесь предусмотрено равномерное рабочее искусственное освещение, не создающее как резких теней на рабочем месте, так и слепящей яркости.

Расчет искусственного освещения в основном сводится к определению коэффициента использования светового потока [3]. Этот метод наиболее применим для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности с учетом света, отраженного от стен и потолка. Этот метод дает возможность определить световой поток ламп, необходимый для создания нормированной освещенности или найти освещенность по заданному потоку.

$$H_c = H - h_c - h_p = 4 - 0,2 - 1 = 2,8 \text{ м}$$

где $H = 4 \text{ м}$ – общая высота помещения; $h_c = 0,2 \text{ м}$ – высота от потолка до нижней части светильника; $h_p = 1 \text{ м}$ – высота от пола до освещаемой поверхности.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ

Лист

51

Величина индекса помещения определяется из выражения:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_c \cdot (A + B)} = \frac{4 \cdot 6}{2,8 \cdot (4 + 6)} = 0,857$$

где $A = 6$ м, $B = 4$ м – длина и ширина помещения.

Определим световой поток лампы.

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S_n \cdot z \cdot K_z}{N \cdot \eta \cdot n} = \frac{300 \cdot 24 \cdot 1,1 \cdot 1,4}{9 \cdot 0,38 \cdot 1} \approx 3242 \text{ лм.}$$

где Φ – световой поток одной лампы (лм);

$n = 1$ – количество ламп в светильнике; $E_n = 300$ лк (-10 +20) – наименьшая нормируемая освещенность; $K_z = 1,4$ – коэффициент запаса, учитывающий старение ламп, запыление и загрязнение светильников; $S_n = 24$ м² – площадь помещения; $z = 1,1$ – коэффициент неравномерности освещения, отношение средней освещенности к максимальной (в большинстве случаев 1,1 , 1,2); $N = 9$ – число светильников; определяется путем проектирования; $\eta = 38\% = 0,38$ – коэффициент использования светового потока, который характеризует отношение потока, падающего на расчетную поверхность, к суммарному потоку всех ламп, находится в зависимости от величины индекса помещений (i) и коэффициента отражения потолка и стен;

$r_n = 70\%$; $r_c = 50\%$; $r_p = 30\%$ – коэффициенты отражения потолка, стен и рабочей поверхности;

Коэффициенты определяются в соответствии с СНиП 23-05-95, Естественное и искусственное освещение.

По полученному световому потоку подбираем по таблице стандартную лампу типа ЛД-65, световой поток которой 3750 Лк. Основные технические характеристики лампы представлены в таблице 4.1.

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

Таблица 4.1 – основные технические характеристики лампы ЛД-65

Наименование	Мощность, Вт	Ток, А	Напряжение, В		Габаритные размеры, мм	
					L ₁	L
ЛД-65	65	0,67	110	8	151	1500

Изображение лампы с указанием геометрических размеров представлено на рисунке 4.2.

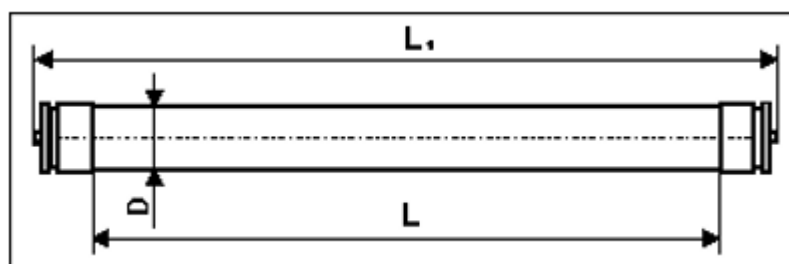


Рисунок 4.2 – вид лампы ЛД-65

Для того, чтобы убедиться в правильности произведенных расчетов необходимо провести проверку по формуле

$$E_p = \frac{\Phi \cdot N \cdot \eta \cdot n}{S_n \cdot z \cdot K_z} = \frac{3750 \cdot 9 \cdot 0,38 \cdot 1}{24 \cdot 1,1 \cdot 1,4} = 346,997 \text{ лк.}$$

При этом расчетная ошибка составила

$$E = \frac{E_p - E_T}{E_T} = \frac{346,997 - 300}{300} = 0,157 = 15,7 \%$$

Погрешность в расчетах не выходит за пределы $\pm 20\%$, что соответствует требованиям [11].

Для освещения измерительной лаборатории используем светильник *Isolux-M 4IS110*.

Это высококачественный водозащищенный речной светильник для промышленного освещения. Версии светильника с держателями для овальной регулируемой трубки отражателя, под 1 лампу.

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы была исследована важнейшая характеристика резисторов – токовый шум, являющийся информативным параметром, отражающим качество изготовления резистивного слоя и его однородности.

Также проводились исследования взаимосвязи спектральной плотности напряжения токовых шумов ТПР от состава, геометрии, технологических факторов. Эти исследования позволяют рекомендовать составы с легирующими добавками для снижения уровня токовых шумов ТПР.

Проводились методы расчета геометрии с целью получения оптимального уровня шумов

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Букингем М. Шумы в электронных приборах и системах/ пер. с англ. Под ред. В.Н.Губанкова – М. : Мир, 1986, –386с.
2. Hooge F. *1/f Noise is no surface effect*// *Phys. Lett.* – 1969. –V. 29A. – No.3. – P.139-140.
3. Vandamme L.*Criterisia of Low-Noise Thick-Film Resistors*// *Electrocomponent Science of Technology* – 1977. – V. 4. – P. 171-179/
4. Гальперин Б.Н. О токовых шумах в неметаллических резистивных материалах // Электронная техника. Сер.8. Качество, стандартизация, метрология, испытания. – 1967. – Вып.4. – С.43.
5. Ringo J.A., Stevens E.H., Gilbert D.A. *On the Interptetation of Noise in thick-film resistors* // *IEEE Trans on Parts, Hybridsand Packaging.* – 1976. – PHP-12. – No. 14. – P. 378-380
6. Мартюшов К.И. Токовые шумы в резисторах: Обзоры по электронной технике. Серия 5. Радиодетали и радиокомпоненты. М.: изд-во ЦНИИ «Электроника». – 1983. – Вып.5. (989). – 42с.
7. Бронзов О.О. Обобщение соотношения для расчета низкочастотных токовых шумов линейного резистивного четырехполюсника // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Общие вопросы радиоэлетроники. – 1985. – Вып. 2. – С. 50-58
8. Бронзов О.О. Флуктуации электропроводности линейных резистивных элементов и их приближенное математическое описание // N 5569-B90 от 30.10.90. – БУВИНИТИ «Деп. рук.». – 1990. – N 2. – б/о 423.
9. Бронзов О.О. Расчет зависимости низкочастотных токовых шумов от геометрических размеров линейных резистивных элементов// N 5569-B90 от 30.10.90. – БУВИНИТИ «Деп. рук.». – 1991. – N 2 – б/о 422.
10. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
11. http://ohrana-bgd.narod.ru/proizv_100.html.

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)
Техническое задание на ВКР

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

«Утверждаю»
Зав. кафедрой НИМЭ
Пронин И.А.
(фамилия, инициалы)
«09» июня 2023 г.

З А Д А Н И Е
на бакалаврскую работу

1. Студент гр. 19ПД факультета информационных технологий и электроники

Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и нанoeлектроника»

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Володин Иван Сергеевич

2. Руководитель Доросинский Антон Юрьевич

3. Тема бакалаврской работы Исследование токовых шумов толсто пленочных керметных резисторов

Тема утверждена приказом ПГУ № 359а/о от «04» апреля 2023 г.

4. Техническое задание на бакалаврскую работу (вид работы: разработка, проектирование, исследование, и т.д.; назначение; основные параметры; условия функционирования и т.д.)

Проведения исследования токовых шумов толсто пленочных керметных резисторов, методов и средств оценки токовых шумов.

Требования:

Диапазон частот от 10 Гц до 3 МГц.

Входное напряжение от 0 до 5 В.

Среда вычисления спектральной плотности Matlab, Mathcad.

5. Объем и содержание основной части бакалаврской работы

5.1. Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, обоснований, описаний, расчетов и т.д.)

1 Виды и природа возникновения токовых шумов в толсто пленочных керметных резисторах

1.1 Понятие электрического шума и его виды

1.2 Природа возникновения токовых шумов

1.3 Зависимость токовых шумов от геометрии резистивного элемента

2 Анализ методик исследования токовых шумов

2.1 Измерение уровня токовых шумов

2.2 Структура установки для контроля параметров токовых шумов

2.3 Оценка спектральной плотности напряжения токовых шумов

3 Методы и средства контроля токовых шумов

3.1 Выбор оборудования для контроля токовых шумов

3.2 Выбор программных средств контроля спектральной плотности

3.3 Исследование спектральной плотности токовых шумов

4 Проект искусственного освещения измерительной лаборатории

4.1 Расчет освещенности рабочего места

5.2. Иллюстративная часть (перечень и содержание чертежей и слайдов презентации)

Цель работы (слайд 2)

Задачи работы (слайд 3)

Основные формулы для вычисления токовых шумов и их параметров (слайд 4)

Функциональная схема установки для измерения уровня шумов (слайд 5)

Структурная схема установки для контроля параметров токовых шумов (слайд 6)

Методы для спектрального анализа и оценки спектрального изменения напряжения токовых шумов (слайд 7)

Исследование спектральной плотности токовых шумов (слайд 8)

Зависимость спектральной плотности напряжения токовых шумов от частоты для резистора (слайд 9)

Вывод на основании проведенных исследований (слайд 10)

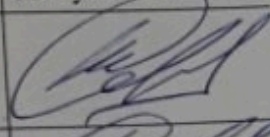
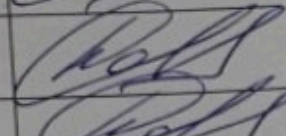
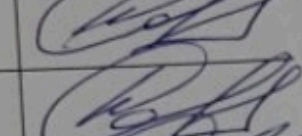
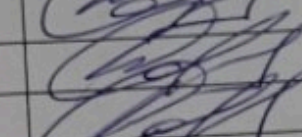
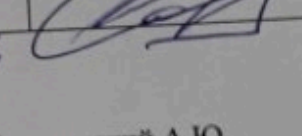
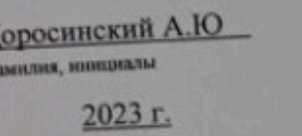
Искусственное освещение измерительной лаборатории (слайд 11)

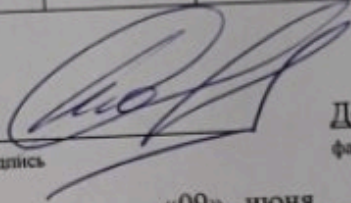
6. Консультанты и содержание дополнительных разделов

6.1.

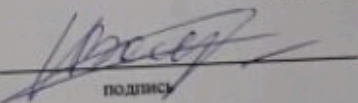
Консультант

7. Календарный график по выполнению бакалаврской работы

Наименование этапов работы	Объем работы	Срок выполнения	Подпись руководителя, консультанта
Виды и природа возникновения токовых шумов в толсто пленочных керметных резисторах	20%	09.06	
Анализ методик исследования токовых шумов	10%	10.06	
Методы и средства контроля токовых шумов	30%	11.06	
Проект искусственного освещения измерительной лаборатории	20%	12.06	
Иллюстративная часть	10%	13.06	
Оформление пояснительной записки	10%	14.06	

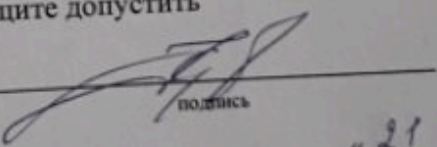
Руководитель бакалаврской работы  Доросинский А.Ю.
подпись фамилия, инициалы

Дата выдачи задания «09» июня 2023 г.

Задание к исполнению принял  Володин И.С.
подпись фамилия, инициалы

«09» июня 2023 г.

Бакалаврскую работу к защите допустить

Декан факультета  Кревчик В.Д.
подпись фамилия, инициалы

«21» июня 2023 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе
«Антиплагиат.ВУЗ»

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

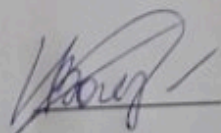
Ректору Пензенского государственного
университета Гулякову А.Д.
студента 4 курса ФИТЭ очной формы
обучения
Володина Ивана Сергеевича

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Володин Иван Сергеевич, студент 4 курса очной формы обучения направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, Микроэлектроника и твердотельная электроника, прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат.ВУЗ» бакалаврской выпускной квалификационной работы на тему «Исследование токовых шумов толстопленочных керметных резисторов», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

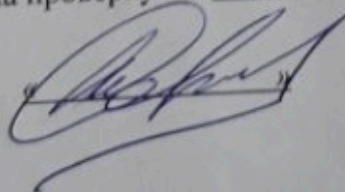
Я ознакомлен с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите и отчисления из университета.



« 20.06.23 »

ВКР представлена на проверку « 20.06.23 »

Руководитель ВКР



Доросинский А.Ю.

Протокол

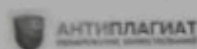
проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной
бакалаврской работы на тему «Исследование токовых шумов
толстопленочных керметных резисторов»

студента 4 курса Володина И.С.

направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника,

профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»

Руководитель ВКР _____ Доросинский А.Ю.



СПРАВКА

о результатах проверки текста документа
на наличие заимствований

Пензенский государственный университет

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ ANTIPLAGIAT.VUZ

Автор работы: Володин Иван Сергеевич
Специализация: Володин Иван Сергеевич
расчетное д/л: Исследование токовых шумов толстопленочных керметных резисторов
Название работы: Выпускная квалификационная работа
Тип работы: Кафедра: «Нано- и микроэлектроника»

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ Ответ в проверке корректировок ниже представлен результаты проверки до корректировки

Совпадения	43.85%	Совпадения	43.85%
Оригинальность	51.84%	Оригинальность	51.84%
Цитирование	4.27%	Цитирование	4.27%
Самодитерирование	0%	Самодитерирование	0%

Дата последней проверки: 20.06.2023

Дата и время корректировки: 20.06.2023 16:04

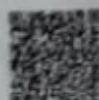
Структура документа: Проверенные разделы: одобрение с.1, основная часть с.2-52, библиография с.54
Модель поиска:

ИПС: Адмлет, Библиограф, Сводная коллекция ДС, Интернет Плюс*, Сводная коллекция РГБ, Цитирование, Переводные заимствования (RuEn), Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu), Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика, Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnRu), Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley; eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ: аналитика; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; IEEE; Медицина; Диссертации HEB; Коллекция HEB; Перифразирование по eLIBRARY.RU; Перифразирование по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перифразирование по Интернету; Перифразирование по Интернету (En); Перифразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перифразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перифразирование по коллекции

Работу проверил: Гусаконский Алексей Николаевич

Дата подписи: 20.06.23

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на сайт

Если на экране монитора не обнаружены заимствования
контента, система использует на экране предупреждение.
Предоставленная информация не должна использоваться
в коммерческих целях.

Руководитель ВКР

«20» 06. 2023 год

подпись

Доросинский А.Ю.

фамилия, инициалы



АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

Пензенский государственный университет

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.VU3

Автор работы: Володин Иван Сергеевич
Самоцитирование
рассчитано для: Володин Иван Сергеевич
Название работы: Исследование токовых шумов толсто пленочных керметных резисторов
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	43.85%	СОВПАДЕНИЯ	43.85%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	51.89%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	51.89%
ЦИТИРОВАНИЯ	4.27%	ЦИТИРОВАНИЯ	4.27%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 20.06.2023

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 20.06.2023 18:59

Структура

документа:

Модули поиска:

Проверенные разделы: содержание с.1, основная часть с.2-52, библиография с.54

ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЗБС; Интернет Плюс*; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley; eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ: аналитика; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; IEEE; Медицина; Диссертации НББ; Коллекция НБУ; Перефразирования по eLIBRARY.RU; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразирования по Интернету; Перефразирования по Интернету (EN); Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирования по коллекции

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи:

20.06.23

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(обязательное)
Презентация ВКР

					ПГУ 2. 11.03.04. 003 ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Министерство образования и науки Российской Федерации
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра «Нано – и микроэлектроника»

Выпускная квалификационная работа:
«Исследование токовых шумов толсто пленочных керметных
резисторов»

ПГУ 02. 11.03.04. 003

Автор : Володин И.С.

Руководитель:

к. т. н. доцент Доросинский А. Ю.

Пенза 2023

Цель работы:

Проведение исследования токовых шумов толстопленочных керметных резисторов, методов и средств оценки токовых шумов.

Задачи:

1. Описать понятие электрического шума и его виды, а также природу возникновения токовых шумов.
2. Проанализировать методику исследования токовых шумов.
3. Исследование спектральной плотности токовых шумов и выбор методов контроля токовых шумов.

Основные формулы для вычисления токовых шумов и их параметров

1) Формула Найквиста:

$$U_{\text{ш}} = (4kR\Delta f)^{\frac{1}{2}}$$

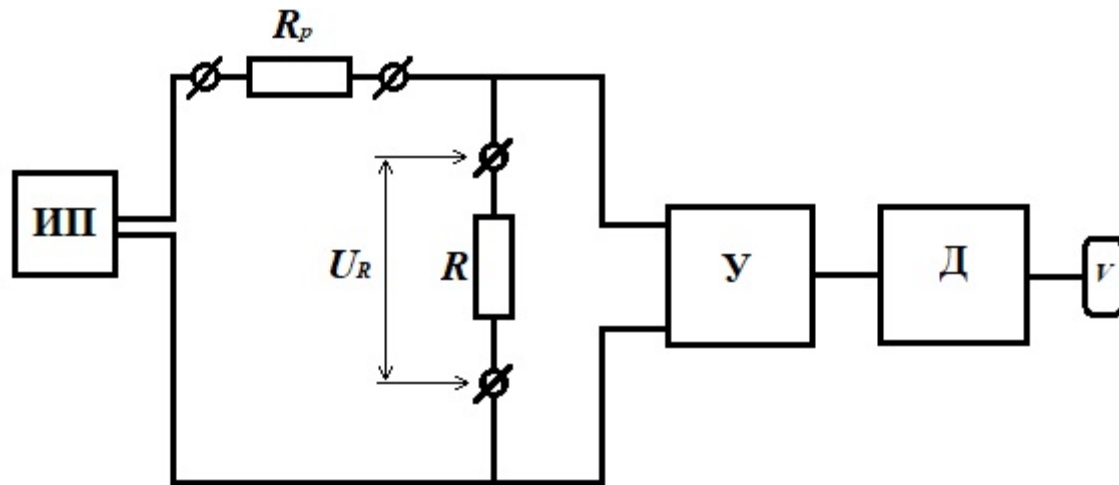
2) Формула для практических расчетов:

$$U_{\text{ш}} = \frac{1}{8} \sqrt{R\Delta f}$$

3) Зависимость токовых шумов от геометрии резистивного
элемента

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 = \frac{\alpha \rho \mu q R_{\text{уд}} \Delta f}{l^2 f y^2 t^2}$$

Функциональная схема установки для измерения уровня шумов



Условные обозначения на рисунке: ИП – источник питания постоянного тока; У – усилитель напряжения; Д – квадратичный детектор; V – вольтметр; R_p – разделительный резистор; R – испытываемый резистор ($R_p = R$).

Структурная схема установки для контроля параметров ТОКОВЫХ ШУМОВ



Методы для спектрального анализа и оценки спектрального изменения напряжения токовых шумов

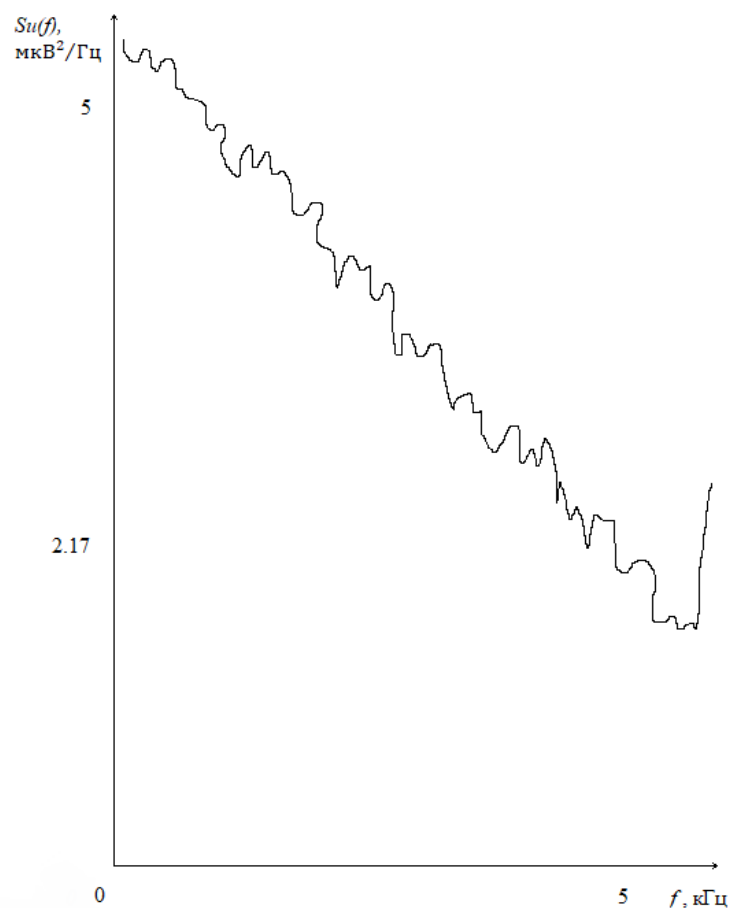
- 1) Метод Фурье;
- 2) Метод автокорреляции;
- 3) Методы оконного преобразования.

Исследование спектральной плотности ТОКОВЫХ ШУМОВ

Исследования токовых шумов толсто пленочных керметных резисторов проводились с целью сравнения различных типов опорных резистивных паст по шумовым свойствам. Проводили измерения уровня шумов толсто пленочных резисторов в соответствии с ГОСТ 21342.19-78 и спектральной плотности напряжения шумов.

Измерения проводились на тест-платах 26-Э-13300-1,2, изготовленных на основе опорных паст II-VI групп с ρ_s от 10^3 Ом/кв до 10^6 Ом/кв (Ом на число квадратов – образцы прямоугольной геометрии) Для сравнения шумовых свойств толсто пленочных резисторов проводили измерения уровня шумов и $S_U(f)$ образцов из паст фирмы «Heraeus» и недрагметальной пасты на основе дисилицида молибдена СМ-12. Использовались образцы прямоугольной геометрии с числом квадратов n 1 до 5.

Зависимость спектральной плотности напряжения токовых шумов от частоты для резистора



Вывод на основании проведенных исследований

1. Сравнительные исследования паст показали что наблюдается зависимость уровня токовых шумов от ρ_s и длины резистивного элемента. При изменении ρ_s от 10 до 10^6 Ом/кв для паст II-VI групп уровень токовых шумов изменяется от 0.44 мкВ/В до 4.92 мкВ/В. Среди паст II-VI групп с $\rho_s = 100$ Ом/кв наименьшими значениями D обладает паста III группы;

2. Наименее шумящей пастой во всем измеряемом диапазоне ρ_s является паста фирмы «Heraeus», наиболее шумящей – паста СМ-12, для которой наблюдается наиболее сильная зависимость D от ρ_s ;

3. Для всех исследуемых паст с увеличением длины резистивного элемента (от 1 до 5 квадратов) уровень шумов снижается пропорционально корню квадратному из длины или числа квадратов;

4. Спектральная плотность напряжения токовых шумов уменьшается с ростом частоты пропорционально $1/f^\alpha$, где α изменяется от 0.389 до 1.206 в зависимости от типа пасты;

5. Некоторые из исследованных толсто пленочных резисторов обладают импульсными шумами. Однозначной зависимости между отклонением спектра шумов от формы $1/f$ и наличием импульсных шумов не установлено. Импульсные шумы наиболее ярко выражены у толсто пленочных резисторов из пасты СМ-12

Искусственное освещение измерительной лаборатории

Искусственное освещение применяется при работе в темное время суток и днем, когда не удастся обеспечить нормированные значения коэффициента естественного освещения (пасмурная погода, короткий световой день). Освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным, называется совмещенным освещением.

При выполнении работ категории высокой зрительной точности (наименьший размер объекта различения 0,3...0,5мм) величина коэффициента естественного освещения (КЕО) должна быть не ниже 1,5%, а при зрительной работе средней точности (наименьший размер объекта различения 0,5...1,0 мм) КЕО должен быть не ниже 1,0%.

В вычислительном центре, как правило, применяют одностороннее боковое естественное освещение, а также систему комбинированного освещения. Аварийное освещение предназначено на случай внезапного (при аварии) отключения рабочего освещения. Для искусственного освещения помещений вычислительного центра следует использовать главным образом люминесцентные лампы, у которых высокая световая отдача (до 75 лм/Вт и более), продолжительный срок службы (до 10 000 ч), малая яркость светящейся поверхности, близкий к естественному спектральный состав излучаемого света, что обеспечивает хорошую цветопередачу.

Рекомендуемая освещенность для работы составляет 300-500 лк. Местное освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана и увеличивать освещенность экрана более 300лк

Спасибо за внимание!