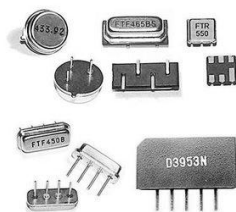


ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»

Кафедра полупроводниковой электроники и нанoeлектроники

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению контрольной работы по дисциплине
«Функциональная электроника»
для студентов направления 210100.62
«Электроника и нанoeлектроника»,
профиля «Микroeлектроника и твердотельная электроника»
заочной формы обучения



Воронеж 2014

Составитель канд. техн. наук Т.В. Свистова

УДК 621.382.2

Методические указания к выполнению контрольной работы по дисциплине «Функциональная электроника» для студентов направления 210100.62 «Электроника и нанoeлектроника», профиля «Микроэлектроника и твердотельная электроника» заочной формы обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Т.В. Свистова. Воронеж, 2014. 19 с.

Методические указания включают содержание контрольной работы, варианты и порядок выполнения работы, общие пояснения к тексту заданий, библиографический список рекомендуемой литературы.

Методические указания предназначены для студентов четвертого курса.

Издание подготовлено в электронном виде в текстовом редакторе MSWORD и содержится в файле «Му_кр_ФЭ.docx».

Табл. 8. Библиогр.: 4 назв.

Рецензент канд. физ.-мат. наук, доц. Е.В. Бордаков

Ответственный за выпуск зав. кафедрой
д-р физ.-мат. наук, проф. С.И. Рембеза

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет», 2014

СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ, ВЫБОР ВАРИАНТОВ, ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ, ОБЩИЕ ПОЯСНЕНИЯ К ТЕКСТУ ЗАДАНИЙ

Микроэлектроника - область электроники, связанная с исследованиями поведения заряженных частиц в твердом теле под воздействием электрических, магнитных, электромагнитных, тепловых полей, а также с созданием приборов и устройств в микроминиатюрном исполнении с использованием групповой технологии изготовления.

Современная микроэлектроника базируется на интеграции дискретных элементов электронной техники (резисторов, конденсаторов, диодов, транзисторов), когда каждый элемент схемы формируется отдельно в полупроводниковом кристалле. В основе создания ИМС лежит принцип элементной (технологической) интеграции, сопровождающейся микроминиатюризацией элементов (активных и пассивных) микросхемы. Поэтому синонимом микроэлектроники является понятие «интегральная электроника». Говоря о микроэлектронике, имеют в виду микроэлектронные размеры элементов, говоря об интегральной электронике - интеграцию этих элементов на кристалле микросхемы. В микроэлектронике сохраняется главный принцип дискретной электроники, основанной на разработке электрической схемы по законам теории цепей. Этот принцип неизбежно связан с ростом числа элементов микросхемы и межэлементных соединений по мере усложнения выполняемых ею функций.

Дальнейшее развитие микроэлектронных приборов связано с уменьшением размеров элементарных приборов до субмикронных размеров и переход в нанометровый масштаб измерений. Таким образом, микроэлектронные приборы превращаются в нанoeлектронные. При этом утрачивается групповая технология их изготовления. При этом произойдет переход на пластины большого диаметра. С ростом диаметра

обрабатываемых пластин резко возрастут издержки при производстве сверхбольших интегральных схем. Сложными становятся проблемы топологии и теплоотвода. Проблема межсоединений, характерная для схемотехнической микроэлектроники, ограничит скорость внешнего обмена информацией. В схемотехнической электронике с ростом степени интеграции и уменьшением топологической нормы возникает проблема «тирании межсоединений». Она связана с резким увеличением площади, занимаемой на кристалле межсоединениями (более 60 %), деградацией электрических параметров линий межсоединений, ростом энергии на перезарядку линий межсоединений, влиянием погонной ёмкости линий межсоединений и волнового сопротивления на частотные характеристики схемы, с необходимостью многоуровневой разводки при большом числе линий межсоединений.

Предельные показатели достижений микроэлектроники уже не смогут соответствовать набирающему силу научно-техническому прогрессу. Поэтому в отдаленной перспективе интегральная микроэлектроника уже не будет полностью удовлетворять разработчиков сложной радиоэлектронной аппаратуры. Даже достигнув предельных значений быстродействия и степени интеграции в изделиях схемотехнической микроэлектроники, нельзя будет на их основе создать устройства, способные решать перспективные задачи обработки больших информационных массивов. В этом случае возникает альтернатива: или искать пути сохранения экспоненциального роста степени интеграции интегральных схем, и тем самым расширить возможности схемотехнической микроэлектроники, или искать принципиально новый подход при создании систем обработки больших информационных массивов.

Традиционная схемотехническая ячейка, будь это логическая ячейка или ячейка памяти, состоит из большого количества статических неоднородностей. Под **статической неоднородностью** понимается локальная область на поверхно-

сти или в объёме среды с отличными от её окружения свойствами, создаваемая в результате строго определённых технологических процессов. Свойства таких статических неоднородностей позволяют генерировать, управлять или хранить информацию. Это и есть схемотехническая микроэлектроника, или электроника статических неоднородностей. В этом случае устройства обработки и хранения информации реализуются на определённых схемотехнических решениях.

В конце семидесятых годов XX века возникла идея использовать динамические неоднородности в процессах обработки и хранения информации, а также физические принципы интеграции не только числа элементов, но и числа функций, выполняемых микроэлектронным прибором. При интеграции на одном кристалле не только элементов, но и физических явлений и эффектов увеличиваются функциональные возможности приборов и устройств интегральной электроники. При этом используется уже не только схемотехнические решения для обработки и хранения информации, но и физические носители информационного сигнала — *динамические неоднородности* различной физической природы. Это направление в развитии электроники называют *функциональной электроникой*.

Функциональная микроэлектроника предполагает принципиально иной подход, позволяющий реализовать определённую функцию аппаратуры без применения стандартных базовых элементов, основывается непосредственно на физических явлениях в твердом теле. Локальному объёму твердого тела придаются такие свойства, которые требуются для выполнения данной функции, и промежуточный этап представления желаемой функции в виде эквивалентной электрической схемы не требуется. Функциональные микросхемы могут выполняться не только на основе полупроводников, но и на основе таких материалов, как сверхпроводники, сегнетоэлектрики, материалы с фотопроводящими свойствами и др. Для

переработки информации можно использовать явления, не связанные с электропроводностью (например, оптические и магнитные явления в диэлектриках, закономерности распространения ультразвука и т.д.).

Таким образом, функциональная микроэлектроника охватывает вопросы получения специальных сред с наперед заданными свойствами и создания различных электронных устройств методом физической интеграции. Функциональная микроэлектроника использует такие физические принципы и явления, реализация которых позволяет получить приборы со сложным схемотехническим или системотехническим функциональным назначением.

Функциональная электроника представляет собой область интегральной электроники, в которой изучается возникновение и взаимодействие динамических неоднородностей в континуальных (непрерывных) средах в совокупности с физическими полями, а также создаются приборы и устройства на основе динамических неоднородностей для целей обработки, генерации и хранения информации.

Целями преподавания дисциплины «Функциональная электроника» являются изучение студентами физических основ функциональной электроники; основных физических процессов, лежащих в основе действия приборов функциональной электроники; конструкции, параметров, характеристики и области применения приборов и устройств функциональной электроники.

В результате изучения дисциплины студент должен знать физические основы функциональной электроники: динамические неоднородности; континуальные среды; генераторы динамических неоднородностей; устройство управления динамическими неоднородностями; детектирование динамических неоднородностей; основные физические процессы, лежащие в основе действия приборов функциональной электроники; конструкции, параметры, характеристики и области

применения приборов и устройств функциональной электроники; уметь: применять полученные знания при теоретическом анализе, компьютерном моделировании и экспериментальном исследовании физических процессов, лежащих в основе принципов работы приборов и устройств функциональной электроники; владеть: информацией об областях применения и перспективах развития приборов и устройств функциональной электроники; методами экспериментальных исследований параметров и характеристик приборов и устройств функциональной электроники.

Студенты направления подготовки бакалавров 210100 «Электроника и наноэлектроника», профиля «Микроэлектроника и твердотельная электроника» заочной формы обучения согласно рабочей программе дисциплины «Функциональная электроника» выполняют одну контрольную работу. Контрольная работа состоит из 8 заданий. Каждое задание имеет десять вариантов. **Студенты в заданиях №№ 1–4 выбирают номер варианта, соответствующий последней цифре номера зачетки, в заданиях №№ 5–8 выбирают номер варианта, соответствующий предпоследней цифре номера зачетки.** Например, если номер зачетки оканчивается числом 72, то выбирается вариант 2 заданий №№ 1–4 и вариант 7 заданий №№ 5–8.

Контрольная работа выполняется в отдельной тетради. На обложке указывается название дисциплины, фамилия и инициалы студента, номер зачетки, специальность и факультет, домашний адрес и телефон, а также варианты выполняемых заданий. Выполнение каждого задания желательно начинать с новой страницы. На каждой странице следует оставлять поля для замечаний. В заданиях после изложения текста задания указаны разделы учебных пособий, которые могут оказать помощь при их выполнении.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Задание № 1.Функциональная электроника. Особенности и основные понятия.Дайте развернутый ответ на вопрос своего варианта.

Таблица 1

Вариант	Вопрос
0	Функциональная электроника (ФЭ) - четвертое поколение в электронике. Особенности ФЭ.
1	Физические явления, лежащие в основе ФЭ.
2	Основные элементы модели прибора функциональной электроники.
3	Статистические и динамические неоднородности.
4	Типы динамических неоднородностей.
5	Континуальные среды для элементов и устройств функциональной электроники. Особенности выбора материалов континуальной среды для компонентов функциональной электроники.
6	Генератор динамических неоднородностей
7	Устройство управления динамическими неоднородностями.
8	Детектор динамических неоднородностей.
9	Основные тенденции развития функциональной электроники.

Рекомендуемая литература: [1], стр. 617 – 626; [2], стр. 68 – 81;[3], стр. 367 – 374.

Задание № 2.Функциональная акустоэлектроника. Дайте развернутый ответ на вопрос своего варианта.

Таблица 2

Вариант	Вопрос
0	Акустоэлектроника. Акустоэлектронные явления и эффекты.
1	Генераторы на поверхностно-акустических волнах (ПАВ).
2	Устройства частотной селекции.
3	Линии задержки (ЛЗ). Устройство и принцип действия.
4	Акустоэлектронные усилители.
5	Детектирование динамических неоднородностей в акустоэлектронике.
6	Устройство управления динамическими неоднородностями в акустоэлектронике.
7	Генераторы динамических неоднородностей акустоэлектроники (встречно-штыревые преобразователи). Способы управления генерацией ПАВ.
8	Континуальные среды акустоэлектроники.
9	Динамические неоднородности акустоэлектронной природы.

Рекомендуемая литература: [1], стр. 627 - 656; [2], стр.82 - 125;[3], стр. 383 - 387.

Функциональная акустоэлектроника является направлением функциональной электроники, в котором исследуются акустоэлектронные эффекты и явления в различных континуальных средах, а также возможность создания приборов и устройств электронной техники для обработки, передачи и хранения информации с использованием динамических неоднородностей акустической и (или) акустоэлектронной, акустооптической природы.

Акустоэлектроника — направление функциональной микроэлектроники, связанное с использованием механических резонансных эффектов, пьезоэлектрического эффекта, а также эффекта, основанного на взаимодействии электрических полей с волнами акустических напряжений в пьезоэлектрическом полупроводниковом материале.

Акустоэлектроника занимается преобразованием акустических сигналов в электрические сигналы и электрических сигналов в акустические.

К акустоэлектронным явлениям и эффектам относятся: генерация, распространение, преобразование и детектирование объемных (ОАВ) и поверхностных акустических волн (ПАВ); преобразование электрического сигнала в акустический и обратно; электронное поглощение и усиление акустических волн; акустоэлектронные и акустомагнитные эффекты; нелинейные акустоэлектронные явления: генерация гармоник, акустоэлектронные домены, параметрическое и супергетеродинное усиление звука; взаимодействие света и звука в твердых телах, дифракция, модуляция и сканирование света звуком.

Исследования этих явлений и эффектов показывают, что с их помощью возможна генерация динамических неоднородностей волновой и доменной природы, которые широко используются в процессорах сигналов и устройствах памяти для обработки и хранения информации.

Задание № 3.Функциональная диэлектрическая электроника. Дайте развернутый ответ на вопрос своего варианта.

Таблица 3

Вариант	Вопрос
0	Динамические неоднородности диэлектрической электроники: сегнетоэлектрические домены, флуктоны, фазоны.
1	Динамические неоднородности диэлектрической электроники: экситоны, поляритоны.
2	Континуальные среды для диэлектрической электроники
3	Свойства и эффекты, которыми могут обладать континуальные среды для диэлектрической электроники.
4	Генераторы динамических неоднородностей для диэлектрической электроники.
5	Устройства управления и детекторы динамических неоднородностей для диэлектрической электроники.
6	Слоистые структуры: сегнетоэлектрик-полупроводник, сегнетоэлектрик-фотополупроводник.
7	Устройства памяти: сегнетоэлектрическое ЗУ
8	Процессоры на основе слоистой структуры сегнетоэлектрик-фотополупроводник.
9	Устройство обработки информации типа ФЕРПИК

Рекомендуемая литература: [1], стр. 671 - 683; [2], стр. 147 - 167; [3], стр. 393 - 395.

Диэлектрическая электроника – изучает протекание токов ограниченных объемным зарядом в диэлектриках, при термоэлектронной эмиссии из металлов и полупроводников, туннельной эмиссии. Динамическими неоднородностями являются домены, квазичастицы, неоднородности фоторефрактивной и электрооптической природы (сегнетоэлектрические домены, пьезоэлектрики, сегнетоэластики, фазоны - возникают при фотостимулированных фазовых переходах в сегнетоэлектриках, флюксоны, экситоны, поляритоны).

В приборах диэлектрической функциональной электроники используются, как правило, **слоистые структуры**, например, сегнетоэлектрик – полупроводник, сегнетоэлектрик – фотополупроводник. Слой активного диэлектрика применяется для хранения и обработки информации, а ввод и детектирование информации осуществляется в других слоях с соответствующими статическими неоднородностями.

Задание № 4. Функциональная полупроводниковая электроника. Дайте развернутый ответ на вопрос своего варианта.

Таблица 4

Вариант	Вопрос
0	Приборы на основе эффекта Ганна
1	Приборы полупроводниковой функциональной электроники. Классификация, краткая характеристика
2	Детекторы динамических неоднородностей для функциональной полупроводниковой электроники. Плавающая диффузионная область.
3	Устройства управления для функциональной полупроводниковой электроники: МОП-

	конденсаторы, сдвиговый регистр.
--	----------------------------------

Продолжение табл. 4

Вариант	Вопрос
4	Устройства управления для функциональной полупроводниковой электроники: стоп-канальные области, ВПШ, интерференция электронных волн.
5	Генераторы динамических неоднородностей для функциональной полупроводниковой электроники: генератор зарядовых пакетов метод инъекции – экстракции, оптические методы: МОП-накопитель, фотодиод, ПЗС-структура.
6	Генераторы динамических неоднородностей для функциональной полупроводниковой электроники: генератор доменов Ганна, генератор токовой неустойчивости (БИСПИН), генератор ВПЗ.
7	Континуальные среды для функциональной полупроводниковой электроники.
8	Динамические неоднородности функциональной полупроводниковой электроники: зарядовые пакеты, домены Ганна, токовые шнуры, волны пространственного заряда, акустические волны.
9	Динамические неоднородности функциональной полупроводниковой электроники: геликоны, плазмоны, фононы, поляроны, биполяроны, экситоны, поляритоны.

Рекомендуемая литература:[1], стр. 684–723; [2], стр. 167 – 225;[3], стр. 390 –393, 403 - 405.

Функциональная полупроводниковая электроника - это направление электроники, основанное на использовании взаимодействия динамических неоднородностей в полупроводниковых континуальных средах с физическими полями. Динамическими неоднородностями являются зарядовые пакеты, домены Ганна, токовые шнуры, волны пространственного заряда (ВПЗ), фононы, поляроны, биполяроны, флуктуоны, экситоны Френкеля, экситоны Ванье-Мотта, поляритон.

Разновидность функциональной полупроводниковой электроники - **электроника переноса заряда** – это направление электроники, основанное на использовании электрических зарядов неосновных носителей в полупроводниковых структурах для передачи, приема, хранения и обработки информации. Динамическими неоднородностями здесь являются зарядовые пакеты (сгустки) электронов или дырок, искусственно созданные в приповерхностной или внутренней области полупроводника.

Устройства, в которых используются зарядовые пакеты, получили название приборов с переносом заряда.

Задание № 5. Функциональная магнитоэлектроника. Дайте развернутый ответ на вопрос своего варианта.

Таблица 5

Вариант	Вопрос
0	Динамические неоднородности в магнитоэлектронике
1	Что такое ВБЛ и какими свойствами они обладают?
2	Континуальные среды в магнитоэлектронике
3	Генерация динамических неоднородностей в магнитоэлектронике
4	Управление динамическими неоднородностями в

	магнитоэлектронике
--	--------------------

Продолжение табл. 5

Вариант	Вопрос
5	Детектирование динамических неоднородностей в магнитоэлектронике
6	Процессоры сигналов на цилиндрических магнитных доменах (ЦМД)
7	Процессоры на магнитостатических волнах (МСВ)
8	Запоминающие устройства на ЦМД
9	Запоминающие устройства на магнитных вихрях

Рекомендуемая литература:[1], стр. 724–738; [2], стр. 226 – 246;[3], стр. 387–383.

Магнитоэлектроника – это направление электроники, развиваемое на основе использования новых совершенных магнитных материалов, позволяющих формировать и перемещать в слабых магнитных полях устойчивые образования микроскопических размеров (цилиндрические магнитные домены), т.е. динамическими неоднородностями в магнитоэлектронике являются цилиндрические магнитные домены (ЦМД).

Магнитное упорядочение заключается в существовании определенной закономерности расположения элементарных магнитных моментов атомов, ионов, электронов. Простейшие типы магнитного упорядочивания наблюдаются в ферри- и ферромагнетиках. **Ферромагнетик** представляет собой вещество, в котором ниже определенной температуры (точки Кюри) большинство атомных магнитных моментов параллельно друг другу и вещество обладает самопроизвольной (спонтанной) намагниченностью. Под**ферримагнетиками** понимают магнетики с несколькими магнитными подрешетками и с отличным от нуля суммарным магнитным моментом. Магнитное

упорядочивание в любых классах магнетиков исчезает при температуре выше точки Кюри для ферромагнетиков и точки Нееля для ферри- и антиферромагнетиков.

Задание № 6. Функциональная молекулярная электроника и биоэлектроника. Дайте краткий ответ на вопрос своего варианта.

Таблица 6

Вариант	Вопрос
0	Молекулярная электроника и биоэлектроника
1	Бактериородопсин: структура и функции.
2	Нейроны. Нейронные сети.
3	Что такое автоволны?
4	Устройство памяти на солитонах
5	Что представляют собой пленки Ленгмюра – Блоджетт?
6	Молекулярная ячейка типа ИЛИ-НЕ
7	Генерация, управление и детектирование в молекулярной электронике
8	Континуальные среды в молекулярной электронике
9	Динамические неоднородности в молекулярной электронике

Рекомендуемая литература: [1], стр. 748–757; [3], стр. 260 –273; [3], стр. 405–408.

Молекулярная электроника определяется как кодирование (запись), обработка и распознавание (считывание) информации на молекулярном и макромолекулярном уровне. Основное преимущество молекулярного приближения заклю-

чается в возможности молекулярного дизайна и производства приборов «снизу вверх», т.е. атом за атомом или фрагмент за фрагментом, - параметры приборов определяются органическим синтезом и методами геной инженерии. Двумя общепризнанными достоинствами молекулярной электроники являются значительное уменьшение размеров устройств и времени срабатывания логических элементов.

Биоэлектроника, являющая разделом молекулярной электроники, исследует возможность применения биополимеров в качестве управляемых светом или электрическими импульсами модулей компьютерных и оптических систем. Основное требование к вероятным кандидатам среди большого семейства биополимеров состоит в том, что они должны обратимо изменять свою структуру в ответ на некое физическое воздействие и генерировать, по крайней мере, два дискретных состояния, отличающихся легко измеряемыми физическими характеристиками (например, спектральными параметрами)

Задание № 7.Функциональная криоэлектроника. Дайте краткий ответ на вопрос своего варианта.

Таблица 7

Вариант	Вопрос
0	Особенности физических процессов в полупроводниках при низких температурах.
1	Сверхпроводимость.
2	Эффект Джозефсона.
3	Туннелирование.
4	Криотрон
5	Криоэлектронные усилители
6	Криоэлектронные резонаторы

Вариант	Вопрос
7	Криоэлектронные фильтры и линии задержки
8	Приборы на эффекте Джозефсона.
9	Логические элементы на сверхпроводниках.

Рекомендуемая литература: [3], стр. 395–398.

Криоэлектроника (криогенная электроника) — направления электроники и микроэлектроники, охватывающие исследование взаимодействия электромагнитного поля с электронами в твердых телах при криогенных температурах и создание электронных приборов на их основе.

К криогенным температурам относят температуры, при которых наступает глубокое охлаждение, т. е. температуры от 80 до 0°K. В криоэлектронных приборах используются различные явления: **сверхпроводимость** металлов и сплавов, зависимость диэлектрической проницаемости некоторых диэлектриков от напряженности электрического поля, появление у металлов при температуре ниже 80°K полупроводниковых свойств при аномально высокой подвижности носителей заряда и др. Динамическими неоднородностями являются сверхпроводники первого и второго рода, высокотемпературные сверхпроводники, параэлектрики и сегнетоэлектрики с низкой температурой Кюри-Вейсса.

Принципы криоэлектроники используют для построения ряда приборов (криотроны, квантовые и параметрические усилители, резонаторы, фильтры, линии задержки и др.). Наиболее распространенным из этих приборов является криотрон, представляющий собой переключающий криогенный элемент, основанный на свойстве сверхпроводников скачком изменять

свою проводимость под воздействием критического магнитного поля. Действие криотрона аналогично работе ключа или реле. Криотрон может находиться только в одном из двух состояний - либо в сверхпроводящем, либо с малой электропроводностью. Время перехода криотрона из одного состояния в другое составляет несколько долей микросекунды. Криотроны весьма микроминиатюрны: на 1 см^2 площади может быть размещено до нескольких тысяч криотронов. На основе криотронов можно создать криотронные БИС, выполняющие логические функции, функции запоминания с неразрушающим считыванием, управления и межэлементных соединений.

Задание № 8. Функциональная хемотроника. Дайте краткий ответ на вопрос своего варианта.

Таблица 8

Вариант	Вопрос
0	Хемотроника (ионика)
1	Электрохимическая ячейка как элемент конструкции хемотрона
2	Основные требования к базисной электрохимической системе хемотрона
3	Диод-выпрямитель концентрированного типа
4	Электрохимический интегратор
5	Электролитические усилительные элементы
6	Электрохимическое управляемое сопротивление (мемистор)
7	Электрохимический элемент памяти
8	Ионисторы
9	Электрохимические суперконденсаторы

Рекомендуемая литература: [3], стр. 398–403; [4], стр. 8–21.

Хемотроника - научно-техническое направление, занимающееся вопросами исследования, разработки и применения приборов и устройств автоматики, измерительной и вычислительной техники, действие которых основано на электрохимических процессах и явлениях, имеющих место на границе электрод - электролит при пропускании электрического тока. В хемотронике используют также явление электроосмоса, изменение концентрации активных компонентов электролита в приэлектродных слоях и др. Простейший хемотронный прибор (электрохимическая ячейка) представляет собой миниатюрную герметичную стеклянную ампулу, заполненную электролитом, в которую помещают два электрода. Электролитами служат водные растворы кислот, солей и оснований; для придания им специфических свойств применяют различные добавки (например, для расширения диапазона рабочих температур до -60°C в электролит добавляют органические растворители). Перспективно использование в хемотронных приборах твёрдых электролитов с аномально высокой ионной проводимостью, например RbAg_4I_5 , Ag_3SI и др. Электроды выполняют из Pt, Ag, Al, Zn и др. металлов или их сплавов; часто электродами служит Hg.

На базе хемотронных приборов создают миниатюрные усилители, выпрямители, реле времени, интеграторы, нелинейные функциональные преобразователи, датчики ускорения, скорости, температуры, измерители вибрации, индикаторы и др. приборы и устройства, работающие в диапазоне частот 10^{-7} - 10 Гц. Хемотронные приборы отличаются от электромеханических, электромагнитных и электронных приборов высокой чувствительностью (по напряжению - 10^{-3} В, по току - 10^{-6} А), малым потреблением мощности (10^{-8} - 10^{-3} Вт), более низким уровнем собственных шумов и высокой надёжностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щука, А.А. Электроника[Текст]: учеб.пособие/ А.А. Щука; под ред. А.С. Ситова. - СПб: БХВ-Петербург, 2005. - 800 с.
2. Смирнов, Ю.А. Основы нано- и функциональной электроники[Текст]: учеб. пособие / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов. -СПб: Лань, 2013. -320 с.
3. Ефимов, И.Е. Микроэлектроника. Проектирование, виды микросхем, функциональная электроника[Текст]: учеб.пособие / И.Е. Ефимов, И.Я. Козырь, Ю.И. Горбунов. - М.: Высш. шк., 1987. - 416 с.
4. Юшина, Л.Д. Твердотельная хемотроника[Текст] / Д.Д. Юшина. - Екатеринбург: УрО РАН, 2003. - 204 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению контрольной работы по дисциплине
«Функциональная электроника»
для студентов направления 210100.62
«Электроника и нанoeлектроника»,
профиля «Микроэлектроника и твердотельная электроника»
заочной формы обучения

Составитель
Свистова Тамара Витальевна

В авторской редакции

Подписано к изданию 30.10.2014
Уч.-изд. л. 1,2.

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14