



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)

„Увод в безжичните комуникации“

Преподавател: доц. д-р Пламен И. Данков

Асистент:

Учебна заетост	Форма	Хорариум
Аудиторна заетост	Лекции	30
	Семинарни упражнения	30
	Практически упражнения	0
<b>Обща аудиторна заетост</b>		<b>60</b>
Извън-аудиторна заетост	Самостоятелна подготовка по теми целия конспект, решаване на примерни тестове и индивидуални задачи (по жребий)	30 (всички); 45 (задочни)
	Самостоятелна подготовка на паметна записка по две теми от конспекта (по жребий) съгласно предоставен модел	30 (всички); 45 (задочни)
	Решаване на задачи от семинарните упражнения	15 (всички); 45 (задочни)
	Проучване на литература и електронни издания	15
<b>Обща извън-аудиторна заетост</b>		<b>-</b>
<b>ОБЩА ЗАЕТОСТ</b>		<b>150 (всички); 210 (задочни)</b>
Кредити аудиторна заетост		2
Кредити извън-аудиторна заетост		3 (всички); 5 (задочни)
<b>ОБЩО ЕКСТ</b>		<b>5 (всички); 7 (задочни)</b>

№	Формиране на оценката по дисциплината	% от оценката
1.	Писмен тест по въпроси от конспекта (по жребий) за 1/2 часа;	45
2.	Самостоятелно подготвени в къщи 2 „паметни записки“ (от 3 до 4 стр. разширено конспектиране по модел) по два въпроса от конспекта (по жребий)	45
3.	Окончателен изпит – събеседване по двете форми на оценяване и окончателно оформяне на обща оценка – до $\pm 0.5$ т.	10

#### Анотация на учебната дисциплина:

Курсът има за цел да запознае студентите-магистри със сигналите, каналите и устройствата, които се използват в съвременните комуникационни системи в радио-честотния, микровълновия и оптически обхват. На ниво блокови схеми се прави преглед на различните комуникационни системи: системите за пренасяне на данни, радио- и телевизионното разпръскване, земните клетъчни телефонни мрежи, земните радиорелейни системи, сателитните комуникационни системи, оптичните комуникационни системи и др. Където е възможно, изучавания материал се илюстрира практически примери в семинарните упражнения.

На студентите се дават общо 5 кредита за учебните задачи (за задочните студенти, приети като академични бакалаври – 7 кредита), вкл. и допълнителни извънаудиторни занимания.

Курсът е информативен, с доста висока плътност на поднасяната информация, с балансиран физичен и инженерен подход. Курсът е изцяло мултимедиен, има учебник на български език и материалите по него (лекции, теми за реферати, индивидуални задачи и най-добрите студентски проучвания) са достъпни за студентите. В края на обучението има и ограничен Интернет достъп до част от материала към курса чрез "user name" & "password" само за студенти, посещавали лекциите.

#### Предварителни изисквания:

Лекционният курс се чете като уводен избираем. За да се посещават този курс студентите трябва да имат само общи познания в областта на комуникационните и информационните технологии. Базира се изцяло на познанията им от бакалавърското обучение, но част от въпросите от лекциите и упражненията по-нататък се доразвиват в други курсове.

#### Очаквани резултати:

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

- Да разбира и свободно да коментира основните понятия в областта на съвременните комуникации, да познава физичните основи на съвременния комуникационен процес и бъдещите тенденции в областта на безжичните комуникации;
- Да познава основните комуникационни стандарти, техните основни параметри, честотни обхвати, специфични характеристики, структура, скоростта на предаване на данни, предимства и недостатъци;
- Да може да прави прости разчети на комуникационни системи и мрежи;
- Да може да разпознава различните комуникационни системи, да разпознава честотните им канали, характеристики, основни функции и др.
- Да може да извършва прост системен анализ на мрежи

### Учебно съдържание

#### I. Лекции:

№	Тема:	Хорариум
1	Лекция 1. Общи въпроси на съвременните комуникационни системи	6
2	Лекция 2. Комуникационни сигнали и канали за тяхното пренасяне	3
3	Лекция 3. Технология на кодирането и достъпа до комуникационните сигнали	6
4	Лекция 4. Разпространение на сигналите в комуникационните канали	3

5.	Лекция 5. Съвременни комуникационни мрежи и системи (общо описание и сравнение; това са теми извън задължителния конспект) 5.1 Мобилни мрежи (GSM мрежа; CDMA мрежа; 3G/4G мобилни мрежи. 5.2 Спътникови (сателитни) комуникационни системи: Примери: GEO и LEO комуникационни системи (сравнения). 5.3 Безжични мрежи (WLAN) – общи въпроси; примери: безжични мрежи в ISM обхвати; Wi-Fi мрежи. Съвременни WiMAX мрежи. Мобилен WiMAX. 5.4 Оптични комуникации и основни комуникационни устройства. Оптични мрежи и пръстени. Безжични инфрачервени мрежи.	9
6.	Лекция 6. Електромагнитна съвместимост в съвременните комуникации	3
Общо		30

## II. Семинарни упражнения:

№	Тема:	Хорариум
	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Енергетична оценка на телеграфни и телефонни канали</li> <li>◦ Определяне на зоната на уверено приемане на радио- и телевизионни сигнали. Изисквания за излъчвана мощност и чувствителност на приемната апаратура</li> <li>◦ Честотно планиране и енергетична оценка на трасе на радиорелейна система за връзка</li> <li>◦ Енергетична оценка на мобилна комуникационна система</li> <li>◦ Енергетична оценка на сателитна комуникационна система</li> <li>◦ Планиране на оптична комуникационна система</li> <li>◦ Топологично и честотно планиране на клетъчна система за мобилни комуникации.</li> <li>◦ Пресмятане на мобилни радиоканали – модели на свободното пространство, модел на Lee, модел на Okumura-Hata; сравнения.</li> <li>◦ Енергетичен баланс (link budget) на базова станция за мобилни комуникации.</li> <li>◦ Мобилна станция (cell phone) – структура, характеристики, оценки, елементна база.</li> <li>◦ Примери за кодиране на канала – блоково и конволюционно, разместване, вмъкване на допълнителни битове; CDMA кодове (ортогонални, PN).</li> <li>◦ Сравнителни характеристики на капацитета и др. параметри на цифрови мобилни системи: GSM и CDMAone.</li> <li>◦ Примери и сценарии за реализация на връзки и услуги в GSM-мрежата.</li> <li>◦ Хигиенни норми за защита от ЕМ излъчване; хигиенни норми съгласно Наредба No. 9/1990 г в България, определяне на SAR при мобилни комуникации, сравнения.</li> </ul>	По 2 ч. на упражнение
Общо		30

### Конспект за изпит „Увод в безжичните комуникации”

№	Въпрос
1	<p><b>Общи въпроси на съвременните комуникационни системи</b></p> <p>1.1 Основни въпроси на съвременните комуникационни системи (<i>обща тема</i>): Основни определения в областта на комуникациите. Понятие за комуникационен канал. Форми на използване на електромагнитния спектър. Типове комуникации според начина на използване на спектъра – класификация и най-общи характеристики.</p> <p>1.2 Възникване на радио-комуникациите (<i>обща тема</i>): а) възникване на мобилните не-клетъчни и клетъчни мрежи; б) поколения в мобилните комуникации (1G→2G→3G...) (основни характеристики и причини за смяна на поколенията); в) възникване на безжичните мрежи – разлика с мобилните безжични мрежи. Изводи – общи черти на безжичните комуникации и различия. Сравнение с фиксираните мрежи.</p> <p>1.3 Физична същност на радио-комуникационния процес (<i>обща тема</i>): Същност на радио-комуникационния процес. Главни компоненти на една безжична комуникационна система: “Предавател – Канал – Приемник”. Системни характеристики. Двупосочна връзка: Up-link и Down-link канали. Понятие за антени и предавателни структура (вълновод). Основни комуникационни устройства – предназначение и основни параметри.</p>

	<p>1.4 Съвременни комуникационни услуги и тяхната реализация в мрежи (<i>обща тема</i>): Информационен трафик и информационен капацитет. Понятие за величината “GoS” и влиянието ѝ върху информационния капацитет. Симплекс и дуплекс канали. Основни съвременни комуникационни услуги – класификация и реализация.</p> <p>1.5 Разширен пример: пренос на реч в различни комуникационни системи (<i>2 отделни теми</i>):  <b>1.5а</b> Сравнение: фиксирана телефонна мрежа (PSTN); безжични телефони (CT, DECT); безжични (WLL) разширения на фиксираната мрежа; телефонни връзки през интернет (VoIP);  <b>1.5б</b> Сравнение: клетъчни мобилни телефонни мрежи (PLMN) – сравнение между 1G и 2G мрежи; сателитни телефонни връзки – с GEO и LEO сателити.</p> <p>1.6 Разпределение на честотния спектър за комуникационни нужди (<i>обща тема</i>): Какво е спектър за комуникационни цели? Принцип за ефективно използване на спектъра. Кой и как разпределя спектъра за комуникационни цели? Създаване на комуникационни стандарти.</p>
2	<p><b>Комуникационни сигнали и канали за тяхното пренасяне</b></p> <p>2.1 Понятие за сигнал и шум – параметри и свойства (<i>обща тема</i>): Основни типове сигнали. Времева и честотна форма на сигналите – връзка между тях. Бързо Фурие преобразуване – основни принципи. Спектър на сигналите и измерване. Отношение “сигнал-шум” S/N. Понятие за канал за пренос на сигнали. Основни параметри на сигналите и комуникационните канали – сравнение на между тях. Величините S/N и BER и значението им в комуникациите.</p> <p>2.2 Сигнали в основна лента (<i>обща тема</i>): Аналогови и цифрови сигнали. Примери за известни сигнали в основна лента в комуникациите – звук, реч, видео, компютърен ASCII сигнал и др. Примери за кодиране на реч.</p> <p>2.3 Понятие за носещ сигнал (<i>обща тема</i>): Модулирани и манипулирани сигнали. Видове аналогови и цифрови модулации. Теснолентови и широко-лентови сигнали и канали. Принципи на модулация с много носещи – ортогонална модулация. Примери за модулации в мобилните мрежи – GMSK в GSM, QPSK и 16-QAM. Връзка между сложността на модулацията и отношението “сигнал-шум”.</p> <p>2.4 Методи за ефективно използване на EM спектър (<i>обща тема</i>): Мултиплексиране на сигнали – по честота, време и дължина на вълната. HDSL и ADSL техники за пренос на данни. Като се използва информация от цели курс да се приведат поне 5 примера за ефективно използване на спектъра като физични процеси, използвани в мрежи.</p>
3	<p><b>Технология на кодирането и достъпа до комуникационните сигнали</b></p> <p>3.1 Технология на кодирането (<i>обща тема</i>): Кодиране на реч и данни. Вокодери. Параметър BER. Кодиране на комуникационен канал – добавяне на излишни битове чрез блоково и конволюционно кодиране. Разместване на битове (interleaving). Защита на информацията в канала – криптиране. Защитени канали.</p> <p>3.2 Класификация на методите за много-потребителски достъп до комуникационните канали в мрежи (<i>3 отделни теми</i>):  <b>3.2а</b> Достъп чрез честотно разделяне (FDMA) и чрез време-разделяне (TDMA); Примери за TDMA достъп в GSM цифрова мобилна телефонна мрежа, сравнения.  <b>3.2б</b> Достъп чрез разширяване на сигналите с код (CDMA); DSSS, FHSS. Пример: CDMA-one стандарт;  <b>3.2в</b> Достъп чрез ортогонални канали (OFDMA) – Примери в 3G и WiMAX; сравнение със CDMA метода – прилики и разлики. Достъп чрез пространствено разделяне (SDMA). Сравнение, характеристики, предимства и недостатъци на различните методи.</p> <p>3.3 Понятие за протоколи в комуникационната мрежа (<i>обща тема</i>): Референтен 7-слоен OSI модел на комуникационна мрежа – функции на отделните слоеве. Други модели на комуникационни мрежи – TCP/IP; сравнения с OSI модела и предимства. Internet – мрежа на мрежите.</p>
4.	<p><b>Разпространение на сигналите в комуникационните канали</b></p> <p>4.1 Важни особености при разпространение на комуникационните сигнали в различни среди (<i>обща тема</i>): Разпространение на сигнали между две точки в пространството (point-to-point комуникации). Уравнение на връзката. Влияние на различни физични процеси чрез прости формули и примери: затихване, отражение, дифракция, разсейване на сигналите в открита среда, засенчване, Доплеров ефект и др.</p> <p>4.2 Модели на затихване на сигнали в сложна среда (<i>обща тема</i>): Пример: мобилен радио-канал. Емпирични модели. Метод на лъчево трасиране и софтуерна реализация. Проста оценка на радиуса на GSM клетка в и извън града.</p> <p>4.3 Много-лъчево разпространение на сигнали (<i>обща тема</i>): понятие за бърз и бавен фединг, случайни закъснения, разширение на спектъра. Статистически модели на мобилните канали – общи понятия и величини.</p> <p>4.4 Клетъчни комуникационни мрежи (<i>обща тема</i>): принципи на изграждането на клетъчни системи; основни понятия; съ-клетъчна и между-клетъчна интерференция; "хендовър" и реализация.</p> <p>4.5 Пример за проектиране на клетъчна мрежа и енергетичен баланс (link budget) в мобилен канал (<i>обща тема</i>): Какво е планиране на клетъчната мрежа; оценка на трафика; определяне на</p>

	оптималното отношение D/R; методи за разпределяне на честотните канали; методи за увеличаване на трафика; пример за енергетичен баланс в мобилен канал и за GSM базова станция.
5.	<p><b>Съвременни комуникационни системи</b></p> <p>5.1 GSM мрежа (възникване, общи характеристики, клетъчна структура, затихване на сигнала, капацитет).</p> <p>5.2 GSM мрежа (мобилен канал, достъп, кодиране на реч и канал, архитектура, функционалност на мрежата).</p> <p>5.3 3G мобилни мрежи (сравнения с 2G и еволюция; основни отличителни характеристики, основни услуги).</p> <p>5.4 Мобилен WiMAX (основни идеи и особености на стандарта, разлика с 3G системите).</p> <p>5.5 Спътникови комуникационни системи: Примери: GEO и LEO комуникационни системи (сравнения и изводи).</p> <p>5.6 GPS система за глобално позициониране (структура, канали, функциониране, определяне на координатите).</p> <p>5.7 Класификация на безжичните мрежи: WAN, MAN, WLAN и PAN. Характеристики, сравнения, функциониране.</p> <p>5.8 Безжични мрежи (WLAN) – общи въпроси; примери: безжични мрежи в ISM обхвати; Wi-Fi мрежи.</p> <p>5.9 Фиксирани WiMAX мрежи – основни характеристики; методи, осигуряващи бързодействие; предимства.</p> <p>5.10 Bluetooth мрежи – характеристики, канали, честотен обхват, устройства, действие.</p> <p>5.11 RFID системи и устройства – структура; елементи (маркери, четци); действие; основни приложения.</p> <p>5.12 BAN мрежи – свързани с тялото на човека – идеи, елементи, структура, приложения. Примери.</p> <p>5.13 Кабелна телевизия CATV. Цифрова телевизия HDTV. Сателитна телевизия (сравнения).</p> <p>5.14 Оптични комуникации и основни комуникационни устройства – предаватели, приемници, влакна.</p> <p>5.15 Оптични мрежи и пръстени – реализация, принципи на действие, характеристики, примери.</p> <p>5.16 Безжични инфрачервени мрежи – реализация, принципи на действие, примери, сравнения с други мрежи.</p> <p>5.17 4G комуникационни системи (LTE) – идеи, реализация, физични основи на бързодействието. Бъдеще на мрежите.</p>
6.	<p>Лекция 6. Електромагнитна съвместимост в съвременните комуникации</p> <p>6.1 Понятие за електромагнитна съвместимост (ЕМС) и електромагнитна интерференция (ЕМИ) в комуникациите (<i>обща тема</i>): ЕМИ между устройства в комуникациите; модели на ЕМИ; основни ЕМИ източници; заземяване и екраниране – общи принципи; ЕМИ стандарти.</p> <p>6.2 Микровълните като нейонизиращо лъчение (<i>обща тема</i>): Основни общо-признати механизми на биологично въздействие и приложения в медицината. Физични величини, характеризирани нейонизиращо лъчение – плътност на потока на мощността и специфична абсорбирана мощност (SAR); Примери.</p> <p>6.3 Хигиенни норми за електромагнитна съвместимост (ЕМС) в комуникациите (<i>обща тема</i>): Дози за нейонизиращо облъчване на човек. Практическа дозиметрия на нейонизиращо излъчване. ЕМС измервания; измерване и оценка на SAR. SAR калкулатори и измерване на SAR чрез човешки фантоми.</p> <p>6.4 ЕМС проблеми в мобилните комуникации (<i>обща тема</i>): преглед; Въздействие на излъчването от мобилния телефон; Въздействие от излъчването на базови станции; “микровълнов синдром”; основни изводи, препоръки.</p>

#### Принципи на провеждане на изпита:

Изпитът се провежда след приключване на курса. Задължително има две дати за изпит: едната веднага след приключване на занятията и втора – през сесията. Студентите имат право и на една поправителна сесия. Изпитът е писмен (две части) и кратко устно събеседване накрая. Първата писмена част е тест от 7 въпроса, а втората – предварително подготвени 2 писмени теми от конспекта, изтеглена чрез жребий. Оценката Y се определя поравно от двете писмени части ( $Y = 2 + X1 + X2$ , където X1 и X2 са точките от двете части). Чрез устното събеседване се дооформя крайната оценка.

1 писмена част: Кратък писмен тест, който се решава от студента по време на изпита, без да може да използва източници на информация. Тестът се състои от 7 въпроса от всички области на конспекта. Една част са “по-леки” въпроси с дадени 4 отговора, от които се избира 1. Другата част са по-сложни, но кратки въпроси от различни теми в конспекта, на които се отговаря със свободен текст до 1 страница общо, без чертежите. Максималният брой точки е  $X1 = 2.2$ .

2 писмена част: Самостоятелно проучване по тема от конспекта, изтеглена чрез жребий, което се реализира в къщи. Това са подтеми от Лекции 1, 2, 3, 4 и 6 (1 тема) и Лекции 5 (2 тема), към които задължително се добавя собствен коментар от студента! Темите се развиват писмено в домашни условия на не повече от 4-5 страници А4 на тема. Информация, изтеглена от Интернет, задължително се обработва и коментира. Студентът трябва да разбира това, което коментира писмено (иначе не трябва да го включва в своята тема, но може да бъде питан при устното събеседване). Задължително се посочва изпозваният WEB адрес. Изобщо, не се приемат теми, директно изтеглени от Интернет или от други електронни източници, без да е посочен източника и без да са обработени от студента, за да отговорят на темата. Не се приемат английски текстове или директно от Google преводач. Не се приемат теми, разработени за друга дисциплина (това може да се провери и след изпита; тогава оценката се анулира, независимо от вписването ѝ в книжката). Не се приема развитие на темата на място, по време на изпита. Не се приемат идентични или много близки по структура и информация теми на повече от един студент (темите на студентите след първия явил се, се анулират) (това важи особено много за 2-та тема). В заключение: самостоятелното проучване е форма на изява на студента: на неговите знания, иновативност, способност да се учи, да работи критично с източници на информация и пр. Помнете това и не злоупотребявайте с дадената ви възможност за изява!

3 устно събеседване: Провежда се веднага след приключване на теста. Задават се кратки въпроси от теста и от подготвената тема. Целта е окончателното оформяне на оценката.

## Примерни въпросници:

### Примерен въпросник No. 11-01

- Ширилата на отделния честотен канал в GSM комуникационните мрежи е:  
а) 20 kHz; б) 200 MHz; в) 200 kHz; г) 2000 kHz 0.2 т.
- Сигнал в основна лента:  
а) това е оригиналният източник на информация в електрически вид; б) това е честотната лента на модулирания сигнал; в) това е основният сигнал в комуникационния канал; г) това е сигнал, чиято основна честотна лента е по-голяма от ширината на канала 0.2 т.
- Кое твърдение не е вярно:  
а) комуникационният трафик се увеличава при увеличаване на броя на клетките; б) комуникационният трафик се увеличава при секторизиране на антените на базовите станции; в) комуникационният трафик се увеличава при увеличаване на броя на клетки-те в даден клъстер; г) комуникационният трафик се увеличава при използване на "умни антени" с пренасочване на антенния лъч. 0.2 т.
- Кои са основните недостатъци на сателитни комуникации с геостационарни спътници? до 0.4 т.
- Каква е същността на понятието "комуникационен протокол"? до 0.4 т.
- Кои са основните регистри за данни в мобилния превключващ център? до 0.4 т.
- Кои според вас са основните причини за прехода от 1G към 2G поколение на мобилните клетъчни мрежи? до 0.4 т.

### Примерен въпросник No. 11-02

- "Съ-клетки" в клетъчните мобилни системи са:  
а) съседни клетки; б) клетки, в които се използват еднакви честотни канали с допустима интерференция; в) клетки, в които се използват различни честотни канали с допустима интерференция; г) съседни клетки, в които се наблюдава max интерференция. 0.2 т.
- Величината BER представлява:  
а) брой на достоверно приетите битове към общия брой битове в канала; б) брой на недоуверно приетите битове към общия брой битове в канала; в) брой на битове в цифровата комуникационна редица; г) брой на битовите състояния при пренос на сигнал 0.2 т.
- Скоростта на предаване на реч в GSM мрежата при пълно-скоростен GSM е:  
а) 1.3 kb/s; б) 2 Mb/s; в) 13 kb/s; г) половината от скоростта на предаване на данни 9.6 kb/s; 0.2 т.
- Какво ви е известно за понятието "Между-символна интерференция"? до 0.4 т.
- За какво се отнася моделът на Okumura-Hata ? до 0.4 т.
- Как се осъществява двупосочната връзка в GSM мрежата? до 0.4 т.
- Кои са основните предимства на сателитни комуникации с геостационарни спътници? до 0.4 т.

### Примерен въпросник No. 11-03

1. Динамичен обхват на сигнала е:  
а) динамичното отношение "сигнал-шум"; б) отношението между минималната и максималната честота в спектъра на сигнала; в) отношението между минималното и максималното ниво на сигнала; г) Отношението между минималната и максималната динамична скорост на предаване на информацията с помощта на сигнал. 0.2 т.
2. Бърз фадинг в мобилните комуникационни системи е:  
а) ефект на Доплер при бързо подвижни източници; б) бързи изменения на нивото на сигнала на разстояние, сравнимо с полу-дължината на вълната на сигнала, в) поредица от бързи минимума и максимуми на сигнала вследствие на "засенчване" от сгради; г) бързо затихване на сигнала от разстоянието на степен, по-голяма от 2. 0.2 т.
3. GMSK модулация е:  
а) фазова модулация в GSM мрежата с Гаусово филтриране; б) цифрова честотна модулация с гаусово филтриране на сигнала; в) Гаусова амплитудно-честотна модулация в GSM мрежата; г) Модулация с разширен Гаусов спектър в GSM мрежата. 0.2 т.
4. Какво представлява понятието "преизползване" на честотните канали в клетъчни мрежи? до 0.4 т.
5. Какво представлява понятието усилване от "кодиране на канала"? до 0.4 т.
6. Какво е широколентовата комуникационна система със скачане на носещата? до 0.4 т.
7. Какво знаете за нелицензираните честотни обхвати? Как се ползват те? На кои честоти са тези обхвати? Какво означава ISM обхвати? до 0.4 т.

### Библиография

#### Основна:

- [1] Пламен Данков, "Увод в безжичните комуникации", Херон прес, 2007 г.
- [2] "Understanding telecommunications" - Part 1 and 2, Ericsson & Telia, online: <http://www.studentlitteratur.se/M. D. Yacoub>, "Foundation of Mobile Radio Engineering", CRC Press, London, 1993

#### Допълнителна:

- [4] Terry Edwards, "Gigahertz and Terahertz Technologies for Broadband Communications", Artech House Inc. 2000
- [5] R. Bekker, J. Smits, "Mobile Telecommunications: standards, regulation and applications", Artech House Inc. 1999
- [6] W. Webb, "Understanding cellular radio", Artech House Inc. 1998 "Wireless Communications", Andrea Goldsmith, Stanford University, 2004

При преподавателя има още актуални материали по всички теми от курса.

**Дата: март 2013 г.**

**Съставил:**

/...../

(доц. д-р Пламен И. Данков)