

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 03.02.2025 14:12:50
Уникальный программный ключ:
0b817ca21e4d3751b0c37e01d4a05f5c3140c1f0e310d

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра механики, мехатроники и робототехники

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
« 30 » 01 2025 г.



МИКРО- И НАНОДВИЖИТЕЛИ

Методические рекомендации по выполнению
самостоятельной работы для студентов направления
«Нанотехнологии и микросистемная техника»

Курск 2025

УДК 537.9: 537.62

Составители: А.С. Яцун, Е.Н. Политов

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *П.А. Безмен*

Микро- и нанодвижители: методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы для студентов направления «Нанотехнологии и микросистемная техника»/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.С. Яцун, Е.Н. Политов. Курск, 2025. - 26 с.

Изложены вопросы и задания для самостоятельного рассмотрения по дисциплине «Микро- и нанодвижители».

Предназначены для студентов направления «Нанотехнологии и микросистемная техника» всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *30.01.25*. Формат 60x84 1\16
Усл.печ.л. 1.51. Уч.изд.л. 1.44. Тираж 10 экз. Заказ. *56* Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94.

Содержание

Введение	4
1 Общие сведения о микро- и нанодвижителях	5
2 Основные характеристики микро- и нанодвижителей	7
3 Устройства микроэлектромеханики и микромашины	8
4 Микроэлектромеханические системы	10
Компетентностно-ориентированные задачи для самостоятельного решения	13
Тестовые задания для самостоятельной проверки знаний	15

ВВЕДЕНИЕ

Целью изучения дисциплины «Микро- и нанодвижители» является формирование у студентов базовых знаний об эффектах и процессах, лежащих в основе функционирования микромеханических и микроэлектромеханических систем в элементах с микронными и нанометровыми размерами, способами управления их параметрами, приемами эксплуатации, при создании элементной базы микро- и наносистем.

Основными задачами изучения дисциплины являются: формирование представлений об основных тенденциях развития современной микросистемной техники, классификации микроэлектромеханических систем, областях их применения; изучение классификации и области применения микро- и нанодвижителей; изучение физических процессов, используемых в микро- и нанодвижителях;

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МИКРО- И НАНОДВИЖИТЕЛЯХ

Общие теоретические сведения

Микроэлектромеханические системы (MEMS, MST, микромашины) — устройства из миниатюрных механических компонентов, интегрированных с микроэлектроникой, которые можно получать методами стандартной микрообработки.

Обычно MEMS делят на два типа: **сенсоры** - измерительные устройства, которые переводят те или иные физические воздействия в электрический сигнал, и **актуаторы** (исполнительные устройства) - системы, которые занимаются обратной задачей, то есть переводом сигналов в те или иные действия. Данные системы получают путем комбинирования механических элементов, датчиков и электроники на общем кремниевом основании посредством технологий микропроизводства. Все элементы могут быть реализованы в виде единого изделия, причем сразу десятками или сотнями, как микросхемы на кремниевой пластине.

Микромашины превосходят макроскопические аналоги по эффективности, **в том числе** экономической, обычно производятся хоть и по не слишком дешёвым и немного модифицированным, но отработанным кремниевым технологиям или же на основе полимеров. Для особых целей в ход идут металлы и керамика — например, устойчивый к биокоррозии нитрид титана (TiN) идеален при производстве биочипов, контактирующих со средами организма.

Обсуждаемые вопросы:

Классификация электромеханических преобразователей.

1. Основные понятия и определения микроэлектромеханических систем
2. Основные сведения о микроэлектронике
3. Основные сведения о микромеханике
4. Основные типы МЭМС
5. Применение МЭМС-актуаторов:
 - подвижные микрозеркала
 - микроклапаны для контроля потока жидкостей или газа,
 - микронасосы,
 - элементы головок струйных принтеров для скоростной печати (Memjet),
 - хирургические микроинструменты,

- микротранспортеры.
6. Способы и технологии производства МЭМС

Вопросы для самостоятельного рассмотрения:

1. Классификация электромеханических преобразователей.
2. Законы классической электромеханики.
3. Виды механических нагрузок.
4. Эффекты масштабирования в МЭМС. Масштабирование геометрических размеров и механических систем.
5. Масштабирование температурных и флюидных систем.
6. Масштабирование электрических систем. Свойства материалов при масштабировании.
7. Новые физические явления при масштабировании.
Вычислительные проблемы при масштабировании.

2 ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРО- И НАНОДВИЖИТЕЛЕЙ

Общие теоретические сведения

Основные динамические характеристики микроэлектромеханических систем:

- коэффициент преобразования МЭМС;
- неустойчивость коэффициента преобразования при изменении температуры;
- линейность коэффициента преобразования;
- ток потребления МЭМС;
- значение смещения нуля и неустойчивость смещения нуля;
- динамические характеристики МЭМС (полоса пропускания).

Обсуждаемые вопросы:

1. Основные динамические характеристики МЭМС:
 - коэффициент преобразования МЭМС;
 - - неустойчивость коэффициента преобразования при изменении температуры;
 - - линейность коэффициента преобразования;
2. Эффекты демпфирования в МЭМС
3. Основные методы и способы определения динамических характеристик МЭМС

Вопросы для самостоятельного рассмотрения:

1. Виды механических нагрузок.
2. Динамические свойства элементов МЭМС. Затухающие и вынужденные колебания.
3. Механизмы демпфирования в МЭМС. Вязкое демпфирование.
4. Модели демпфирования в МЭМС. Демпфирование с выдавливанием слоя и со скользящим слоем.

3 УСТРОЙСТВА МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ И МИКРОМАШИНЫ

Общие теоретические сведения

Пьезоэлектрическими микродвигателями (ПМД) называются двигатели, в которых механическое перемещение ротора осуществляется за счет пьезоэлектрического или пьезомагнитного эффекта.

Отсутствие обмоток и простота технологии изготовления не являются единственными преимуществами пьезоэлектрических двигателей. Высокая удельная мощность (123 Вт/кг у ПМД и 19 Вт/кг у обычных электромагнитных микродвигателей), большой КПД (получен рекордный до настоящего времени КПД = 85%), широкий диапазон частот вращения и моментов на валу, отличные механические характеристики, отсутствие излучаемых магнитных полей и ряд других преимуществ пьезоэлектрических двигателей позволяют рассматривать их как двигатели, которые в широких масштабах заменят применяемые в настоящее время электрические микромашины.

Известно, что некоторые твердые материалы, например, кварц способны в электрическом поле изменять свои линейные размеры. Железо, никель, их сплавы или окислы при изменении окружающего магнитного поля также могут изменять свои размеры. Первые из них относятся к пьезоэлектрическим материалам, а вторые - к пьезомагнитным. Соответственно различают пьезоэлектрический и пьезомагнитный эффекты.

Пьезоэлектрический двигатель может быть выполнен как из тех, так и из других материалов. Однако наиболее эффективными в настоящее время являются пьезоэлектрические, а не пьезомагнитные двигатели.

Существует прямой и обратный пьезоэффекты. Прямой - это появление электрического заряда при деформации пьезоэлемента. Обратный - линейное изменение размеров пьезоэлемента при изменении электрического поля. Впервые пьезоэффект обнаружили Жанна и Поль Кюри в 1880 году на кристаллах кварца. В дальнейшем эти свойства были открыты более чем у 1500 веществ, из которых широко используются сегнетова соль, титанат бария и др. Пьезоэлектрические двигатели "работают" на обратном пьезоэффекте.

Обсуждаемые вопросы:

1. Понятие о пьезоэффекте
2. Прямой и обратный пьезоэффект
3. Основные характеристики и свойства пьезоэффекта
4. Пьезоэлектрические микроактуаторы
5. Принцип работы микродвигателей на пьезоэффекте
6. Конструкции пьезоэлектрических микродвигателей
7. Преимущества и недостатки пьезодвигателей

Вопросы для самостоятельного рассмотрения:

1. Достоинства и недостатки пьезоэлектрических преобразователей.
2. Физическое и математическое описания эффекта пьезоэлектричества.
3. Коэффициент электромеханической связи.
4. Модель пьезоэлектрического балочного актюатора (пьезоэлектрический биморфный элемент).
5. Свойства пьезоэлектрических материалов.
6. Пьезоэлектрические акселерометры балочного и мембранного типов.
7. Пьезоэлектрические акустические сенсоры балочного и мембранного типов.
8. Полимерный пьезоэлектрический тактильный сенсор. Пьезоэлектрический датчик скорости потока.
9. Линейные пьезоэлектрические микроактюаторы. Пьезоэлектрический шаговый двигатель.
10. Биморфный пьезоэлемент. Пассивный и активный биморфные пьезоэлементы.
11. Пьезомагнитное преобразование энергии. Виды материалов. Коэффициент магнитомеханической связи.
12. Пьезомагнитный биморфный элемент. Примеры.

4 МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Обсуждаемые вопросы:

1. Основы теории классической электродинамики
2. Понятие об электрических микродвигателях
3. Электростатические сенсоры и актуаторы
4. Электромагнитные преобразователи
5. Электродинамические актуаторы
6. Конструкции электромеханических микродвигателей
7. преимущества и недостатки электромеханических микродвигателей

Вопросы для самостоятельного рассмотрения:

1. Достоинства и недостатки электростатических преобразователей.
2. Принцип работы и виды электростатических микродвигателей.
3. Скребущий шаговый микродвигатель. S-образный электростатический актюатор.
4. Электростатический сегнетоэлектрический планарный двигатель.
5. Электростатический зарядовый микроактюатор. Электростатический мускул. Встречно-штыревой актюатор для больших смещений.
6. Принцип работы электростатического микронасоса.
7. Принцип работы DLP-проекторных систем.
8. Принцип работы GLV-проекторных систем.
9. Емкостной МЭМС микрофон.
10. Емкостные акселерометры. Конструкции и принцип работы.
11. Принцип работы одноосного МЭМС гироскопа.
12. Принцип работы двуосного МЭМС гироскопа.
13. Достоинства и недостатки электромагнитных преобразователей. Электромагнитные силы.
14. Магнитное и магнито-электромагнитное преобразование энергии.
15. Электродвигатель и генератор постоянного тока.
16. Генератор переменного тока. Обратная ЭДС. Использование катушек индуктивности с сердечником. Универсальный двигатель.
17. Двигатель переменного тока. Синхронный, асинхронный и трёхфазный двигатели.

18. Электромагнитные актюаторы. Магнитоэлектрический двигатель. Магнитный балочный актюатор.
19. Электромагнитный торсионный актюатор. Двухосный электромагнитный торсионный актюатор.
20. Двухнаправленный магнитный балочный актюатор. Бистабильный магнитный актюатор.
21. Электростатические силы при постоянном напряжении. Электростатические силы при постоянном заряде.

4 ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНО-СТРУКТУР

Обсуждаемые вопросы:

1. Современные методы измерений параметров наноматериалов и наноструктур..
2. Современное оборудование для измерений параметров наноматериалов и наноструктур.
3. Планирование и контроль процесса измерения параметров и свойств наноматериалов.

Вопросы для самостоятельного рассмотрения:

1. Измерение размера структурных составляющих наноматериалов осуществляется электронно-микроскопическими методами. Напишите код программы цифровой системы управления микроприводом поворотного столика зондового микроскопа для заданных технических характеристик

КОМПЕТЕНТНОСТИ-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Примечание:

В задачах N – номер варианта, вариант выдается студенту преподавателем.

Задача 1

Измерение размера структурных составляющих наноматериалов осуществляется электронно-микроскопическими методами. Напишите код программы цифровой системы управления микроприводом поворотного столика зондового микроскопа для заданных технических характеристик:

Скорость поворота столика $1+0,1N$ рад/с,

Крутящий момент на валу столика $50-N$ (Нм),

N – номер варианта

Задача 2

Привод механизма позиционирования микроскопа состоит из электродвигателя и редуктора.

По заданным характеристикам привода требуется:

1. Подобрать электродвигатель
2. Определить общее передаточное отношение привода и разбить его по ступеням
3. Найти крутящие моменты на валах

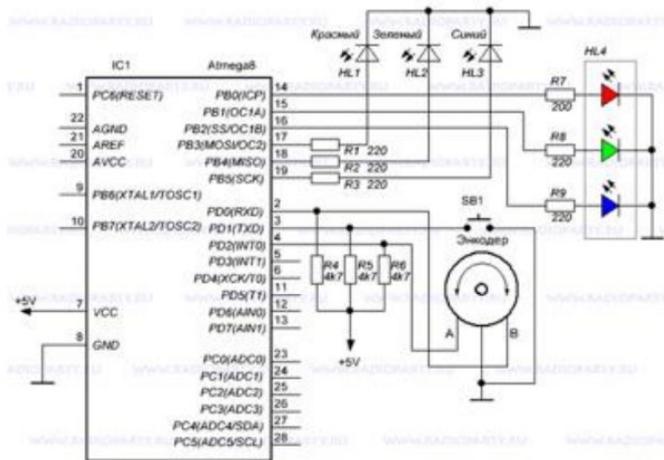
Требуемый выходной крутящий момент $5+0,3N$ (Н·м)

Требуемая частота вращения главного вала $5+0,25N$ (об/мин),

где N – номер варианта

Задача 3

Для управления приводом мобильного микробота разработана принципиальная электрическая схема системы управления. Опишите ее составные части и предложите алгоритм работы программы



Задача 4

Привести структурную схему микродвижителя, описать функциональное назначение каждого блока схемы (по вариантам).

Задача 5

Привод регулятора оси вращения предметного стола микроскопа состоит из электродвигателя и редуктора.

По заданным характеристикам привода требуется:

1. Подобрать электродвигатель
2. Определить общее передаточное отношение привода и разбить его по ступеням
3. Найти крутящие моменты на валах

Требуемый выходной крутящий момент $8+0,2N$ (Н·м)

Требуемая частота вращения главного вала $10+0,2N$ (об/мин),

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

1.1 Какого технологического участка НЕТ на МЭМС-производстве

1. Металлообработка
2. Формирование маски
3. Магнетронное напыление
4. Фотолитографии

1.2 Коэффициент Кориолиса в уравнении Бернулли характеризует
Выберите один ответ:

- режим течения жидкости
- нет правильного ответа
- степень уменьшения уровня полной энергии
- степень гидравлического сопротивления трубопровода
- изменение скоростного напора

1.3 Пьезоэффект, используемый в работе пьезоэлектрических датчиков, заключается в ...

Выберите один ответ:

- возникновении усилий, действующих внутри ряда материалов, подвергнутых воздействию электрического поля.
- возникновении электрических зарядов на гранях ряда кристаллов при приложении к ним механических напряжений.
- возникновении зарядов в кристалле под действием приложенного магнитного поля.
- возникновении деформаций кристаллов, к которым приложено напряжение.
- нет правильного ответа.

1.4 Созданные на базе микродвижителя MEMS-датчики НЕ имеют такой характеристики

Выберите один ответ:

- Температурная стабильность
- Широкий динамический диапазон

- Кубическая нелинейность
- Большая чувствительная масса
- Межосевая изоляция

1.5 Мехатроника - это ...

Выберите один ответ:

- оснащение механизмов электроприводом.
- электронное управление механизмами.
- приоритет или преобладание механики над электроникой.
- такое синергетическое сочетание механики, электроники и компьютерного управления, которое обеспечивает новейший уровень автоматического управления техническими объектами.
- подчинение механики электроникой.

1.6 Какую характеристику можно получить при регулировании сопротивления в цепи якоря ДПТ?

Выберите один ответ:

- реостатную.
- емкостную.
- индуктивную.
- естественную.
- нет правильного ответа.

1.7 В вентильном электродвигателе используется ...

Выберите один ответ:

- датчик температуры.
- датчик положения ротора.
- датчик магнитного поля.
- датчик частоты вращения.
- датчик направления вращения.

1.8 Гидравлическими машинами называют ...

Выберите один ответ:

- машины, которые сообщают проходящей через них жидкости механическую энергию, либо получают от жидкости часть энергии и передают ее рабочим органам
- машины, соединяющиеся между собой системой трубопроводов, по которым движется рабочая жидкость, отдающая энергию
- нет правильного ответа
- машины, способные работать только при их полном погружении в жидкость с сообщением им механической энергии привода
- машины, вырабатывающие энергию и сообщающие ее жидкости

1.9 Отношение расхода жидкости к площади живого сечения называется ...

Выберите один ответ:

- максимальной скоростью потока
- средней скоростью потока
- средним расходом потока жидкости
- нет правильного ответа
- минимальным расходом потока

1.10 Гидравлический КПД насоса отражает потери мощности, связанные ...

Выберите один ответ:

- с возникновением силы трения между подвижными элементами насоса
- с внутренними перетечками жидкости внутри насоса через зазоры подвижных элементов
- с непостоянным расходом жидкости в нагнетательном трубопроводе
- с деформацией потока рабочей жидкости в насосе и с трением жидкости о стенки гидроаппарата
- нет правильного ответа

1.11 Типичная сила, продуцируемая молекулярной турбиной синтеза или гидролиза молекул АТФ, составляет около...

Выберите один ответ:

- 1 фемто-Ньютон
- 1 пико-Ньютон
- 1 микро-Ньютон
- нет правильного ответа
- 1 нано-Ньютон

1.12 Критическое значение числа Рейнольдса равно ...

Выберите один ответ:

- 3200
- нет правильного ответа
- 4000
- 2300
- 4600

1.13 По принципу работы шаговый двигатель относится к ...

Выберите один ответ:

- синхронным двигателям.
- вентильным двигателям.
- двигателям постоянного тока независимого возбуждения.
- двигателям постоянного тока последовательного возбуждения.
- асинхронным двигателям.

1.14 Мощность, которая передается от приводного двигателя к валу насоса называется ...

Выберите один ответ:

- полезная мощность
- подведенная мощность
- нет правильного ответа
- гидравлическая мощность
- механическая мощность

1.15 Параметрические датчики ...

Выберите один ответ:

- преобразуют значение одного параметра контролируемого процесса в другой, удобный для считывания.
- имеют управляемый параметр.
- преобразуют измеряемую физическую величину в пропорциональный электрический сигнал.
- в настоящее время недоступны для понимания и использования в технике.
- преобразуют один электрический сигнал в другой.

1.16 Робототехническое устройство - это ...

Выберите один ответ:

- "железный" человек с электронным управлением.
- автоматизированная техническая система на базе электроники, механики и программирования, предназначенная для выполнения различных необходимых человеку функций, технологических, транспортных и вычислительных операций в автоматическом режиме без полного или частичного участия человека.
- такая машина, которая еще не создана.
- автомат.
- человекоподобная машина для выполнения его функций.

1.17 Какой тип привода применяется для активных (управляемых) амортизаторов автомобилей?

Выберите один ответ:

- Магнитострикционный
- Термобиметаллический
- Электро-реологический (ERA)
- Пьезоэлектрический
- Магнито-реологический (MRA)

1.18 Какое число определяет соотношение инерционных сил и сил упругости в твердом теле:

Выберите один ответ:

- Фруда
- Коши
- Рейнольдса
- Фурье
- Вебера

1.19 Какой номинальный режим работы электродвигателя отсутствует по стандарту?

Выберите один ответ:

- режим кратковременной нагрузки.
- режим работы при периодическом изменении частоты вращения и нагрузки.
- режим продолжительной нагрузки.
- режим повторно-кратковременной нагрузки .
- режим ударно-импульсной нагрузки.

1.20 Механическая характеристика синхронного электродвигателя является

Выберите один ответ:

- никакой из перечисленных.
- абсолютно жесткой.
- жесткой.
- абсолютно мягкой.
- мягкой.

1.21 В тензометрических датчиках заложен принцип зависимости сопротивления проводника от

Выберите один ответ:

- частоты вращения.
- освещенности.
- деформации.
- силы тока.
- температуры.

1.22 Для чего могут применяться приводы из сплавов с памятью формы (FGL)?

Выберите один ответ:

- дистанционного управления
- терморегуляторы всех видов
- ультразвуковые усилители
- микровентильеры
- расширительные клапаны

1.23 Какого технологического участка НЕТ на МЭМС-производстве

Выберите один ответ:

- Химобработка
- Фотолитографии
- Металлообработка
- Магнетронное напыление
- Формирование маски

1.24 Какую характеристику можно получить при регулировании сопротивления в цепи якоря ДПТ?

Выберите один ответ:

- нет правильного ответа.
- реостатную.
- емкостную.
- индуктивную.
- естественную.

1.25 На каком эффекте работает термобиметаллический привод?

Выберите один ответ:

- Изменения направления тока при тепловом расширении.
- ни одно из указанных.
- Нагревании жестко соединенных металлов различного теплового расширения

- Текучести металлов при высоких токах
- Сглаживания пульсаций переменного тока в сплавах.

1.26 Мощность, которая передается от приводного двигателя к валу насоса называется ...

Выберите один ответ:

- механическая мощность
- нет правильного ответа
- подведенная мощность
- полезная мощность
- гидравлическая мощность

1.27 Как называется комбинация MEMS 3D-акселерометра, 3D-гироскопа и 3D-магнитометра

Выберите один ответ:

- GPS-позиционер
- 9D-Unit
- IMU-модуль
- всеми перечисленными способами.
- MEMS-UniMeasurer

1.28 Отношение расхода жидкости к площади живого сечения называется ...

Выберите один ответ:

- максимальной скоростью потока
- средней скоростью потока
- минимальным расходом потока
- нет правильного ответа
- средним расходом потока жидкости

1.29 Сельсины возможно использовать в следующих режимах:

Выберите один ответ:

- индуктивном или резистивном.

- нет правильного ответа.
- емкостном или индуктивном.
- индикаторном или трансформаторном.
- двигательном или генераторном.

1.30 Бесконтактные датчики

Выберите один ответ:

- неконкурентны перед датчиками, непосредственно контактирующими с измеряемыми объектами.
- наиболее дорогие за счет повышенной сложности конструкции.
- снижают достоверность измеряемых величин из-за возможного влияния неконтролируемых помех.
- наиболее дешевые, т. к. имеют упрощенную конструкцию.
- обладают повышенной надежностью, т. к. не имеют изнашиваемых при контакте элементов.

1.31 Гидравлический КПД насоса отражает потери мощности, связанные ...

Выберите один ответ:

- нет правильного ответа
- с непостоянным расходом жидкости в нагнетательном трубопроводе
- с возникновением силы трения между подвижными элементами насоса
- с деформацией потока рабочей жидкости в насосе и с трением жидкости о стенки гидроаппарата
- с внутренними перетечками жидкости внутри насоса через зазоры подвижных элементов

1.32 Созданные на базе микродвижителя MEMS-датчики НЕ имеют такой характеристики

Выберите один ответ:

- Кубическая нелинейность
- Температурная стабильность
- Большая чувствительная масса
- Межосевая изоляция

- Широкий динамический диапазон

1.33 Параметрическое регулирование угловой скорости электропривода

...

Выберите один ответ:

- достигается путем включения и регулирования добавочными сопротивлениями во всех фазах в цепи статора.
- повышает к.п.д. привода.
- не используется за ненадобностью.
- используется в ответственных и высокоточных устройствах.
- не возможно обеспечить принципиально.

1.34 Верно ли утверждение, что к простейшим типам электрических актуаторов относятся электростатические устройства на основе плоскопараллельных конденсаторов?

Выберите один ответ:

- Нельзя дать однозначный ответ
- В зависимости от типа конденсатора
- Нет
- Да

1.35 Какое касательное напряжение по силе поля в Электрореологическом приводе (ERA)?

Выберите один ответ:

- 1000...2000 Па/(кВ/мм)
- 0...8000 Па/(кВ/мм)
- статически неопределимая величина
- 6...8 Па/(кВ/мм)
- 600...800 Па/(кВ/мм)

1.36 Тахогенераторы - это

Выберите один ответ:

- электрические микромашины, преобразующие вращение вала в напряжение, пропорциональное углу поворота вала.
- электрические микромашины, преобразующие вращение вала в ток, пропорциональный угловому ускорению вала.
- электрические машины, вырабатывающие эл. ток для использования в различных отраслях промышленности.
- электрические микромашины, преобразующие вращение вала в напряжение, пропорциональное частоте вращения, и предназначенные для измерения этой частоты.
- нет правильного ответа.

1.37 Сельсины предназначены для ...

Выберите один ответ:

- обеспечения синхронного поворота исполнительных устройств.
- измерения частоты вращения.
- обеспечения синхронного вращения электрических машин.
- измерения и управления токами в обмотках электродвигателей.
- нет правильного ответа.

1.38 Что из перечисленного НЕ может быть MEMS-устройством:

Выберите один ответ:

- потенциометр
- гироскоп
- акселерометр
- ничем из перечисленного.
- инклинометр

1.39 Вращающиеся трансформаторы предназначены для ...

Выберите один ответ:

- преобразования значения первичного напряжения во вторичное (большее или меньшее) в зависимости от скорости вращения вторичной обмотки.

- преобразования частот вращения входного и выходного валов электрических машин.
- нет правильного ответа.
- преобразования механического перемещения (угла поворота) в электрический сигнал - выходное напряжение, амплитуда которого находится в определенной функциональной зависимости от угла поворота.
- преобразования токов, питающих обмотки исполнительных электродвигателей.

1.40 Электропривод радиолокатора является примером ...

Выберите один ответ:

- позиционного управления.
- следящего управления.
- нет правильного ответа.
- адаптивного управления.
- программного управления.

1.41 Какой номинальный ход сигнальной тяги магнитострикционного привода?

Выберите один ответ:

- 0...50 мкм
- 0...50 мм
- ни одно из указанных.
- 0...0,5 м
- 0...50 нм

1.42 Что из перечисленного может быть MEMS-устройством:

Выберите один ответ:

- акселерометр
- транзистор
- тахометр
- потенциометр