

Уводна лекция

"Основи на радиоелектрониката"

Лектор:
доц. д-р Пламен Данков

Съдържание на курса:

І част

- ▲ Електрически сигнали
- ▲ Модулирани електрически сигнали
- ▲ Електрически вериги
- ▲ Методи за анализ на електрическите вериги
- ▲ Четириполусници
- ▲ RC, RL и RLC вериги
- ▲ Трептящи кръгове
- ▲ Електрически филтри
- ▲ Вериги с разпределени параметри

Примерен тест от Контролно #1

В зависимост от подготовката си студентите трябва да могат: 1. Да отговорят на въпроси от общ характер (до 0.25 т.); 2) Да развият самостоятелно теми от конспекта (до 1 т.); 3) Да решават несложни задачи от общ характер по зададени схеми, условия, уравнения и пр., подобни на които са решавани като примери на лекциите (до 1.25 т.); 4) Да могат да решават по-сложни задачи, които не са решавани на лекции, но основата за решаването им е разглеждана (до 2.25 т.). Задачите са практически уникални за всеки студент. Оценката от контролното се определя по формулата $Y = 2 + \sum xi$, където xi са броя точки от отделните въпроси: 2 от тип 1), 1 от тип 2), 1 от тип 3) и 1 от тип 4). Максималният брой точки от задачите е $\sum xi = 4.5$ т.

Въпросник No. 1-05-35

I.1.15 Какво представлява амплитудно-модулиран (AM) аналогов сигнал? Каква е връзката между времевата и честотната форма на модулирания сигнал, в кой параметър се носи информацията (обяснете с 2-3 изречения и с графично изображение на сигналите)?

До 0.25 т.

I.5.7 Изобразете Г-образната схема на високо-честотен филтър с два RC елемента и начертайте приближено амплитудно-честотната характеристика на коефициента на предаване по напрежение. Как се дефинира неговата критична честота (без да я определяте)?

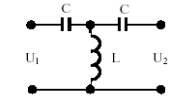
До 0.25 т.

II.4.6 Схема, свойства, резонансни криви и параметри на последователен трептящ кръг.

До 1.0 т.

III.3.23 Определете модула на коефициента на предаване по напрежение $|K_U|$ на дадения четириполусник. Определете честотата ω_c , при която $|K_U| = 0.707|K_{Umax}|$ (величината $|K_{Umax}|$ е максималният коефициент на предаване по напрежение четириполусника). (Указание: входното напрежение във веригата на четириполусника се разглежда като източник на напрежение с нулево вътрешно съпротивление, а изходната верига е в режим на "празен ход". При тези условия пресметете къде във веригата тече ток и къде – не).

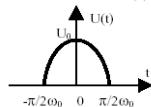
До 1.25 т.



IV.1.10 Определете и начертайте качествено спектъра $S(\omega)$ на единичния косинусидален импулс, описван математически със зависимостта

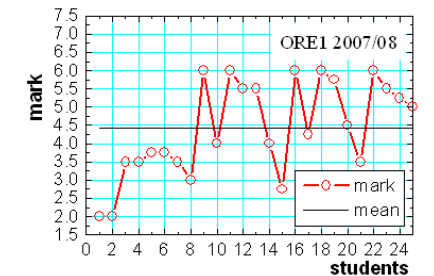
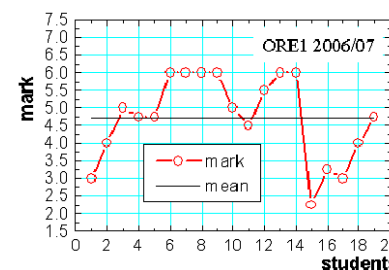
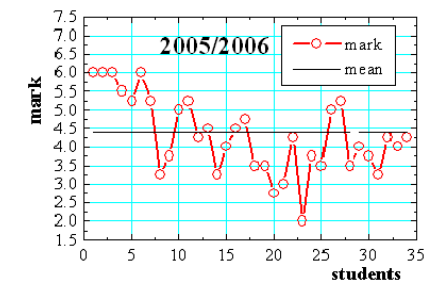
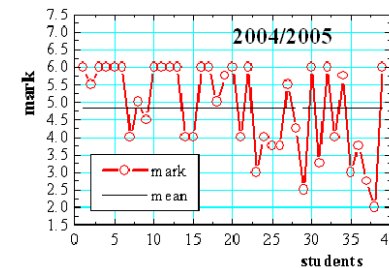
$$U(t) = \begin{cases} U_0 \cos(\omega_0 t), & t \in (-\pi/2\omega_0, \pi/2\omega_0) \\ 0, & \text{оръкоде} \end{cases}$$

Определете стойността на спектралната съставка $S(0)$ при честота $f = 0$.



До 2.5 т.

Резултати през годините от Контролно #1



Съдържание на курса:

II част

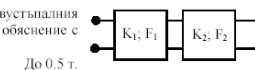
- ▲ Полупроводникови диоди
- ▲ Биполярни транзистори
- ▲ Полеви транзистори
- ▲ Понятие за електрически сензори
- ▲ Електронни усилватели
- ▲ Транзисторни усилватели
- ▲ Електронни усилватели със специално предназначение
- ▲ Операционни усилватели
- ▲ Електронни генератори и синтезатори
- ▲ Електронни ключове и импулсни устройства
- ▲ Модулатори и демодулатори. Смесители и умножители
- ▲ Логически схеми
- ▲ Основи на цифровата електроника
- ▲ Електронни хранящи устройства
- ▲ Измервания в електрониката. Лабораторен курс

Примерен тест от Контролно #2

Завършва с Контролно #2 (преди 20-ти януари). Въпросникът включва 4 въпроса: 2 от тип I (до 0.5 т.) и 2 от тип II (по зададения концепт) (до 2.0 т.). Студентите трябва да могат: да отговорят на несложни въпроси от концепта, да разчитат действието на несложни схеми, да развият самостоятелно теми от концепта. Оценката от контролното се определя по формулата $Y = 2 + \sum xi$, където xi са броя точки, дадени за отговора на отделните въпроси. Максималният брой точки от задачите е $\sum xi = 4.5$ т. Студентите, които биха желали да повишат оценката си по някоя от двете контролни работи, или са пропуснали някоя от тях, могат да се явят на писмен изпит по ОРЕ на обявена дата през сесията или на поправителната сесия.

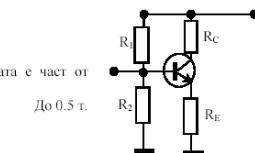
Въпросник No. 2-06-01

I.15.1 Как се изразява общият коефициент на усилване K_{Σ} и коефициента на шум F_{Σ} на двустепенния усилвател, показан на фигурата. Ако не можете да запишете израз, дайте описателно обяснение с 2-3 изречения и примери.



До 0.5 т.

I.11.4 Посочете предназначението на всеки от показаните на схемата резистори. Схемата е част от усилвател с биполярен транзистор при свързване "общ емитер".



До 0.5 т.

II.18.2 Операционен усилвател – предназначение, принципна схема. Коефициент на усилване при инвертиращ и неинвертиращ операционен усилвател.

До 2.0 т.

II.13.5 Честотни свойства на полевите транзистори. Гранична честота. Съвременни свръх-високочестотни HEMT транзистори – принцип на работа.

До 2.0 т.

Общи резултати

година	оценка	ОРЕ #1	ОРЕ #2	средна
2004/05	Оценка	4.85	5.25	5.05
	Стандартно отклонение	±1.25	±1.00	±0.90
2005/06	Оценка	4.27	4.99	4.76
	Стандартно отклонение	±1.01	±1.00	±0.82
2006/07	Оценка	4.72	4.70	4.71
	Стандартно отклонение	±1.20	±1.29	±1.29
2007/08	Оценка	4.42	4.60	4.60
	Стандартно отклонение	±1.30	±1.05	±1.03
2008/09	Оценка	4.50	4.99	4.76
	Стандартно отклонение	1.00	±1.00	±0.82

Как ще работим?

Всеки студент през семестъра се явява на две писмени контролни проверки (началото на декември и средата на януари), като се готви по два отделни въпросника (за I и за II част). Общата оценка е сума от двете оценки (като се отчитат и получените бонуси от I или II част). Точността на определяне на оценката за всяко контролно е 0.25, но крайната се закръгля на 0.5. Еи-оценките са А (5.50-6); В (4.50-5.49); С (3.50-4.49); D (2.50-3.49); Е (2.01-2.49); F (2). Студентите, които не са доволни от така оформените оценки от двете контролни, или не са се явили на дадено контролно, се явяват на изпит през сесията.

Литература

- [1] Т. Стойчев, Основи на радиоелектрониката, Наука и изкуство, София, 1978
 - [2] Е. И. Манаев, Основи радиоелектроники, Москва, Радио и связь, 1985
 - [3] С. Куцаров, Електронни схеми, т.1, Закони, сигнали, вериги, Университетско издателство, София, 1999
 - [4] С. Куцаров, Електронни схеми, т.2, Диодни и транзисторни схеми, Университетско издателство, София, 2001
 - [5] Г. В. Белокопътов и др., Основи радиофизики, Москва, Изд. УРСС 1996, Учебно пособие для студентоv Физического Факультета МГУ (ксерокопие)
 - [6] "Lessons in Electric Circuits" by Tony R. Kuphaldt (PDF-file), on-line available: <http://www.ibiblio.org/obp>
- На студентите се предоставя 1 CD с подбрани текстове на книги, лекции и свободен софтуер, свързани с различни проблеми на електрониката и комуникациите. Освен това, включена е и настоящата лекция в pdf-формат, както и други лекции на П. Данков.

Кои бакалавърски курсове са свързани директно с ОРЕ?

- ❖ Практикум по Електронни елементи и вериги (задължителен)
- ❖ Практикум по Електронни устройства (задължителен)
- ❖ Обработка на сигнали (избираем)
- ❖ Аналогови и цифрови интегрални схеми + Практикум по АЦИС (избираеми)
- ❖ Микровълнови интегрални схеми (избираем)
- ❖ Измервания в електрониката и комуникациите (избираем)
- ❖ Разпространение и излъчване на електромагнитни вълни (избираем)
- ❖ Цифрови сигнални процесори и микроконтролери (избираем)
- ❖ Сензори и сензорна електроника (избираем)
- ❖ Аудио- и видео- електроника (избираем)
- ❖ Мобилни и сателитни комуникации (избираем)

❖ Забележка

Навсякъде, където видите този знак 😊 , представената в слайда информация е допълнителна, тя често е над нивото на разглежданите въпроси, или е дадена като интересен пример. Тази информация не се използва при изпита, но ви помага да се ориентирате по-добре в съвременните проблеми на радиоелектрониката. Цялата уводна лекция е информативна и знакът 😊 не е използван. Разбира се, част от необходимата за изпита информация е повторена в другите лекции.

Магистърски програми

- ❖ Магистърска програма “Безжични мрежи и устройства”
Това е програмата с най-много студенти във Физически факултет. Има редовна и задочна форми. Редовната стартира м. март всяка година; а задочната – м. ноември. Средно годишно програмата има по 15-20 студента едновременно. Занятията се водят истински!
- ❖ Магистърска програма “Физика на плазмата”
Това е програма, свързана пряко с важния съвременен проблем на енергийната ефективност – термоядрения синтез. Още – физика и техника на плазмените разряди; плазмени източници, плазмени технологии. Досега е имала десетина студенти.
- ❖ Магистърска програма “Микровълни и комуникационни технологии” (RF Engineering)
Това е програма с официален английски език. Стартира през тази година във Физически факултет, но вероятно ще я предложи от догодина заедно с Технически университет – София. Преподавателския състав е разнообразен – университетски преподаватели, служители във фирми, мениджъри и инженери. Поддържа се частично от фирмите RaySat BG и Elco-Star Com. Досега сме работили 4 години по подобна програма със студенти само от Технически университет на български език (общо над 60).

Съдържание на настоящата лекция

- ▲ Какво е радиоелектроника?
- ▲ Сигнали и спектри
- ▲ Сигнали и канали за тяхното пренасяне
- ▲ Понятие за комуникационен процес
- ▲ Електронни елементи, вериги, устройства и системи от устройства
- ▲ Технологични проблеми на съвременната електроника
- ▲ Анализ на електрически вериги. Съвременни схемни и електромагнитни симулатори
- ▲ Влияние на електрическото, магнитното и електромагнитното полета върху човека

0.1 Какво е радиоелектроника?

Радиоелектроника

Радиотехника

Свързва се с техническите средства за използване на радиочестотния спектър за обработка на информацията (предаване, пренос, приемане). Това става с помощта на електрически елементи, образуващи електрически вериги ⇒ електрически устройства ⇒ системи от устройства.

Електроника

Свързва се с техническите средства за генерация и обработка (управление) на електрически течения и вълни (сигнали). Това става чрез взаимодействие на заредени частици (носители на заряда) с електрическите и магнитните полета.

Следователно, *радиоелектрониката* се свързва основно с техническите средства, свързани с протичане на информационните процеси (предаване, приемане, разпространение, обработка, преобразуване, съхраняване и използване на информацията, представена с електрически сигнали)

Класификации

- ❖ Аналогова и цифрова електроника (използва аналогов или цифров сигнал в основна лента)
- ❖ Не-интегрална (дискретна) и интегрална електроника (на основата на обикновени електрически схеми и на интегрални схеми); микро- и нано-
- ❖ Линейна и нелинейна електроника (на основата на линейни или нелинейни процеси в електрически схеми; газова и плазмена електроника)
- ❖ По честотен обхват:
 - електротехника (dc и промишлена честота)
 - радио-честотна (RF-) електроника (радио и ТВ разпръскване, broadcasting)
 - микровълнова електроника (най-бързо развиващата се част от електрониката днес: мобилни и безжични комуникации; радары и навигация; дистанционно сондиране, радиоастрономия и мн. др.)
 - инфрачервена и оптоелектроника, THz електроника (нова област)
 - рентгенова електроника (като приложения)
 - ядрена електроника (като приложения)
 - биоелектроника (много нискочестотна) и др.

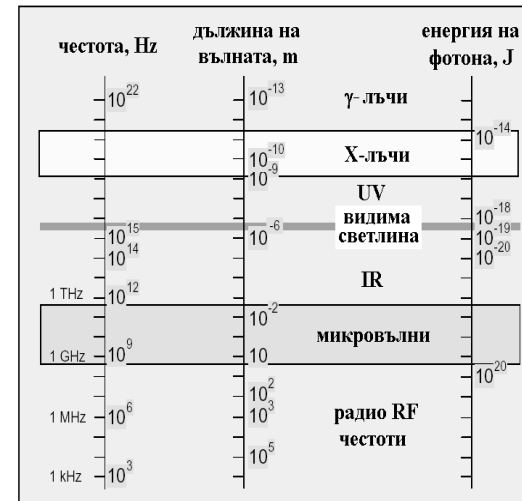
Основни приложения на радиоелектрониката днес

- ❖ Комуникации и комуникационни технологии (най-ефективното приложение; днес това е основната движеща сила на иновациите в радиоелектрониката – фиксирани, радиорелейни, мобилни, LAN, WLAN, WiMAX, IR, оптични, сателитни, GPS и др.)
- ❖ Компютърна техника и информационни технологии (все повече свързани с комуникациите и съвременните глобални мрежи);
- ❖ Военни приложения и антитероризъм (днес отново се развива много бързо, но доста по-близо до гражданските приложения);
- ❖ Индустриална и битова (аудио/видео) електроника (това е днешната масова електроника);
- ❖ Електротехника (електродвигатели, автомобилна електроника, електрогенератори, акумулатори, зарядни устройства и др.)
- ❖ Радиофизични методи за изследване (спектроскопия, методи за изследване на веществата, медицина, биотехнология, битова химия, астрономия и астрофизика, дистанционно сондиране, влияние на електромагнитните вълни върху човека и др.);
- ❖ Автоматизация и управление на научни експерименти и технологичните цикли (системи за контрол, мониторинг, обработка на данни)

Електромагнитен (ЕМ) спектър

ЕМ спектър е огромен по “територия”, но само не особено големи части от него са подходящи за целите на радиоелектрониката (и по-специално на телекомуникациите). С развитието на технологиите тази полезна за комуникации част от спектъра непрекъснато се разширява.

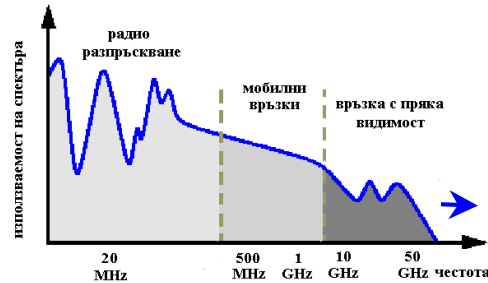
Означения в спектъра



Лента	Обхват (f, λ)
dc	0 Hz ∞
ELF	< 3 kHz < 100 km
VLF	3-30 kHz 100-10km
LF	30-300 kHz 10-1 km
MF	300-3000kHz 1-0.1 km
HF	3-30 MHz 100-10 m
VHF	30-300 MHz 10-1 m
UHF	300-3000MHz 1-0.1 m
SHF	3-30 GHz 10-1 cm
EHF	30-300 GHz 10-1 mm
THF	0.3-3 THz 1-0.1 mm
Far IR	300-30 μm
Near IR	~30 μm-1 μm
видима (visible)	~800-400 nm

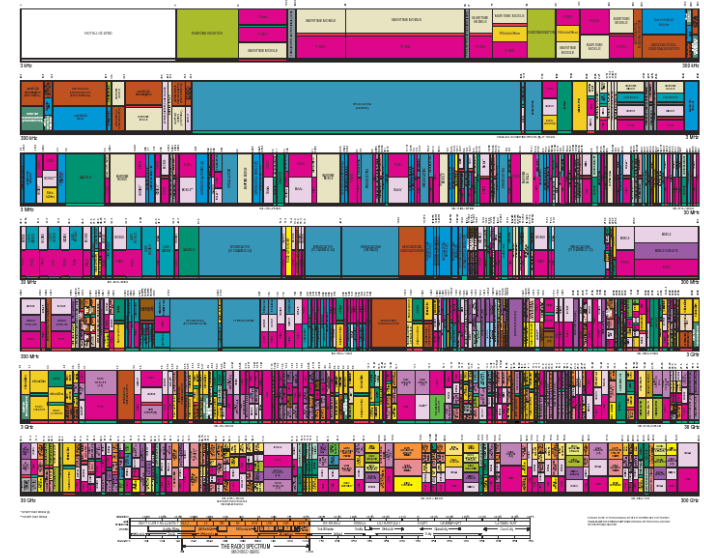
Как се използва честотният спектър?

Честотният спектър не се ползва безразборно, а в зависимост от свойствата на ЕМ вълна с определена дължина на вълната (честота). На фигурата е показана относителната му използваемост и в коя част за какъв вид комуникационни системи и услуги е подходящ. В нискочестотната си част (до ~400-500 MHz) спектърът се ползва най-активно, понеже е подходящ за радио и TV разпръскване (broadcasting). В този обхват сигналът има голяма дължина на вълната и може да “заобикаля” (поради дифракция) повечето от стандартните препятствия – сгради, малки хълмове, превозни средства и така да достига до почти всяка точка около предавателя. Освен това антените тук са най-често слабо насочени и са подходящи за връзки от типа “точка-много точки”. Друго предимство е лесната модулация (демодулация на информационния сигнал с евтени и прости устройства, което е предимство за масовия потребител на разпръсквания радио и TV сигнал при масовите комуникации. Мобилните комуникации се нуждаят от по-широки канали с по-малко шум, а антените трябва да са по-компактни и не толкова ненасочени. Това изисква мобилните мрежи да ползват честоти над 400-500 MHz. От друга страна, загубите на сигнал трябва да са приемливи, както и цената на мобилните терминали, която расте с увеличаване на честотата. Накрая, в мобилната среда сигналът не трябва да се “засенчва” от различни препятствия и честотата не трябва да е по-висока от 2000 MHz. Над тази честота разпространението на сигнала придобива висока “насоченост” и комуникационните системи трябва да ползват станции с пряка видимост. Таква системи са за фиксирани потребители (или с ограничена мобилност) – от тип “точка-точка” – радио-релейни, сателитни, безжични мрежи и др. Тук работят и дистрибуторски тип мрежи “точка-много точки”, но с много повече на брой базови (разпръсквателни) станции и секторни антени.



Пример: разпределение на спектъра за различни цели в USA

UNITED STATES FREQUENCY ALLOCATIONS THE RADIO SPECTRUM



Разпределение на спектъра за безжични комуникационни мрежи

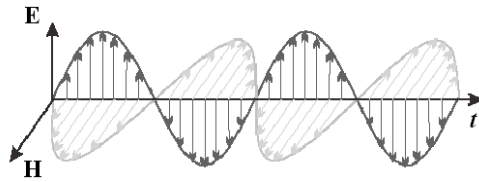
ISM обхвати (безжични телефони, 1G WLANs)	902-928 MHz
ISM обхват II (Bluetooth, 802.11b WLANs)	2.4-2.4835 GHz
ISM обхват III (безжични PBX)	5.725-5.85 GHz
NII обхват I (в Indoor системи, 802.11a WLANs)	5.15-5.25 GHz
NII обхват II (в outdoor системи на къси разстояния и в ограничени кампуси)	5.25-5.35 GHz
NII обхват III (в outdoor системи на дълги разстояния и в системи с пряка видимост, point-to-point станции)	5.725-5.825 GHz

Разпределение на спектъра за сателитни комуникационни системи

Фиксирани сателитни системи FSS: C, X, Ku, Ka обхвати	5.85–7.075 GHz (UL); 3.4–4.2 GHz (DL) 7.90–8.40 GHz (UL); 7.25–7.75 (DL) 13.75–14.8 GHz (UL); 10.7–11.7 (DL) 28.0–30.0 GHz (UL); 17.7–19.7 (DL)
Мобилни сателитни системи MSS: L, L/S, S обхвати	1.626–1.66 GHz (UL); 1.525–1.56 GHz (DL) 1.61–1.626 GHz (UL); 2.483–2.5 (DL) 2.67–2.69 GHz (UL); 2.5–2.52 (DL)
Широколентови сателитни системи BSS: S, Ku, Ka обхвати	2.65–2.69 GHz (UL); 2.5–2.54 GHz (DL) 17.7–18.2 GHz (UL); 11.2–12.2 (DL) 24.75–25.25 GHz (UL); 21.4–22.0 (DL)

0.2 Сигнали и спектри

Електрически сигнал



$$A(t) = A_t \sin(2\pi f_t t + \varphi_t)$$

Амплитуда A_t

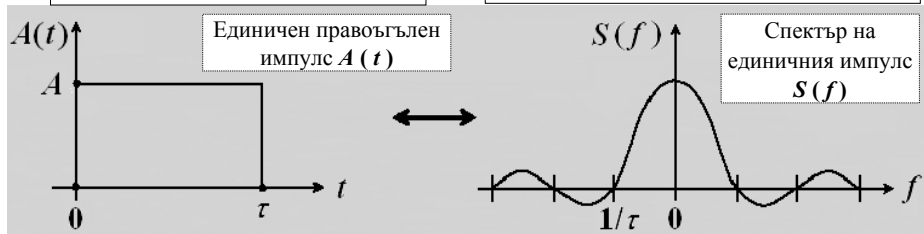
Честота f_t

Фаза φ_t

Под електрически сигнал $A(t)$ в ще подразбираме времевата зависимост на тока или напрежението в дадена електрическа верига, но и още – на електрическото E или магнитното поле H на разпространяваща се в дадена среда вълна. Сигналът се явява електрическият носител на информацията, която се съдържа в дадено комуникационно съобщение.

Времева форма (TD - Time Domain)

Честотна форма (FD - Frequency Domain)

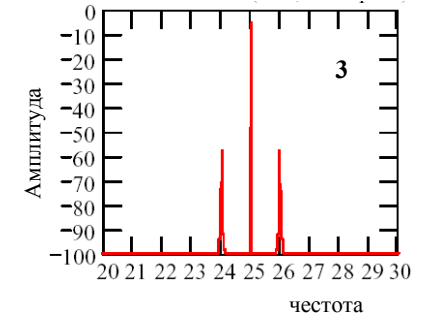
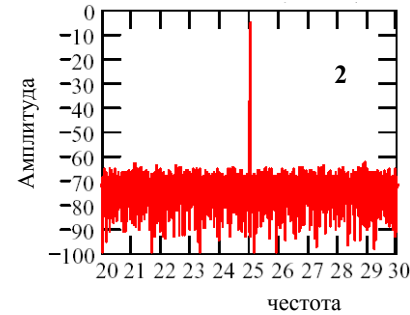
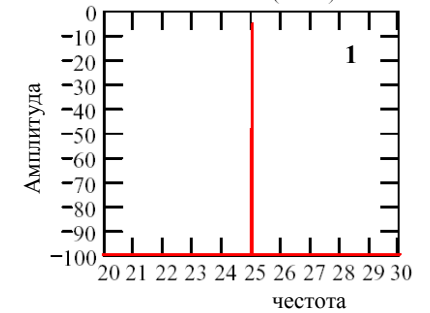


Пример за един електрически сигнал в 3 различни случая

1. Хармоничен сигнал

2. Сигнал и шум

3. Модулиран сигнал

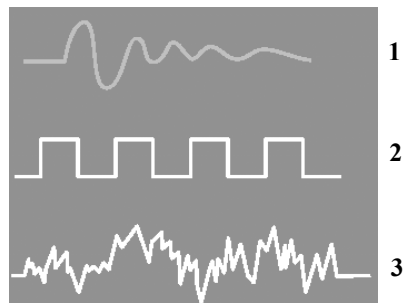


Основни типове сигнали

1. Непериодични сигнали

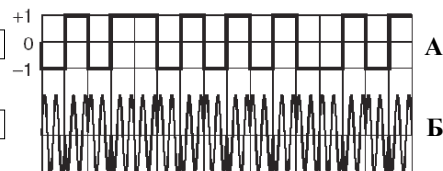
2. Периодични сигнали

3. Случайни сигнали или шум



А. Цифрови сигнали

Б. Аналогови сигнали



Основни типове сигнали (2)

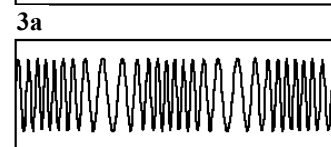
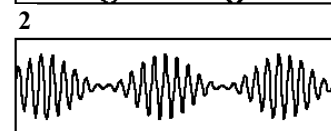
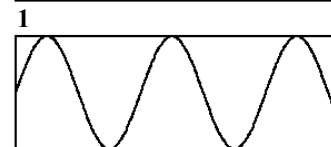
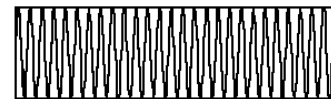
1. Носещ сигнал (carrier)

2. Сигнал в основна лента (BBS – Base-Band Signal)

3. Модулирани сигнали (PBS – Pass-Band Signal)

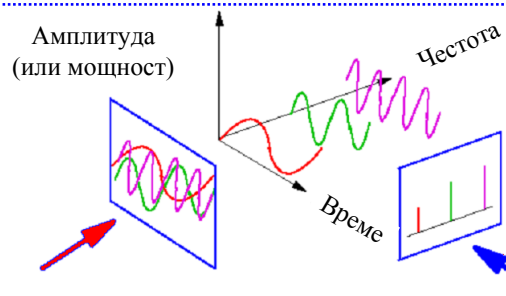
3а. Амплитудно-модулиран сигнал (AM)

4б. Честотно-модулиран сигнал (FM)



3б

Сигнали и спектри



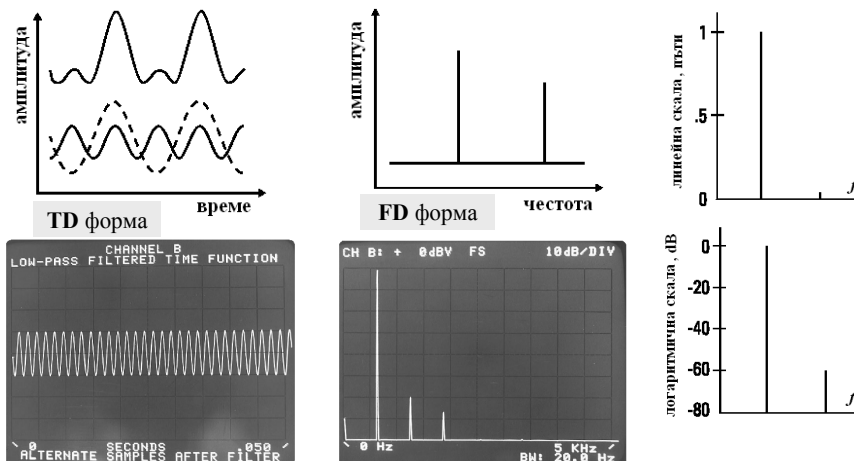
Съществува връзка между двете форми на един и същи електрически сигнал (TD и FD). Еднозначна връзка между тях може да се осъществи чрез Фурие преобразуванията

TD (Time Domain)
форма

FD (Frequency Domain)
форма

- ❖ **TD (Time Domain)** - Амплитуда (или мощност) от време: измерването става основно чрез осцилоскопи или с съвременни сигнал-анализатори
- ❖ **FD (Frequency Domain)** - Амплитуда (или мощност) от честота (спектр): измерването става чрез спектро-анализатори, анализатори на вериги или най-просто – с помощта на селективни волтметри

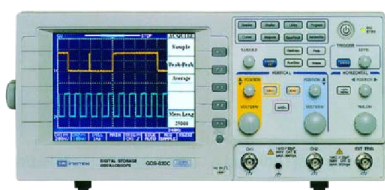
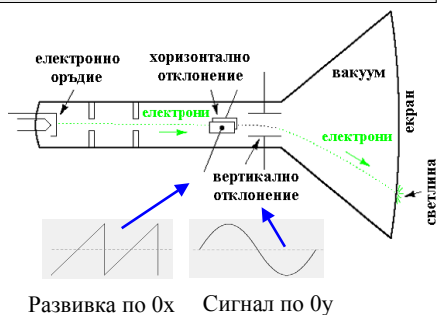
Времева или честотна форма на сигналите?



Времевата форма TD на сигнала е традиционната. Тя е информативна, защото показва какво се случва със сигнала (или параметъра, който сигналът представлява) във времето. Но информативността силно намалява, когато сигналът стане по-сложен (комбинация от хармонични или не-хармоничен). В такъв случай много по-информативна се оказва честотната му форма FD, т.е. спектърът на сигнала. Ясно могат да се установят спектралните съставлящи, при това едновременно много силни и много слаби, ако се използва log-скала.

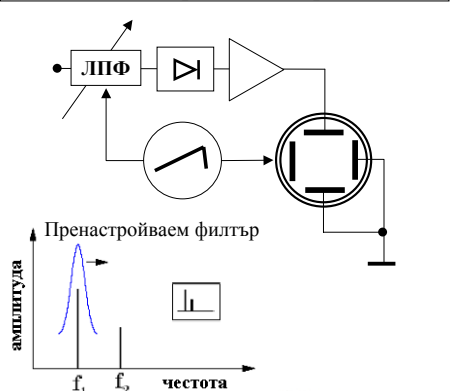
Визуализация и измерване на TD и FD формата на сигналите

Измерване на TD сигнал:
осцилоскоп



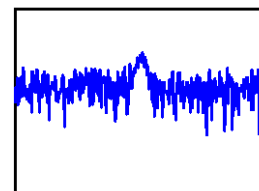
Осцилоскоп

Измерване на FD сигнал:
спектроанализатор



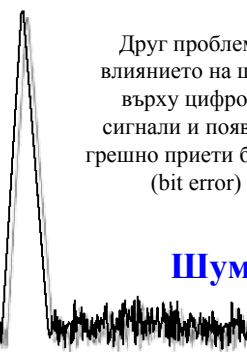
Спектроанализатор

Важен проблем в електрониката са случайните (шумови) сигнали

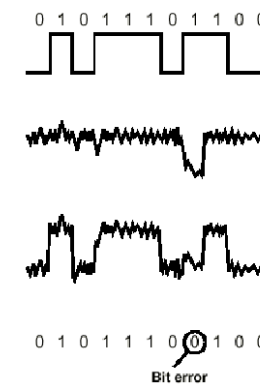


Сигнал

Проблем е появата на слаб аналогов сигнал на фона на случайни (неочаквани) сигнали (шум и невъзможност полезният сигнал да бъде надеждно детектиран в приемника

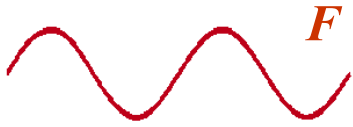


Шум

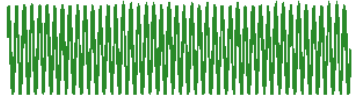


Друг проблем е влиянието на шума върху цифрови сигнали и поява на грешно приети битове (bit error)

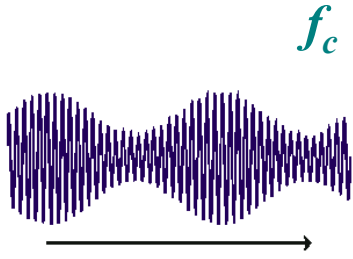
Сигнал в основна лента, носещ и модулиран сигнал



Сигнал в основна лента
(реч, музика, видео-сигнал и др.);
характеризира се с честота, ниво на
сигнала, фаза, динамичен обхват и др.



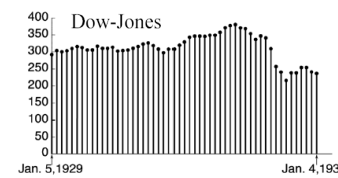
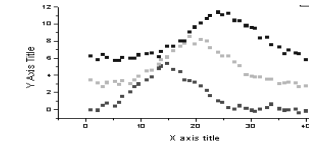
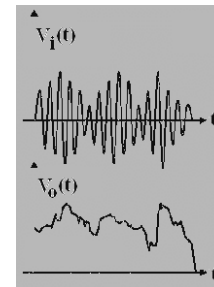
Носещ хармоничен сигнал сигнал
с честота $f_c \gg F$, който е носител на
информационния сигнал



Модулиран сигнал
Сигнал, получен при смесване на
информационния с носещия сигнал.
Има амплитудно (AM), честотно (FM)
и фазово (PM) модулирани сигнали

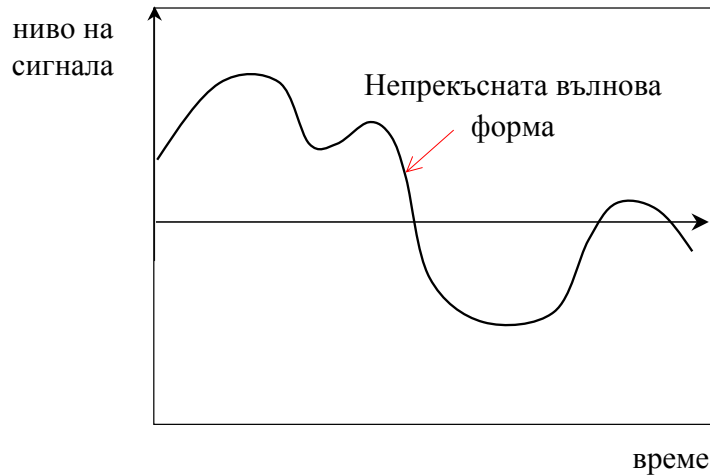
Сигнали в основна лента (първични сигнали)

Сигналите в основна лента (BBS) са сигнали с ненулев спектър, когато честотата $f \rightarrow 0$, т. е. те определено са нискочестотни и са оригиналният източник на информация (по-точно на информационното съобщение в електрически вид (преди модулацията). Това са сигналите на звука (аудио), речта, изображенията (видео), числени данни данни и пр. По вида си те са аналогови (с непрекъснатата форма), дискретни (по времето и по нивото, което могат да имат) и цифрови (квантувани по време и ниво, като на всяко ниво се съпоставя число в двоичен код). Човешката дейност произвежда BBS сигнали от всички видове (вж. дадени-те долу оригинални примери).



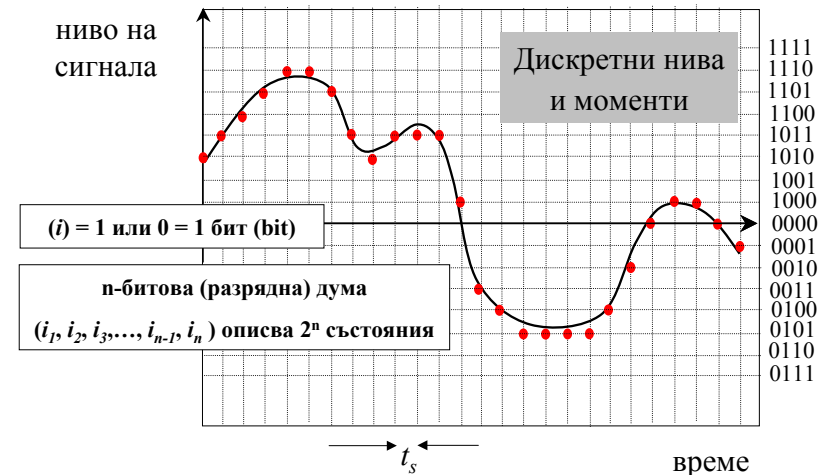
Аналогови и цифрови сигнали

Аналогов сигнал

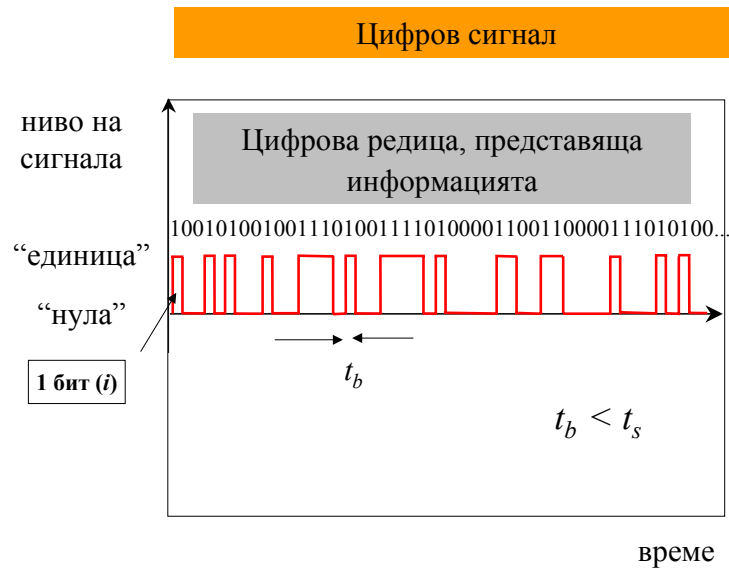


Аналогови и цифрови сигнали (2)

Квантуван сигнал

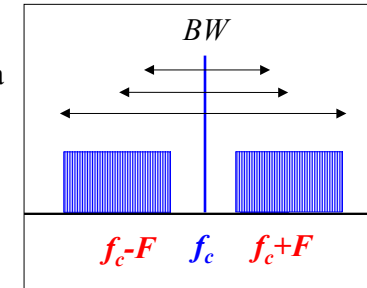


Аналогови и цифрови сигнали (3)



Модулиран сигнал и ширина на спектъра

Честотен спектър на сигнал в канала



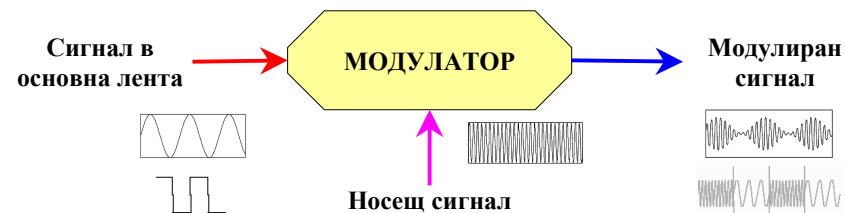
BW – честотна лента на канала

$$C = BW \cdot \log_2(1 + S/N), \text{ bits/s}$$

S/N – отношение “сигнал-шум”

C – пропускателна способност на канала за цифров сигнал, bit/s

Основна схема на модулация



Модулираният сигнал (PBS, Pass-Band Signal) се получава при нелинейното смесване на сигнал в основна лента с носещ сигнал (на високи честоти това е най-често аналогов хармоничен сигнал $C(t) = C_m \cos(2\pi f_c t + \varphi_c)$). Модулациите се делят на аналогова и цифрова (манипулация) в зависимост от вида на BBS сигнала. Информацията от BBS може да се носи от всеки от трите основни параметъра на носещия сигнал: амплитуда C_m , честота f_c или фаза φ_c .

Аналогова модулация

- ❖ Амплитудна (AM) модулация: C_m
- ❖ Честотна (FM) модулация: f_c
- ❖ Фазова (PM) модулация: φ_c

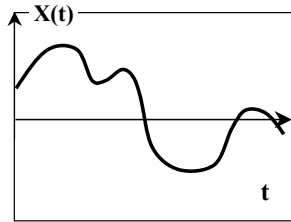
Цифрова манипулация (SK)

- ❖ ASK (Amplitude Shift Keying): C_m
- ❖ FSK (Frequency Shift Keying): f_c
- ❖ PSK (Phase Shift Keying): φ_c

0.3 Сигнали и канали за тяхното пренасяне

Аналогови и цифрови сигнали в TD форма

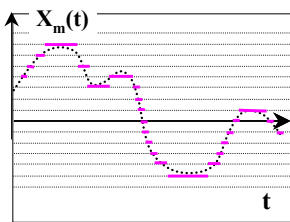
Аналогов сигнал



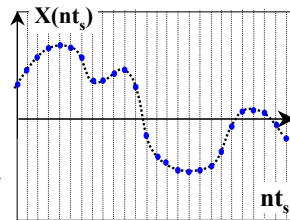
И така, сигналите са аналогови, дискретни и цифрови.

Аналоговият сигнал може да се описва с произволно ниво във всеки момент. Дискретните сигнали се дефинират или в точно определени моменти (но с произволни нива), или имат квантувани нива, но за произволни времеви интервали. Цифровият сигнал е квантуван по време и нива, на които се съпоставя двоичен код.

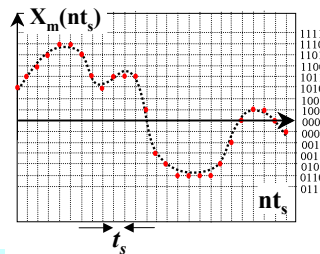
Дискретен по ниво



Дискретен по време



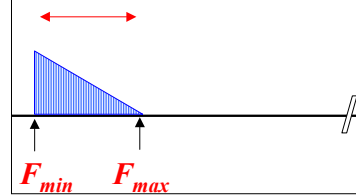
Цифров сигнал



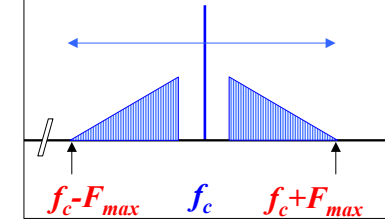
Цифрова редица (sequence)

Честотни ленти на сигнали и каналите за пренасянето им

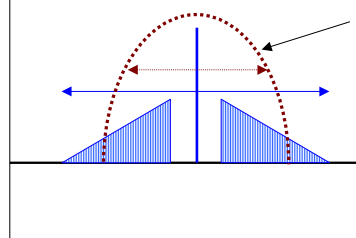
Честотна лента на сигнал в основна лента BBS, BW_{BBS}



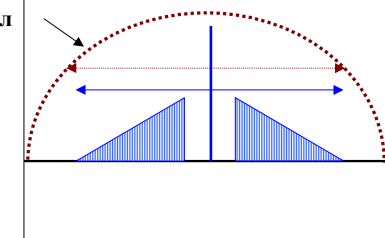
Честотна лента на модулиран (PBS) сигнал, BW_s



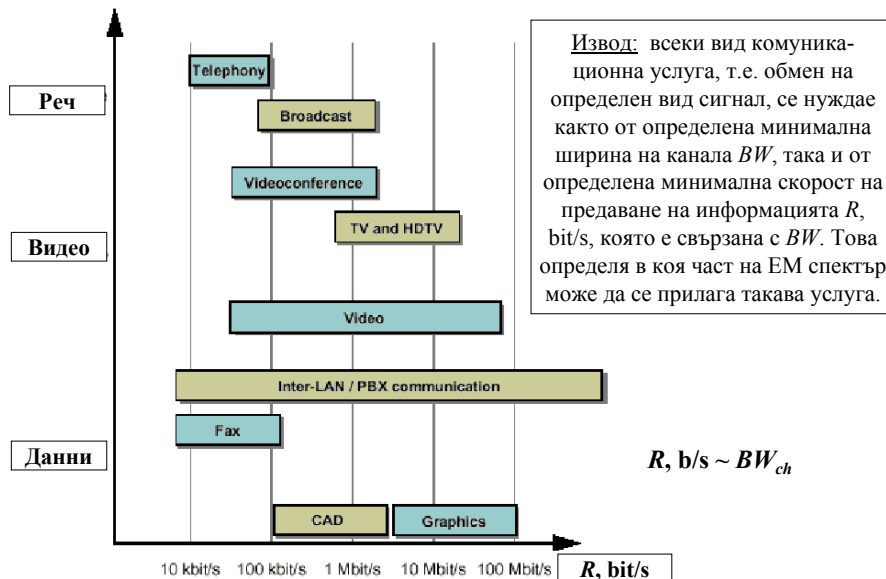
Тесен канал, $BW_{ch} < BW_s$



Широк канал, $BW_{ch} \geq BW_s$



Различни услуги - различна скорост на предаване - различна ширина на канала



Примери за някои известни сигнали:

Звуков сигнал (говор; музика):

- ❖ Като сигнал в основна лента: **0.015–20 kHz**; в канала: **0.03–15 kHz**
- ❖ Като модулиран сигнал (FM в УКВ): **200 kHz** лента; **100 kHz** защитна лента
- ❖ Като цифрово радио: **272 kHz** лента, **544 kbit/s**, честота на дискретизация **32 kHz**; **16-bit** дума

Телефонен сигнал (реч):

- ❖ Като сигнал в основна лента: **0.08–12 kHz**; в канала: **0.3–3.4 kHz**
- ❖ Като модулиран сигнал (FM в 1G клетъчни телефони): **25 kHz** лента
- ❖ Като цифров сигнал в GSM: GMSK модулация **200 kHz** лента (или **22 kbit/s**, като се отчете служебната информация **13.2 kbit/s**)

Телевизионен сигнал (подвижно изображение и звук):

- ❖ Като модулиран аналогов сигнал: само за видео сигнал **4.2 MHz**
- ❖ Като цифров tv сигнал: **13.5 MHz**
- ❖ Като модулиран цифров tv сигнал: **108 MHz**; скорост ~ 216 Mbit/s, след силна компресия – **2–8 Mbit/s** Като сигнал в основна лента: **0.08–12 kHz**; в канала: **0.3–3.4 kHz**

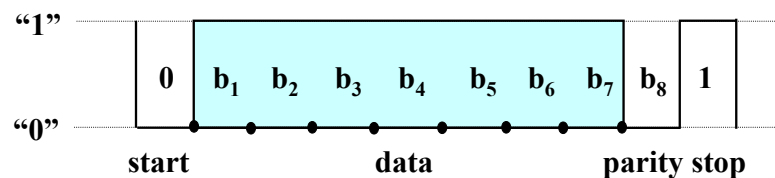
Компютърен PC сигнал (ASCII):

- ❖ Първият компютърен код ASCII (American Standard Code for Information Interchange)
- ❖ **10 бита** (1 за старт, 7 за данни, 1 за четност и 1 за стоп)
- ❖ Данни $2^7 = 128$ знака, **8 бита** (или **16, 32, 64, 128** и т. н.)
- ❖ Бит за четност: "1" ако 1-те са четен брой или "0" ако 1-те са нечетен брой

Примери за аналогови и цифрови сигнали в основна лента

Компютърен PC сигнал (ASCII)

- ❖ Първият компютърен код ASCII (American Standard Code for Information Interchange)
- ❖ 10 бита (старт, 7 за данни, 1 за четност и стоп)
- ❖ Данни $2^7 = 128$ знака, 8 бита (16, 32, 64 и т. н.)
- ❖ Бит за четност: "1" ако 1-те са четен брой или "0" ако 1-те са нечетен брой



Понятието за комуникационен канал

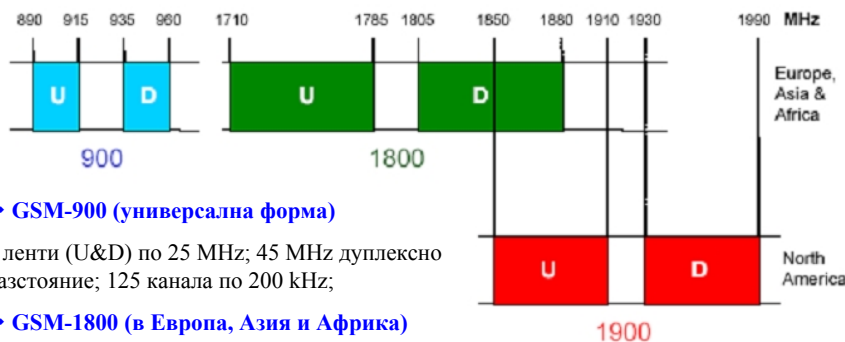
Подходящата част от ЕМ спектър се разделя на строго ограничени честотни ленти, които се използват за различни комуникационни цели: например, tv и радио разпръскване, радиоастрономия, GSM мобилна мрежа и пр. Повечето честотни ленти се разделят още на "канални", в които комуникационните станции приемат и/или предават сигнали. За по-голямата част от съвременните комуникации са необходими по два канала за двупосочни връзки (Uplink, Downlink) при всяка комуникационна сесия. Ширината на даден канал зависи от приложението му, типа и сложността на сигнала и пр. (напр., от няколко kHz до няколко MHz).

❖ **Комуникационен канал** (старо определение) – "Тясна част от честотния спектър, отделена за разполагане на дадена носеща честота и страничните ленти на модулирания сигнал, така че да се предпази от интерференцията със съседни станции и честотни ленти" (ITU, 1952 г.)

❖ **Комуникационен канал** (съвременно определение) – "Означение за всяко еднопосочно предаване/приемане (транспорт) на сигнал между две точки (потребители, станции)"

Пример за честотни ленти и канали за GSM мрежата

GSM-900; GSM-1800; GSM-1900



❖ GSM-900 (универсална форма)

2 ленти (U&D) по 25 MHz; 45 MHz дуплексно разстояние; 125 канала по 200 kHz;

❖ GSM-1800 (в Европа, Азия и Африка)

2 ленти (U&D) по 75 MHz; 95 MHz дуплексно разстояние; 375 канала по 200 kHz;

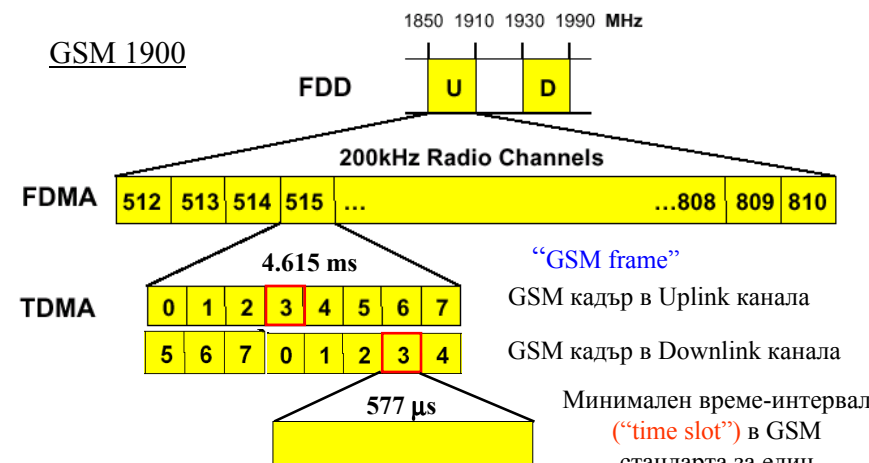
❖ GSM-1900 (в Северна Америка)

2 ленти (U&D) по 60 MHz; 80 MHz дуплексно разстояние; 300 канала по 200 kHz;

Uplink канал: MS \Rightarrow BS

Downlink канал: BS \Rightarrow MS

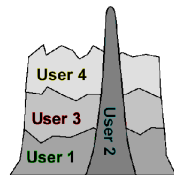
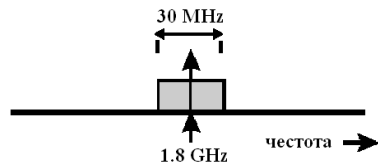
Пример за TDMA достъп в GSM мрежата



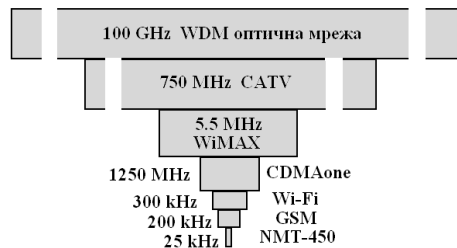
Извод: MS никога не приема и излъчва сигнал едновременно! Работи в режим приемане/излъчване (Rx/Tx) за 1/4 от времето

Минимален време-интервал ("time slot") в GSM стандарта за един потребител

Сигналите се вместват в канали с различна ширина:



Пример: CDMAone канал с широколентов сигнал, получен от тесно-лентовия сигнал на отделния потребител, смесен с широко-лентовия сигнал на неговия код



Примери за ширина на канал за един потребител в различни мрежи

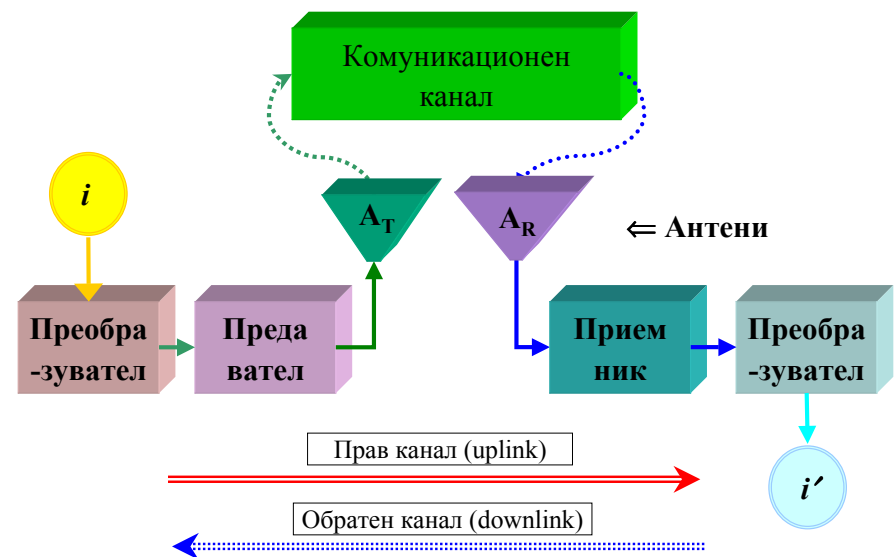
Извод: Различните комуникационни системи се нуждаят от канали с различна ширина BW , която отговаря на ширината на сигнала (аналогов или цифров) и скоростта на предаване на информацията в тях

0.4 Понятие за комуникационен процес

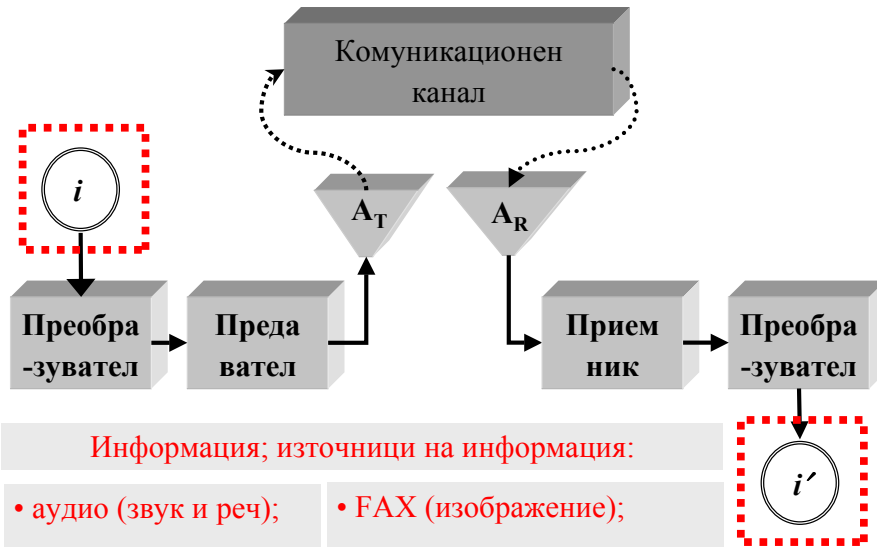
Информация \Rightarrow Съобщение \Rightarrow Сигнал

- ❖ **Информацията (i)** е философско понятие, свързано с процеса на намаляване на неопределеността в познанията за нещата. В радиоелектрониката информацията е комплект от сведения, данни, които подлежат на преобразуване, предаване, приемане и съхранение.
- ❖ **Съобщението (message)** е формата на предаване на информацията (говор, музика, текст, картина, цифрови данни и пр.)
- ❖ **Сигналът** е физична величина (или процес), чрез измененията на която се отразява предаваното съобщение (респ. информацията, която то представя). Сигналът е носител на съобщението и като такъв той е сигнал в основна лента BBS - акустичен, оптичен, електрически и пр. В радиоелектрониката всички тези сигнали трябва да се преобразуват в електрически, освен ако не са вече такива.
- ❖ Изисквания към даден физичен процес да се използва за сигнал:
 - да може да се разпространява на достатъчно големи разстояния при минимален разход на енергия;
 - да може ефективно да управлява локалните източници на енергия. Какво означава това? Обикновено приетият сигнал е слаб. Следователно, той трябва да може да управлява източника на приемника така, че да повиши нивото си (над шумовото ниво) и така да може да въздейства върху другите обекти (приемници).
 - да може да въздейства върху сетивните органи на човека (директно приет сигнал) или върху специални устройства, които човекът ползва

Блокова схема на комуникационен канал. Как се предава информацията $\bullet i \Rightarrow i' \bullet$?



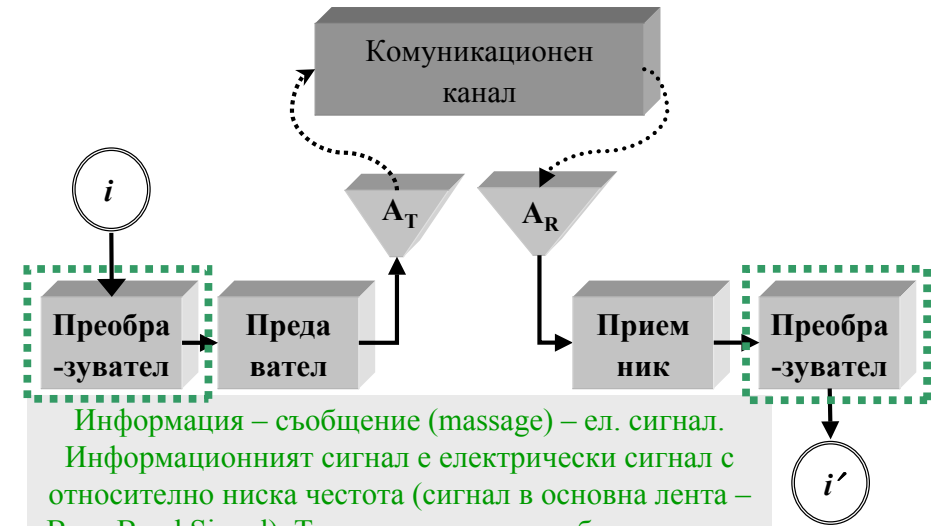
Информационни сигнали



Информация; източници на информация:

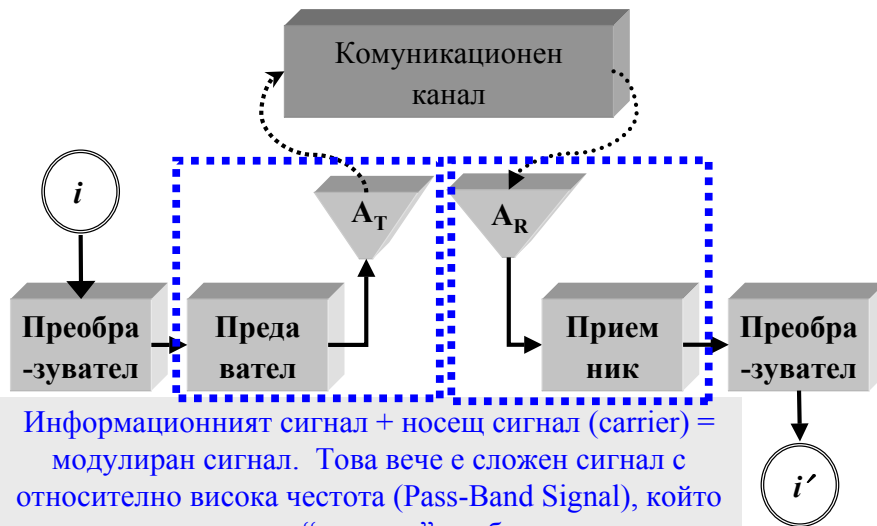
- аудио (звук и реч);
- FAX (изображение);
- tv (видео и аудио)
- PC (компютърен сигнал)

Преобразуване на информационния сигнал в електрически



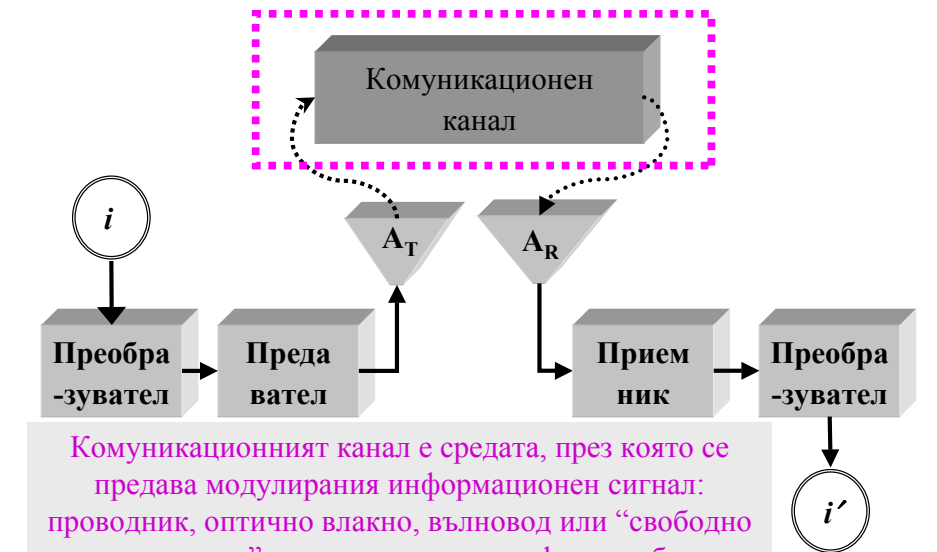
Информация – съобщение (message) – ел. сигнал.
 Информационният сигнал е електрически сигнал с относително ниска честота (сигнал в основна лента – Base-Band Signal). Този сигнал носи съобщението, но не се предава директно по комуникационния канал.

Приемно-предавателен блок



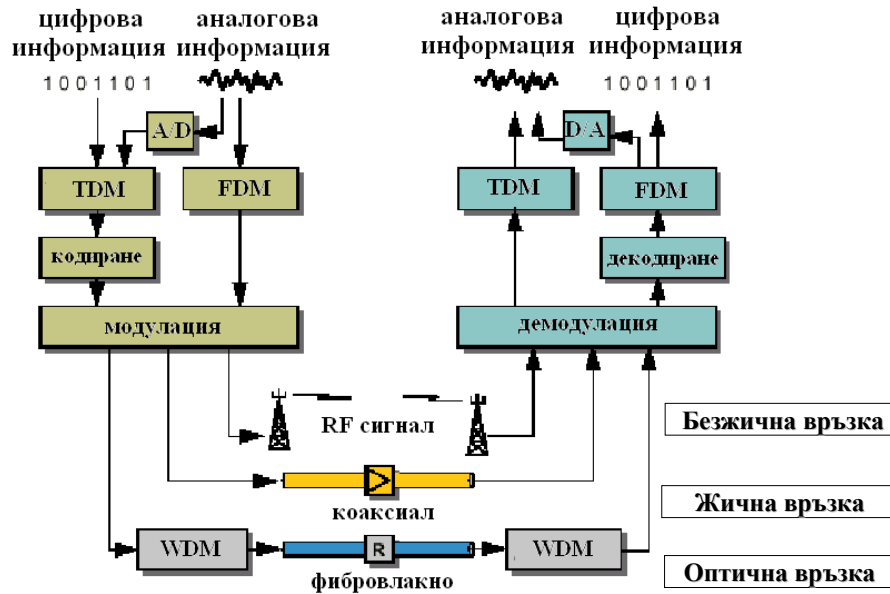
Информационният сигнал + носещ сигнал (carrier) = модулиран сигнал. Това вече е сложен сигнал с относително висока честота (Pass-Band Signal), който е предназначен да “пренесе” съобщението през комуникационния канал с малки загуби.

Комуникационен канал

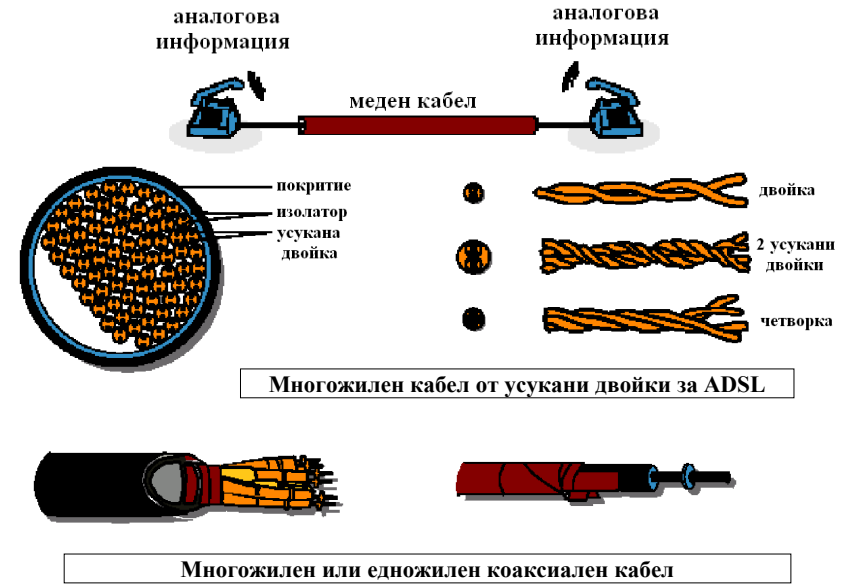


Комуникационният канал е средата, през която се предава модулирания информационен сигнал: проводник, оптично влакно, вълновод или “свободно пространство” – космическо, атмосфера, мобилна градска, извънградска, офис среда и пр.

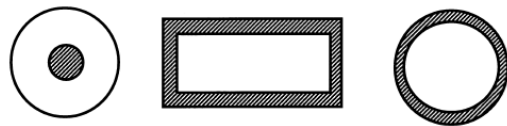
Понятие за комуникационна среда



Жична връзка (най-често при фиксираната телефонна мрежа)



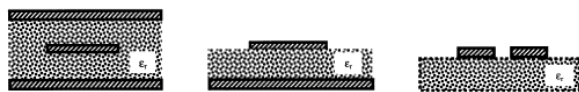
Вълноводна връзка (на близки разстояния; в приемника и предавателя, в платките, за фидерното захранване на антената)



Класически вълноводи: коаксиален кабел, правоъгълен и кръгъл вълновод (waveguide)

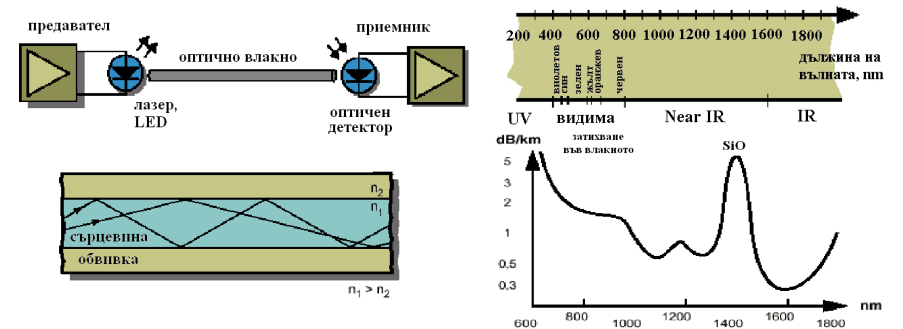


Вълноводи със запълване: fin-lines

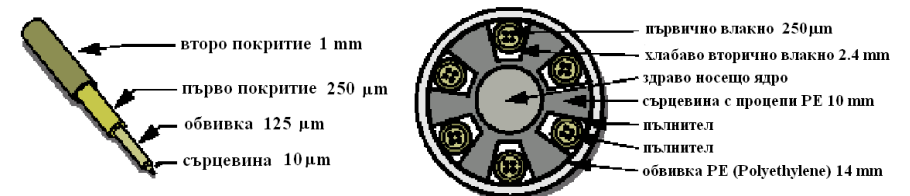


Планарни предавателни линии: лентова, микролентова и процепна линии

Оптическа връзка (чрез оптични влакна)

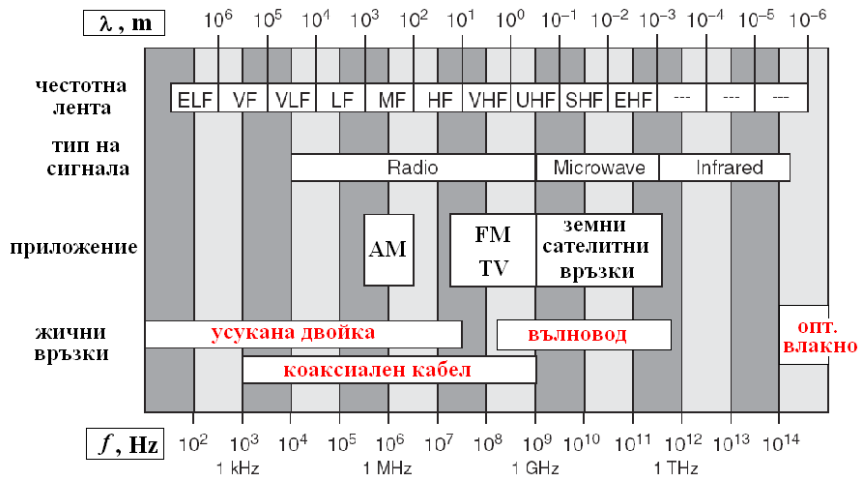


Принцип на разпространение чрез пълно вътрешно отражение и затихване във влакното



Единично оптично влакно (fiber glass) и многожилен оптичен кабел

В кои обхвати какви жични връзки се използват?



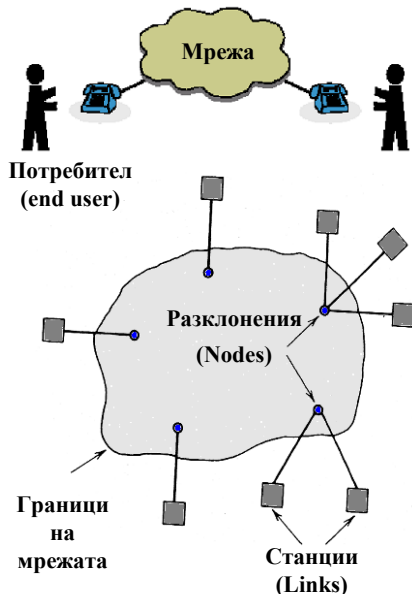
Съкращения:

ELF	Extremely Low Frequency	MF	Medium Frequency	SHF	Super High Frequency
VF	Voice Frequency	HF	High Frequency	EHF	Extremely High Frequency
VLF	Very Low Frequency	VHF	Very High Frequency	VHF	Terribly High Frequency
LF	Low Frequency	UHF	Ultra High Frequency		

Някои определения (по ITU - International Telecommunication Union):

- ❖ **Телекомуникации** – “Всяко излъчване, предаване и приемане на знаци, сигнали, звук, текст, изображения или информация от всякакъв произход чрез жични, радио-, оптични или други електромагнитни системи”. Примери: жични телефони, радио- и телевизионно разпръскване и др.
- ❖ **Радио-комуникации (безжични)** – “Телекомуникации с помощта на радиовълни”. Примери: безжични (cordless) телефони, радиорелейни комуникации, сателитни комуникации, безжични мрежи “point-to-point” и “point-to-multipoint” и др.
- ❖ **Мобилни комуникации** – “Радиокомуникации между две станции, от които едната не е с фиксирано местоположение” (съкратено определение). Примери: клетъчни (mobile) телефони, мобилно радио и др.
- ❖ **Комуникационна мрежа** – “Система от разклонения (процесори) за трансфер на информация (данни)”. Примери: жична телефонна мрежа; клетъчни мобилна мрежи, жични мрежи за трансфер на данни (LAN), оптична мрежа (с оптични влакна), безжични мрежи (WLAN) и мн. др.

Понятие за комуникационна мрежа



- ❖ **Мрежа:** система от разклонения (процесори) за трансфер на данни.
 - ❖ **Разклонение (node):** устройство за маршрутизиране на данните през мрежата към различни станции.
 - ❖ **Станции (Links):** това са устройствата, които обменят данните.
- Следователно, мрежата предоставя общи ресурси за трансфер на данни между станциите по най-ефективния начин, а освен това предоставя възможности за нови приложения и услуги, които иначе са невъзможни извън мрежата

Пример за съвременна интегрирана комуникационна среда

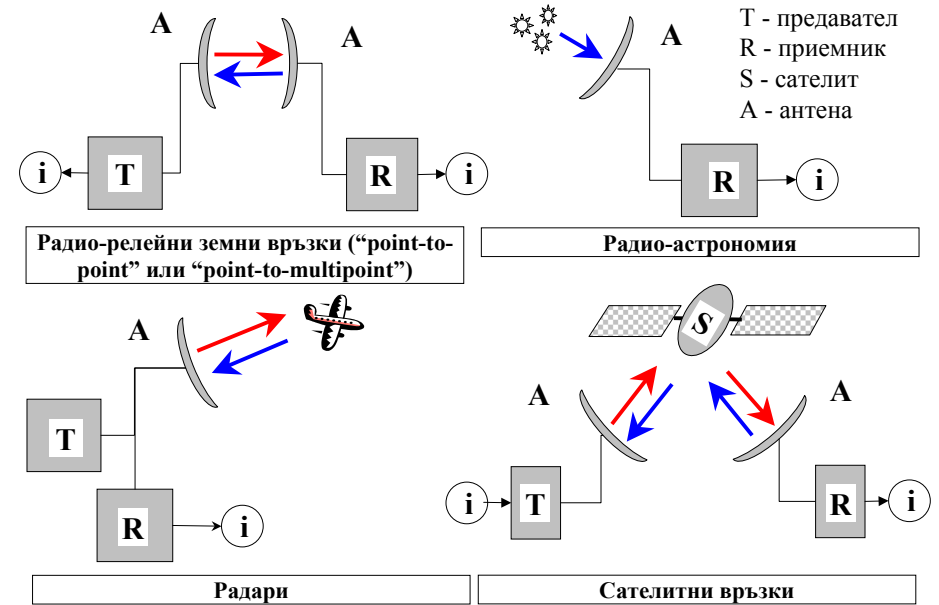


Източник: www.nera.no

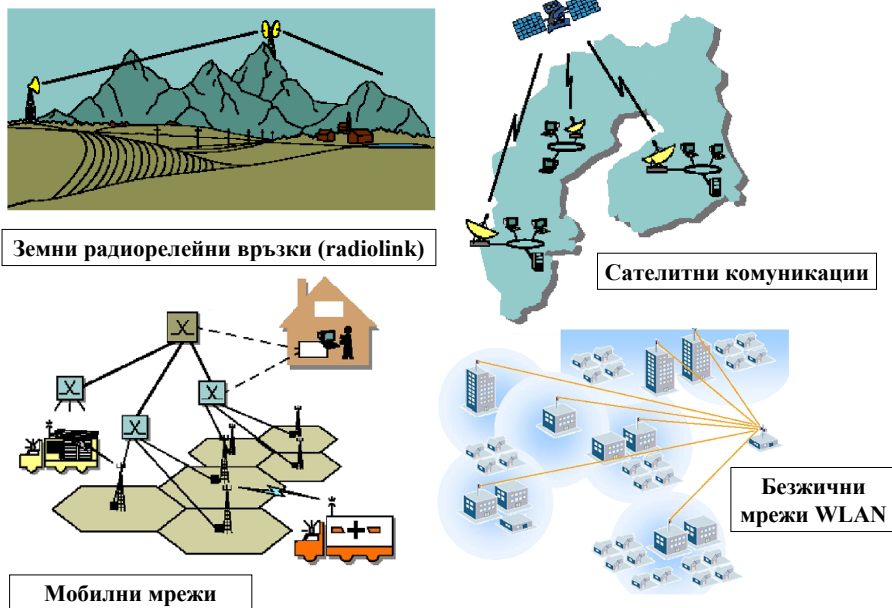
Безжични комуникации: терминология



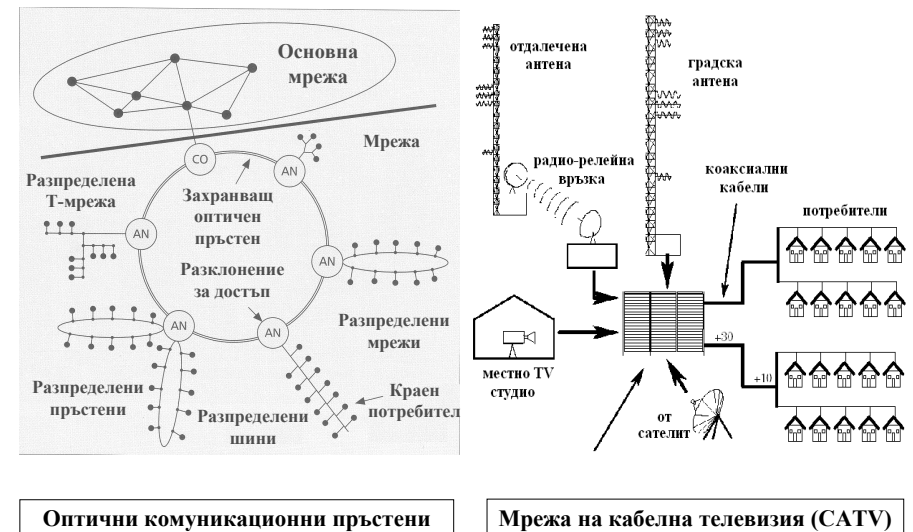
Четири основни форми на използване на ЕМ спектър [4]



Основни типове безжични комуникации

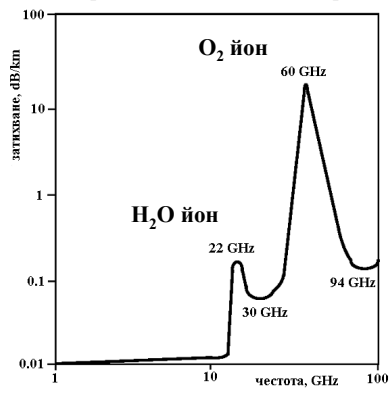


Широколентови оптични и кабелни мрежи

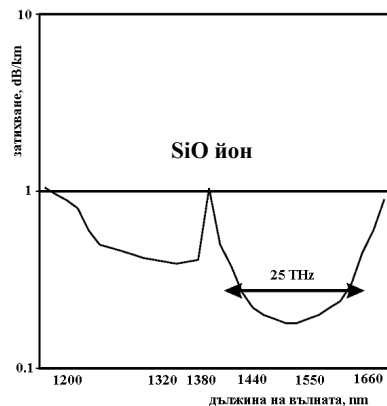


Защо безжичните връзки са успешни в определени честотни обхвати?

Съществуват честотни прозорци на прозрачност с минимално затихване на сигнала, както и области със силно затихване, дължащи се на възбуждане на спектрални линии (ротационни и вибрационни) в даден йон при поглъщане на сигнала (вж. долу)



Затихване на сигнала в атмосферата в обхвата 1-100 GHz. Прозорци на минимално затихване има на честоти: 1-15 GHz, ~30 GHz, ~94 GHz и т. н.



Затихване на сигнала в тъмно оптично (IR) влакно в обхвата 1200-1700 nm. Прозорци на минимално затихване им на дължини на вълната: ~1320 nm, ~1552 nm

Основни типове устройства в комуникациите и тяхната роля в комуникационния процес

❖ **Предавателни линии и съгласуващи устройства** – предавателните линии (вълноводи) в определен честотен обхват се използват за насочено (канализирано) разпространение с малки загуби на комуникационни сигнали, а съгласуващите устройства – за минимизиране на паразитните отражения (трансформатори на импеданси, съгласувани товари, поглъщатели, симетризатори, антени захранващи линии и пр.)

❖ **Устройства за обработка на сигналите** – делители и суматори, филтри, насочени отклонители, атенуатори, фазорегулатори, превключватели, поляризационни устройства, АЦП и ЦАП и мн. др.

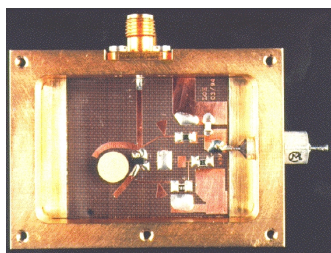
❖ **Радио-предавателни устройства** – това са всички видове генератори и източници на сигнали с различна честота и форма, високо-стабилни честотни синтезатори с бързо пренастройка на честотата (за системи с избор на свободен канал), модулатори и манипулатори на аналогови и цифрови сигнали, мощни усилватели, множители и пр.

❖ **Радио-приемни устройства** – това са всички устройства за детекция, регистрация и приемане на комуникационни сигнали, входни нискошумящи усилватели (LNA), хетеродинни и супер-хетеродинни приемници (смесители), конвертори, детектори и др.

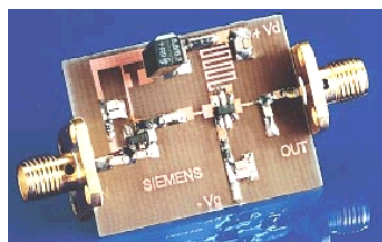
❖ **Антени** – това са устройства за преобразуване на ЕМ вълна от предавателната линия в свободното пространство и обратно чрез създаване на подходящо разпределение на полето. Те са пасивни устройства, но се характеризират с усилване на сигнала и насоченост.

❖ **Устройства за регулировка и управление на комуникационните системи** – това са разнообразни автоматизирани системи за регулировка на ниво, честота, фаза и др. характеристики на комуникационни сигнали и устройства, контролери, маршрутизатори, модеми и пр.

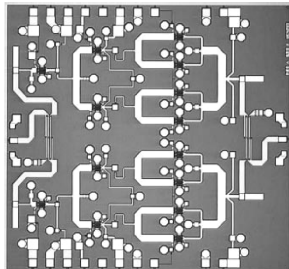
Основни типове устройства в комуникациите



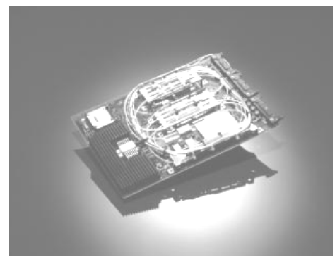
Управляем осцилатор с диел. резонатор



Мощен усилвател (PA) за GSM телефон

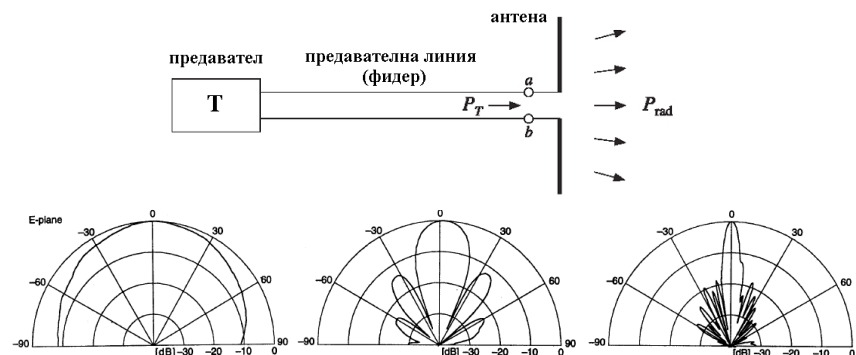


Усилвател (LNA) върху GaAs чип



Оптичен усилвател

Антени



Диаграми на насоченост на различни антени и антенни решетки

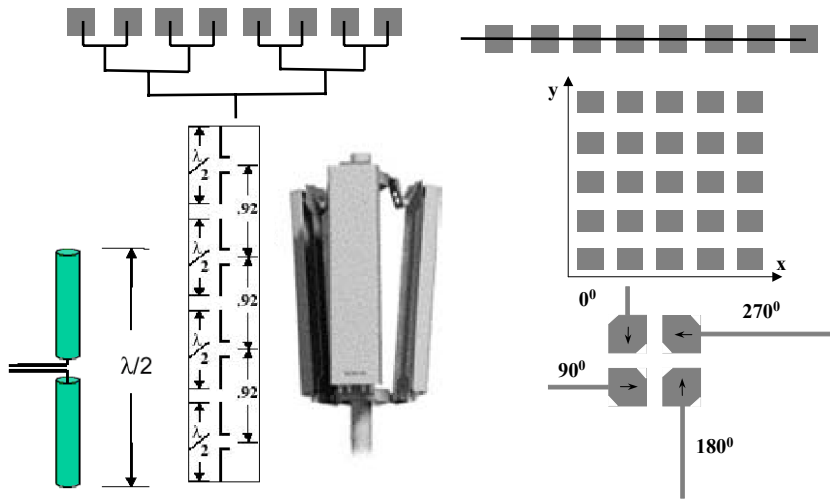


Ширина на главния лъч на ниво -3 dB от максималното

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2}$$

Усилване на антената (G - gain), A_e - ефективна апертура

Анени решетки



Най-прост тип диполна антена и антена решетка с 4 диполни елемента и антена решетка за базова станция с 3 сектора

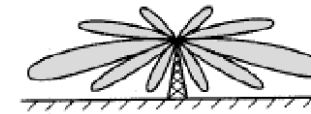
Различни антени решетки: линейни, планарни, за линейна и кръгова поляризация

Анени за безжична връзка

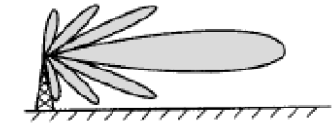


Диполна насочена (omni-directional) антена

Насочена антена решетка за BTS с диполни елементи



Насочена антена решетка за BTS с наклон на лъча (tilt)



Секторна насочена антена решетка за WLAN

Анени с различна насоченост



Слабо насочени (omnidirectional)

Секторирани антени решетки

Силно насочени

Примери на антени за WLAN (RF, IR)



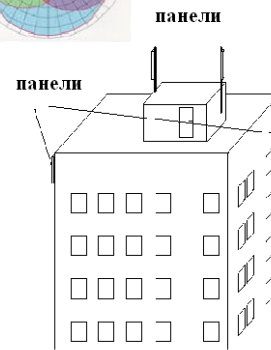
Примери на антени за GSM базови станции BTS



Монтирани на кули от 25 до 100 m

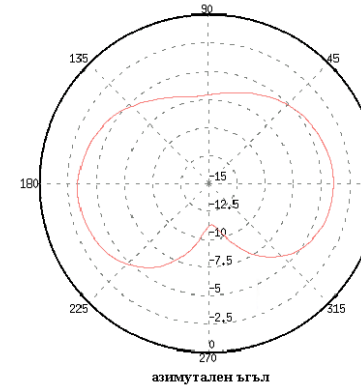


Диаграма с
3 панела

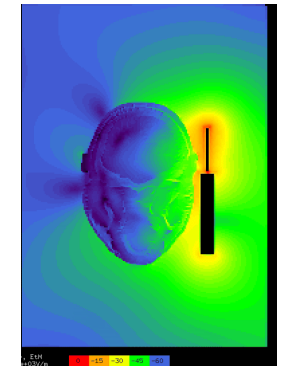
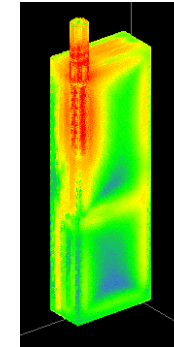


Монтирани на
покривите на сгради

Примери на антени за GSM MS



Диаграма на антена за мобилен телефон, разпределение на токовете и на полето в близост до човешка глава



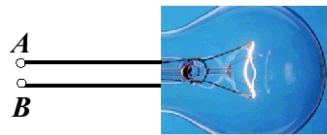
0.5 Електрически елементи, вериги, устройства и системи от устройства

Елементи ⇒ Вериги ⇒ Устройства ⇒ Системи

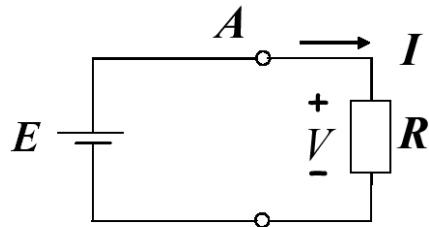
Електрическите сигнали се “произвеждат” в специални структури, които се разделят “йерархически” по своето предназначение и функции.

- Най-простите от тях са **електронните елементи** – електронни структури със специфични свойства (източници, пасивни и активни елементи). Източниците осигуряват останалите елементи “енергетично”, пасивните елементи влияят по определен начин на сигналите и изменят характеристиките им по определен начин, а активните ги създават, усилват, умножават, делят, смесват и пр.
- Съвкупност от електронни елементи, свързани помежду си, съставляват **електрическите вериги**. Веригите са прости и сложни и се състоят от клонове (отрязъци с еднакъв ток), кръгове и възлови точки. Пълното характеризиране на една верига е свързано с познаване на токовете и/или напреженията във възловите ѝ точки.
- Специфични електрически вериги с определени електронни елементи съставляват **електронните устройства**. Това са структури с определено функционално предназначение спрямо електрическия сигнал в тях. Подобно на елементите те са пасивни и активни. Пасивни са различните устройства за пасивна обработка на сигнала: затихватели и регулатори, формиращи устройства, разпределителни устройства, трептящи кръгове и резонатори, филтри, трансформатори и др. Активни са генераторите, усилвателите, умножителите, детекторите и смесителите, преобразувателите, ограничителите и др. устройства.
- **Електронните системи** са групи от устройства с определени функции, съставляващи обособен процес, свързан с предаване, приемане, разпространение, обработка, преобразуване, съхраняване, възпроизвеждане и пр. на електрически сигнали и на информацията, свързана с тях. Примери: мобилен телефон, базова станция, компютър и пр.

Прости елементи в dc вериги



“Товар”

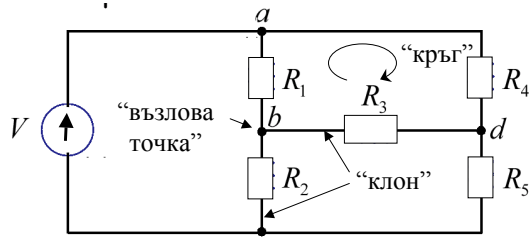


B Проста верига:
източник и товар

$$V = IR$$

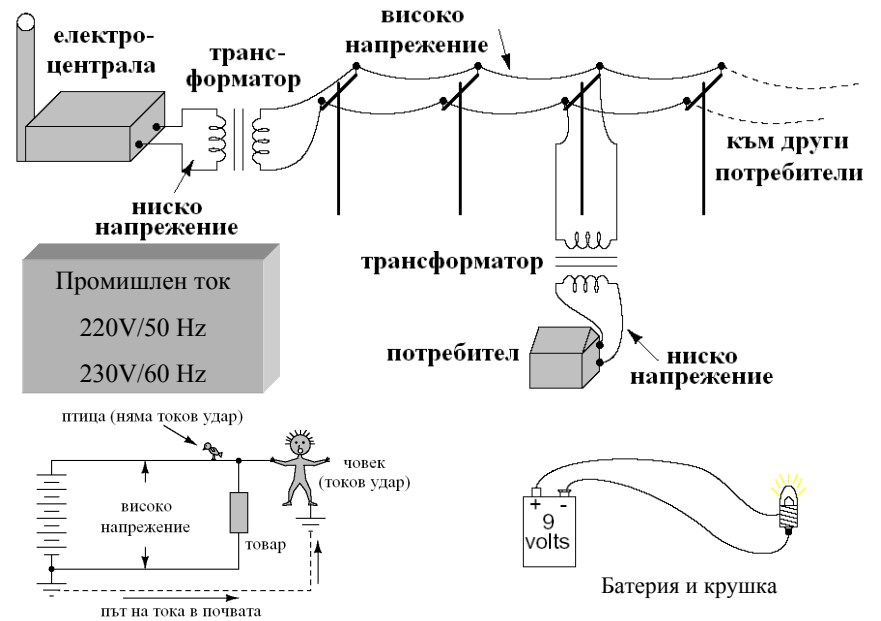
$$V = V_0$$

$$I = I_0$$

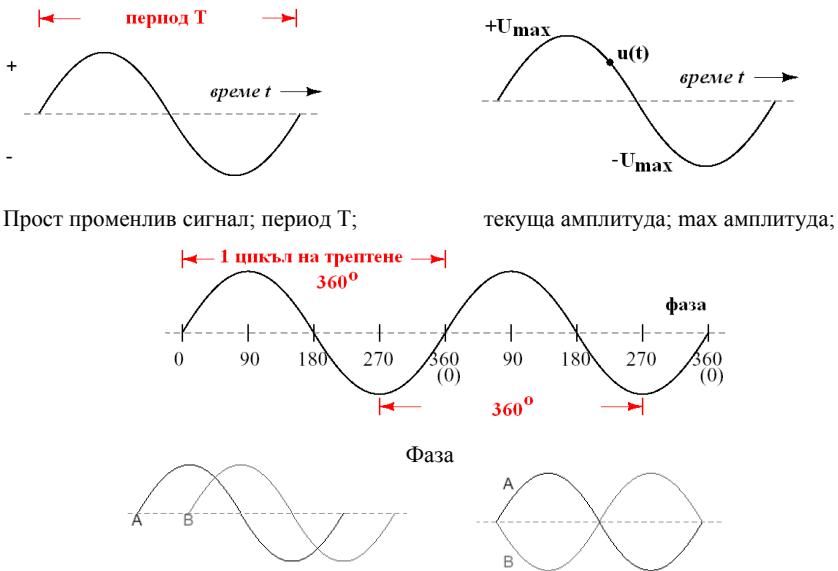


Сложна верига

Промислен ток



Променлив ток

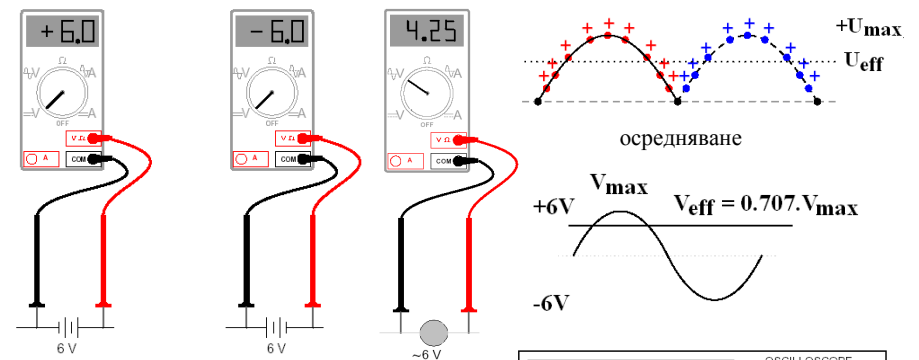


Прост променлив сигнал; период T;

текуща амплитуда; max амплитуда;

два сигнала с фазова разлика 90°; два сигнала с фазова разлика 180°

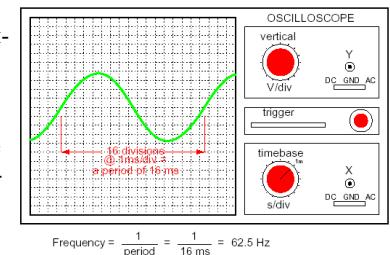
Измерване на напрежение и ток



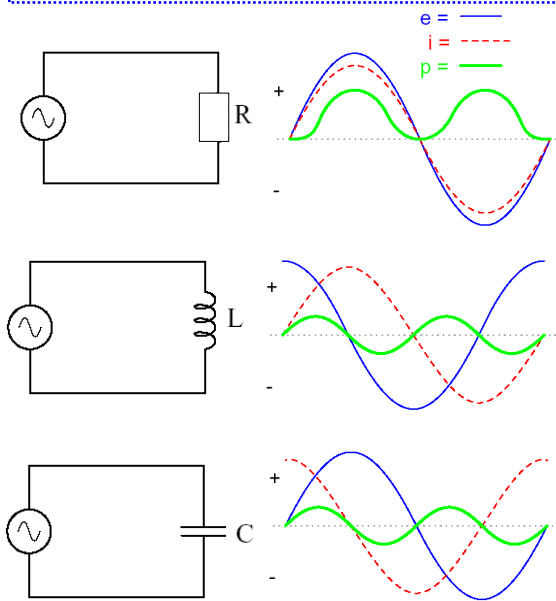
осредняване

$$V_{\text{eff}} = 0.707 \cdot V_{\text{max}}$$

Най-просто измерването става с помощта на мултицет – просто много-функционално устройство за измерване на dc и ac напрежение и ток, съпротивление и др. (т.е. комбинация от волтметър, амперметър, омметър и др.). Друго основно устройство е осцилоскопа – измерва TD зависимост на напрежение от време. По-сложни комплексни измерители са анализаторите на вериги и анализаторите на сигнали.



Прости елементи в ас вериги

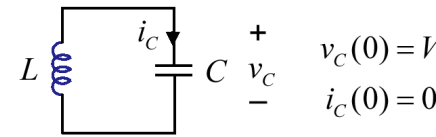
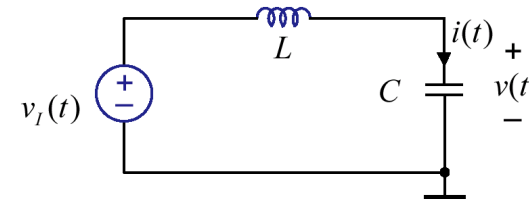


Резистор (съпротивление):
няма фазова разлика между
тока и напрежението, в
товара се “отделя”
(консумира) активна
мощност

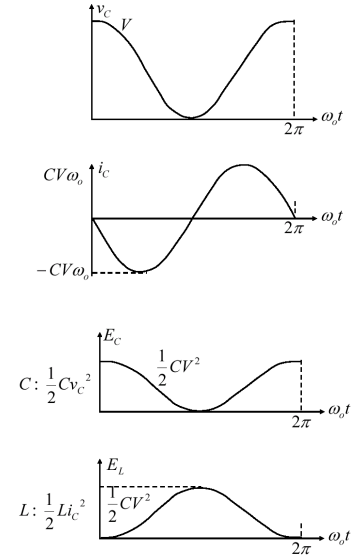
Бобина (индуктивност):
напрежението
“изпреварва” тока с 90°,
мощността е чисто
реактивна и не се “отделя”
в товара

Кондензатор (капацитет):
напрежението “изостава”
от тока с 90°, мощността е
чисто реактивна и не се
“отделя” в товара

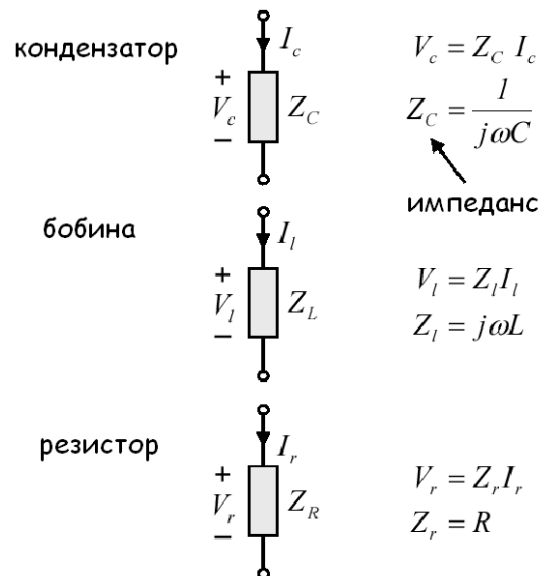
Третьяк кръг (резонатор)



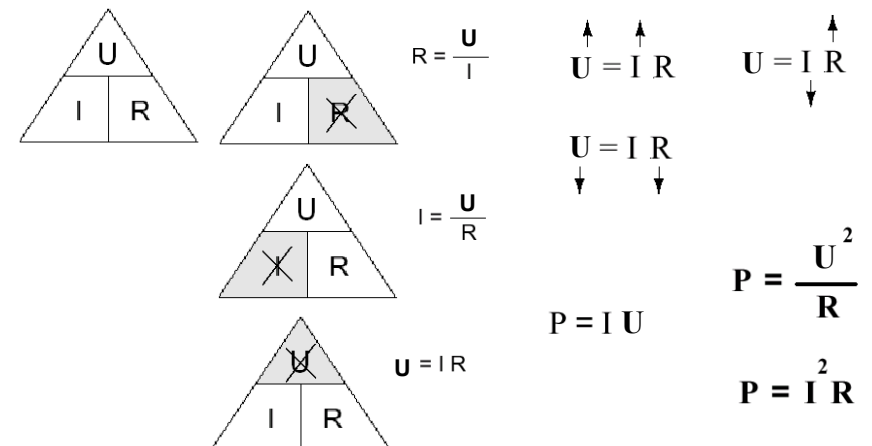
$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$



Импеданс на електронни елементи

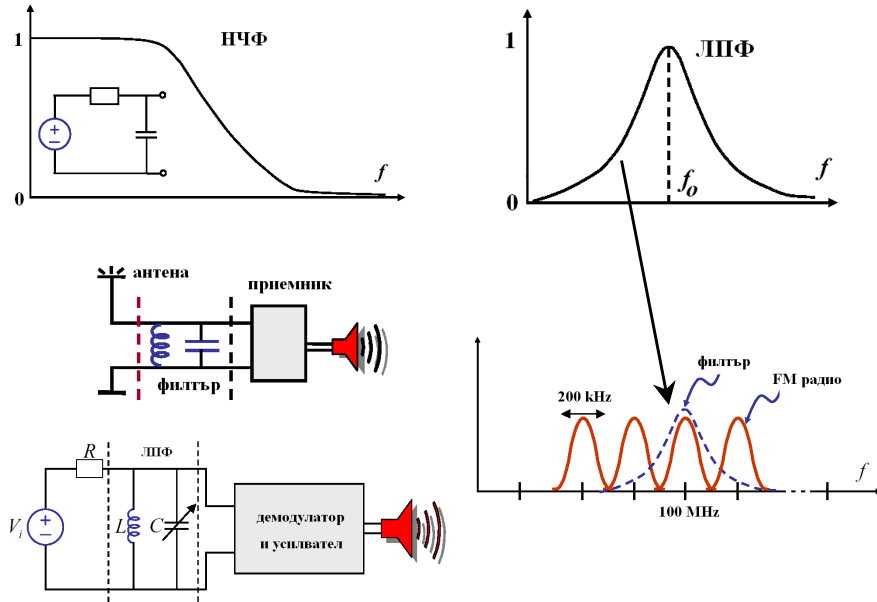


Линейни елементи и линейни процеси

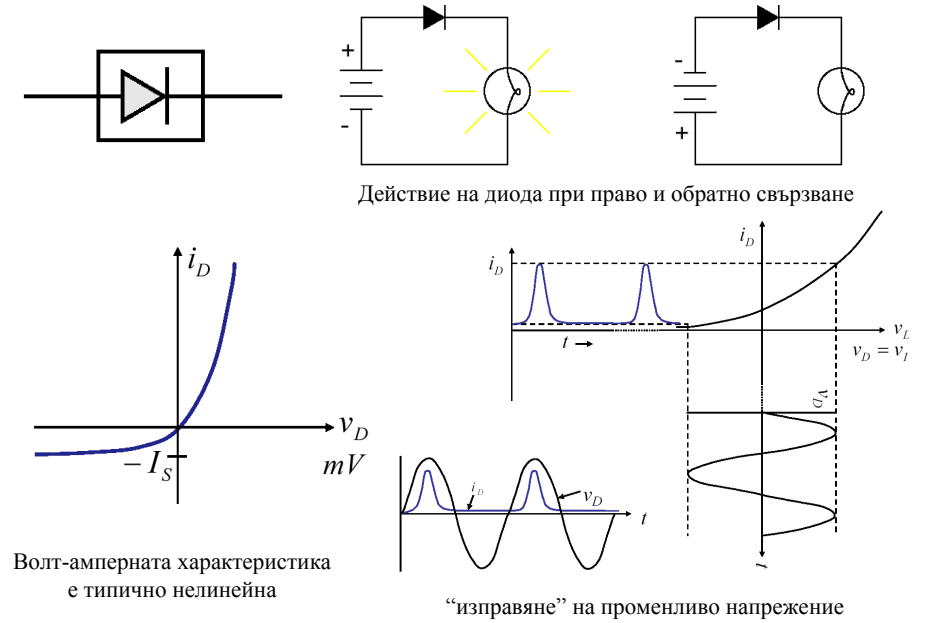


Линейни елементи са тези, при които се изпълнява закона на Ом, изразяващ линейната връзка между напрежението и тока (резистори, кондензатори, бобини). При постоянен ток връзката е чрез съпротивлението R ; при променлив – чрез импеданса Z . При нелинейни елементи (диоди, транзистори) връзката е нелинейна. Има и линейни процеси (филтриране, усилване, диференциране и интегриране и др.), както и нелинейни (генерация, умножение, деление, честотна конверсия, модулация, демодулация, ограничение, изправяне и др.).

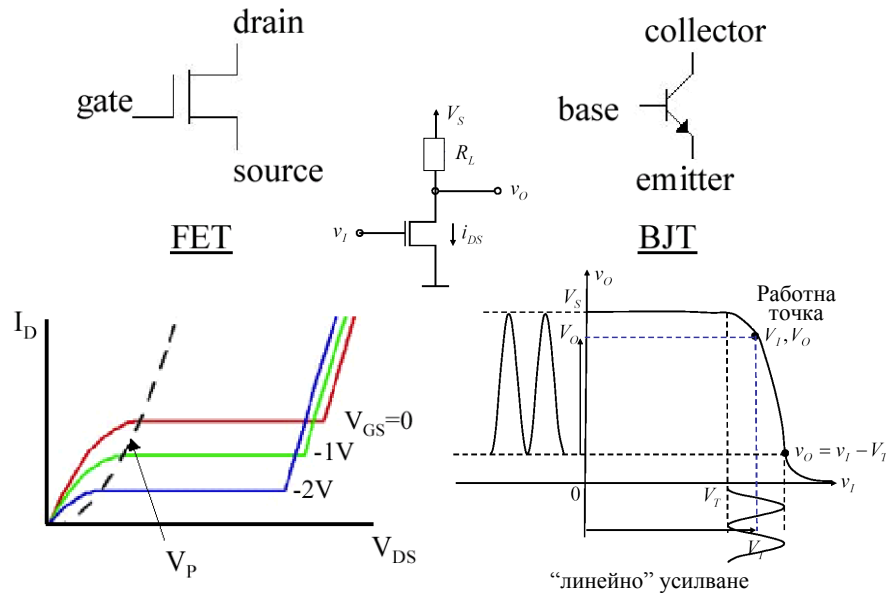
Пример: Линеен процес – филтриране



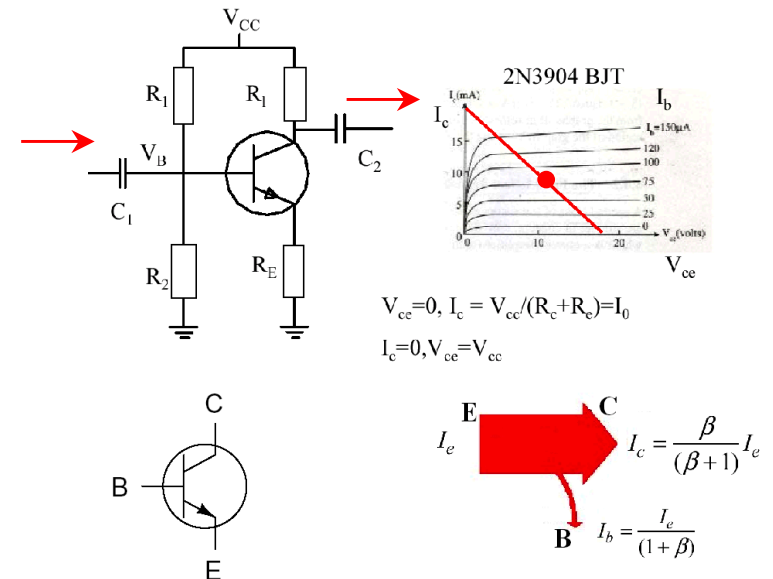
Активни нелинейни елементи: диод



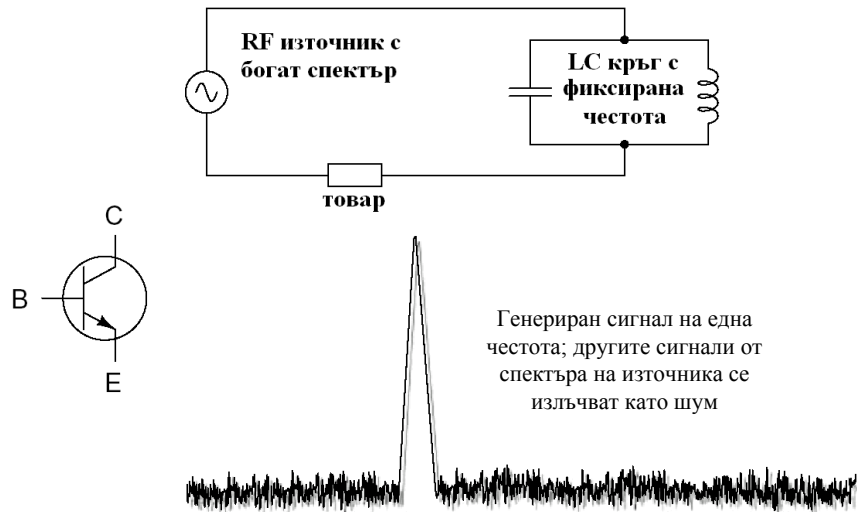
Активни нелинейни елементи: транзистори



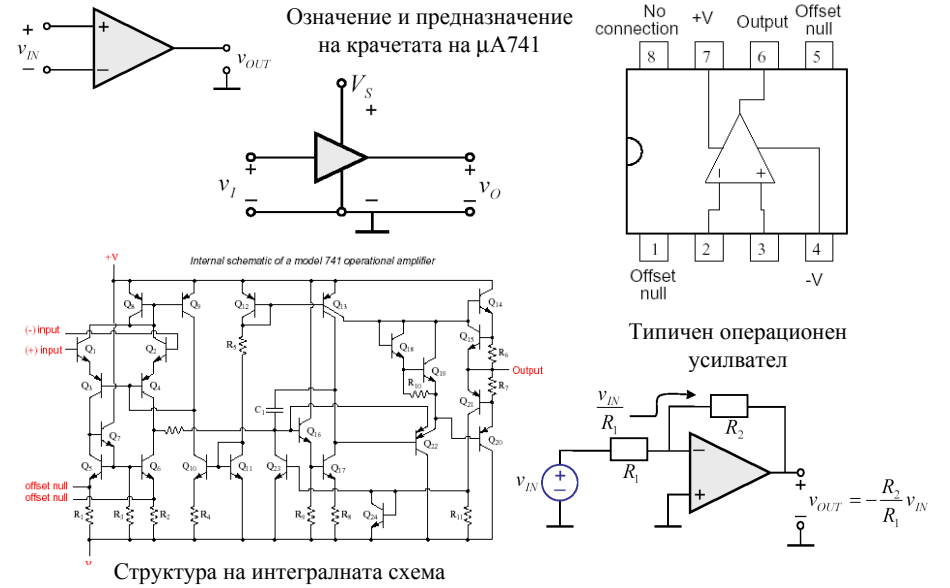
Типично приложение: усилвател с биполярен транзистор



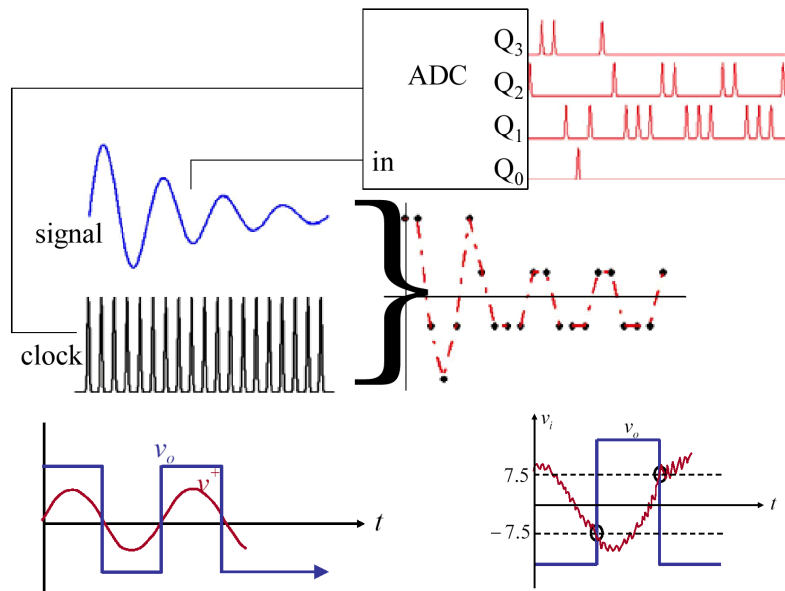
Типично нелинейно устройство – транзисторен осцилатор



Операционен усилвател – типична интегрална схема с много приложения



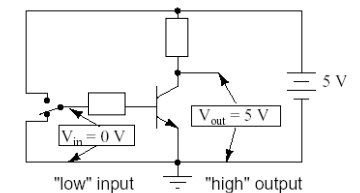
Аналогово-цифров преобразувател (ЦАП)



Логически схеми

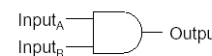
$$\begin{array}{r} 0 + 0 = 0 \\ 1 + 0 = 1 \\ 0 + 1 = 1 \\ 1 + 1 = 10 \\ 1 + 1 + 1 = 11 \end{array} \quad \begin{array}{r} 1001101 \\ + 0010010 \\ \hline 1011111 \end{array}$$

Примери от бинарната алгебра



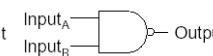
0 V = "low" logic level (0)
5 V = "high" logic level (1)

2-input AND gate



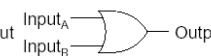
A	B	Output
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

2-input NAND gate



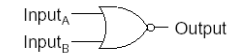
A	B	Output
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

2-input OR gate



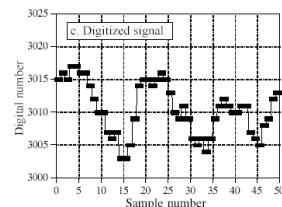
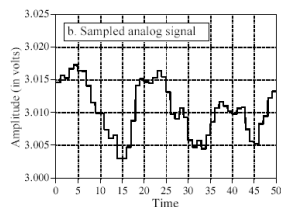
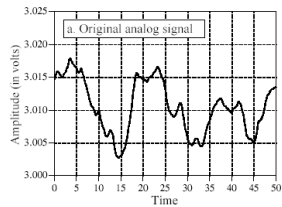
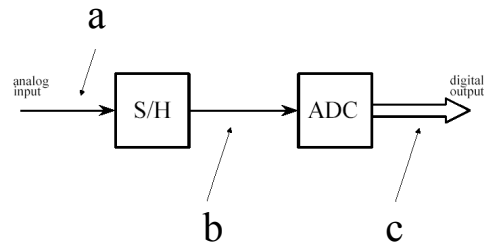
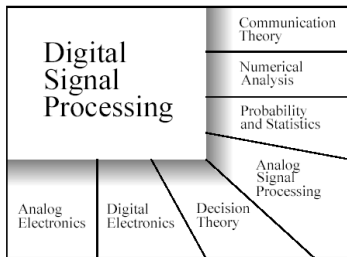
A	B	Output
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

2-input NOR gate

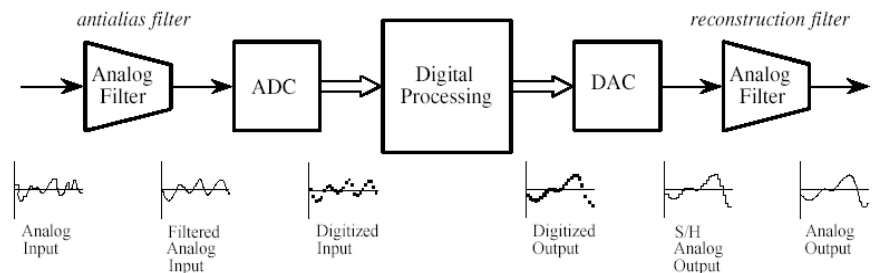


A	B	Output
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

DSP (Digital Signal Processing)

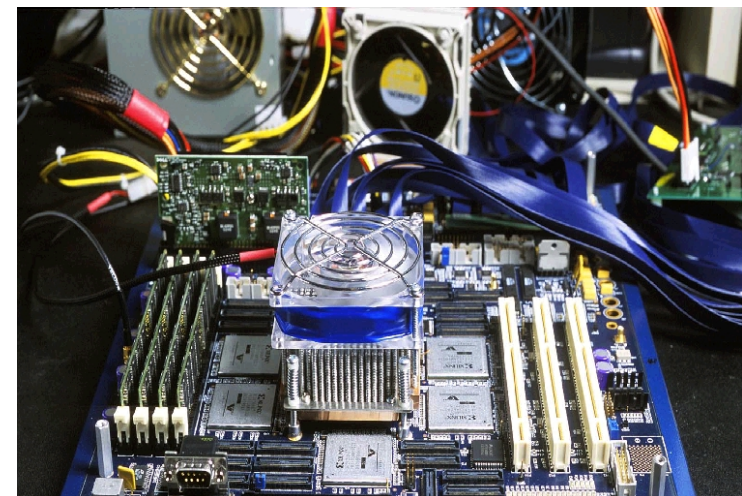


Пример за DSP: реконструкция на сигнала от аналогов филтър

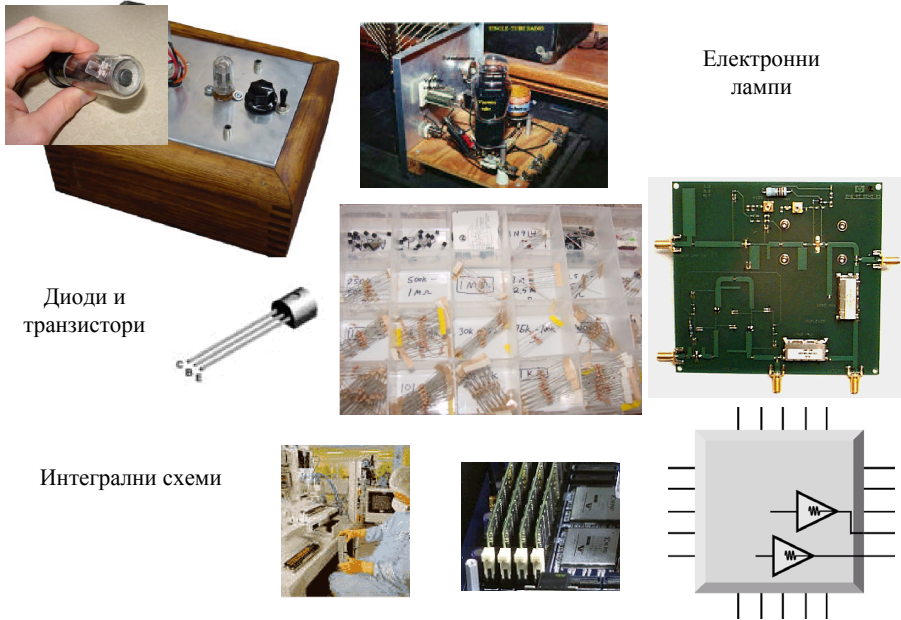


“Дъно” на компютър

0.6 Технологични
проблеми в
съвременната
електроника



Технологична еволюция



Електронни лампи

Диоди и транзистори

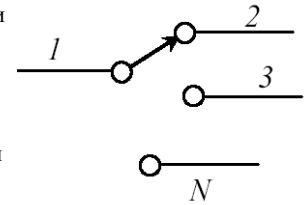
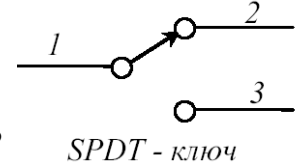
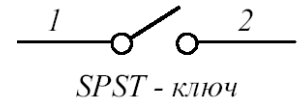
Интегрални схеми

Пример: технологичното развитие на електронния ключ

Това е пример за технологичното развитие на електронният ключ.

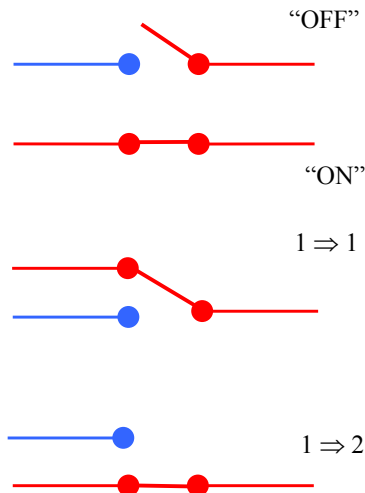
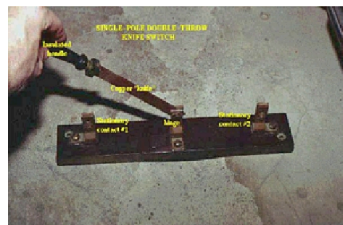
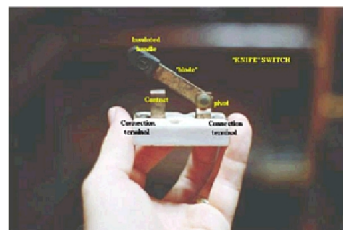
Електронният ключ е важно устройство, което се използва за прекъсване или включване на дадена част от електрическа верига в общата. Има ключове с две състояния – ON и OFF. Това са т. нар. SPST ключове. По-сложни са пренасочващите ключове, като най-простите са двупосочните SPDP. По-сложните са с много позиции.

Най-старите са механичните ключове и тези с живак. Важно историческо значение имат електромагнитните релета. После идва ред на електронните релета, включващи в състава си електронна лампа. По-миниатюрни са ключове с биполарни транзистори. По-висококачествени и относителни бързи са рип-диодните ключове. Още по-висококачествени, бързи и с ниска консумация са FET ключовете. Днес много перспективни са отново механичните ключове, но като миниатюрни електронно-управляеми устройства – MEMS ключове.

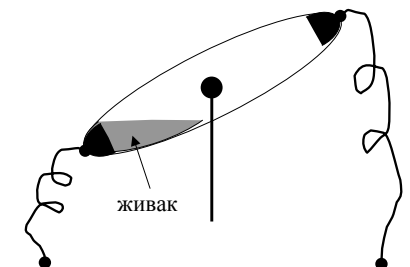
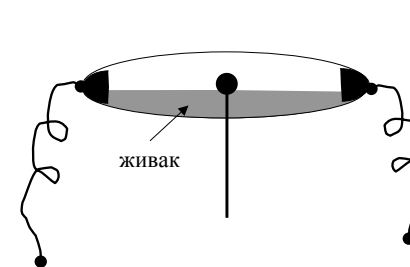


SPST (Single Pole Single Throw)
SPDT (Single Pole Double Throw)
...
SPNT (Single Pole N Throw)

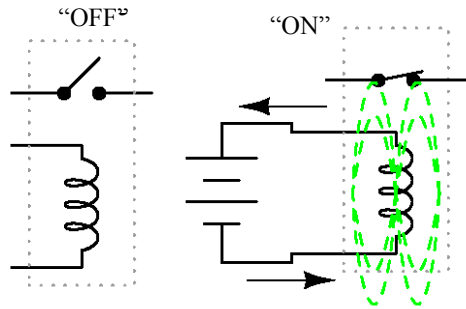
Механичен ключ



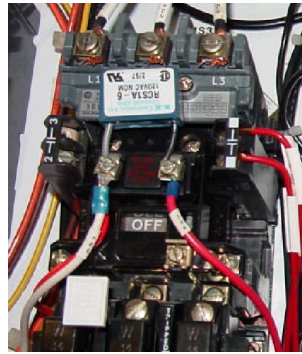
Живачен превключвател



Електромагнитно реле

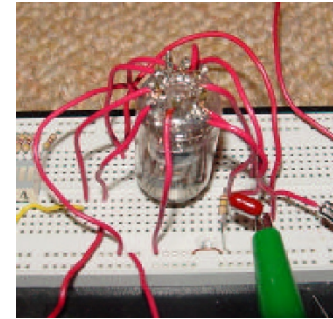
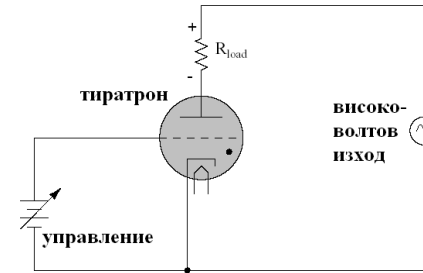


Електро-магнитното реле е механичен прекъсвач, но задействан не ръчно, а чрез протичане на ток в бобина, която създава магнитно поле и “придърпва” прекъсвач Ia (“котвата”). Използва се масово в битови уреди



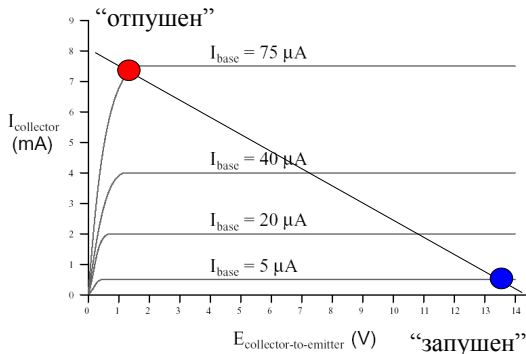
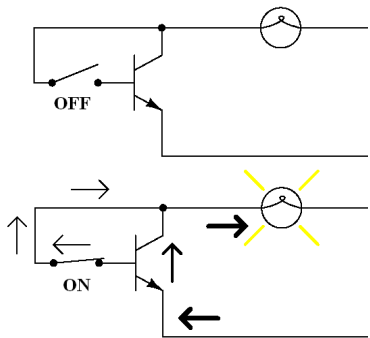
Контактор за автомобил

Лампови и транзисторни релета

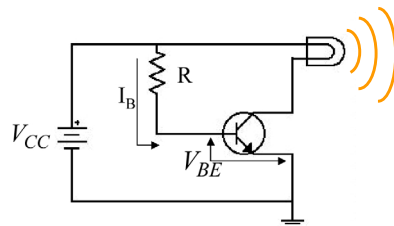


Ламповият прекъсвач е тиатрон с импулсно действие. С управление чрез подаване на напрежение върху решетката му може да се “отпушва” и “запушва” и така са привежда ключа в ON или OFF състояние. Много използван в ранните електронно-управлявани механични системи и обработващи машини.

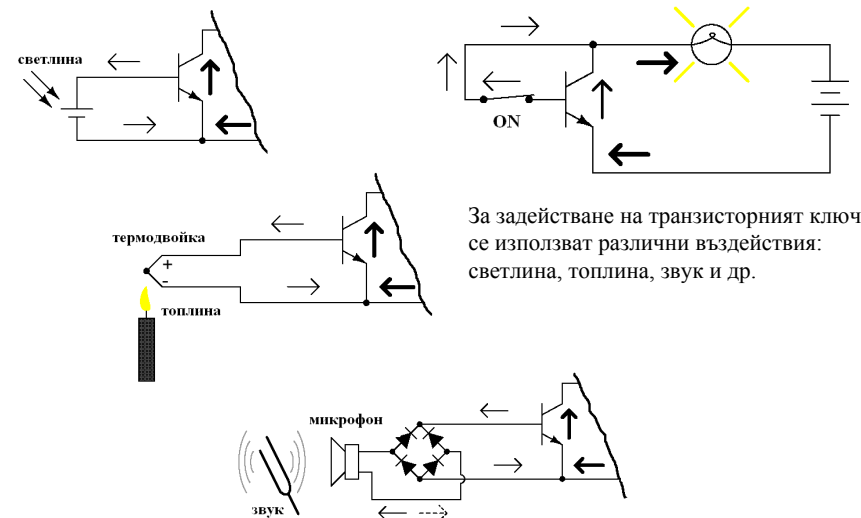
Транзисторни ключове



Този тип ключ се базира на V-A характеристика на биполарния транзистор в двете наситени състояния – отпушен (ON) и запушен (OFF).

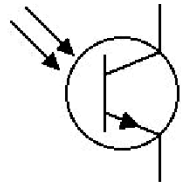


Принципи на задействане на транзисторните ключове

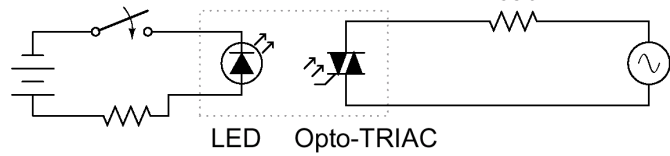
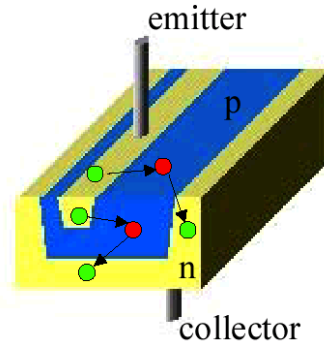


За задействане на транзисторният ключ се използват различни въздействия: светлина, топлина, звук и др.

Фототранзисторни и фотодиодни ключове



Това е електронен ключ, който задейства "ON" състоянието чрез светлинен сигнал – т. е. чрез оптоелектронни устройства – светодиоди и фототранзистори.



LED Opto-TRIAC

Pin-диодни ключове

Pin-диодът е специален тип диод. Поради широката си i -област, той не изправителен тип диод, а V-A му характеристика показва, че в права посока той е еквивалентен на малко съпротивление, а в обратна посока – високо капацитивно съпротивление. Това позволява на pin диодът да работи като ключ.

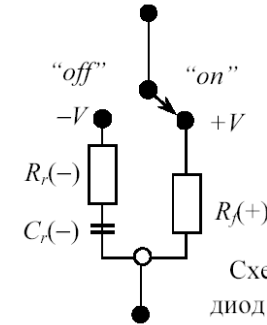
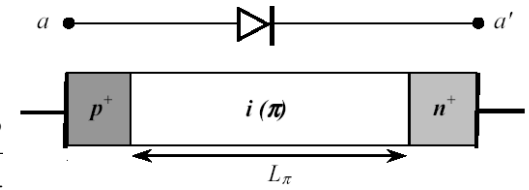
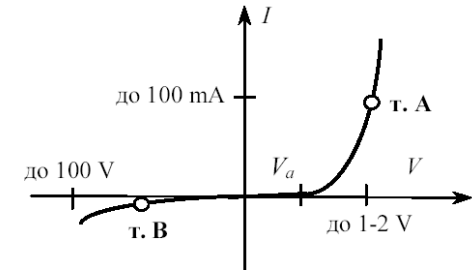
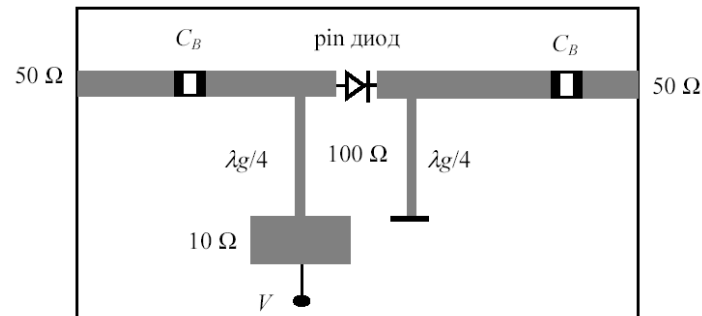
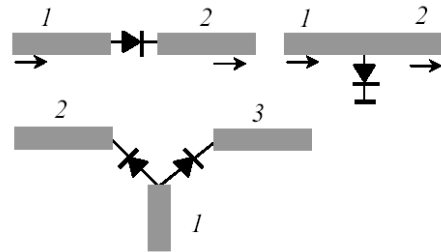


Схема на pin диод като ключ

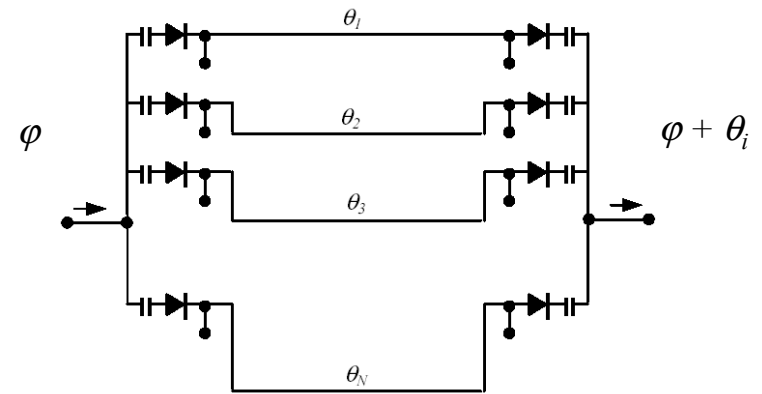


Схеми на pin-диодни ключове

Така pin-диодът е високо-честотен електронен ключ, управляван чрез напрежение. При включено състояние през него протича не много слаб ток, което е недостатък на това устройство, особени при използване на много на брой ключове.

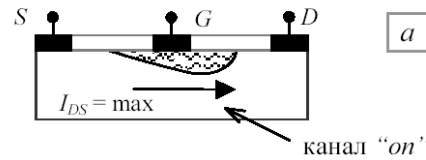


Пример: схема на pin-диоден фазорегулатор

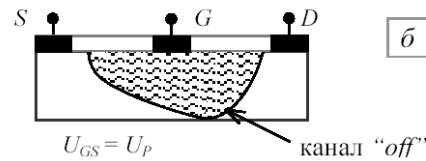


Бърз високочестотен FET ключ

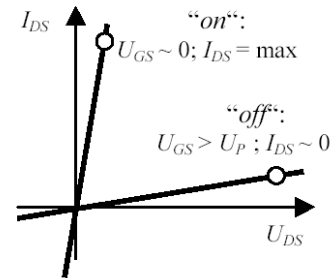
Полевият транзистор (FET, NEMT) е устройство, което също може да се използва като ключ. Тук идеята е контрол на изходния ток през транзистора чрез "отпушване" и "запушване" на канала с изменение на напрежението върху управляващия електрод – гейта. Предимство е по-голямата му бързина и по-ниския ток в ON състояние.



a



b

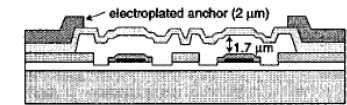
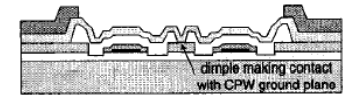
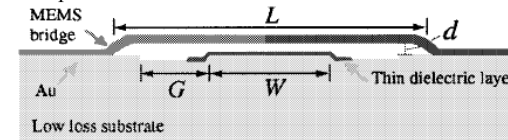


в

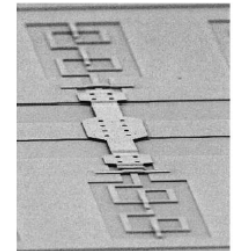
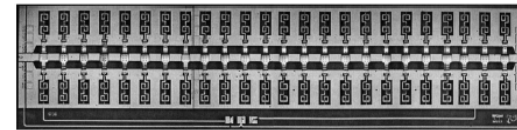
Схема на полеви транзистор като ключ: а) максимално отпушен; б) запушен (pinch ефект); в) V - A характеристика в ключов режим

Микро електро-механичен ключ MEMS

Това е съвременен ключ в интегрално изпълнение, който е от електро-механичен тип. MEMS ключът се базира на тънка проводяща мембрана, която при подаване на напрежение към нея спрямо тоководещата линия, се допира до нея и я "закъсява" към заземената част на подложката (OFF състояние). Този тип ключ е много бърз и е с голямо бъдеще в електрониката.



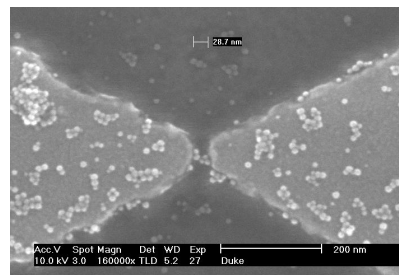
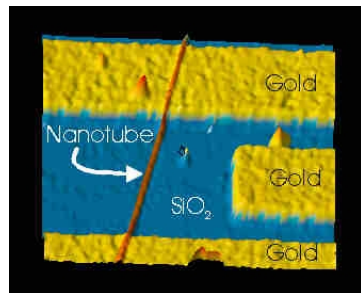
MEMS ключове: а) идеализирана схема; б) "off" състояние: миниаторна мембрана заземява предавателна линия; в) "on" състояние: мембраната не контактува с линията



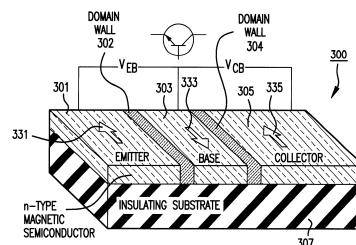
Фотография на интегрален фазорегулатор с MEMS ключове за обхват 40-70 GHz: а) фотография на фазорегулатора с 24 ключа; б) единичен MEMS ключ: кондензатор от типа "метал-въздух-метал"

Нано-транзистори и ключове

Чувствителни, високочестотни и много бързи нанотранзистори

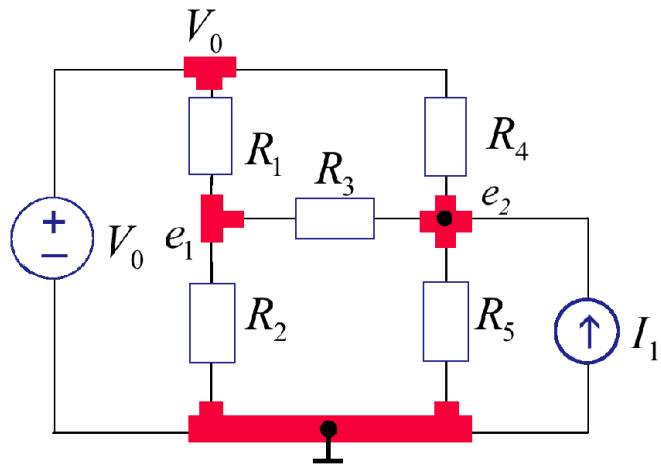


- ❖ Много бърз и малко-шумящ CNT (Carbon Nano-Tube) транзистор;
- ❖ Балистичин FET транзистор – работна честота в THz обхват; работи на единични електрони
- ❖ Спин-транзистор: промяна в състоянието на транзистора чрез смяна на спина на носителите

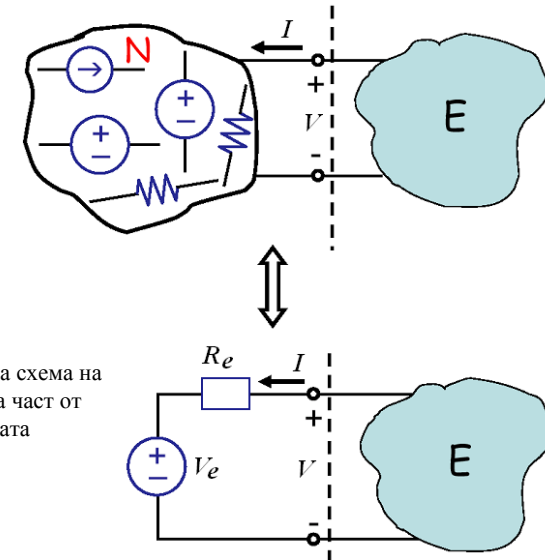


0.7 Анализ на електрическите вериги. Съвременни схемни симулатори/

Анализ на схемите чрез определяне на токовете в отделните клонове или на възловите напрежения

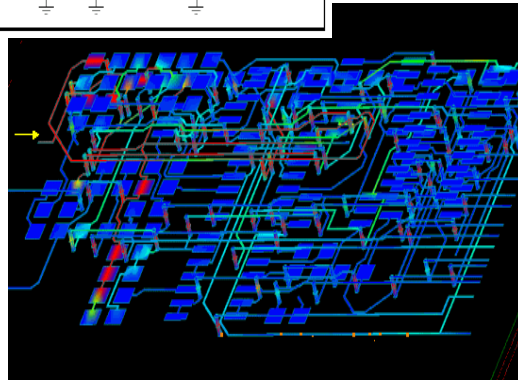
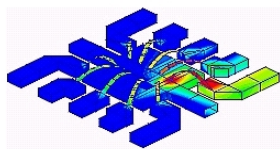
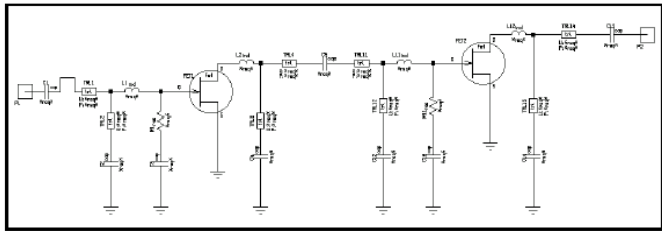


Анализ на схеми чрез използване на теоремата на Тевенен



Еквивалентна схема на определена част от веригата

Анализ с помощта на схеми и структурни софтуерни симулатори



Пример за схемен симулатор (Ansoft® designer)

Main Menu

Toolbars

Project Window

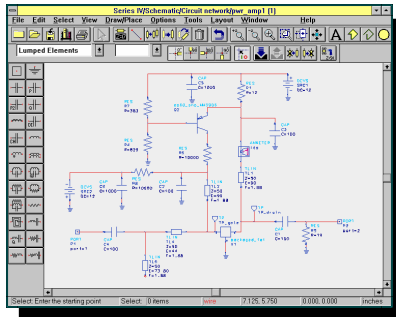
Design Area with four windows

Floating Toolbar

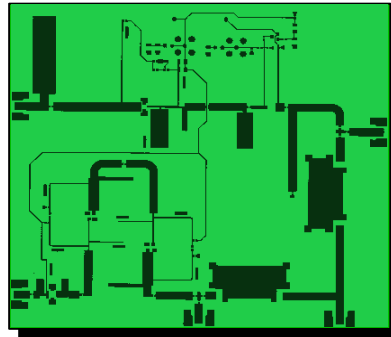
Error Log

Status Area

Пример за схемни симулатори (Ansoft® designer)



CAD форма – електронна схема

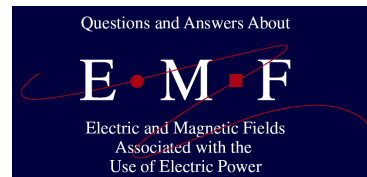


CAM форма – схема за производство на платката

0.8 Влияние на електрическото, магнитното и електромагнитното поле върху човека

Източник:

www.who.int/docstore/peh-emf/EMF-Standards/



Electric Fields	Magnetic Fields
<p>1. Produced by voltage</p> <p>Lamp plugged in but turned off. Voltage produces an electric field.</p>	<p>1. Produced by current</p> <p>Lamp plugged in and turned on. Current now produces a magnetic field, also.</p>
<p>2. Measured in volts per meter (V/m) or in kilovolts per meter (kV/m).</p> <p>1 kV = 1000V</p>	<p>2. Measured in gauss (G) or tesla (T)</p> <p>1 milligauss (mG) = 0.1 microtesla (μT)</p> <p>milli (m) = 1 thousandth</p> <p>micro (μ) = 1 millionth</p>
<p>3. Easily shielded (weakened) by conducting objects like trees and buildings.</p>	<p>3. Not easily shielded (weakened) by most material.</p>
<p>4. Reduced in strength with increasing distance from the source.</p>	<p>4. Reduced in strength with increasing distance from the source.</p>

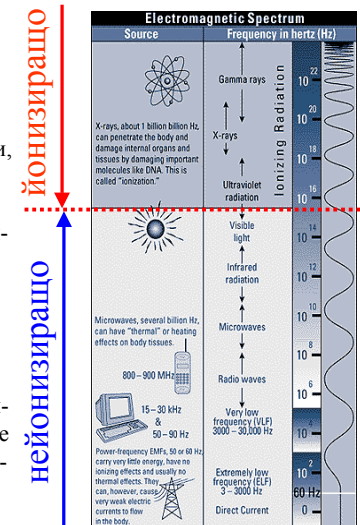
Йонизиращо и нейонизиращо електромагнитно лъчение

От енергетична гледна точка, свързано и със съответното основно биологично въздействие, съществуват два типа електромагнитно лъчение:

- ❖ Йонизиращо (с енергия на кванта $hf \geq 10$ eV)
- ❖ Нейонизиращо (с енергия на кванта $hf < 10$ eV)

Към първия тип принадлежат рентгеновите (X-) лъчи, γ-лъчите, твърдите UV-лъчи. При тях енергията на кванта hf на съответното лъчение (h – константа на Планк) се оказва по-висока от енергията на най-слабите молекулни връзки ΔE_{\min} , т. е. $hf > \Delta E_{\min}$ и той може да разрушава директно молекулите в биологичните тъкани, като йонизира молекулите и атомите на клетките им ($hf \sim 10$ eV е минималната енергия на кванта, способна да предизвика йонизация).

Обратно, по-нискоенергетичното ЕМ лъчение като видимата светлина, инфрачервените лъчи, микровълните (300 MHz – 300 GHz), RF-сигналите и накрая постоянният ток, при които $hf < \Delta E_{\min}$, не се наблюдават директни йонизационни ефекти. Следователно, сигналите, използвани в съвременните комуникации, са “нейонизиращо лъчение”.



Основни механизми на биологично въздействие на ЕМ вълни

RF-сигнали

Микровълни

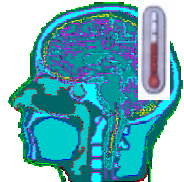
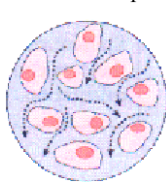
**IR и видима
светлина:**

**UV, X-, γ-
лъчи**

нейонизиращо

йонизиращо

Действието на сигналите с по-ниски честоти се свързва основно с възбудянето на индуцирани токове в проводящи среди, включително биологични тъкани. При RF сигнали тези слаби токове извън клетките предизвикват нетоплинни ефекти (електростимулация), а при микровълните – главно загряване на тъканите.



Лъчението в тази част на спектъра предизвиква и възбудяне на електронните обвивки на атомите и молекулите. Така освен нагряване в клетките се наблюдават и фотохимични реакции.

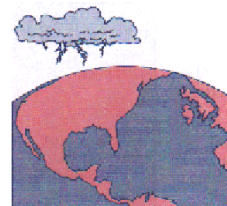
Йонизиращото лъчение (UV, X- и γ-лъчи) води главно до прекъсване на межумолекулните връзки на веществото в тъканите. Това предизвиква разрушаване на ДНК-молекулите в клетките и промяна на генетичния материал.



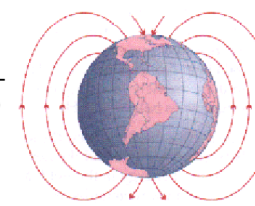
Електромагнитно фоново излъчване

Човекът живее в околна среда, в която има разнообразно ЕМ лъчение. Част от него е постоянен фактор в тази среда и съставлява фоновото лъчение с естествен произход. Друга част е свързана с работната му среда, но трета част се явява рисков фактор – това е лъчение, което е по-силно от фоновото, но не е свързано с работната среда и обикновено е свързано със странични ефекти на човешката дейност. Подобен е случаят с комуникационните сигнали, излъчвани в областта на населени места.

Сред хората е най-известен радиоактивният фон – това е йонизиращо (α-, β- и/или γ-) лъчение с естествен произход (земен или космически). То е важен параметър на околната среда. Подобен фон може да се въведе и за нейонизиращото лъчение, но той е по-малко популярен сред хората. Значение има нивото на IR, видимото и особено UV лъчението при наличието на т.нар. “озонова дупка” в атмосферата. Друг силен природен източник на *dc* и нискочестотни *ac* сигнали са земното магнитно поле и електричното поле при гръмотевични бури (вж. долу). Много силен е фонът на промишлената честота 50 (или 60) Hz, който е свързан с човешката дейност. Най-слаб е фонът за микровълнови сигнали.



Ефект на възбудяне на електростатично поле при силни гръмотевични бури: от ~200 V/m близо до земната повърхност и до 50 kV/m в епицентъра



Наличие на повсеместно магнитостатично поле (средно ~50 mG), предизвикано от земното магнитно поле

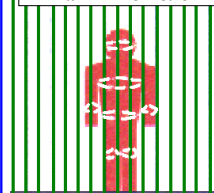
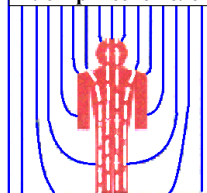
Биологично въздействие на нискочестотните сигнали

Известен факт е, че електростатичното поле се екранира много добре от проводящи обекти и повърхности (дървета, сгради, човешка кожа и др.), докато магнитостатичното поле се “екранира” много по-трудно. И двете статични полета, обаче, силно намаляват с отдалечаване от източника. На фигурата са показани линиите на слаби възбудени *ac* токове (с пунктир) в човешко тяло от нискочестотни електрически и магнитни полета. Възбудените нискочестотни токове (напр. на 50-60 Hz) са извънредно слаби (~nA) в сравнение с естествените токове на електрическата активност на сърцето и мозъка на човек, и те не могат да проникнат през клетъчните мембрани. Затова част от учените считат, че влиянието им е пренебрежимо слабо. Обратно, други учени се базират на известния “ефект на коктейла” (напр. тренирано ухо може да отдели познати слаби сигнали на фона на силен шум) и считат, че клетките могат да реагират на слабите индуцирани токове като на нормален сигнал на фона на силен “шум” от естествени токове. Някои изследвания потвърждават наличието на подобни ефекти на електростимулация чрез слаби *ac* токове.

Най-силно въздействие се забелязва върху хора близо до високоволтови далекопроводи.

Електрическо поле

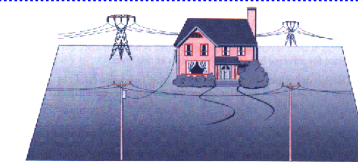
Магнитно поле



Тук може да се наблюдават ефекти на забележима вибрация на косата и крайниците на 50/ 60 Hz (“изтръпване”) или усещане за слаб токов удар като при допир с незаземена метална ограда. Има множество изследвания, които доказват наличие на повишен риск от ракови заболявания при деца, живеещи до далекопроводи (вж. следващата страница).

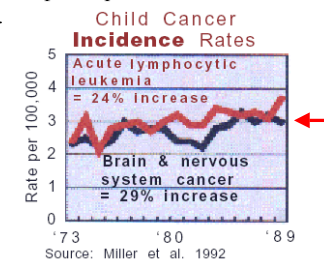
Епидемиологични изследвания върху хора, живеещи близо до високоволтови далекопроводи (power lines)

Study	Location	Leukemia
Child Cancer Studies		
Wertheimer & Leeper '79	Denver	OR = 2.35*
Fulton et al. '80	Rhode Island	OR = 1.09
Tomenius '86	Sweden	OR = 0.30
Savitz et al. '88	Denver	OR = 1.54
Coleman et al. '89	U.K.	OR = 1.50
Lin & Lu '89	Taiwan	OR = 1.31
Myers et al. '90	U.K.	OR = 1.14†
London et al. '91	Los Angeles	OR = 2.15*
Lowenthal et al. '91	Australia	O/E = 2.00
Feychting & Ahlbom '93	Sweden	OR = 3.80*
Olsen et al. '93	Denmark	OR = 1.50
Adult Cancer Studies		
Wertheimer & Leeper '82	Denver	OR = 1.00
McDowall '86	U.K.	SMR = 143
Severson et al. '88	Seattle	OR = 0.80
Coleman et al. '89	U.K.	OR = 0.90



Изследванията показват, че при деца до 12 г. живеещи до 40 m от високоволтов далекопровод има 2-4 пъти (!) повишен риск от заболяване от левкемия в сравнение с контролна група. За възрастни подобен ефект практически не е наблюдаван.

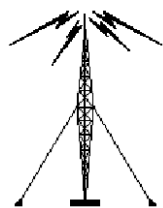
Величината OR (Odds Factor) или *рисков фактор* показва дали дадено въздействие може да се свърже с даден риск (напр. ракovo заболяване) или не (OR = 1 – няма риск; > 1 има повишен риск; < 1 има понижен риск). Определя се за дадена голяма група от хора, подложени на даден риск и за подобна на брой контролна група, която не е подлагана на този риск.



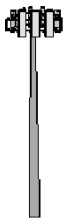
Микровълните като нейонизиращо лъчение

Микровълните (300 MHz – 300 GHz) са нейонизиращо излъчване. Например, дори за най-високочестотният микровълнов сигнал ($f = 300 \text{ GHz}$) квантът енергия е едва $hf \approx 0.0125 \text{ eV}$, което е по-малко от енергията на най-слабите межумолекулни връзки в живата тъкан ($\sim 0.06 \text{ eV}$) и дори от средната кинетична енергия на топлинното движение на молекулите при стайна температура $\sim 0.025 \text{ eV}$. Въпросът е какъв е механизмът на въздействие на микровълново лъчение върху живата тъкан, включително и върху човека?

По-долу са изобразени потенциално най-опасните излъчватели на комуникационни сигнали в града: телевизионни и радио-разпръсквателни кули, базови станции за клетъчни комуникации, мобилни телефони (поради физическата си близост до човека); мощни земни излъчващи станции за сателитни комуникации и др.



FM/tv предавателни кули 60-800 MHz



Клетъчни базови станции 900-1800 MHz



Мобилни телефони 900-1800 MHz



Земни HUB-станции за сателитни комуникации (5 - 15 GHz)

Основни механизми на биологично въздействие на микровълните

Голям интерес за комуникациите представляват механизмите на въздействието на микровълните върху живите организми. Под биологично въздействие се подразбира появата на биохимични ефекти, психологични и поведенчески реакции на организма, тъканите и клетките под действие на лъчението. Здравен риск от облъчването са тези биологични промени, които могат да бъдат вредни или пагубни за организма и/или за неговото потомство. Безспорният главен механизъм за биологично въздействие на микровълните е топлинният – нагряване на биологичните тъкани под действие на погълнатата електромагнитна мощност. Много по-голям интерес сред хората, обаче, предизвиква наличието на други, нетоплинни механизми. Не може да се отдели рязка граница между тези механизми и по-специално на дозата на облъчване с нейонизиращо лъчение, което ги предизвиква.

- ❖ Топлинни ефекти. Те възникват, когато *in vivo* в тъканите се поглъща достатъчно микровълнова енергия, която предизвиква измеримо нарастване на температурата на съответната тъкан (напр. $\Delta t > 1^\circ\text{C}$);
- ❖ Микро-топлинни (ендогенни) ефекти. Това са ефекти, които възникват при облъчване на организма или части от него с достатъчно голяма RF енергия, която би могла да предизвика нарастване на температурата, но такова не се наблюдава поради ефективна ендогенна регулация в организма (напр. $0.1^\circ\text{C} < \Delta t < 1^\circ\text{C}$);
- ❖ Не-топлинни (специфични) ефекти. Това са ефекти, които възникват при облъчване на организма или части от него с RF енергия, която е недостатъчна да предизвика над обичайните температурни флукутации ($\Delta t < 0.1^\circ\text{C}$), но въпреки всичко се откриват забележими биологични ефекти.

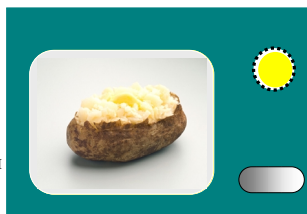
Топлинен механизъм

Един от безспорните механизми на биологично въздействие е топлинният. При него температурата на биологичните тъкани се увеличава вследствие на преобразуването на микровълновата енергия в топлинна. При топлинния механизъм от най-съществено значение са диелектричните свойства на тъканите и по-специално, тяхната комплексна относителна диелектрична проницаемост

$$\epsilon_r = \epsilon'_r - j\epsilon''_r = \epsilon'_r (1 - j \tan \delta_\epsilon) = \epsilon'_r (1 - j\sigma / 2\pi f \epsilon'_r),$$

където $\tan \delta_\epsilon = \epsilon''_r / \epsilon'_r$ е тангенс на ъгъла на диелектричните загуби, а σ е проводимост на тъканите. Силно поглъщане на RF-сигнал в тъканите се наблюдава при големи стойности на $\tan \delta_\epsilon$ (респективно на σ). Това означава, че най-силно топлинен въздействие търпят тъканите с високо съдържание на вода, която в микровълновия обхват представлява силен поглъстител с $\epsilon'_r \sim 20-80$ и $\tan \delta_\epsilon \sim 1-5$. Ефектът е добре познат при домакинските микровълнови фурни, където най-силно се нагряват храните с богато водно съдържание.

Микровълновото нагряване и сушене има много предимства пред обикновеното (IR). Последното става през повърхността на продуктите, докато микровълните проникват в обема и отдават енергията си във вид на топлина почти равномерно в този обем. Освен това, микровълновото нагряване е безинерционно и много ефективно. То позволява реализацията на специални видове нагряване: избирателно (от смес от компоненти директно се нагряват само тези в високо водно съдържание), свръхчисто и саморегулиращо се (степената на нагряване зависи от степената на остатъчната влага).



Примери: характеристики на човешки тъкани *in vivo*

Плътност, диелектрична проницаемост и проводимост на човешки тъкани *in vivo* (на живо) при 900 MHz

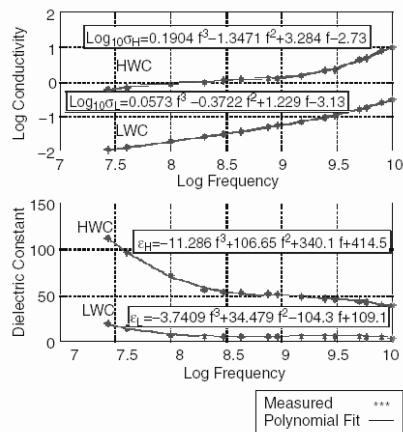
тъкан	$\rho, \text{g/m}^3$	ϵ'	$\sigma, \text{S/m}$
кости	1.81	17.4	0.19
мозък (бяло и сиво вещество)	1.04	44.1	0.89
мускулна тъкан	1.04	51.8	1.11
очни ябълки	1.04	74.3	1.97
кръв	1.06	64.0	1.24
мастни тъкани	0.92	10.0	0.19
кожа	1.01	39.5	0.69

Диелектрична проницаемост, проводимост и дълбочина на проникване на RF-сигнали в човешки мускулни влакна *in vivo* за различни честоти

f, MHz	ϵ'	$\sigma, \text{S/m}$	δ, cm
0,1	1850	0,56	213
1	411	0,59	70
10	131	0,68	13,2
100	79	0,81	7,7
1000	60	1,33	3,4
10 000	42	13,3	0,27
100 000	8	60	0,03

Горе са дадени стойностите на някои диелектрични параметри на човешки тъкани *in vivo*. Част от тъканите с по-богато съдържание на вода (очна ретина, мозъчна тъкан и др.) са потенциално по-податливи на микровълново нагряване, още повече, когато са и по-слабо кръвоснабдени (напр., при очните ябълки). При въздействието на микровълните трябва да се отчита и дълбочината на проникване на сигнала в тъканите. Количествено това може да се характеризира с дълбочината на скин-слоя (на която проникналото поле намалява e -пъти, $e = 2.71$): $\delta \sim 1/(\pi f \mu_r \mu_0 \sigma)^{1/2}$, където μ_r е относителната магнитна проницаемост на тъканите (~ 1). От примера се вижда, че до 2.5 GHz дълбочината на проникване δ е няколко cm, като с увеличаването на честотата намалява под 1 cm. Така, това е един естествен начин на защита, при която лъчението не може да прониква по-навътре в тъканите.

Тъкани с високо или ниско съдържание на вода



Диелектричните свойства на много специфични видове тъкани са изследвани внимателно *in vivo* (в живи човешки тъкани) и *in vitro* (в отделни, изолирани човешки тъкани). За улеснение, може да се направи обобщение на видовете тъкани, разделяйки ги на две условни групи:

- 1) С високо съдържание на вода (HWC)
- 2) С ниско съдържание на вода (LWC)

Към първата група HWC-тъкани спадат кръвта, лимфата, черния дроб, бъбреците, мускулите, сивото и бялото мозъчно вещество и пр., докато подкожието, сухожилията, костите и особено мазнините формират групата на LWC-тъканите.

Характеристиките на тези групи тъкани са доста различни. На фигурата са показани измерени и полиномиално изгладени честотни зависимости на проводимостта σ и реалната относителна диелектрична проницаемост ϵ' за типични HWC и LWC тъкани. Трябва да се отбележи, че стойностите на проводимостта за HWC-тъканите са с около порядък по-високи, отколкото при LWC-тъканите.

Проводимост и диелектрична проницаемост на две условни групи човешки тъкани с високо (HWC) или ниско (LWC) съдържание на вода (HWC/LWC – High/Low Water Content)

Мобилните телефони родиха нова потенциална опасност за човека – облъчване с RF сигнал в непосредствена близост до главата

Мощен източник за интереса към EMC изследванията днес е бързото нарастване броя на клетъчните телефони (честоти 450-2100 MHz) и потенциалният риск от използването им за здравето на големи групи от хора. За масовият потребител на мобилни телефони има широк кръг от представи за действието на облъчването от тях – от много вредно, предизвикващо рак и др. подобни болести, до напълно безвредно и дори в известна степен полезно, например за подобряване на имунната система. В недалечно бъдеще се очаква много от въпросите, свързани с влиянието на мобилни телефони върху човека, да бъдат решени. Освен опасност от използване на клетъчен телефон, мнозина виждат опасност и от облъчване от антените на базови станции в близост до местата, където живеят или работят. Долу са изброени някои особености на две GSM устройства като излъчватели: мобилна (MS) и базова (BTS) станция. Тук са разгледани и най-важните EMC проблеми, свързани с тях.

Типичната GSM MS излъчва прекъснатото (25% от времето) модулиран цифров сигнал. Номиналната CW мощност е около 1 W или средно ~125 mW. Антената на MS е слабо-насочена (усилване до 2 dB или 1.6 пъти). Рискът от използване на дадена MS се оценява по общата SAR в главата и нейното разпределение, предизвикано от антената на дадено разстояние.



Типичната GSM BTS излъчва непрекъснатото на ~21 честотни канала на всеки 120° сектор (общо до 63) с max ефективно излъчена мощност ERP ~100 W на канал. За антенни панели с височина 30-120 cm и усилване 10-13 dB това отговаря по 5-10W CW мощност. Рискът от конкретна BTS се оценява по измерения S на дадено разстояние или по SAR_{WB} за човек в антенното поле

От какво се оплакват хората, използващи мобилни телефони?

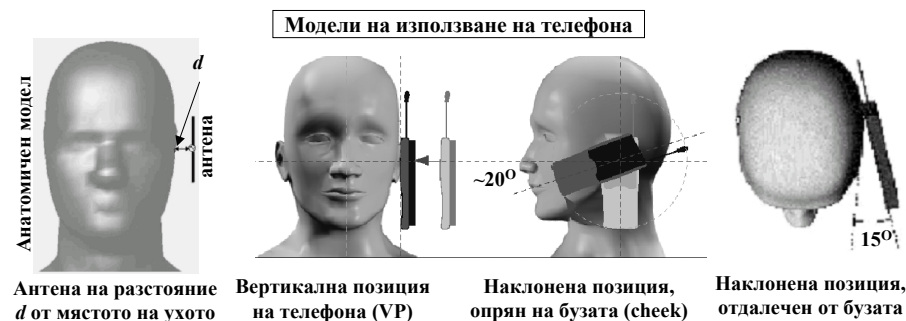
Поради близостта си до главата мобилният телефон може да предизвика при излъчване доста високи нива на SAR, свързани с топлинното въздействие на сигнала. По-нататък са разгледани резултати от научни изследвания по част от тези проблеми. Освен топлинни ефекти, въздействието на излъчването от мобилни телефони се свързва и с някои нетоплинни ефекти. По-надолу са изброени някои от тях, които се срещат в изобилие в много WEB източници, свързани с тези проблеми, но без да коментират. Подобни оплаквания имат и живущи в близост до базови станции (когато виждат антената на 30-40 m от жилището си).

- хронично главоболие; замаяност
- чувство за “бучене” в ушите
- загаряване и натиск върху слепоочията
- леки изгаряния на кожата около ушите
- болка в очите; кръвоизливи
- изкривяване на възприемания зрителен образ
- проблеми с кръвното налягане
- хронична физическа и умствена умора
- загуба на памет, забавени реакции
- проблеми с концентрацията
- мозъчни тумори; рак?

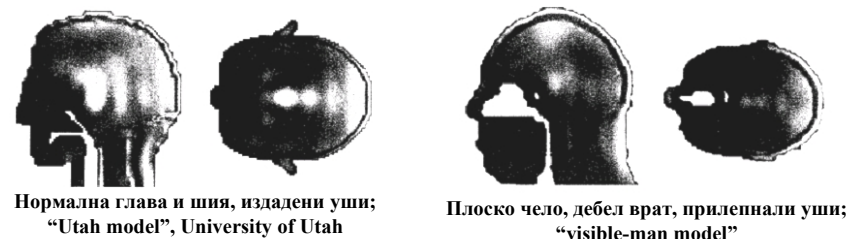


- разрушаване на ДНК
- промяна на размера, формата и растежа на клетките в организма
- промяна на потока на Ca^{++} -йони в организма и намаляване на общата имунна защитеност
- в мозъка горното е води до промяна на EEG-ритъма, забавени реакции и влияние върху REM-съня, свързан с функционирането на паметта, възприятията, обучението и др.

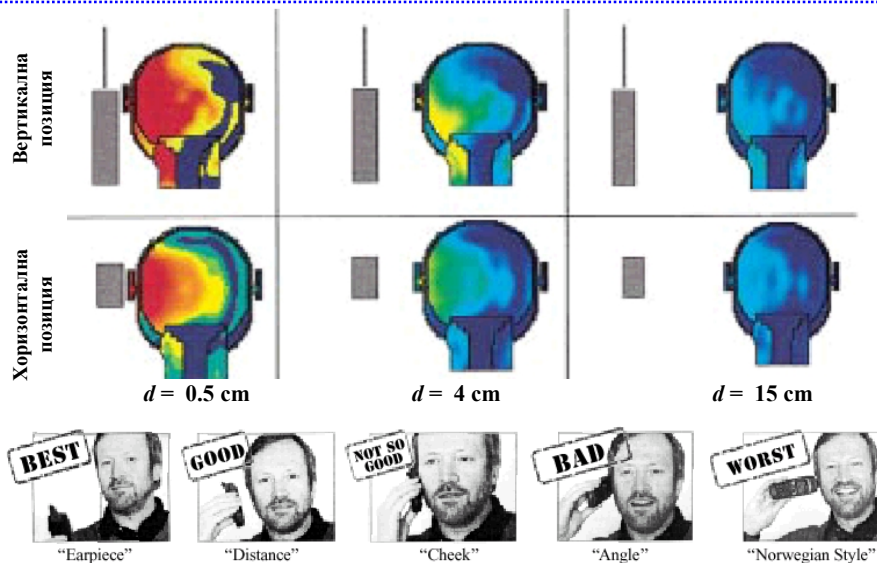
Модели на използване на мобилния телефон и модели на главата



Примери за два от най-разпространените анатомични модела на човешка глава



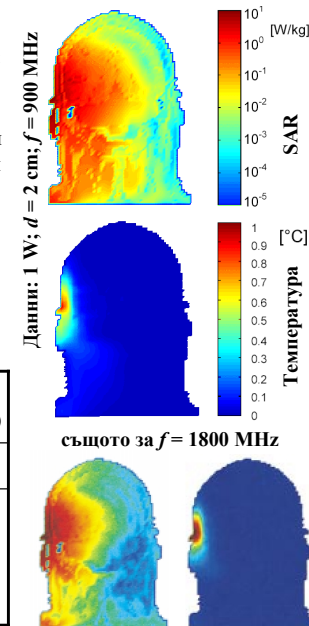
Разпределение на SAR в глава на възрастен човек в зависимост от разстоянието до антената



Препоръки: как да ползваме правилно мобилен телефон (източник: норвежки таблоид)

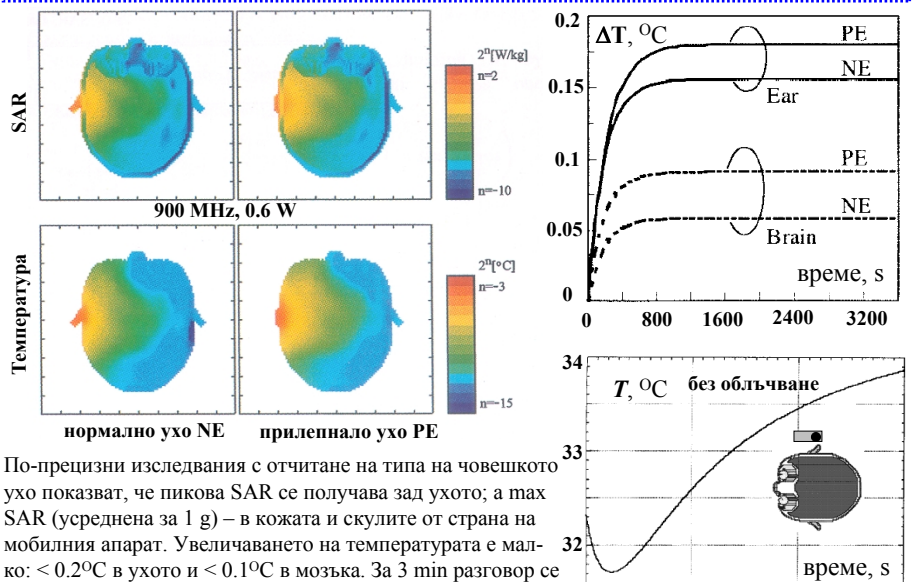
Връзка между разпределение на SAR и температура

Симулацията на разпределението на SAR в тъканите на човешката глава (кожа, мускули, кости, мозък) и свързаното с нея увеличение на температурата, е най-разпространеният тип EMC изследвания на влияние на мобилния телефон. На фигурите са представени разпределенията на SAR и нарастването на температурата ΔT_{max} в глава на възрастен мъж. В Таблицата са дадени и числени данни за двете величини, осреднени за цялата глава и само за мозъка. Данните са за две позиции на телефона (вертикална и “до бузата”). И в двата случая SAR в главата е над нормата за разстояние $d = 2 \text{ cm}$ от антената, но нарастването на температурата е под 0.22°C . SAR в мозъка е 8-15% от общата, ΔT_{max} е $\sim 18\text{-}28\%$ от общото. Ако телефонът е в контакт с бузата, ΔT_{max} е голямо $\sim 1.54^\circ\text{C}$, но ΔT_{max} поради самото облъчване (т. е. от SAR) е под 10% .



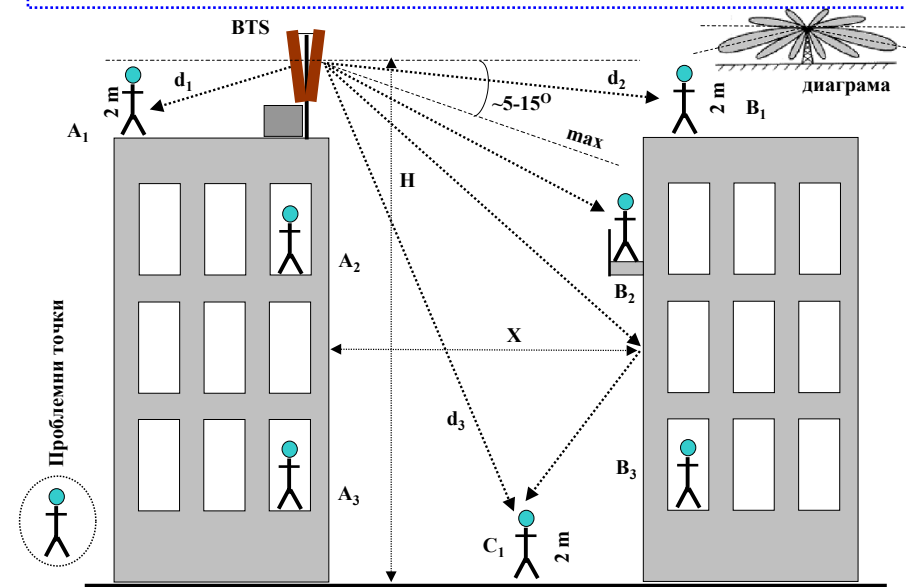
Позиция на телефона	SAR, W/kg (в главата)	SAR, W/kg (в мозъка)	ΔT_{max} , °C (на главата)	ΔT_{max} , °C (на мозъка)
Вертикална	2.06	0.32	0.22	0.061
“до бузата”; само от SAR	1.65	0.13	-	-
контакт с бузата	-	-	1.543	0.012
контакт + SAR	-	-	1.581	0.023

Нарастване на температурата на главата по време на разговор



По-прецизни изследвания с отчитане на типа на човешкото ухо показват, че пикова SAR се получава зад ухото; а max SAR (усреднена за 1 g) – в кожата и скулите от страна на мобилния апарат. Увеличаването на температурата е малко: $< 0.2^\circ\text{C}$ в ухото и $< 0.1^\circ\text{C}$ в мозъка. За 3 min разговор се достига 60%, а за 6-7 min – до 90 % насищане. Само от допир с телефона за това време ухото се загрива поне с 2°C .

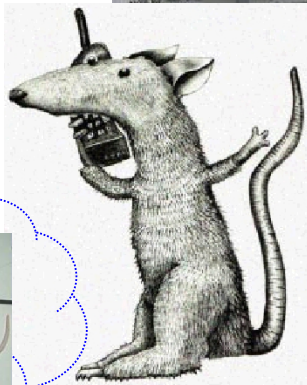
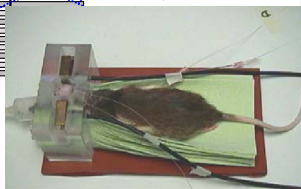
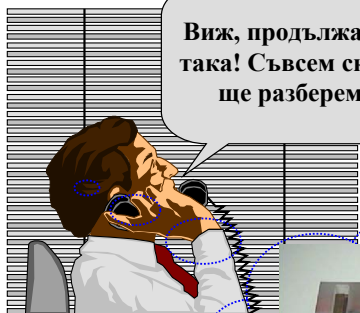
Типично монтирани секторни антени на базова станция в градски условия и типични проблемни точки



И все пак, опасно ли е ...?

Ало, искам да попитам, опасно ли е излъчването от мобилен телефон?

Виж, продължавай така! Съвсем скоро ще разберем.



Сред хората се появи “микровълновият синдром”

Засега е известно едно нещо: хигиенните норми за ЕМ облъчване осигуряват защита срещу известните топлинни ефекти, които определено създават риск за здравето. Другите наблюдавани биологични нетоплинни ефекти (на молекулярно, на клетъчно ниво или на ниво на нервната система) могат да причинят, но могат и да не причинят здравни рискове. Ето защо, това не дава ясен повод на съответните световни организации да отчитат нетоплинните ефекти при регулацията на хигиенните норми за нейонизиращо лъчение.

В същото време сред населението на Европа и в други части на света има много силно безпокойство относно възможни рискови ефекти за здравето, причинени от използването на GSM апарати и още повече от облъчването от GSM базови станции. Това е вече известният “микровълнов синдром”. Учудващо е, че в същото време облъчването от TV и FM предаватели в т. нар. резонансни обхвати не предизвиква подобно негативно отношение! Източник: A. Vorst et al., “Cellular Telephones: Hazards or Not?” IEEE Trans. on MTT-S Digest, December 2000

Какви са белезите на “микровълновия синдром”?

Биологичните ефекти зависят главно от *E* полето вътре в тъканите. Топлинните ефекти зависят от *SAR* и нейното разпределение в тялото и части от него. Преки ефекти се наблюдават при облъчване с GSM сигнали на ушите, кожата и очите. Има опасения за сърцето и мозъка. Има ли, обаче, “нетоплинни ефекти”? Някои се свързват с микро-топлинни, други – с нетоплинни въздействия. Проблем се оказват ниските дози на облъчване, а модулираните (импулсни) сигнали се считат определено за по-силно въздействащи. Населението ги свързва с: главоболие, склонност към потене, емоционална нестабилност, сприхавост, раздразнителност и избухливост, склонност към бърза умора, сънливост, сексуални проблеми, загуба на памет и концентрация, неспособност да се вземат решения и др.



Популярен въпрос – могат ли работещи GSM телефони да “сварят” сурово яйце?

Напоследък в Интернет и по някои електронни медии се появи ново “развлечение” за хората – демонстрация на “сваряване” на сурово кокоше яйце под действието на излъчен сигнал от 2 или повече GSM апарата. Целта е да се покаже нагледно топлинното действие на GSM сигнала.

Как се извършва подобен експеримент? Двата апарата се свързват на “разговор” помежду си. Мястото се избира да е достатъчно далече от базова станция, за да има силен сигнал и по-забележим ефект. Яйцето се поставя в пластмасова или порцеланова чашка между работещите апарати (най-добре те да са от по-старото поколение). Освен, това, за да се изключи DTX режима (прекъснато излъчване на апаратите поради VAD детектора), до тях се включва радиоприемник, който непрекъснато възпроизвежда музика. Твърди се, че белтъкът видимо се втвърдява и побелява след 20-60 мин. Има данни за експерименти както с положителен ефект, така и с отрицателен ефект.



При този опит ефектът е положителен



При този опит ефектът е отрицателен

Ще има ли ясен отговор на въпроса “Ефективна ли е защитата срещу облъчване от GSM сигнали от мобилна или базова станция, ако се спазват общоприетите хигиенни норми за *S* и за *SAR*”?

Има две главни групи от ограничения, спазването на които се препоръчва:

- 1) Базисните ограничения за начините за използване на предавателите, които трябва да се спазват;
- 2) Референтни (препоръчителни) нива на облъчване, които не трябва да се превишават.

Всички днешни хигиенни норми се базират само на “научно-доказани факти”, които се отнасят само до здравните рискове. За нетоплинните биологични ефекти, наблюдавани при по-ниски нива на облъчване, още няма подобни напълно доказани факти. Следователно, на този етап от изследванията, препоръки за хигиенни норми за нейонизиращо лъчение, “предпазващи” от нетоплинни ефекти (приети в някои страни или отделни области и градове), не се базират на напълно обосновани научни доказателства. Разбира се, подобно твърдение също е дискуссионно.

Изводът е, че са необходими още изследвания. Докато не се получат ясни научни доказателства, хората мога да се базират на т. нар. “принцип на предпазливостта”.

Много съм объркана, докога ще продължава всичко това?



Основни изводи (по IEGMP Report 2000)

- Облъчване с нейонизиращо лъчение с ниво под хигиенните норми не предизвиква у хората известни на медицината заболявания. Има, обаче, научни изследвания, които доказват, че облъчване дори под хигиенните норми, може да предизвикат различни биологични ефекти на молекулно и клетъчно ниво, както и ефекти в поведението, психиката, мисловната дейност и паметта.
- По принцип хората не са хомогенни в генетично отношение и някои от тях (или групи от тях) могат да имат повишена чувствителност към околната среда и, в частност, към облъчване с микровълнови сигнали. Това са прояви на “хиперчувствителност” и хигиенните норми не могат да осигурят сигурна защита за тях. В такива случаи трябва да се прилага принципът на предпазливостта. Този принцип е особено препоръчителен в сегашните начални етапи на използване на клетъчните телефони и др. безжични устройства, когато се знае по-малко за влиянието им, отколкото би трябвало.
- Модулираните сигнали, особено импулсните и свръх-нискочестотните (ELF), въздействат по-ефективно върху различни процеси в човешкия организъм и този на животните. Тук в недалечно бъдеще се очакват много повече, по-сигурни и по-конкретни резултати от нови научни изследвания.
- Независимо от общественото безпокойство за тотален “електросмог”, облъчването от базовите станции не е така опасно, освен ако те не са в непосредствена близост или даден човек е свръх-чувствителен към електромагнитни сигнали. В известен смисъл, рискът от облъчване от мобилен телефон е по-голям. Причини са по-голяма близост на излъчващата антена до главата и по-продължителните и по-чести разговори.

Препоръки

За мобилните телефони:

- С използването на мобилни телефони не трябва да се прекалява, както е с кафето или алкохола. Ако човек се намира в офис или в къщи, трябва да предпочита използването на обикновен, фиксиран телефон.
- Трябва да се избягват разговори при “слаб сигнал” от BTS (в мазе, тунел, асансьор, метро, кола, автобус), защото MS работи на максимален сигнал.
- Когато е възможно, да се използват предпазни средства: MS да се държи “далече” от главата, да се използва “hands-free” устройства или предпазни “стикери”.
- Децата трябва да избягват използване на мобилни телефони или да използват специални “детски” телефони.
- Избирайте си телефон по указаната стойност на SAR, която той би предизвикал при стандартни условия. Ако такава стойност не е указана, информирайте се от Интернет
- Пазете очите си, тестисите и сърцето далеч от телефона. Не забравяйте, че той излъчва дори когато не разговаряте (“режим на сън”). Масните тъкани ви предпазват донякъде.

За базовите станции:

Ако за използване на мобилен телефон човек решава сам, за базовата станция не е така. Не се безпокойте, ако антените не са на по-малко от 30 m от вас или вашето жилище, или ако не са в пряка видимост (зад стени, сгради и пр.). Все пак се информирайте: каква е мощността на излъчване от станцията, типа на клетката (по-голяма или по-малка), дали антената е секторна, какво е усилването ѝ и в кои посоки са насочени главните лъчи. Ако се съмнявате в нещо, консултирайте се със специалист.

Нови изследвания

Био-електромагнитните изследвания на влиянието на електромагнитното излъчване върху хора и живи организми са много разпространени по целия и добре финансирани. Ежегодно излизат много нови резултати; не малка част от тях се появяват в Интернет. Много подробна, достоверна и актуална информация може да се получи от “колонката” на проф. James C. Lin (lin@ece.uic.edu) от Университета в Илинойс, Чикаго, “Telecommunications Health & Safety”, която се появява 6 пъти годишно в списанието “IEEE Antennas and Propagation Magazine”.

В т. 48, кн. 5 от 2006 г. той обобщава този вид изследвания EMF-NET (<http://www.jrc.ec.europa.eu/emf-net>). Само за периода 2004-2008 тези проекти са 240, разпределени в 13 страни (Дания, Финландия, Франция, Германия, Великобритания, Италия и др.). Общото финансиране е над €45 млн. (средно по €195 000 на проект). Проектите са от два типа: изследователски или проекти с определена мисия (напр. може ли излъчването от мобилен телефон да предизвика мозъчни тумори?). Подобен е и международния проект INTERPHONE, координиран от International Agency for Research on Cancer (IARC) в Лион, Франция (част от Международната здравна организация WHO). IARC е класифицирала 5 групи за канцерогенно въздействие на нейонизиращото лъчение: 1 (канцерогенно), 2A (вероятно канцерогенно), 2B (възможно канцерогенно), 3 (не може да се определи като канцерогенно), 4 (не е канцерогенно). Засега нейонизиращото лъчение се свързва с *група 2B*. Първите резултати по проекта INTERPHONE за връзка между използването на GSM апарати и поява на мозъчен тумор вече излизат (от началото на 2005). Изследвани са живи хора (чрез медицински прегледи и интервюта), които са ползвали мобилни телефони над 10 години. Първите резултатите от изследванията в две държави не са особено обнадеждаващи. В Швеция са изследвани хора на възраст 18-69 г. и се наблюдава увеличаване на риска от мозъчен тумор (от страната на използване на телефона) ~1.39 (95% доверителен интервал CI 1.01-1.92). В Германия (30-69 г.) – риск за мозъчен тумор ~0.98 (95% CI 0.74-1.29). Тук, обаче, се докладва за силно увеличаване на риска от глауома ~2.20 (95% CI 0.94-5.11) При интензивно ползване на GSM телефон (след първите 2000 часа) се наблюдава още по-силен риск, отколкото 10-год. нормално ползване.