



Утвърдил: .....

Декан

Дата .....

## СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ "СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ"

Факултет: Физически

Специалност: (код и наименование)

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

„Безжични мрежи и устройства“

Магистърска програма: (код и наименование)

Ф	З	Б	2	7	2	1	1	2
---	---	---	---	---	---	---	---	---

„Безжични мрежи и устройства“

### УЧЕБНА ПРОГРАМА

Дисциплина: 

--	--	--	--

 (код и наименование)

„Електромагнитна съвместимост в комуникациите“

Преподавател: доц. д-р Пламен И. Данков

Асистент: докторант Калоян Златков

Учебна заетост	Форма	Хорариум
Аудиторна заетост	Лекции	30
	Семинарни упражнения	15
	Практически упражнения	15
<b>Обща аудиторна заетост</b>		<b>60</b>
Извън-аудиторна заетост	Решаване на индивидуални задачи от семинарните упражнения	25
	Подготовка за лабораторни упражнения и изработване на протоколи от измерванията от лабораторните упражнения	15
	Подготовка на разширен конспект по две теми от конспекта (до 3-5 страници)	35
	Проучване на литература и електронни издания	15
<b>Обща извън-аудиторна заетост</b>		<b>90</b>
<b>ОБЩА ЗАЕТОСТ</b>		<b>150</b>
Кредити аудиторна заетост		2
Кредити извън-аудиторна заетост		3
<b>ОБЩО ЕКСТ</b>		<b>5</b>

№	Формиране на оценката по дисциплината	% от оценката
1.	Писмен тест по въпроси от конспекта (по жребий);	25
2.	Самостоятелно подготвена в къщи „паметни записки“ (до 3-5 стр. разширено конспектиране) по две теми от конспекта по жребий	50

3.	Решени индивидуални задачи (в компютърния клас или в къщи) с подходящ (предоставен) софтуер (по жребий)	25
4.	Окончателен изпит –събеседване по всичките четири предишни форми на оценяване (от 1 до 4) и окончателно оформяне на общата оценка – до $\pm 0.5$ т.	-

#### **Анотация на учебната дисциплина:**

В съвременния свят на глобални комуникации решаването на проблемите на електро-магнитната съвместимост и интерференция (EMC, Electro-Magnetic Compatibility; EMI, Electro-Magnetic Interference) имат съществено значение за функционирането на комуникационните системи: мобилни, сателитни и пр. Целта на настоящия курс е да даде представа на магистрите, за които се очаква, че ще се занимават професионално в областта на комуникациите, за състоянието на най-съществените съвременни EMC-проблеми.

Лекционната част на курса е съставена от пет части. В 1-ва част се разглеждат физичните основи на електромагнитната съвместимост и интерференция. Тя има за цел да опресни и уеднакви познанията на магистрите в тази област. Тук се въвеждат основните понятия и измерителни величини, с които се оперира в областта на EMC. Прави се преглед на съвременните изчислителни методи с приложения в EMC и EMC-ориентиран софтуер – EM структурни 3D симулатори. Във втората част темата се продължава за EMC на интегралните схеми за тестване на собствени емисии и електромагнитна възприемчивост. Разгледани са основните методи и стандарти, като особено внимание е отделено на 2 метода – метода на TEM клетката и метода на сканиране в близката зона. 3-та част е посветена на преглед на комерсиалните и военни EMC-стандарти за въздействие на нейонизиращо лъчение, приети в различни страни и региони и тенденциите за тяхното хармонизиране с оглед на глобалния характер на комуникациите. В 4-та част се разглеждат накратко основните принципи и методи за постигане на електромагнитна съвместимост на комуникационните системи. Описват се и основните методи за EMC-измервания. Последната 5-та част е посветена на биологичното влияние на нейонизиращите лъчения, които са в основата на съвременните комуникации, върху човека и части от тялото му и се поднасят последните данни относно рисковете за неговото здраве при пасивно или активно използване на съвременни комуникационни средства.

Към курса се предлагат и компютърно ориентирани семинарни упражнения, в които магистрите ще могат да се запознаят и работят със съвременен лицензиран софтуер (3D- електромагнитни симулатори), имащи EMC-приложения, а в няколко занятия се провеждат лабораторни EMC-измервания.

#### **Предварителни изисквания:**

За да се посещават този курс студентите трябва да са слушали само общи електро-динамични и други курсове от бакалавърското ниво: разпространение на електромагнитни вълни, обработка на сигнали, електроника, както и микровълновия курс от магистърската програма.

#### **Очаквани резултати:**

След успешното завършване на курса се очаква всеки студент да може:

- Да разбира и свободно да коментира основните EMC понятия;
- Да познава основните EMC проблеми и начините за тяхното намаляване;
- Да познава основните механизми на влиянието на нейонизиращото лъчение върху човека, основните стандарти и методите за намаляване на вредното влияние

### **Учебно съдържание**

#### **I. Лекции:**

<b>№</b>	<b>Тема:</b>	<b>Хорариум</b>
1	<b>I. Физични основи на електромагнитната съвместимост EMC</b> <i>1. Основи на EMC</i> ◆ Физични величини, понятия, закони и единици, използвани в EMC;	4

	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Физични основи на интерференчните явления и връзката им с ЕМС и ЕМІ.</li> <li>◆ ЕМС на интегрални схеми</li> </ul> <p><u>2. Анализ и прогнозиране на ЕМС – основни понятия</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Взаимодействие на вълни и сигнали в кабели, предавателни линии и вълноводи;</li> <li>◆ Взаимодействие на вълни в многопроводникови структури (crosstalk);</li> <li>◆ Излъчване и емисия на ЕМ вълни в структури, съдържащи проводници.</li> </ul> <p><u>3. Основни числени техники за анализ на ЕМС</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Съвременни числени методи и алгоритми за анализ на ЕМС. 2½D техники (метод на моментите - МоМ). 3D техники (метод на крайните елементи – FEM; метод на крайните разлики във времевата област – FDTD);</li> <li>◆ Преглед на съвременните електромагнитни симулатори, свързани с ЕМС; примери.</li> </ul>	
2	<p><b>II. ЕМС стандарти</b></p> <p><u>4. ЕМС стандарти за нейонизиращо излъчване (E, V/m; H, A/m; S, W/m<sup>2</sup>)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Граждански (хигиенни) стандарти: основи, национални стандарти (САЩ, Япония, Западна Европа, Източна Европа и Русия, България);</li> <li>◆ Стандарти за персонал, работещ с ЕМ лъчения, военни стандарти;</li> <li>◆ Сравнение между стандартите; тенденции за хармонизация на стандартите</li> </ul> <p><u>5. ЕМС стандарти в комуникациите</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ЕМС стандарти и проблеми при комуникационни и др. излъчватели: далеко-проводи, FM-излъчватели; TV-излъчватели, сателитни HUB-станции, базови станции и др.</li> <li>◆ Стандарти за специфичната абсорбирана мощност (SAR, W/kg) в биологични обекти: SAR за цялото тяло, локална и пикова SAR; анализ и числено изследване на SAR, измерване на SAR.</li> </ul>	3
3	<p><b>III. Основни принципи и методи за постигане на ЕМС в комуникациите</b></p> <p><u>6. Основни методи за постигане на ЕМС в устройствата</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Заземяване и бондиране;</li> <li>◆ ЕМ екраниране;</li> <li>◆ Филтриране на паразитни ЕМ сигнали.</li> </ul> <p><u>7. ЕМС измервания</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Методология на ЕМС измерванията;</li> <li>◆ Стандартни антени за ЕМС измервания;</li> <li>◆ Специализирани ЕМС устройства и измерителни постановки; безехови камери; near-field камери.</li> </ul> <p><u>8. Принципи на организация и проектиране на радио-комуникационни системи с оглед на ЕМС и ЕМІ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Радио-комуникационни системи и ЕМС; източници на шумови ефекти; характеристики на радио-средите и антените от гледна точка на ЕМС;</li> <li>◆ Критерии за избор на параметрите на радио-комуникационни системи с оглед на ЕМС; влияние на методите за модулация и детекция; взаимни ЕМІ ефекти и потискане на ЕМІ.</li> </ul> <p><u>9. Други ефекти, свързани с ЕМС и ЕМІ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Електростатични разряди и ЕМС;</li> <li>◆ Засветване от естествени и изкуствени източници;</li> <li>◆ Действие на ядрени ЕМ импулси;</li> <li>◆ Плазмени ефекти и ЕМС.</li> </ul>	6
3	<p><b>IV. ЕМС на интегрални схеми и сигнална интегрираност</b></p> <p><u>10. Основни методи за постигане на ЕМС в интегралните схеми (ИС)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ИС като източници на ЕМ емисия; пример за ЕМС експертиза на ИС.</li> </ul>	9

	<p>Модели на EMC емисия – диференциален и общ мод.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ИС като “жертва” на ЕМ смущения и измерване на възприемчивостта или “имунитета” на ИС към паразитни ЕМ полета.</li> <li>◆ Основни методи за ИС като източници на ЕМ емисия: TEM клетка (до 1 GHz); GTEM (до 18 GHz) (IEC 61967-2) (излъчвана емисия); Сканиране с магнитен кръг в близката зона (NFS) (IEC 61967-3) (излъчена емисия чрез повърхнинно сканиране); 1/150 Ω метод (IEC 61967-4) (до 1 GHz) (емисия на диференциален мод); Фарадеев кафез (WBFC) (IEC 61967-5) (до 1 GHz) (емисия на общ мод); Сканиране с магнитна сонда в близката зона (NFS) (IEC 61967-6) (излъчена емисия в магнитна сонда); Ревербераторни и безехови камери (IEC 61967-7) (излъчена емисия)</li> <li>◆ Основни методи за измерване на имунитет на ИС: TEM клетка; GTEM (имунитет към излъчване); BCI (Bulk Current Injection) Инжекция на обемни токове (имунитет към паразитни токове); DPI (Direct Power Injection) Директна инжекция на RF мощност (имунитет към паразитни токове и напрежения); Фарадеев кафез (WBFC) (имунитет към паразитни сигнали - общ мод)</li> </ul> <p><u>11. Метод на TEM клетката</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Същност на метода</li> <li>◆ Реализация за емисия и възприемчивост</li> <li>◆ Сравнения с други методи</li> </ul> <p><u>12. Метод на скенера в близката зона</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Същност на метода и сравнение с други метод</li> <li>◆ Реализация за метода за ЕМ емисия на ИС</li> <li>◆ 3D скенери – реализация и резултати</li> </ul> <p><u>13. Сигнална интегрираност на ИС</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Същност на проблема;</li> <li>◆ Симулации на сигнална интегрираност</li> <li>◆ Измерване и методи за постигане на висока сигнала нитегрираност</li> <li>◆ Примери за VLSI схеми на съвременни комуникационни устройства</li> </ul>	
4	<p><b>IV. Биологично въздействие на нейонизиращо лъчение (радио-вълни и микровълни)</b></p> <p><u>14. Механизми на въздействие на микровълните върху биологичните обекти</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Механизъм на топлинното въздействие на микровълните;</li> <li>◆ Микровълнова хипертермия; микровълнова диагностика;</li> <li>◆ Резонансно микровълново нагряване и други ефекти при силен сигнал;</li> <li>◆ Нетоплинни ефекти.</li> </ul> <p><u>15. Определяне на SAR в тялото на човека и неговите тъкани</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Диелектрични характеристики на човешките тъкани;</li> <li>◆ Компютърни симулации на SAR човешка глава и тяло;</li> <li>◆ Фантомни измервания на SAR;</li> </ul> <p><u>16. Влияние на мобилните телефони и базовите станции върху човека</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Установени ефекти на влияние на клетъчните телефони върху човека;</li> <li>◆ Разпределение на SAR в човешка глава под въздействие на съвременните комерсиални модели на клетъчни телефони;</li> <li>◆ Влияние на базовите станции и проблеми;</li> <li>◆ Влияние на FM- и TV-излъчватели в населени места.</li> </ul>	8
Общо		30

## II. Семинарни упражнения:

№	Тема:	Хорариум
1	<p>Семинарните занятия допълват лекциите по конкретни въпроси за проектирането на антени, антенни решетки и определяне на параметрите им. Използва се EM 3D симулатор, за който лабораторията има учебен лиценз.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Определяне на условията за разпространение на основни и паразитни модове в планарни предавателни линии – 2 ч.</li> <li>◦ Свързани микролентови линии – симулации на Zeland IE3D MoM симулатор; определяне на изолация и crosstalk. Симулации на корпуси за интегрални схеми, бондиране и заземяване чрез via-holes – 3 ч.</li> <li>◦ Параметри на микровълнови антени; пресмятане и измерване на диаграми на насоченост и ширина на главния лъч – 2 ч.</li> <li>◦ Анализ на текущото законодателство в България за определяне на хигиенно-защитна зона около излъчвателите в България; определяне на хигиенно-защитна зона около микровълнови параболични антени в близката зона чрез собствен софтуерен продукт SAFZONE – 2 ч.</li> <li>◦ Анализ на резултатите от измервания на E-поле около FM и TV-излъчватели на кула "Копитото" и сравнение с националните стандарти. Примерно пресмятане на радио-трасе на радиорелейна станция с оглед на EMC; анализ на ВЧ-полето около базова станция за мобилни комуникации на 900 и 1800 MHz – 2 ч.</li> <li>◦ Изчисляване на SAR чрез SAR-калкулатор за различни случаи. Изследване на националните стандарти с оглед на SAR – 2 ч.</li> <li>◦ Определяне на локална SAR в човешка глава чрез 3D симулатор Ansoft HFSS. Симулация на паразитни сигнали в предавателни структури с 3D симулатор – 2 ч.</li> </ul>	15
Общо		15

## III. Лабораторни упражнения:

№	Тема:	Хорариум
	<p>Лабораторните занятия се провеждат с помощта на преподавателя с уникална апаратура, по голямата част от която не е достъпна за учебни цели.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Измерване на референтни антени за EMC измервания.</li> <li>◦ Измерване на полето около базови станции за GSM комуникации.</li> <li>◦ Полеви системи за измерване – запознаване и работа с тях. Изследване на територията на Физически факултет за потенциални EMC проблеми и анализ</li> <li>◦ EMC измервания в различни честотни обхвати за FM и TV станции, GSM и LTE базови станции; WiMAX станции и др. (3 часа)</li> <li>◦ Работа на Комисията за Регулиране на Съобщенията относно стандартизацията на българските комуникационни системи – запознаване с проблемите</li> <li>◦ Измервания на интегрални схеми с 3D скенер в близката зона (2 упражнения с два различни скенера и сравнение)</li> <li>◦ Измервания в безехова камера</li> </ul>	15
Общо		15

## **Конспект по ЕМС проблеми в комуникациите**

### **I. Физични основи на електромагнитната съвместимост ЕМС**

#### 1. Основи на ЕМС

- ◆ Физични величини, понятия, закони и единици, използвани в ЕМС;
- ◆ Физични основи на интерференчните явления и връзката им с ЕМС и ЕМІ.
- ◆ ЕМС на интегрални схеми

#### 2. Анализ и прогнозиране на ЕМС – основни понятия

- ◆ Взаимодействие на вълни и сигнали в кабели, предавателни линии и вълноводи;
- ◆ Взаимодействие на вълни в многопроводникови структури (crosstalk);
- ◆ Излъчване и емисия на ЕМ вълни в структури, съдържащи проводници.

#### 3. Основни числени техники за анализ на ЕМС

- ◆ Съвременни числени методи и алгоритми за анализ на ЕМС. 2½D техники (метод на моментите - МоМ). 3D техники (метод на крайните елементи – FEM; метод на крайните разлики във времевата област – FDTD);
- ◆ Преглед на съвременните електромагнитни симулатори, свързани с ЕМС; примери

### **II. ЕМС стандарти**

#### 4. ЕМС стандарти за нейонизиращо излъчване (E, V/m; H, A/m; S, W/m<sup>2</sup>)

- ◆ Граждански (хигиенни) стандарти: основи, национални стандарти (САЩ, Япония, Западна Европа, Източна Европа и Русия, България);
- ◆ Стандарти за персонал, работещ с ЕМ лъчения, военни стандарти;
- ◆ Сравнение между стандартите; тенденции за хармонизация на стандартите

#### 5. ЕМС стандарти в комуникациите

- ◆ ЕМС стандарти и проблеми при комуникационни и др. излъчватели: далеко-проводи, FM-излъчватели; TV-излъчватели, сателитни HUB-станции, базови станции и др.
- ◆ Стандарти за специфичната абсорбирана мощност (SAR, W/kg) в биологични обекти: SAR за цялото тяло, локална и пикова SAR; анализ и числено изследване на SAR, измерване на SAR

### **III. Основни принципи и методи за постигане на ЕМС в комуникациите**

#### 6. Основни методи за постигане на ЕМС в устройствата

- ◆ Заземяване и бондиране;
- ◆ ЕМ екраниране;
- ◆ Филтриране на паразитни ЕМ сигнали.

#### 7. ЕМС измервания

- ◆ Методология на ЕМС измерванията;
- ◆ Стандартни антени за ЕМС измервания;
- ◆ Специализирани ЕМС устройства и измерителни постановки; безехови камери; near-field камери.

#### 8. Принципи на организация и проектиране на радиокомуникационни системи с оглед на ЕМС и ЕМІ

- ◆ Радио-комуникационни системи и ЕМС; източници на шумови ефекти; характеристики на радио-средите и антените от гледна точка на ЕМС;
- ◆ Критерии за избор на параметрите на радио-комуникационни системи с оглед на ЕМС; влияние на методите за модулация и детекция; взаимни ЕМІ ефекти и подтискане на ЕМІ.

#### 9. Други ефекти, свързани с ЕМС и ЕМІ

- ◆ Електростатични разряди и ЕМС;
- ◆ Засветяване от естествени и изкуствени източници;
- ◆ Действие на ядрени ЕМ импулси;
- ◆ Плазмени ефекти и ЕМС

### **IV. ЕМС на интегрални схеми и сигнална интегрираност**

#### 10. Основни методи за постигане на ЕМС в интегралните схеми (ИС)

- ◆ ИС като източници на ЕМ емисия; пример за ЕМС експертиза на ИС. Модели на ЕМС емисия – диференциален и общ мод.
- ◆ ИС като “жертва” на ЕМ смущения и измерване на възприемчивостта или “имунитета” на ИС към паразитни ЕМ полета.

- ◆ Основни методи за ИС като източници на ЕМ емисия: TEM клетка (до 1 GHz); GTEM (до 18 GHz) (IEC 61967-2) (излъчвана емисия); Сканиране с магнитен кръг в близката зона (NFS) (IEC 61967-3) (излъчана емисия чрез повърхнинно сканиране); 1/150 Ω метод (IEC 61967-4) (до 1 GHz) (емисия на диференциален мод); Фарадеев кафез (WBFC) (IEC 61967-5) (до 1 GHz) (емисия на общ мод); Сканиране с магнитна сонда в близката зона (NFS) (IEC 61967-6) (излъчана емисия в магнитна сонда); Ревербераторни и безехови камери (IEC 61967-7) (излъчана емисия)
- ◆ Основни методи за измерване на имунитет на ИС: TEM клетка; GTEM (имунитет към излъчване); BCI (Bulk Current Injection) Инжекция на обемни токове (имунитет към паразитни токове); DPI (Direct Power Injection) Директна инжекция на RF мощност (имунитет към паразитни токове и напрежения); Фарадеев кафез (WBFC) (имунитет към паразитни сигнали - общ мод)

#### 11. Метод на TEM клетката

- ◆ Същност на метода
- ◆ Реализация за емисия и възприемчивост
- ◆ Сравнения с други методи

#### 12. Метод на скенера в близката зона

- ◆ Същност на метода и сравнение с други метод
- ◆ Реализация за метода за ЕМ емисия на ИС
- ◆ 3D скенери – реализация и резултати

#### 13. Сигнална интегрираност на ИС

- ◆ Същност на проблема;
- ◆ Симулации на сигнална интегрираност
- ◆ Измерване и методи за постигане на висока сигнала нитегрираност
- ◆ Примери за VLSI схеми на съвременни комуникационни устройства

### **IV. Биологично въздействие на нейонизиращо лъчение (радио-вълни и микровълни)**

#### 14. Механизми на въздействие на микровълните върху биологичните обекти

- ◆ Механизъм на топлинното въздействие на микровълните;
- ◆ Микровълнова хипертермия; микровълнова диагностика;
- ◆ Резонансно микровълново нагряване и други ефекти при силен сигнал;
- ◆ Нетоплинни ефекти.

#### 15. Определяне на SAR в тялото на човека и неговите тъкани

- ◆ Диелектрични характеристики на човешките тъкани;
- ◆ Компютърни симулации на SAR човешка глава и тяло;
- ◆ Фантомни измервания на SAR;

#### 16. Влияние на мобилните телефони и базовите станции върху човека

- ◆ Установени ефекти на влияние на клетъчните телефони върху човека;
- ◆ Разпределение на SAR в човешка глава под въздействие на съвременните комерсиални модели на клетъчни телефони;
- ◆ Влияние на базовите станции и проблеми;
- ◆ Влияние на FM- и TV-излъчватели в населени места

## **Библиография**

### **Основна:**

- [1] П. Данков, "Увод в безжичните комуникации", Херон Прес, 2009 г. (учебник), част 6
- [2] Handbook of EMC, ed. by R. Perez, Academic Press, 1995
- [3] "Electromagnetic Compatibility of Integrated Circuits", ed. S.B. Dhia, M. Ramdani and E. Sicard, Springer Science + Business Media, Inc., 2006, ch. 4
- [4] S. Yuferev and E. Saunamaki, "Practical Techniques for Measurements and Computations of Near-Field Absolute Values", EMC Magazine, 2009, pp. 54-61
- [5] J. Thuery, "Microwaves: Industrial, Scientific and Medical Applications", Artech House Publ., 1992

- [6] А. М. Чернушенко, Н. Е. Меланченко, Л. Г. Милорацки, Б. В. Петров, "Конструкция СВЧ устройств и экранов" (для ВУЗов), "Радио и связь", 1983 г.

***Допълнителна:***

- [7] "Handbook of Microwave and Optical Components", vol.1 "Microwave Passive & Antenna Components", Ed. by Kai Chang, John Wiley & Sons, 1997
- [8] K. Siwiak, "Radiowave Propagation and Antennas for Personal Communication", Artech House, Boston, 1992
- [9] T. S. Lavergetta, "Handbook of Microwave Testing", Artech House Inc., 1981 (ново издание 2000 г)
- [10] Zeland IE3D 5.2 User Manual 2000
- [11] Ansoft HFSS 8.0 User Manual 2001

При преподавателя има съвременни материали по всички теми от курса. Има и материали на електронен носител.

**Дата: май 2013 г.**

**Съставил:**

/...../

(доц. д-р Пламен И. Данков)