

Основи на електрониката

доц. д-р Ж. КИСЬОВСКИ

*кат. Радиофизика и електроника
на Физически Факултет на СУ*

каб. Б417 (А 419), тел. ,
e-mail: kissov@phys.uni-sofia.bg

Описание на курса

1. Лекции-2 ч
2. Практически упражнения -3 ч (оценка за изпита)
3. Оценка: 3 теста през семестъра (25.03.2026, 29.04.2026, 03.06.2026) и изпит през сесията
4. Задачи по материала
5. Цел на курса

Съдържание на курса

1. Увод в електрониката

- основни понятия, процеси;
- електрични вериги;
- сигнал, информация, съобщение;
- видове сигнали – основни характеристики;
- модулация - амплитудна, честотна, фазова, ASK, FSK, PSK.

2. Електрични вериги

- пасивни и активни елементи;
- електрични вериги при постоянен ток;
- електрични вериги при променлив ток;
- анализ на електрични вериги;
- трептящи кръгове;
- електрически филтри;
- честотен анализ, преходни процеси

3. Разпространение на ЕМ-вълни

- параметри на ЕМ вълни,
- линии с разпределени параметри, натоварени линии, (коаксиални и микролентови линии) ;
- разпространение на ЕМ-вълни, примери от 5G мрежите.

Съдържание на курса

Основна литература:

- записки от лекциите;
- Куцаров С, “Електронни схеми”-т.1,
(УИ “Св. Кл. Охридски”, София)



Допълнителна литература:

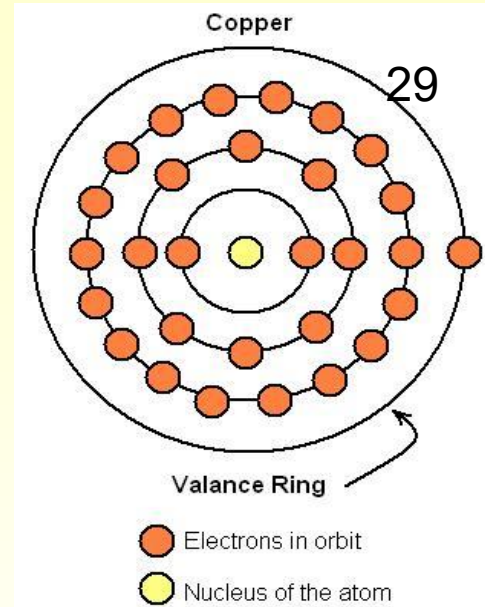
- W. N. Hayt, J. E. Kemmerly, S. M. Durbin, Engineering Circuit Analysis, 10th Edition, McGraw-Hill Education, (2023)
- Брандиски К и др. “Теоретична електротехника”-част 1(ИК Кинг) ТУ
- Иванов С, “Излъчване и разпространение на ЕМ вълни”, (УИ “Св. Кл. Охридски”, София)
- D Misra, “RF and Microwave Communication Circuits” (John Willey&Sons)

1. Предмет и историческо развитие на електрониката

1. Откриване на електрона

- 1838 - Р. Леминг - идеята за електр. заряд
- 1894 - Джордж Стоуни – наименованието e
- 1897 - Дж. Томсън - идентифицира e (e/m)
- 1909 - Миликен - определя заряда на e .

Заряд на електрона – $e = 1.602 \times 10^{-19} C$



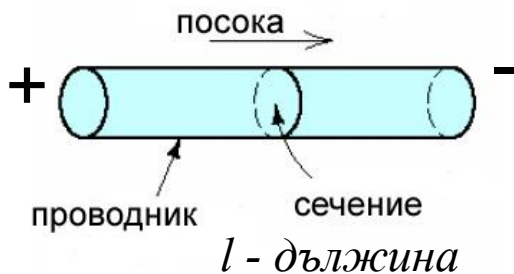
2. Електричен ток-насочено движение на електрични заряди в пространството.

Свободни електрони в металите

$$n \sim 8.5 \times 10^{28} \text{ electrons/m}^3$$

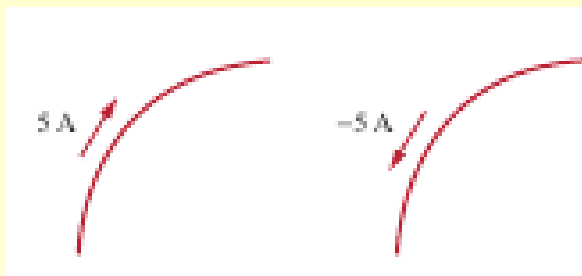
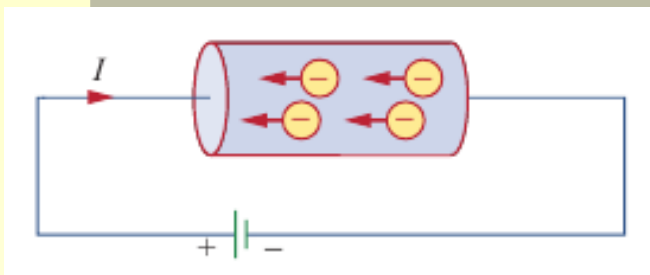
$$I = \frac{q}{t} \quad 1A = 1 \frac{C}{s}$$

$$I(A), q(C), t(s)$$



Андре Мари Ампер

Предмет и историческо развитие на електрониката



двата тока
текът в една
и съща посока!

Посоката на тока съвпада с движението на положителните заряди!

Зад. 1 Какъв ток ще протече през проводника ако за 1 s са преминали 6.25 милиарда електрона?

$$i \triangleq \frac{dq}{dt}$$

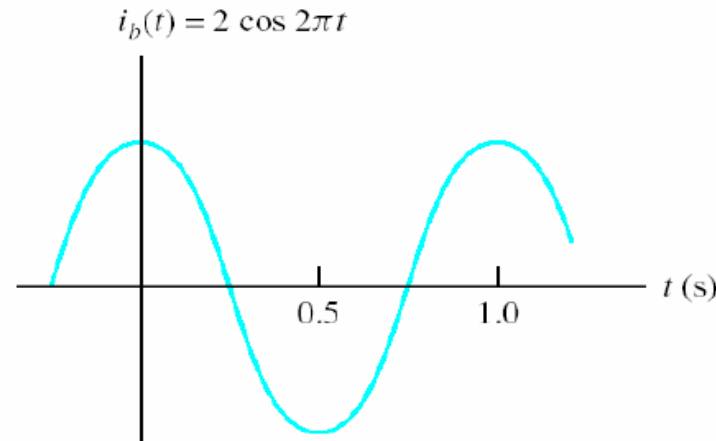
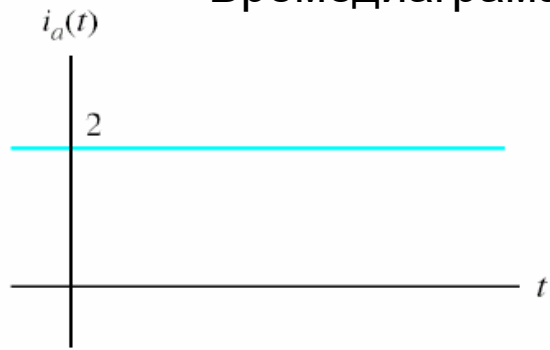


$$Q \triangleq \int_{t_0}^t i dt$$

Определете общото количество заряд Q преминал по проводник от първата $t = 1$ s до третата секунда $t = 3$ s ако токът е функция на времето $i = 3t^2$ (A)

1. Предмет и историческо развитие на електрониката

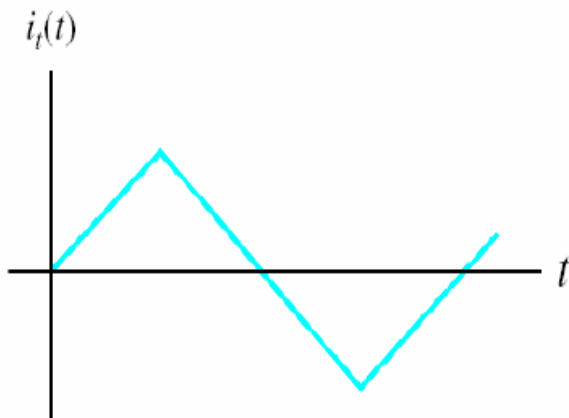
Времедиаграма



$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

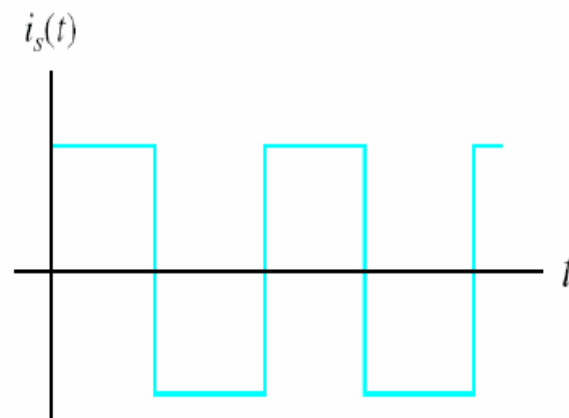
Постоянен ток – големината на тока и неговото направление не се променят с течение на времето. (**direct current-DC**)

променлив ток- променя големината и посоката си с времето. (**alternating current-AC**)



Форма

триъгълни импулси



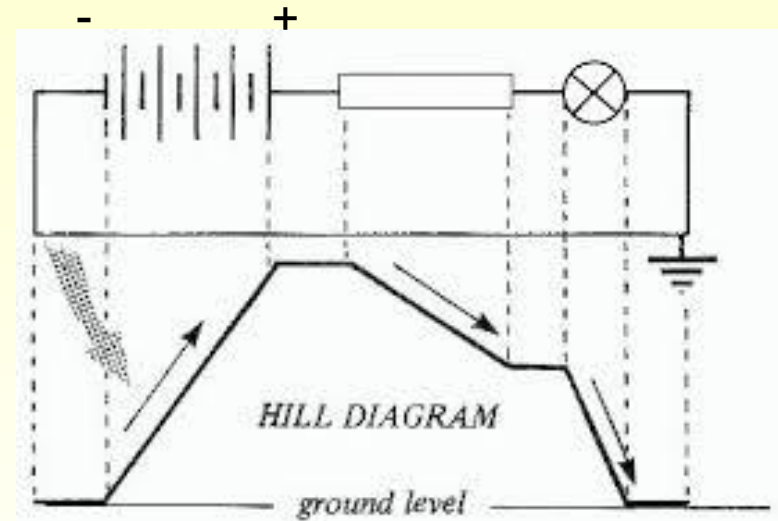
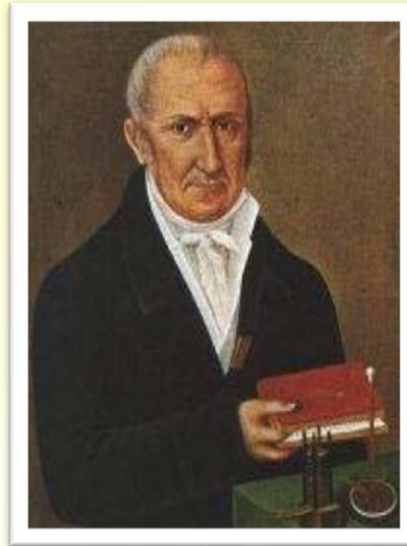
правоъгълни импулси

1. Предмет и историческо развитие на електрониката

3. Източници на напрежение (постоянен ток)

– батерии, акумулатори

Токът тече във веригата от „+“ към „-“



разликата в потенциалите на двете клеми:

Алесандро Волта

$$U(V) = \varphi_M - \varphi_N \rightarrow E = U / l$$

$$I(A) = \frac{U(V)}{R(\Omega)} \leftarrow U = R \cdot I$$

- електрично поле, насочено движение на електроните, протича електричен ток!

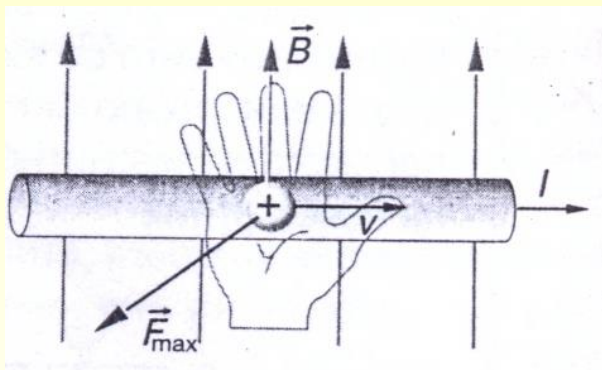
Приложеното напрежение е пропорционално на протичащия през проводника ток.

R-съпротивление на проводника.

1. Предмет и историческо развитие на електрониката

4. Електромагнетизъм

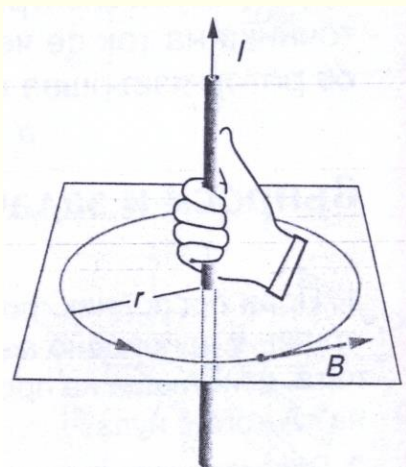
проводник с протичащ ток в постоянно \mathbf{B} $F_{\max} = B \cdot I \cdot l$ - Закон на Ампер



B - индукция на постоянно външно магнитно поле

I - ток протичащ по проводника

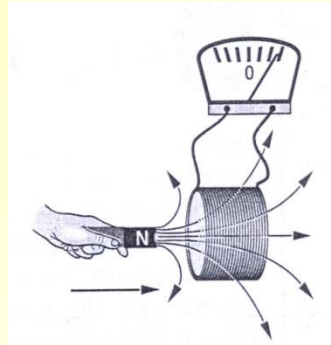
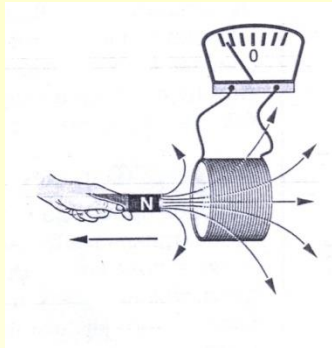
l - дължина на проводника



$B_p = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ - индукция на магнитното поле на дълъг прав проводник с ток Оерстед (1819)

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ (T.m / A)}$ – магнитна проницаемост

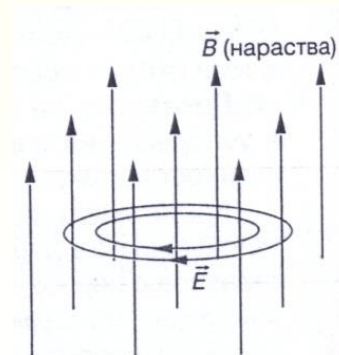
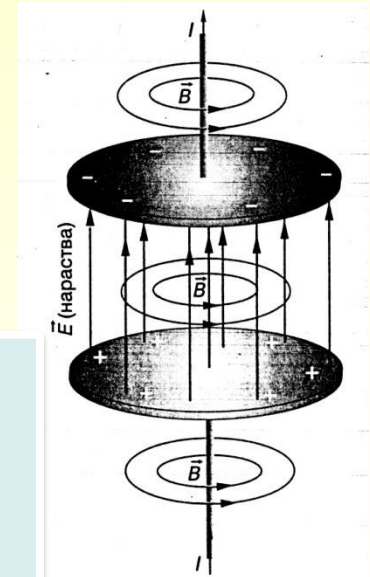
1. Предмет и историческо развитие на електрониката



- електромагнитна индукция

$$\varepsilon = - \frac{\Delta(\phi)}{\Delta(t)} \quad \text{- Закон на Фарадей}$$

$$\phi = B.S \quad \text{маг. поток}$$



Всяко променливо във времето магнитно поле създава индуцирано (вихрово) електрично поле. Всяко изменящо се във времето електрично поле създава магнитно поле.

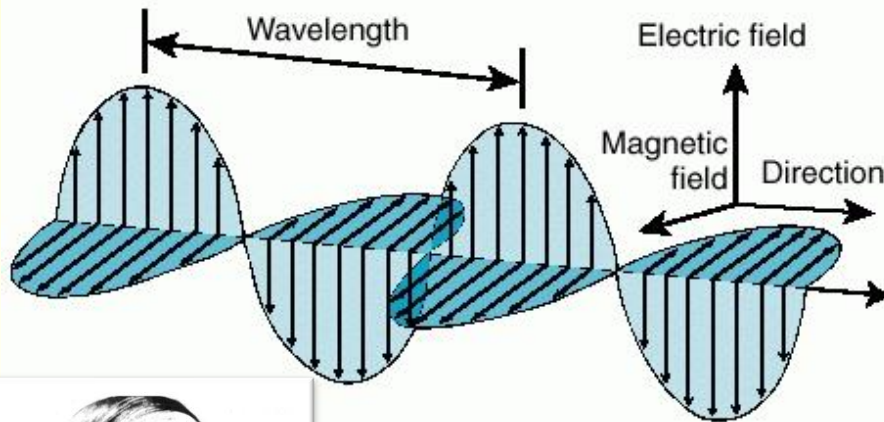
- Уравнения на Максвел – 1864 г.

- електромагнитно поле: $\vec{E} = \vec{D} / \varepsilon_0, \vec{H} = \vec{B} / \mu_0$
взаимосвързани променящи се електрично и магнитно полета.

1. Предмет и историческо развитие на радиоелектрониката и електрониката

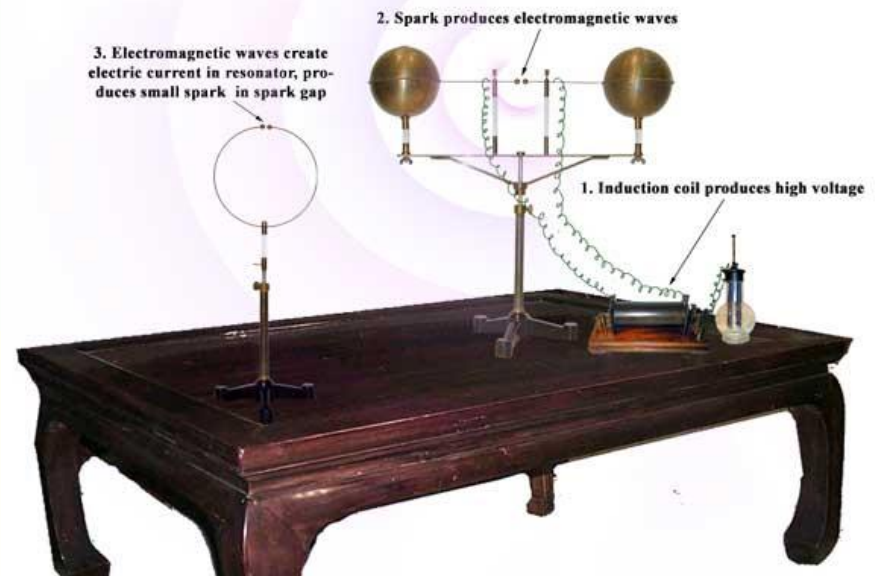
5. Електромагнитни вълни

ЕМ вълна е разпространяващо се в пространството променливо електромагнитно поле



Хайнрих Херц-1887

Дипол на Херц



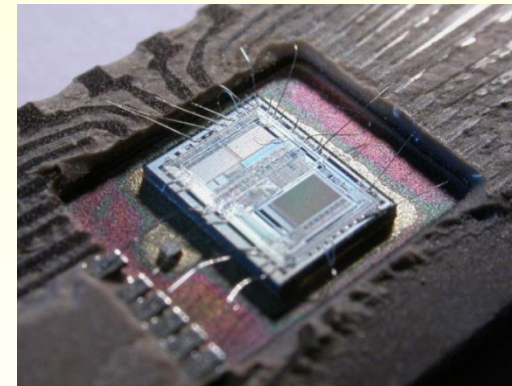
Създава източник и доказва съществуването на електромагнитни вълни.

1. Предмет и историческо развитие на радиоелектрониката и електрониката



6. Радио (безжичен телеграф)

- 1895 - Попов
- 1900 – Маркони- осъществява предаване м/у Европа и Америка
- 1906 – Фасенден – амплитудна модулация на ВЧ сигнал.
- 1904-1908 – триод (триодна лампа), радио, радиостанции
- 1954 -1960 - биполярни и полеви транзистори;
- 1958 - интегрални схеми (Дж. Килби и Робърт Нойс- Intel)
- 1971 – микропроцесори,
- 1972 -76 – Пер. Компютри,
- 1974- клетъчен телефон



Преди 53 години на 3 април 1973 г, американският инженер от компанията Motorola, **физикът** Мартин Купър звъни за пръв път по мобилен телефон.

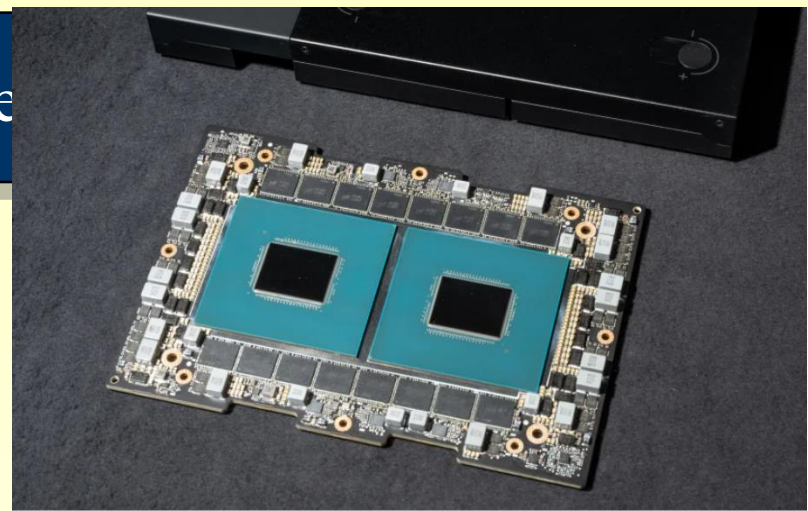
Еволюцията на мобилните комуникации



Sandy Huffaker/The New York Times/Redux

Martin Cooper, who developed the first portable cellphone.

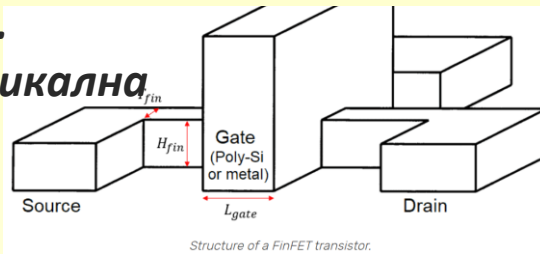
1. Предмет и историческо развитие



A Nvidia Grace CPU Superchip, bottom, and Grace-Grace module arranged at the company's headquarters in Santa Clara, California, US, on Monday, June 5, 2023. Marlena Sloss/Bloomberg/Getty

FinFET 10 nm in 2002.

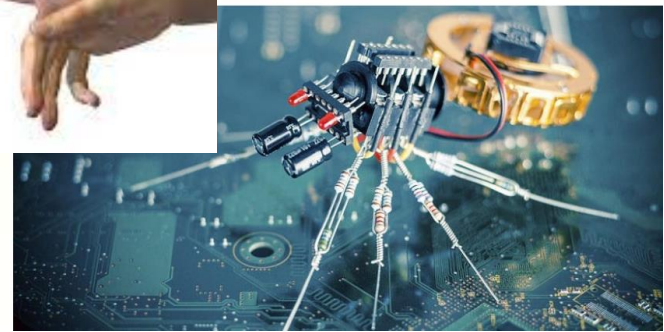
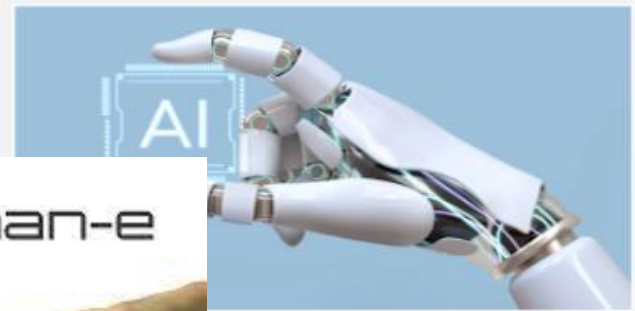
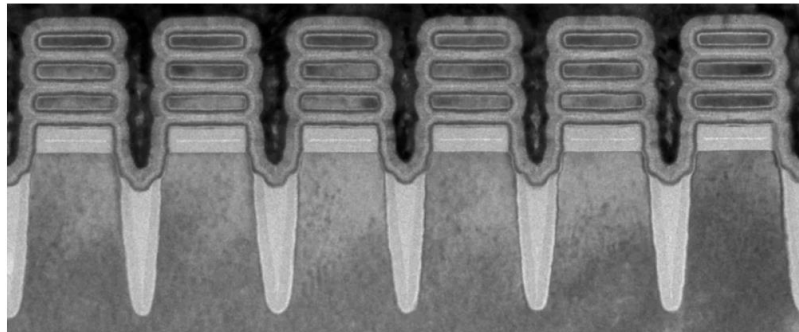
Транзистори с вертикална структура вместо планарна.



THE BEST INVENTIONS OF 2022

• In 2006, a team of Korean researchers developed a 3 nm MOSFET, the world's smallest nanoelectronic device.

IBM Two-Nanometer Chip



IBM's 2-nanometer (nm) chip technology puts 50 billion transistors, each the size of roughly five atoms!

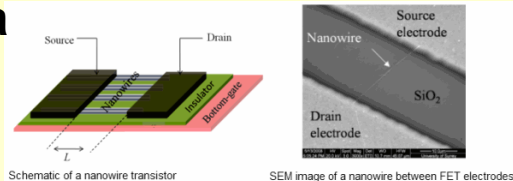
1nm chip is expected to be launched in 2027!

Високоскоростни изчисления, нови комуникационни мрежи, управление и контрол на огромен брой устройства, роботи, сателити!

7. Съвременни насоки в електрониката

2001- Наноелектроника

Полеви транзистори с канал от въглеродни наножицики ~ 10 nm



Сензорна Електроника

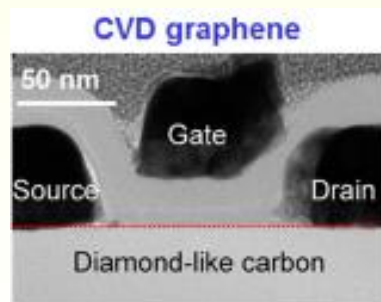
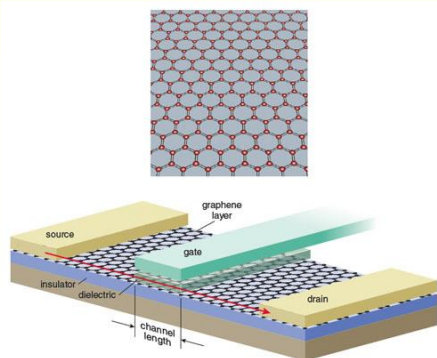


AI

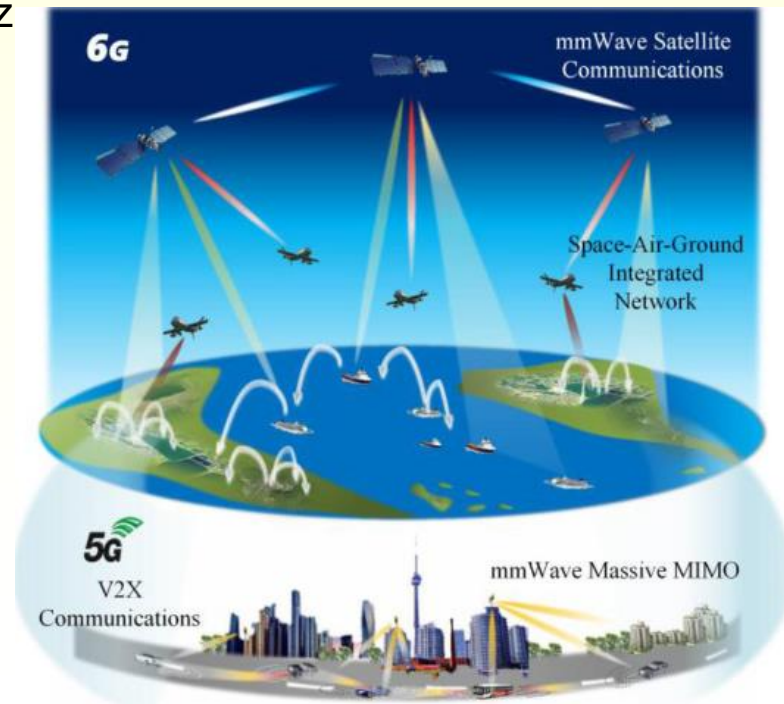
Искусствен
интелект

2010- Въглеродно-базирана наноелектроника

IBM- FET (GFET) с графенови нанотръби дава най-високата горна гранична честота (f_T): > 200 GHz !
FET с канал от графен с висока проводимост.
High-electron-mobility transistors (HEMTs)-2019-700 GHz
Пътят за 5G и 6G комуникациите е открит до 300 GHz!



Digital signal processor DSP –
Massive MIMO antennas- 5G, 6G

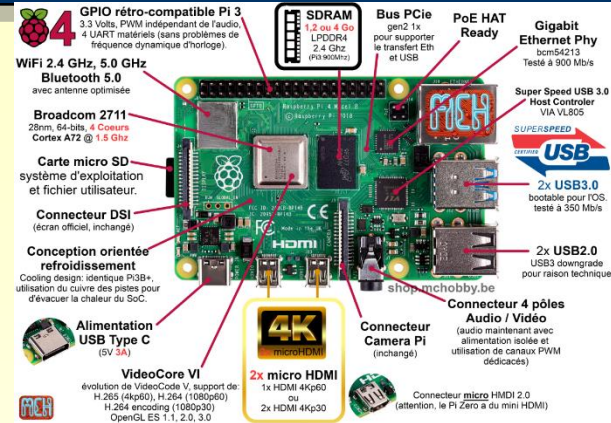


Съвременни насоки в електрониката



Платформа Arduino-Uno

За студенти

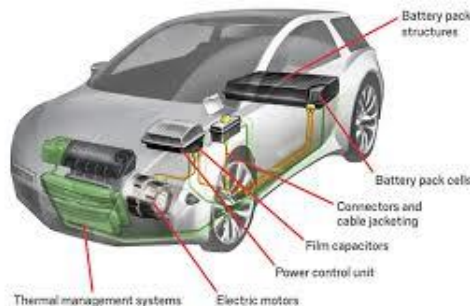


Платформа Raspberry-Pi 4



Тесла- Roadster-2023

Батерии, DC-AC конвертор, контрол на мощността, управление на 4-те мотора.

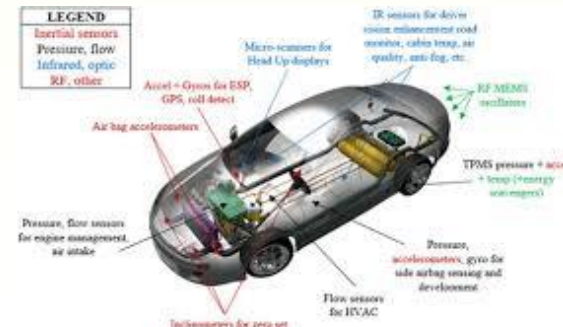


За успели студенти



Lamborghini-Aventador LP780-4

Сензори за налягане, влажност, осветеност, за разстояние, GPS, радарна система,



Развитие на електрониката за сателитни комуникации

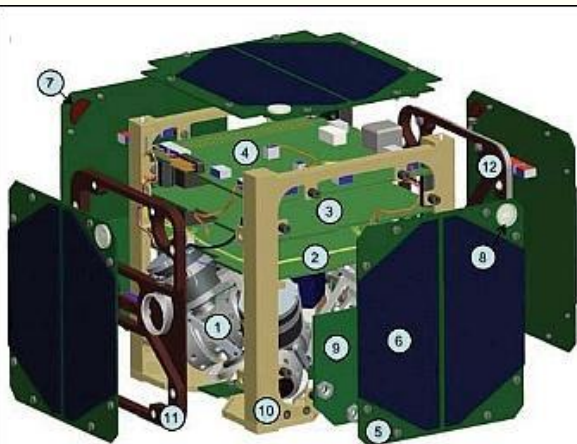
Cube-Sat Сателит



Smart-Sat

Съдържат електронни модули:

1. За управление и контрол;
2. За комуникация с наземна станция;
3. За управление на слънчеви панели и батерии;
4. За ориентация, двигатели и орбита;
5. За определени измервания:
(маг. поле, радиация, снимки и др.)

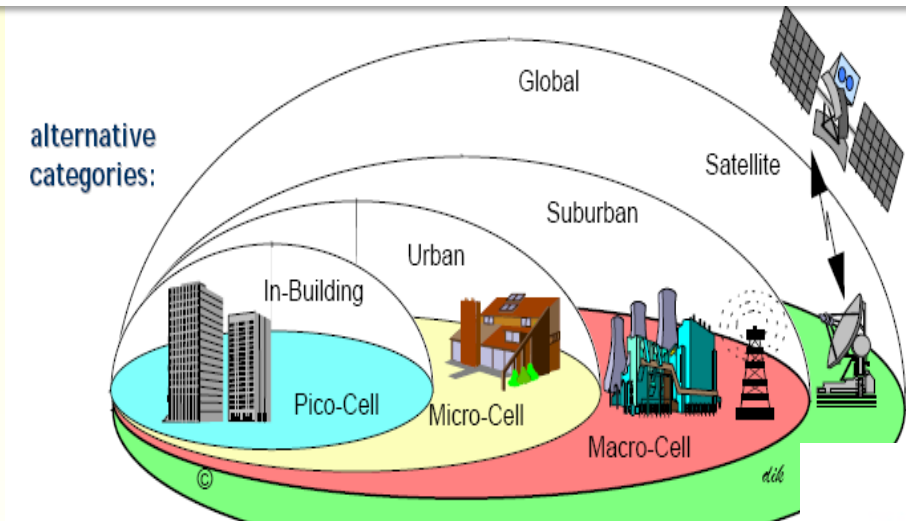


- 1 IMPACT 1.1 (CMG assembly)
- 2 EPS (Electrical Power Subsystem)
- 3 SwampSat Transceiver
- 4 SFC 430
- 5 PCB side panel
- 6 Solar cells
- 7 Sun sensor
- 8 Sun sensor filter
- 9 Motor driver board
- 10 Structure
- 11 Receive antenna module
- 12 Transmit antenna module

1. Предмет и историческо развитие на радиоелектрониката и електрониката

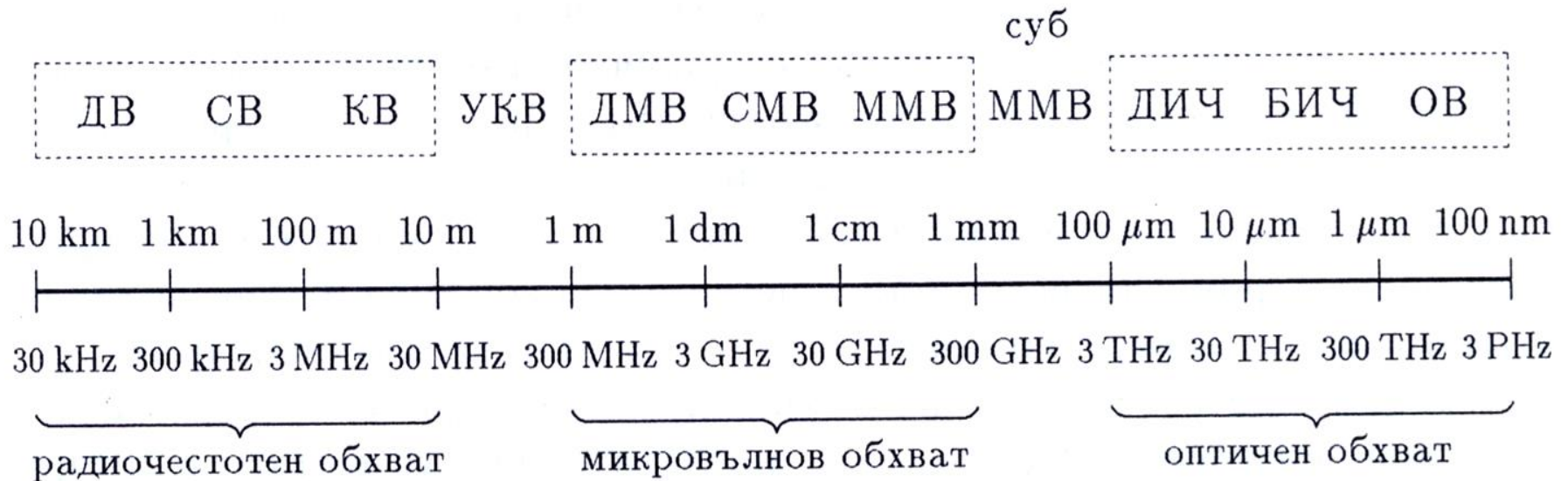
8. Предмет на електрониката

Електроника – изследва електронните явления в твърди тела, вакуум, йонизирани газове и техните приложения за събиране, предаване, обработка и съхранение на информация.



1. Предмет и историческо развитие на електрониката

9. Спектър на ЕМ вълни



broadcasting

GSM, GPS, TV
Bluetooth, Internet
IEEE802.11

optical communication
IrDA

$$\lambda = c \cdot T = c / f$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

IEEE802.16 ,

4G-LTE-1.8, 2.6 , 3.5 GHz

5G- под 6 GHz, 28GHz, 60-70 GHz

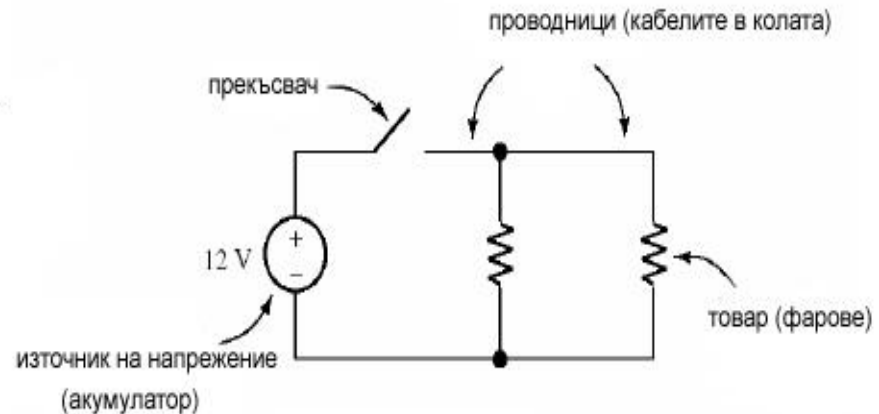
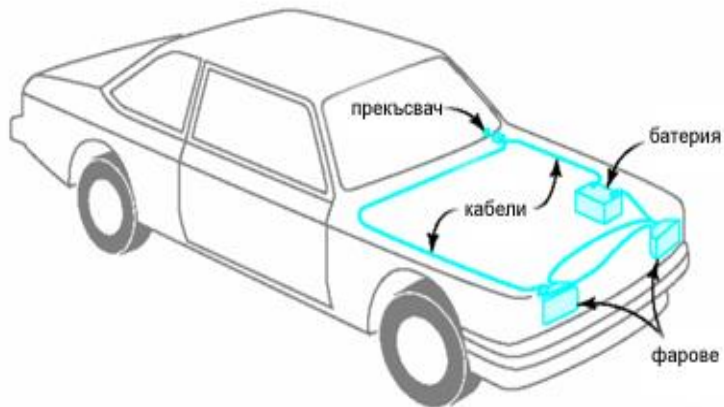
6G- sub-THz range (92-300 GHz)

Y-3.5-3.6; A 3.6-3.7; V-3.7-3.8 (25.9-27.1)

2. Основни процеси в електронните устройства и вериги

1. Основни понятия

Електрическа верига - съвкупност от източници на електрическа енергия и потребители (товари) свързани със съединителни проводници.



- елементи на електрическата верига:

- **активни** – тези, които отдават енергия (батерии, захранване);
- **пасивни** – изразходват (разсейват) енергия (лампи, ел. двиг.).

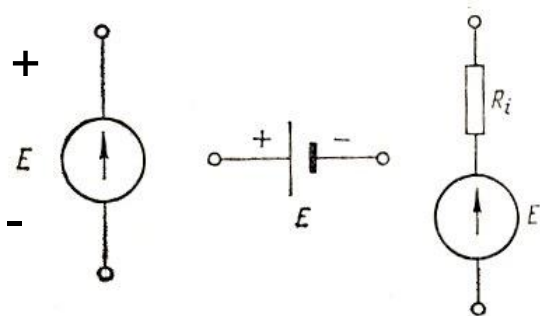
- **принципна схема** – елементите са означени с условни знаци:

съпротивления, бобини и кондензатори, източник на напрежение, транзистори.

- **еквивалентна схема**- опростена схема, съдържат идеални източници на ток или напрежение, пасивни елементи.

2. Основни процеси в електронните устройства и вериги

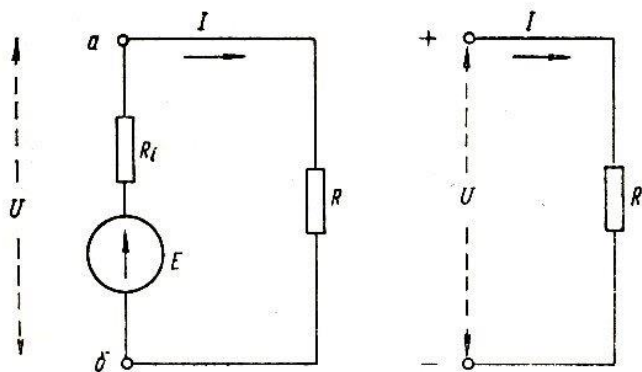
- електродвижещо напрежение E – потенциалната разлика между полюсите (клемите), когато от източника не се черпи електрическа енергия.



- идеален източник на напрежение с вътрешно $R_i=0$;

- реален източник с $R_i \neq 0$

- потребители - електрически лампи, нагреватели, двигатели и др., преобразуващи електрическа енергия в друг вид.



реален източник

$$A = U \cdot I \cdot t = Q$$

Работа на постоянен ток

$$P = \frac{A}{t} = U \cdot I = I^2 R$$

Мощност на тока

2. Основни процеси в електронните устройства и вериги

- ток в електрична верига с реален източник:

$$I = \frac{E}{R + R_i} \quad E = RI + R_i I = U + R_i I$$

Нека $E=9\text{ V}$, $R=9\ \Omega$ а $R_i=1\ \Omega$. $I=?$ (A)

- товарна характеристика на източника -

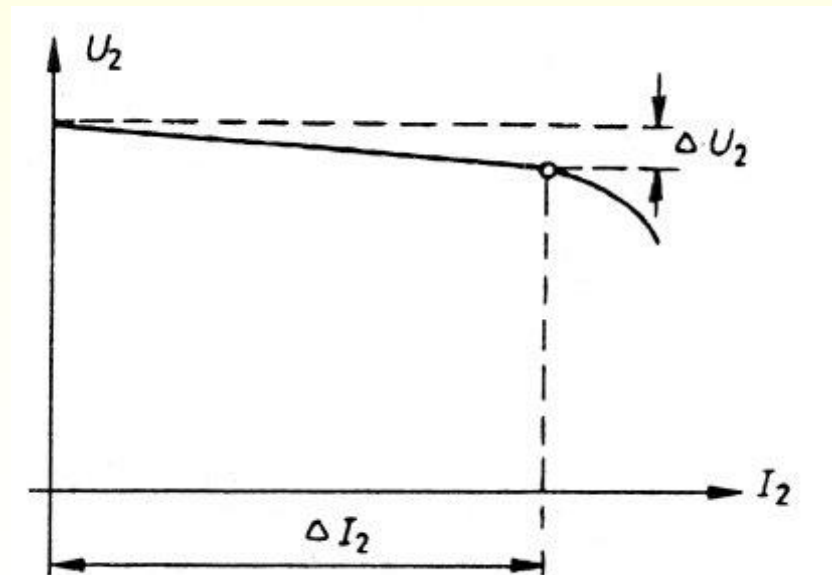
$$U = E - R_i I = U(I)$$

напрежението на клемите намалява с големината на тока, който се черпи

Колко волта е U ако $R=2\ \Omega$?

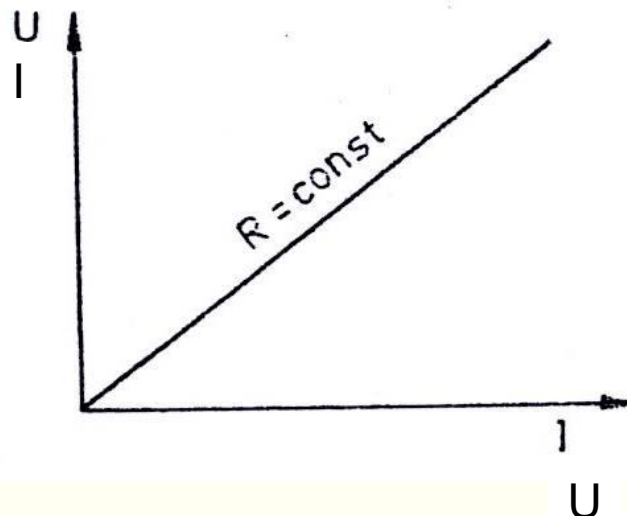
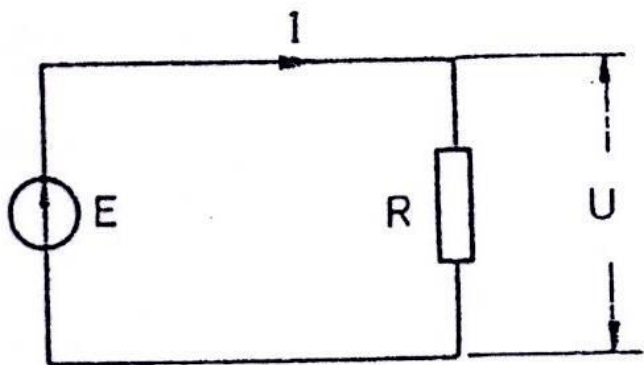
- за идеален източник

$$I = \frac{E}{R} \quad U = E$$



2. Основни процеси в електронните устройства и вериги

- линейни вериги – съдържат елементи, съпротивлението, на които не зависи от големината на протичащия ток.



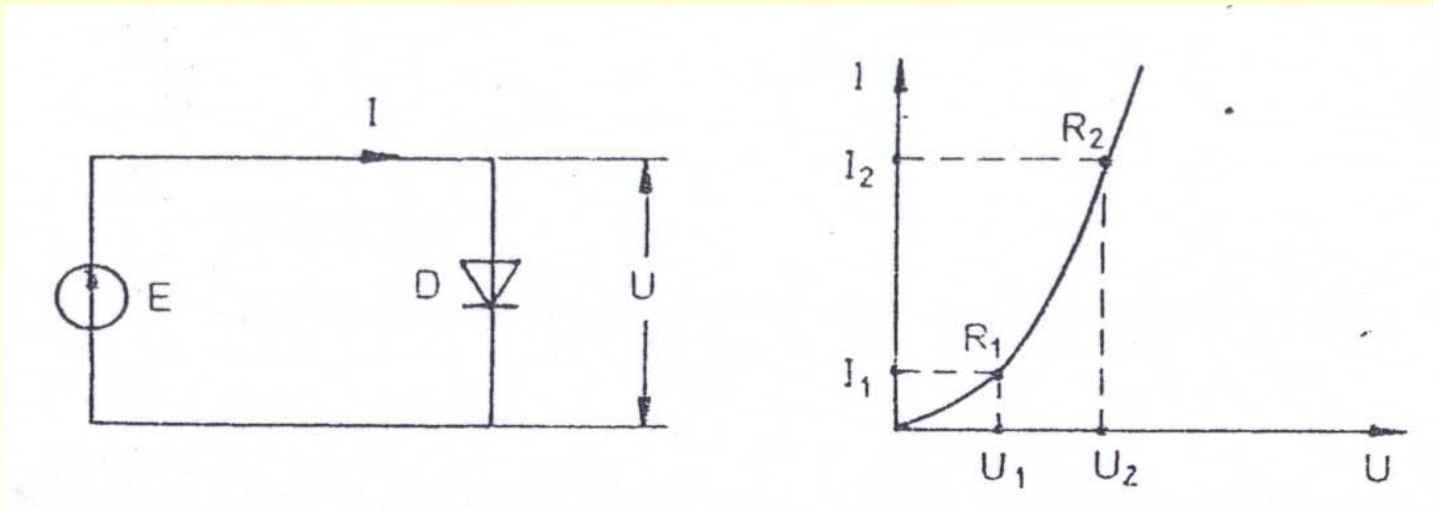
$U = R.I$ $I(U), U(I)$ -волтамперна х-ка на дадения елемент .

Ако $I(U)$ е права линия, то този елемент е линеен.

- принцип на суперпозицията - ако на една линейна верига въздействат няколко източника, резултатите от тяхното действие се сумират.

2. Основни процеси в електронните устройства и вериги

- нелинейни вериги – съдържат нелинеен елемент. $I(U)$ на елемента не е права линия!



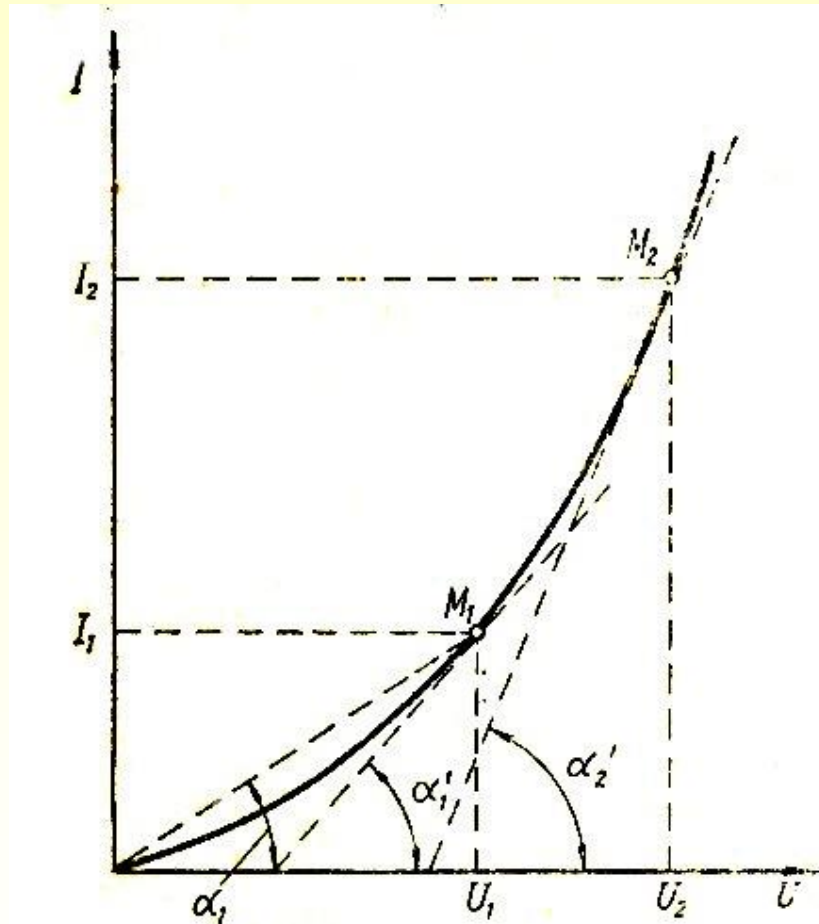
- принципа на суперпозицията не важи за нелинейни системи
- параметрични вериги - променят спектъра на сигнала, но за тях е в сила принципът на суперпозицията.

2. Основни процеси в електронните устройства и вериги

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} \quad R_2 = \frac{U_2}{I_2}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{I_1}{U_1}$$

$$R_1 = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_1} \quad \text{- статично съпротивление}$$



$$\operatorname{tg} \alpha'_1 = \frac{\Delta I}{\Delta U} \Rightarrow R_d = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha'_1} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{dU}{dI} \quad \text{- динамично съпротивление}$$

2. Основни процеси в електронните устройства и вериги

- Линејни процеси

- филтриране
- усилване
- диференциране и интегриране

- Нелинейни процеси

- модулация
- демодулация
- генериране на трептения
- умножение и деление на честота
- амплитудно ограничаване нивото на сигнала
- изправяне на променлив ток