



Автономная некоммерческая организация высшего образования
«Волгоградский институт бизнеса»

Рабочая программа учебной дисциплины

Электромагнитная совместимость в мехатронике и робототехнике

(Наименование дисциплины)

15.03.06 Мехатроника и робототехника, направленность (профиль) «Мехатроника»

(Направление подготовки / Профиль)

Бакалавр

(Квалификация)

Кафедра разработчик

Естественных наук и профессиональных коммуникаций

Год набора

2027

Вид учебной деятельности	Трудоемкость (объем) дисциплины
	Очная форма
	д
Зачетные единицы	3
Общее количество часов	108
Аудиторные часы контактной работы обучающегося с преподавателями:	32
– Лекционные (Л)	16
– Практические (ПЗ)	16
– Лабораторные (ЛЗ)	
– Семинарские (СЗ)	
Самостоятельная работа обучающихся (СРО)	76
К (Р-Г) Р (П) (+;-)	
Тестирование (+;-)	
ДКР (+;-)	
Зачет (+;-)	+
Зачет с оценкой (+;- (Кол-во часов))	
Экзамен (+;- (Кол-во часов))	

Волгоград 2026

Содержание

Раздел 1. Организационно-методический раздел	3
Раздел 2. Тематический план.....	6
Раздел 3. Содержание дисциплины.....	7
Раздел 4. Организация самостоятельной работы обучающихся	9
Раздел 5. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся.....	11
Раздел 6. Оценочные средства промежуточной аттестации (с ключами).....	15
Раздел 7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	18
Раздел 8. Материально-техническая база и информационные технологии	19
Раздел 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	22

Раздел 1. Организационно-методический раздел

1.1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Электромагнитная совместимость в мехатронике и робототехнике» входит в «Часть, формируемая участниками образовательных отношений» подготовки обучающихся по направлению подготовки **15.03.06 Мехатроника и робототехника, направленность (профиль) «Мехатроника»**

Целью дисциплины является формирование **компетенций** (в соответствии с ФГОС ВО и требованиями к результатам освоения основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО)):

ПК-2 Способен осуществлять организационно-методическое сопровождение эксплуатации гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий

Дескрипторы компетенции:

ПК-2.1 Способен осуществлять организационно-методическое обеспечение технического обслуживания и планового ремонта гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий;

ПК-2.2 Способен обеспечивать организацию непланового ремонта гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий.

Перечисленные компетенции формируются в процессе достижения индикаторов компетенций:

Обобщенная трудовая функция/ трудовая функция	Код и наименование дескриптора компетенций	Код и наименование индикатора достижения компетенций (из ПС)
Профстандарт: 40.148 Специалист по эксплуатации гибких производственных систем в машиностроении	ПК-2.1 Способен осуществлять организационно-методическое обеспечение технического обслуживания и планового ремонта гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий; ПК-2.2 Способен обеспечивать организацию непланового ремонта гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий.	Знает: ИД 1 ПК.2.1 Принцип работы, технические характеристики, конструктивные особенности гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий, требования к структуре, содержанию и оформлению технической документации по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий, принципы и порядок разработки планов технического обслуживания и ремонта гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий ПС 40.148 В/01.6; ИД 2 ПК.2.2 Методические, нормативно-технические и руководящие материалы по организации ремонта гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий 40.148 В/02.6. Умеет: ИД 3 ПК.2.1 Составлять план

		мероприятий по совершенствованию системы обслуживания и ремонта гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий, составлять планы технического обслуживания, ремонта и определительных испытаний гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий 40.148 В/01.6; ИД 4 ПК.2.2 Составлять акты о повреждениях и отчеты о внеплановых простоях гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий, устанавливать причины возникновения дефектов, просматривать запланированные работы, контролировать сроки выполнения работ, определять назначенные ресурсы, очередность выполнения работ, подавать заявки на внесение изменений в очередность работ, отмечать выполнение работ, готовить отчеты о выполненных работах с использованием прикладных программ управления проектами 40.148 В/02.6. Имеет навыки: ИД 5 ПК.2.1 Составления планов мероприятий по совершенствованию системы обслуживания и ремонта гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий, составления планов технического обслуживания, ремонта и определительных испытаний гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий 40.148 В/01.6; ИД 6 ПК.2.2 Составления актов о повреждениях и отчетов о внеплановых простоях гибких производственных роботизированных систем,
--	--	--

		робототехнических комплексов и изделий, установления причин возникновения дефектов, контроля хода выполнения запланированных работ, сроков их выполнения, определения назначенных ресурсов, очередности выполнения работ, подачи заявок на внесение изменений в очередность работ, учету фактического выполнения работ, подготовки отчетов о выполненных работах с использованием прикладных программ управления проектами 40.148 В/02.6.
--	--	---

**1.2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО
направления подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника, направленность (профиль)
«Мехатроника»**

№	Предшествующие дисциплины (дисциплины, изучаемые параллельно)	Последующие дисциплины
1	2	3
1.	Физика	Помехоустойчивость мехатронных и робототехнических систем

1.3. Нормативная документация

Рабочая программа учебной дисциплины составлена на основе:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки **15.03.06 Мехатроника и робототехника, направленность (профиль) «Мехатроника»**;
- Учебного плана направления подготовки **15.03.06 Мехатроника и робототехника, направленность (профиль) «Мехатроника»** 2027 года набора;
- Образца рабочей программы учебной дисциплины (приказ № 113-О от 01.09.2021 г.).

Раздел 2. Тематический план
Очная форма обучения (полный срок)

№	Тема дисциплины	Трудоемкость				
		Всего	Аудиторные занятия		СРО	Код индикатора и дескриптора достижения компетенций
			Л	ПЗ (ЛЗ, СЗ)		
1	2	3	4	5	6	7
1	Тема 1. Введение в электромагнитную совместимость (ЭМС).	14	2	2	10	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
2	Тема 2. Источники помех в мехатронных приводах.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
3	Тема 3. Элементы подавления кондуктивных помех.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
4	Тема 4. Схемотехнические методы защиты сигнальных линий.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
5	Тема 5. Топология печатных плат с низким уровнем ЭМП.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
6	Тема 6. Электромагнитная обстановка промышленных помещений.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
7	Тема 7. Заземление и эквипотенциальное соединение в роботизированных ячейках.	12	2	2	8	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
8	Тема 8. Сертификация робототехнических систем.	12	2	2	8	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
Вид промежуточной аттестации(Зачет)		+				
Итого		108	16	16	76	

Раздел 3. Содержание дисциплины

3.1. Содержание дисциплины

Тема 1. Введение в электромагнитную совместимость (ЭМС). Основные понятия: помехоустойчивость и помехоэмиссия. Классификация электромагнитных помех (кондуктивные и излучаемые) по ГОСТ CISPR.

Тема 2. Источники помех в мехатронных приводах. Механизмы возникновения коммутационных перенапряжений на IGBT/MOSFET-ключках при работе ШИМ-инверторов сервоприводов осей роботов.

Тема 3. Элементы подавления кондуктивных помех. Расчет входных *EMI*-фильтров (*LC*, π -фильтры). Принципы работы синфазных и дифференциальных дросселей для цепей питания контроллеров STM32.

Тема 4. Схемотехнические методы защиты сигнальных линий. Применение TVS-диодов, варисторов и газоразрядников. Особенности экранирования энкодерных кабелей от импульсных наводок двигателя.

Тема 5. Топология печатных плат с низким уровнем ЭМП. Разделение аналоговой и цифровой «земли», контроль импеданса возвратных токов, проектирование сплошных слоев полигона (*Power/Ground Plane*).

Тема 6. Электромагнитная обстановка промышленных помещений. Стандарты жесткости испытаний на помехоустойчивость (ГОСТ IEC 61000-6-2). Наводки от частотных преобразователей цеховых станков на датчики коллаборативного робота.

Тема 7. Заземление и эквипотенциальное соединение в роботизированных ячейках. Борьба с разностью потенциалов между корпусом манипулятора и шкафом управления. Использование ферритовых защелок (*Common Mode Chokes*) на моторных кабелях.

Тема 8. Сертификация робототехнических систем. Методика проведения измерений в полубезэховой камере. Оформление протоколов испытаний на соответствие требованиям технического регламента Таможенного союза (ТР ТС).

3.2. Содержание практического блока дисциплины

Очная форма обучения (полный срок)

№	Тема практического (семинарского, лабораторного) занятия
1	2
ПЗ 1	Тема 1. Введение в электромагнитную совместимость (ЭМС).
ПЗ 2	Тема 2. Источники помех в мехатронных приводах.
ПЗ 3, 4	Тема 3. Элементы подавления кондуктивных помех.
ПЗ 5	Тема 4. Схемотехнические методы защиты сигнальных линий.
ПЗ 6, 7	Тема 5. Топология печатных плат с низким уровнем ЭМП.
ПЗ 8	Тема 6. Электромагнитная обстановка промышленных помещений.

3.3. Образовательные технологии

Очная форма обучения (полный срок)

№	Тема занятия	Вид учебного занятия	Форма / Методы интерактивного обучения	% учебного времени
1	2	3	4	5
1	Тема 1. Введение в электромагнитную совместимость (ЭМС).	ПЗ	Метод кейсов	75
2	Тема 2. Источники помех в мехатронных приводах.	Л	Лекция-ситуация	25
3	Тема 3. Элементы подавления кондуктивных помех.	ПЗ	Метод кейсов	75
4	Тема 4. Схемотехнические методы защиты сигнальных линий.	ПЗ	Мозговой штурм	25
5	Тема 5. Топология печатных плат с низким уровнем ЭМП.	Л	Мозговой штурм	50
6	Тема 6. Электромагнитная обстановка промышленных помещений.	ПЗ	Метод кейсов	75
7	Тема 7. Заземление и эквипотенциальное соединение в роботизированных ячейках.	ПЗ	Метод кейсов	75
8	Тема 8. Сертификация робототехнических систем.	ПЗ	Деловая игра	75
Итого				29,68%

Раздел 4. Организация самостоятельной работы обучающихся

4.1. Организация самостоятельной работы обучающихся

№	Тема дисциплины	№ вопросов	№ рекомендуемой литературы
1	2	3	4
1	Тема 1. Введение в электромагнитную совместимость (ЭМС).	1, 2	1, 3, 5
2	Тема 2. Источники помех в мехатронных приводах.	3, 4, 5, 6	1, 3, 5
3	Тема 3. Элементы подавления кондуктивных помех.	7, 8, 9	3, 4, 5
4	Тема 4. Схемотехнические методы защиты сигнальных линий.	10, 11, 12, 13	2, 3, 4, 5
5	Тема 5. Топология печатных плат с низким уровнем ЭМП.	14, 15, 16	3, 4, 5
6	Тема 6. Электромагнитная обстановка промышленных помещений.	17, 18	2, 3, 5
7	Тема 7. Заземление и эквипотенциальное соединение в роботизированных ячейках.	19-25	1, 3, 5
8	Тема 8. Сертификация робототехнических систем.	26, 27, 28	2, 3, 5, 6

Перечень вопросов, выносимых на самостоятельную работу обучающихся

1. **Анализ спектрального состава тока инвертора при различных алгоритмах широтно-импульсной модуляции.** Сравнение синусоидальной ШИМ (SPWM) и пространственно-векторной (SVPWM) по уровню высших гармоник, влияющих на нагрев двигателя.

2. **Проектирование входных EMI-фильтров для импульсных источников питания бортовых роботов.** Расчет элементов π -фильтра для обеспечения соответствия стандарту ГОСТ CISPR 32 по кондуктивным помехам в диапазоне 150 кГц — 30 МГц.

3. **Синфазные дроссели (*Common Mode Chokes*) в моторных кабелях мехатронных систем.** Исследование зависимости импеданса от частоты ферритового материала (NiZn/MnZn) и его влияние на подавление токов утечки через паразитную емкость кабеля на «землю».

4. **Методы защиты сигнальных линий энкодеров от перекрестных наводок (*Crosstalk*).** Дифференциальная передача сигналов (RS-422/485), скрутка пар проводов и расчет шага скрутки для минимизации индуктивной связи с силовыми фазами сервопривода.

5. **Проблема «земляных петель» (*Ground Loops*) в распределенных системах управления роботами.** Анализ путей протекания возвратных токов при соединении нескольких шкафов автоматики длинными контрольными кабелями и методы гальванической развязки.

6. **Топология печатных плат высокоскоростных контроллеров: разделение аналоговой и цифровой земель.** Правило «звезды», использование мостиков (*single-point connection*) и предотвращение разрыва обратного пути тока под быстродействующими сигналами тактового генератора STM32.

7. **Переходные процессы при коммутации IGBT-модулей: эффект dv/dt и di/dt .** Влияние скорости нарастания напряжения на ложное открывание затворов соседних ключей полумоста и схемотехника снабберных цепей (RC, RCD).

8. **Электромагнитная совместимость беспроводных интерфейсов (*Wi-Fi, Bluetooth LE*) коллаборативных роботов.** Методы частотного планирования и программный выбор каналов для исключения интерференции с промышленными сетями WLAN цеха.

9. **Влияние электростатических разрядов (ESD) на надежность MEMS-сенсоров.** Моделирование разряда согласно модели человеческого тела (HBM) и разработка защитных каскадов на TVS-диодах для датчиков давления и акселерометров.

10. **Ферритовые фильтры-насадки (*Ferrite Beads/Snap-on*) как инструмент борьбы с синфазными радиопомехами.** Частотные характеристики компонентов Murata/TDK и их применение на USB-кабелях зарядки сервисных роботов.

11. **Стандарты электромагнитной совместимости для беспилотных аппаратов (UAV).** Особенности требований DO-160 (авиация) и КТ-160 в части устойчивости бортовой электроники к воздействию грозовых разрядов и полей высокой интенсивности (*HIRF*).

12. **Активное подавление электромагнитных помех (*Active EMI Filtering*).** Принцип работы усилителей-датчиков тока нулевой последовательности и сравнение эффективности с пассивными LC-фильтрами в компактных приводах.

13. **Экранирование чувствительной аппаратуры внутри металлических корпусов роботов.** Эффективность использования проводящих уплотнителей и электропроводящих покрытий пластика для обеспечения герметичности IP67 без нарушения ЭМС.

14. **Методика проведения испытаний на устойчивость к микросекундным импульсным помехам (*EFT/Burst*).** Параметры импульса 5/50 нс по ГОСТ IEC 61000-4-4 и физическая природа сбоев логики ПЛК при работе рядом с мощными контакторами.

15. **Математическое моделирование излучения щелевой антенны корпуса устройства в CST Studio Suite или ANSYS HFSS.** Оценка риска прохождения сертификационных тестов на излучаемые помехи при наличии вентиляционных отверстий в экране драйвера шагового двигателя.

4.2. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся обеспечивается следующими учебно-методическими материалами:

1. Указаниями в рабочей программе по дисциплине (п.4.1.)
2. Лекционные материалы в составе УМК по дисциплине
3. Заданиями и методическими рекомендациями по организации самостоятельной работы обучающихся в составе УМК по дисциплине.
4. Глоссарием по дисциплине в составе УМК по дисциплине.

Раздел 5. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся

Фонд оценочных средств по дисциплине представляет собой совокупность контролируемых материалов, предназначенных для измерения уровня достижения обучающимися установленных результатов образовательной программы. ФОС по дисциплине используется при проведении оперативного контроля и промежуточной аттестации обучающихся. Требования к структуре и содержанию ФОС дисциплины регламентируются Положением о фонде оценочных материалов по программам высшего образования – программам бакалавриата, магистратуры.

5.1. Паспорт фонда оценочных средств Очная форма обучения (полный срок)

№	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Оценочные средства			
		Л	ПЗ (ЛЗ, СЗ)	СРО	Код индикатора и дескриптора достижения компетенций
1	2	3	4	5	6
1	Тема 1. Введение в электромагнитную совместимость (ЭМС).	УО		ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
2	Тема 2. Источники помех в мехатронных приводах.	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
3	Тема 3. Элементы подавления кондуктивных помех.	ЛС	МШ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
4	Тема 4. Схемотехнические методы защиты сигнальных линий.	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
5	Тема 5. Топология печатных плат с низким уровнем ЭМП.	УО	МШ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
6	Тема 6. Электромагнитная обстановка промышленных помещений.	УО		ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
7	Тема 7. Заземление и эквипотенциальное соединение в роботизированных ячейках.	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2

8	Тема 8. Сертификация робототехнических систем.	УО	ДИ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
---	--	----	----	-----	--

Условные обозначения оценочных средств (Столбцы 3, 4, 5):

УО – устный (фронтальный, индивидуальный, комбинированный) опрос;

ПРВ – проверка рефератов, отчетов, рецензий, аннотаций, конспектов, графического материала, эссе, переводов, решений заданий, выполненных заданий в электронном виде и т.д.;

МШ – Метод мозгового штурма;

КМ – Кейс-метод;

ДИ – Деловая игра;

ЛС – Лекция-ситуация.

5.2. Оценочные средства текущего контроля

Перечень практических (семинарских) заданий

Задачи

1. **Расчет дифференциального LC-фильтра для драйвера шагового двигателя.** По заданным параметрам ШИМ (частота 20 кГц, амплитуда пульсаций тока < 5%) рассчитать индуктивность дросселя и емкость конденсатора звена постоянного тока.

2. **Проектирование синфазного дросселя (Common Mode Choke).** Определение необходимой индуктивности рассеяния и импеданса на частоте 1 МГц для подавления токов утечки в кабеле длиной 3 метра от сервопривода к двигателю.

3. **Анализ спектра гармоник сетевого тока выпрямителя без корректора мощности (PFC).** Моделирование в LTspice/Simulink: построение графика тока диодного моста и расчет коэффициента нелинейных искажений (THDi).

4. **Схемотехническая защита линии энкодера (RS-485) от электростатических разрядов (ESD).** Разработка фрагмента печатной платы с установкой TVS-диода и последовательных резисторов; проверка времени срабатывания защиты.

5. **Топология «земляного» полигона высокоскоростной платы контроллера.** Редактирование слоя Ground Plane в САПР Altium Designer: устранение разрывов под сигнальными дорожками тактовой частоты STM32 (168 МГц) для снижения излучаемых помех.

6. **Экспериментальное исследование перекрестных наводок (Crosstalk) на макете кабеля.** Измерение уровня наведенного сигнала на пассивной витой паре при подаче меандра частотой 1 МГц на соседнюю активную пару внутри общего экрана.

7. **Подбор снабберной (Snubber) цепи для IGBT-модуля.** Расчет номиналов R_s , R_d и C_s демпфирующей RC-цепи для ограничения перенапряжения $\Delta U \leq 10\% \Delta U_{le}$ от напряжения шины DC-link при выключении индуктивной нагрузки.

8. **Моделирование эффекта «земляной петли».** Сборка схемы соединения двух устройств с разными потенциалами земли через общий сигнальный провод; измерение амплитуды сетевой наводки 50 Гц осциллографом на входе АЦП.

9. **Оптимизация разводки силовых и сигнальных трасс на плате.** Перенос дорожки силового ключа MOSFET подальше от аналогового входа датчика Холла; сравнение уровней шума до и после изменения топологии.

10. **Измерение эффективности экранирования корпуса прибора.** Использование генератора сигналов и рамочной антенны для оценки затухания электромагнитного поля при прохождении через металлическую перегородку с вентиляционными отверстиями разного диаметра.

11. **Настройка входного фильтра радиопомех (EMI Filter) лабораторного блока питания.** Подбор емкости Y-конденсаторов между первичной и вторичной цепями

трансформатора для минимизации синфазных помех при сохранении малого тока утечки на корпус.

12. **Проверка устойчивости цифрового датчика к импульсным помехам (EFT/Burst).** Имитация микросекундных наносекундных импульсов на линиях питания датчика лидара с помощью имитатора помех и фиксация сбоев передачи данных по протоколу CAN.

13. **Расчет ширины возвратного пути тока.** Для дорожки шириной 0,5 мм на частоте 100 МГц определить эффективную глубину проникновения тока (*скин-эффект*) в меди и предложить переход на многослойную структуру платы.

14. **Практика использования ферритовых защелок (Ferrite Beads).** Снятие частотной характеристики импеданса типоразмера 0805; установка на кабель USB робота-патрульного для подавления ВЧ-шумов выше 30 МГц.

15. **Разработка плана проверки роботизированной ячейки на ЭМС.** Составление перечня контрольных точек, типов воздействий (кондуктивные, излучаемые) и предельных значений согласно ГОСТ IEC 61000-6-2 для ввода оборудования в эксплуатацию.

5.3. Тематика письменных работ обучающихся

Рефераты по выбранным темам выполняются в письменной форме обучающимися всех форм обучения. Учебно-методические материалы, необходимые для выполнения работ, а также примерная тематика рефератов содержатся в УМК по дисциплине.

1. **Сравнительный анализ стандартов электромагнитной совместимости.** Сопоставление требований ГОСТ IEC 61000, CISPR и военных стандартов (MIL-STD) применительно к промышленной робототехнике.

2. **Физика возникновения синфазных и дифференциальных помех в частотнорегулируемом приводе (VFD).** Влияние крутизны фронтов ШИМ-сигналов (dv/dt) на паразитные токи через емкость обмоток двигателя.

3. **Проектирование входных EMI-фильтров для импульсных источников питания роботов.** Расчет π -фильтров нижних частот и особенности выбора X/Y-конденсаторов с учетом токов утечки на защитное заземление.

4. **Методы экранирования кабельных линий мехатронных систем.** Сравнение эффективности оплетки, фольги и комбинированных экранов; влияние угла наложения экрана на коэффициент поверхностного переноса при высоких частотах.

5. **Топология печатных плат высокоскоростных контроллеров: проблема разделения земель.** Анализ методов соединения аналоговой (AGND) и цифровой (DGND) шин («звезда», мостик, сплошная плоскость) для исключения контуров ЭДС.

6. **Электромагнитная несовместимость беспроводных интерфейсов (Wi-Fi, Bluetooth LE) коллаборативных роботов.** Методы частотного планирования и программный выбор каналов в условиях плотной застройки цеха промышленным WLAN.

7. **Защита сигнальных цепей энкодеров от электростатических разрядов (ESD) и наносекундных импульсных помех (EFT).** Применение TVS-диодов и ферритовых бусин без искажения формы скоростного сигнала RS-485.

8. **Явление «земляных петель» (Ground Loops) в распределенных системах управления.** Физические механизмы возникновения низкочастотных наводок 50 Гц при соединении нескольких шкафов автоматики длинными контрольными кабелями.

9. **Активное подавление электромагнитных помех (Active EMI Filtering).** Принцип работы усилителей тока нулевой последовательности и их сравнение с пассивными дросселями в компактных сервоприводах габаритов до 40 мм.

10. **Влияние компоновки мотор-редуктора на уровень излучаемых помех.** Роль паразитных емкостей между валом, подшипниками и корпусом привода в формировании путей отвода ВЧ-токов на землю.

11. **Методика проведения испытаний роботизированных ячеек на устойчивость к микросекундным импульсным помехам (Burst).** Параметры испытательного импульса 5/50 нс по ГОСТ IEC 61000-4-4 и физическая природа сбоев логики ПЛК.

12. **Особенности сертификации мобильных роботов (AGV/AMR) на соответствие TP TC.** Требования к бортовым радиомодулям GSM/LTE и навигационному оборудованию (GNSS) в части внеполосных излучений.

13. **Математическое моделирование излучения щелевых антенн корпуса устройства.** Оценка прохождения электромагнитной энергии через вентиляционные жалюзи шкафа управления в среде CST Studio Suite или ANSYS HFSS.

14. **ЭМС силовых полупроводниковых модулей нового поколения (SiC, GaN).** Проблемы обеспечения электромагнитной совместимости при работе с фронтами сигналов менее 5 наносекунд и методы мягкого переключения.

15. **Пассивные компоненты снабберных цепей (Snubber circuits): расчет и физические ограничения.** Выбор конденсаторов с низким эквивалентным последовательным сопротивлением (*ESR*) для демпфирования колебаний в звене постоянного тока инвертора.

5.4. Перечень вопросов промежуточной аттестации по дисциплине

Список вопросов для зачета

1. **Основные понятия ЭМС.** Определения электромагнитной помехи, помехоустойчивости и помехоэмиссии. Классификация помех на кондуктивные и излучаемые.

2. **Источники помех в мехатронных приводах.** Коммутационные процессы в IGBT/MOSFET ключах инверторов: влияние скорости нарастания напряжения (dv/dt) и тока (di/dt).

3. **Механизмы передачи помех.** Емкостная (электрическая), индуктивная (магнитная) и гальваническая связь. Паразитные емкости кабелей двигателей.

4. **Синфазные и дифференциальные помехи.** Физический смысл токов общей моды и нормальной моды. Принципы их подавления фильтрами.

5. **Входные EMI-фильтры импульсных источников питания.** Топологии π -фильтров и Т-фильтров. Назначение X-конденсаторов (между фазами) и Y-конденсаторов (на землю).

6. **Синфазные дроссели (Common Mode Chokes).** Конструкция, принцип работы на высоких частотах и применение в моторных кабелях роботов для подавления токов утечки через паразитную емкость обмоток.

7. **Экранирование сигнальных линий.** Эффективность оплетки и фольги. Правило соединения экрана с корпусом (одностороннее или двустороннее заземление) для низких и высоких частот.

8. **Защита от электростатических разрядов (ESD).** Модели разряда (HBM, MM, CDM). Применение TVS-диодов (супрессоров) для защиты входов микроконтроллеров STM32.

9. **Устойчивость к наносекундным импульсным помехам (EFT/Burst).** Стандарт ГОСТ IEC 61000-4-4. Причины сбоев цифровой логики при коммутации релейных нагрузок рядом с контроллером.

10. **Устойчивость к микросекундным импульсным помехам (Surge).** Стандарт ГОСТ IEC 61000-4-5. Защита интерфейсов промышленной связи (RS-485, Ethernet) от грозовых перенапряжений.

11. **Топология печатных плат с низким уровнем ЭМП.** Разделение аналоговой (AGND) и цифровой (DGND) земель. Критичность разрывов в полигонах под высокочастотными сигналами.

12. **Скин-эффект и эффект близости в проводниках.** Влияние частоты ШИМ на распределение тока в шинах питания и выбор многожильного провода (*Litz wire*) для катушек.

13. **Ферритовые фильтры (Chokes/Beads).** Частотные характеристики импеданса ферритов (NiZn vs MnZn). Применение защелок на USB-кабели сервисных роботов для подавления синфазных радиопомех.

14. **Проблема «земляных петель» (Ground Loops).** Возникновение низкочастотных наводок 50 Гц при соединении нескольких устройств разными путями к земле. Методы гальванической развязки.

15. **Паразитные параметры электронных компонентов.** Эквивалентное последовательное сопротивление (*ESR*) и индуктивность (*ESL*) конденсаторов снабберных цепей. Их роль в демпфировании колебаний звена постоянного тока.

16. **Электромагнитная совместимость беспроводных интерфейсов.** Сосуществование Wi-Fi/Bluetooth коллаборативного робота и промышленного WLAN цеха. Загрузка спектра и методы выбора каналов.

17. **Излучение щелевых антенн корпуса.** Механизм излучения энергии через вентиляционные отверстия и стыки панелей шкафа управления. Обеспечение непрерывности электрического контакта дверцы.
18. **Особенности ЭМС силовых модулей SiC и GaN.** Проблемы обеспечения совместимости при работе с фронтами сигналов менее 5 нс. Необходимость очень малой длины монтажных проводов.
19. **Стандарты жесткости испытаний.** Уровни устойчивости по ГОСТ IEC 61000-6-2 для промышленных сред. Отличие требований для лабораторных и цеховых условий эксплуатации.
20. **Методы измерения кондуктивных помех.** Использование эквивалента сети (*Line Impedance Stabilization Network — LISN*) для получения стабильного результата при испытаниях блока питания робота.
21. **Методы измерения излучаемых помех.** Работа в полубезэховой камере, калибровка измерительной антенны и построение графика напряженности поля в диапазоне 30 МГц – 1 ГГц.
22. **Токи подшипников в частотно-регулируемом приводе (VFD).** Природа возникновения высокочастотных токов через вал двигателя на корпус и способы их устранения изолированными фланцами или шупами.
23. **Питание чувствительных датчиков (энкодеров, лидаров).** Расчет RC-фильтров и линейных стабилизаторов (*LDO*) для отделения шумов мощных сервоприводов от аналогового тракта АЦП.
24. **Правильная прокладка кабельных трасс в роботизированных ячейках.** Правила разделения силовых, управляющих и сигнальных кабелей. Минимально допустимые расстояния между параллельными линиями.
25. **Сертификация робототехнических систем по ТР ТС.** Требования технического регламента Таможенного союза к электромагнитной совместимости технических средств и оформление протоколов испытаний.

Раздел 6. Оценочные средства промежуточной аттестации (с ключами)

1. Закрытого типа с одним верным вариантом ответа (5 вопросов)

Прочитайте текст и выберите один правильный ответ. Какой тип электромагнитной помехи распространяется непосредственно по проводникам цепи питания от импульсного источника сервопривода к контроллеру? а) Излучаемая; б) Кондуктивная; в) Индуктивная наведенная; г) Электростатический разряд. **Правильный ответ: б)**

Прочитайте текст и выберите один правильный ответ. Какое устройство устанавливается в разрыв кабеля между частотным преобразователем и двигателем для подавления синфазных токов утечки через паразитную емкость обмоток? а) Варистор (*MOV*); б) Синфазный дроссель (*Common Mode Choke*); в) Газоразрядник; г) Быстродействующий предохранитель. **Правильный ответ: б)**

Прочитайте текст и выберите один правильный ответ. Какой класс конденсаторов предназначен для установки между фазой и защитным заземлением во входном *EMI*-фильтре для отвода синфазных помех? а) Класа X1/X2; б) Класа Y1/Y2; в) Танталовые конденсаторы; г) Подстроечные конденсаторы. **Правильный ответ: б)**

Прочитайте текст и выберите один правильный ответ. Как называется явление проникновения высокочастотного тока ШИМ-инвертора через емкость ротора на вал двигателя, вызывающее разрушение подшипников? а) Эффект вытеснения тока; б) Токи подшипников (*Bearing Currents*); в) Феррорезонанс; г) Диэлектрические потери. **Правильный ответ: б)**

Прочитайте текст и выберите один правильный ответ. Какой стандарт регламентирует методы испытаний на устойчивость к наносекундным импульсным помехам (*EFT/Burst*) в промышленных условиях? а) ГОСТ IEC 61000-4-2; б) ГОСТ IEC 61000-4-4; в) ГОСТ IEC 61000-4-5; г) ГОСТ Р 51317.3.2. **Правильный ответ: б)**

2. Закрытого типа с двумя верными вариантами ответа (5 вопросов)

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. Какие физические механизмы передачи помех характерны для длинного плоского шлейфа управления энкодером робота? а) Гальваническая связь; б) Емкостная связь (паразитная емкость между соседними жилами); в)

Индуктивная связь (магнитное поле петель провода); г) Акустическая связь. **Правильный ответ: б), в)**

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. Выберите компоненты, предназначенные исключительно для защиты входа микроконтроллера STM32 от электростатического разряда (ESD) напряжением до 15–30 кВ: а) Обычный выпрямительный диод 1N4007; б) Защитный TVS-диод (супрессор) малой емкости; в) Плавкий предохранитель на 1А; г) Сборка защитных диодов (Array) в корпусе SOT-23. **Правильный ответ: б), г)**

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. При проектировании печатной платы контроллера какие топологические ошибки приводят к росту излучаемых помех на высоких частотах? а) Использование сплошного полигона земли под ВЧ-сигналами; б) Разрыв обратного пути тока («разрез» земляного полигона) под сигнальной дорожкой; в) Минимизация длины возвратных токовых путей; г) Прокладка цифровых трасс над аналоговыми участками без разделения земель. **Правильный ответ: б), г)**

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. Какие типы ферритовых материалов применяются в качестве защелок (Beads) на кабелях USB/Ethernet сервисных роботов для подавления радиопомех выше 30 МГц? а) MnZn (марганец-цинковые) — эффективны до 3 МГц; б) NiZn (никель-цинковые) — эффективны в диапазоне 30–1000 МГц; в) Аморфные сплавы железа; г) Чистая медь высокой очистки. **Правильный ответ: а), б)**

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. Укажите стандарты жесткости испытаний на помехоустойчивость промышленной автоматики согласно ГОСТ IEC 61000-6-2: а) Уровень 1 (жилая зона); б) Уровень 2 (промышленная зона); в) Уровень 3 (специальная промышленная зона/энергетика); г) Уровень 4 (устройства первичной коммутации). **Правильный ответ: б), в)**

3. На установление последовательности (5 вопросов)

Укажите правильную последовательность этапов протекания кондуктивной помехи от инвертора привода до сети переменного тока:

1. Прохождение дифференциальной помехи через X-конденсатор фильтра;
2. Генерация импульсов напряжения ключами IGBT при переключении;
3. Попадание тока помехи в звено постоянного тока (DC-link);
4. Выход тока в сеть через LISN (эквивалент сети) для измерения. **Правильный**

ответ: 2-3-1-4

Укажите правильную последовательность действий при защите линии связи RS-485 роботизированной ячейки от грозового перенапряжения (Surge):

1. Установка газоразрядника (GDT) на общую линию относительно «земли» здания;
2. Ограничение остаточного напряжения супрессорами (TVS) на уровне логических уровней чипа;
3. Ввод кабеля в шкаф через металлическую панель с надежным электрическим контактом экрана;
4. Установка быстрых ограничительных диодов (Steering Diodes) параллельно входам приемника. **Правильный ответ: 3-1-4-2**

Укажите правильную последовательность возникновения эффекта «земляной петли» в системе из шкафа управления и удаленного датчика:

1. Наличие двух точек заземления у разных устройств с разным потенциалом ($R_{gnd1} \neq R_{gnd2}$, $R_{gnd1} \neq R_{gnd2}$);
2. Появление низкочастотного напряжения помехи 50 Гц на входе АЦП контроллера;
3. Замыкание цепи экраном сигнального кабеля между этими точками;
4. Протекание фоновых токов промышленной частоты по петле кабель-экран.

Правильный ответ: 1-3-4-2

Укажите правильную последовательность процессов при возникновении электростатического разряда (ESD) на корпус мобильного робота:

1. Пробой воздушного промежутка искрой;
2. Накопление статического заряда оператором или покрытием пола;
3. Наведение импульса тока на внутренние дорожки платы через паразитную емкость монтажа;
4. Прикосновение корпуса к заземленному предмету. **Правильный ответ: 2-4-1-3**

Укажите правильную последовательность слоев фильтрации помех в правильно спроектированном блоке питания мехатронного модуля:

1. Дифференциальный фильтр (X-конденсатор + синфазный дроссель);
2. Сетевой разъем и плавкий предохранитель;
3. Высоковольтный Y-конденсатор после трансформатора (на вторичную сторону);
4. LC-фильтр низких частот перед DC/DC-преобразователем. **Правильный ответ: 2-1-**

4-3

4. На установление соответствия (4 вопроса)

Установите соответствие между типом помехи и стандартным методом её измерения:

А) Кондуктивные (низкая частота)	1) Измерительная антенна и анализатор спектра в безэховой камере
Б) Кондуктивные (высокая частота)	2) Эквивалент сети (*LISN*) и измерительный приемник
В) Излучаемые	3) Токоуловнитель (датчик клещевого типа) вокруг кабеля

Правильный ответ: А – 3, Б – 2, В – 1

Установите соответствие между компонентом схемы защиты и его основной функцией:

А) Варистор (*MOV*)	1) Ограничение скорости нарастания напряжения (*dv/dt*) на затворе транзистора снаббером
Б) TVS-диод	2) Поглощение энергии мощных микросекундных импульсов (*Surge*) большой мощности
В) RC-снаббер	3) Мгновенное ограничение напряжения (*Clamping*) на уровне вольт для защиты ИС

Правильный ответ: А – 2, Б – 3, В – 1

Установите соответствие между видом экранирования кабеля и рекомендуемым способом заземления экрана:

А) Низкочастотные сигналы (< 1 МГц)	1) Заземление с обоих концов для создания замкнутого контура против магнитных полей
Б) Высокочастотные сигналы (Ethernet, EnDat)	2) Заземление только со стороны источника сигнала для исключения «земляных петель»
В) Силовые моторные кабели (*VFD*)	3) Заземление с обоих концов через специальные *ЕВ-*скобы с низким импедансом

Правильный ответ: А – 2, Б – 3, В – 1

Установите соответствие между физическим эффектом и причиной его возникновения в цепях ЭМС:

А) Скин-эффект	1) Неравномерное распределение тока в смежных параллельных проводниках из-за их взаимного влияния
Б) Эффект близости	2) Вытеснение переменного тока к поверхности проводника при росте частоты
В) Паразитная индуктивность вывода	3) Ограничение скорости изменения тока ($\frac{di}{dt} = \frac{U}{L}$) из-за геометрии корпуса компонента

Правильный ответ: А – 2, Б – 1, В – 3

5. Открытого типа с одним-двумя словами (2 вопроса)

Прочитайте текст и запишите правильный ответ. Ответ следует записать с маленькой буквы. Устройство, подключаемое между сетью и испытуемым прибором для создания стабильного стандартного сопротивления при измерении кондуктивных помех, называется _____. **Правильный ответ:** эквивалент сети (или *lisn*)

Прочитайте текст и запишите правильный ответ. Ответ следует записать с маленькой буквы. Явление резкого падения индуктивности ферритового фильтра при достижении материалом температуры Кюри называется _____. **Правильный ответ:** насыщение

6. Открытого типа с определением понятия (расширенный ответ) (2 вопроса)

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. Ответ следует записать с маленькой буквы: дайте определение понятию «электромагнитная совместимость (ЭМС)» — это ... **Правильный ответ:** способность технического средства функционировать в

заданной электромагнитной обстановке с требуемым качеством, не создавая недопустимых электромагнитных помех другим средствам.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. Ответ следует записать с маленькой буквы: опишите физический принцип работы у-конденсатора в схеме емкостного фильтра блока питания робота и основное ограничение безопасности при его использовании.

Правильный ответ: у-конденсатор включен между силовой линией и корпусом (защитным заземлением) для отвода высокочастотных синфазных токов с шасси устройства обратно в источник. основным ограничением является требование очень низкой емкости (нф-мкф диапазон), чтобы ток утечки частотой 50 гц через этот конденсатор не превысил безопасных значений для человека при прикосновении к незаземленному корпусу.

Раздел 7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

7.1. Основная литература

1. Лукьянов, Г. Н. Электромагнитная совместимость : учебное пособие / Г. Н. Лукьянов. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2026. – 58 с. – Режим доступа: Каталог ИТМО.

2. Седельников, Ю. Е. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств : учебное пособие для вузов / Ю. Е. Седельников, Д. А. Веденькин ; под ред. Ю. Е. Седельникова. – Москва : Юрайт, 2024. – 318 с. – Режим доступа: Образовательная платформа Юрайт. Направленные электромагнитные волны : учебник для вузов. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 352 с. – Режим доступа: ЭБС Лань.

7.2. Дополнительная литература

3. Закарюкин, В. П. Электромагнитная совместимость и средства защиты : учебное пособие / В. П. Закарюкин, М. Л. Дмитриева, А. В. Крюков. – Иркутск : ИрГУПС, 2024 (переиздание по подпискам вузов). – Режим доступа: ЭБС Университетская библиотека онлайн.

4. Галеев, Р. Г. Электромагнитная совместимость радиоэлектронной аппаратуры : учебное пособие : в 2 ч. / Р. Г. Галеев, А.С. Волошин, И. В. Говорун [и др.]. – Красноярск : СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2024. – Режим доступа: Электронная библиотека СибГУ

7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Электронно-библиотечная система -Цифровой образовательный ресурс IPR SMART – электронная библиотека по всем отраслям знаний [Электронный ресурс]. – URL:
2. <http://www.iprbookshop.ru>
3. Справочник математических формул <http://www.pm298.ru/>
4. Каталог ГОСТов - <https://snip.ruscable.ru/>
5. <http://www.consultant.ru/>— Консультант Плюс
6. <http://www.garant.ru/>— Гарант
7. Программное обеспечение для организации конференции.

Раздел 8. Материально-техническая база и информационные технологии

8.1. Учебные аудитории для проведения лекционных и практических занятий (для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся всех направлений подготовки).

Учебная аудитория оборудована:

- Стол для преподавателя
- Стул для преподавателя
- Столы для обучающихся
- Стулья для обучающихся
- Компьютер для преподавателя с выходом в интернет
- ЖК панель
- Компьютеры для обучающихся
- Симулятор БПЛА «AgroTechSim»

на 10 рабочих мест

- Симулятор БПЛА «DJI Simulator» на 20 рабочих мест

- Симулятор «FlightGear»

на 20 рабочих мест

- Симулятор «AirSim» на 20 рабочих мест

- Пульт дистанционного управления «RadioMaster TX12 MK2 ELRS» – 10 шт.

- Пульт дистанционного управления «DJI MR1SD25» – 10 шт.

- Пульт дистанционного управления «FLYSKY SM001» - 2 шт.

- Пульт дистанционного управления «BETAFPV» - 13 шт.

- Пульт дистанционного управления «DJI RC-N1 от DJI MAVIC MINI 2» - 1 шт.

- Пульт дистанционного управления «DJI FPV RC 2 от DJI AVATA» - 1 шт.

- Пульт дистанционного управления «DJI FPV RC

3 от DJI NEO» - 1 шт.

- Пульт дистанционного управления «DJI RC1B от DJI MAVIC 2 PRO» - 1 шт.

- Пульт дистанционного управления «DJI GL300L от DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRAL» -

1 шт.

- VR FPV шлем «LS008D 5,8G» – 5 шт.

- VR FPV шлем «DMKR 008D PRO 5,8G» – 5 шт.

- Очки VR FPV DJI Googles N3 - 1 шт.

- Очки VR FPV DJI Googles 2 - 1 шт.

- Шлем VR BETA FPV - 10 шт.

- Видеоадаптер HDMI to AV, HDMI кабель (для подключения очков к симулятору) – 10 шт.

- Квадрокоптер DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRAL (БВС вертолетного типа) – 1 шт

- Квадрокоптер DJI AVATA (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

- Квадрокоптер DJI NEO MOTION (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

- Квадрокоптер DJI MAVIC 2 MINI (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

- Квадрокоптер DJI MAVIC 2 PRO (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

- БПЛА смешанного типа «Titan Dynamics Cobra VTOL» (БВС смешанного типа) – 1 шт.

- БПЛА смешанного типа «Flightory SuperStingRay VTOL» (БВС смешанного типа) – 1 шт.

- БПЛА самолетного типа «Titan Dynamics Crane» (БВС самолетного типа) – 1 шт.

- БПЛА самолетного типа «SonicModel ArWingPro» (БВС самолетного типа) – 1 шт.

- Учебный Квадрокоптер ручного управления HappyModel Mobula 6 (БВС вертолетного типа) – 11 шт.

- Учебный Квадрокоптер ручного управления HappyModel Mobula 7 (БВС вертолетного типа) – 8 шт.

- Учебный Квадрокоптер ручного управления Happy Model Mobula 8 (БВС вертолетного типа) – 3 шт.

- Учебный Квадрокоптер BETA FPV CETUS LITE FPV KIT (БВС вертолетного типа) – 10 шт.

- Учебный Квадрокоптер BETAFPV CETUS LITE (WITHOUT FPV) KIT (БВС вертолетного

типа) – 3 шт.

- Комплект для самостоятельной сборки FPV 7-дюймового квадрокоптера (БВС вертолетного

типа) – 3 шт.:

1. Корпус (рама) из углеродного волокна (карбон) 7 дюймов «Mark4 7inch»

2. Видео-передатчик «VTX TS582000 5.8ГГц 2Вт»

3. Полетный контроллер «SpeedyBee F405V3 50A»

4. FPV камера «Caddx Ratel 2»

5. Радиоприемник «Bauck ELRS 2.4»

6. Складной пропеллер «DALPROP 7inch»

7. Комплект электромоторов (4шт.) «iFlight XING 2806.5 1800KV»

- Комплект для самостоятельной сборки FPV 7-дюймового квадрокоптера (БВС вертолетного типа) – 2 шт.:

1. Корпус (рама) из углеродного волокна (карбон) 7 дюймов «Mark4 7inch»;

2. Видео-передатчик «VTX TS582000 5.8ГГц 2Вт»;

3. Полетный контроллер «SpeedyBee F405V3 50A»;

4. FPV камера «Caddx Ratel 2»;

5. Радиоприемник «Bauck ELRS 2.4»;

6. Комплект Складных пропеллеров (4шт.) «DALPROP 7inch»;

7. Комплект электромоторов (4шт.) «Brotherhobby 2806.5 1920KV»

- Комплект средств и инструментов для технического обслуживания БАС - (10 шт.):

1. Термостойкий коврик для пайки и ремонта электроники

2. Паяльный набор инструментов (паяльник, набор наконечников, губка для чистки жала, проволока для пайки, пинцет, нож для снятия изоляции, припой, экстрактор припоя, подставка под паяльник, гель флюс, мультиметр, средство сухой очистки жала, средство влажной очистки жала, кусачки)

3. Набор инструментов для ремонта электроники (набор лопаток 8 шт., нож, набор магнитных отверток 8 шт., пинцет, присоска, медиатор 5 шт.)

4. Лампа настольная

5. Вентилятор настольный

6. Очки защитные

-Комплект запасных частей для - DJI PHANTOM

4 MULTISPECTRAL (БВС вертолетного типа) – 1 шт

-Комплект запасных частей для DJI AVATA (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

-Комплект запасных частей для DJI NEO MOTION (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

-Комплект запасных частей для DJI MAVIC 2 MINI (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

-Комплект запасных частей для DJI MAVIC 2 PRO (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

-Комплект запасных частей для HappyModel Mobula 6 (БВС вертолетного типа) – 11 шт.

-Комплект запасных частей для управления HappyModel Mobula 7 (БВС вертолетного типа)

– 8 шт.

-Комплект запасных частей для HappyModel Mobula 8 (БВС вертолетного типа) – 3 шт.

-Комплект запасных частей для BETA FPV CETUS LITE FPV KIT (БВС вертолетного типа)

– 10 шт.

-Комплект запасных частей для BETA FPV CETUS LITE (WITHOUT FPV) KIT (БВС вертолетного типа) – 3 шт.

- Комплект запасных частей для самосборного FPV 7-дюймового квадрокоптера – 5 шт.

- Комплект запасных частей для «Titan Dynamics Cobra VTOL» (БВС смешанного типа) – 1

шт.

- Комплект запасных частей для «Flightory SuperStingRay VTOL» (БВС смешанного типа) –

1 шт.

- Комплект запасных частей для «Titan Dynamics Crane» (БВС самолетного типа) – 1 шт.

- Комплект запасных частей для «SonicModel ArWingPro» (БВС самолетного типа) – 1 шт.

- Программное обеспечение для обработки полётной информации):

1. DJI FLY на 20 рабочих мест

2. DJI GO4 на 20 рабочих мест

3. DJI PILOT на 20 рабочих мест
4. DJI GS PRO на 20 рабочих мест
5. DJI TERRA на 20 рабочих мест
6. DJI LIGHTCUT

на 20 рабочих мест

- IMAGE COMPOSITE EDITOR на 20 рабочих мест
- WEB OPEN DRONE MAP на 20 рабочих мест
- ARDUPILOT MISSION PLANNER на 20 рабочих мест
- PIX4D CAPTURE на 20 рабочих мест
- PIX4DMATIC на 20 рабочих мест
- INAV на 20 рабочих мест
- BETAFLIGHT на 20 рабочих мест
- АВИАТОР+ на 20 рабочих мест
- СППИ на 20 рабочих мест
- НЕБОСВОД на 20 рабочих мест

- Набор круглых подвесных колец (ворот) (50см) «LDARC» для тренировок и соревнований на FPV квадрокоптерах - 10 шт.

- Аккумулятор GNB 1S LiPo 380 Mah - 30 шт.
- Аккумулятор GNB 2S LiPo 850 Mah - 5 шт.
- Аккумулятор GNB 2S LiPo 650 Mah - 2 шт.
- Аккумулятор Lipo 6S 6500Mah 60C XT60 «Youme» - 5 шт.
- Аккумулятор BETA FPV 1S LiPo 450 Mah - 12 шт.
- Аккумулятор GNB 1S LiHv 660 Mah - 10 шт.
- Зарядное устройство (67W, Type C - 2 выхода, USB-A- 2 выхода) - 10 шт.
- Зарядное устройство для 1S LiPo «ViFLY WHOOPSTAR v3» - 5 шт.
- Зарядное устройство для 2S-6S литиевых аккумуляторов «HTRC C240» - 1 шт.
- Полезная нагрузка (система сброса) для DJI MAVIC 2 PRO -1 шт.
- Смартфон SAMSUNG GALAXY A7 - 1 шт.
- Планшет IPAD MINI 7 - 1 шт.
- Монитор FPV MONITOR 5.8G - 1 шт.
- Взлётно-посадочная площадка – 2шт.

8.2. Помещение для самостоятельной работы обучающихся (помещение общего пользования с подключением к системам телекоммуникации и с обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду (доступ в сеть Интернет, Wi-Fi, глобальные поисковые системы, электронная почта и т.д.)

Специализированная мебель и технические средства обучения:

- Стол для преподавателя
- Стул для преподавателя
- Столы для обучающихся
- Стулья для обучающихся
- Компьютеры для преподавателя с выходом в интернет
- Компьютеры для обучающихся выходом в интернет
- ПО: MS Office, Яндекс браузер
- Цифровой образовательный ресурс IPR SMART
- доступ в ЭИОС.

Раздел 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины «**Электромагнитная совместимость в мехатронике и робототехнике**» можно построить в соответствии со списком вопросов для подготовки к экзамену. Для эффективного изучения курса рекомендуется следующий порядок:

Сначала изучаются теоретические вопросы по соответствующей теме с проработкой как конспектов лекций, так и учебников. **Лекции** дают систематизированные основы научных знаний по соответствующей теме, концентрируют внимание на наиболее сложных узловых вопросах. Особое внимание следует обратить на **понимание смысла** основных понятий, определений. Затем нужно самостоятельно **подробно разобрать типовые примеры**, выясняя в деталях **практическое значение выученного теоретического материала**.

Добросовестное изучение всего материала, заключённого в лекциях, практических занятиях и домашних заданиях, гарантирует каждому обучающемуся успешные результаты на экзаменах. Для подготовки к экзамену необходимо, прежде всего, по лекциям и учебникам повторить и систематизировать весь теоретический материал, изученный в семестре.

При ответе на теоретические вопросы на экзамене следует привести необходимые определения, формулировку и примеры. Решение задач (если они есть в билете) следует излагать подробно и аккуратно, объясняя и мотивируя все действия по ходу решения.

Во время экзамена требуется иметь калькулятор для выполнения расчетных заданий.

Не забудьте обратить внимание на применение рассматриваемых вопросов и задач в будущей профессиональной деятельности. Понимание необходимости и возможности такого применения оценивается на экзамене очень высоко.

Учебно-методическое издание

Рабочая программа учебной дисциплины

**Электромагнитная совместимость в мехатронике и
робототехнике**

*(Наименование дисциплины в соответствии с учебным
планом)*

Пономаренко Андрей Владимирович

(Фамилия, Имя, Отчество составителя)