

Historický vývoj elektrotechniky a jej význam

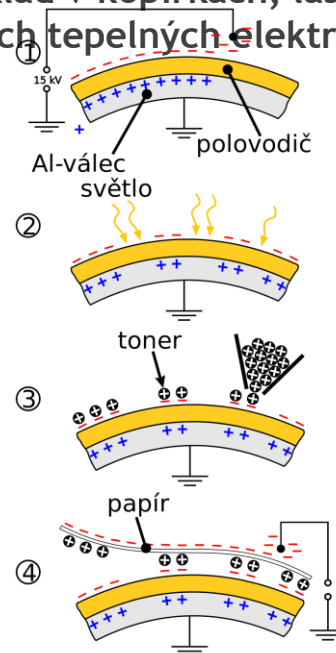
Elektrotechnika a jej historický vývoj a význam



- ▶ Elektrotechnika je odvetvie techniky, ktoré sa zaoberá výrobou, rozvodom a spotrebou elektrickej energie ako aj zariadeniami, ktoré sa na tento účel používajú.
- ▶ Základné rozdelenie elektrotechniky je: **Silnoprúdová** a **Slaboprúdová**
- ▶ Ľudia už v dávnej dobe skúmali zvláštne správanie niektorých látok:
 - ▶ Vzájomné trenie určitých materiálov spôsobovalo ich nabitie a priblížením ruky vznikla malá iskra
 - ▶ Púťové atrakcie vedeli ľudí zaujať najmä javom, keď nabitý objekt priťahoval ľahké šupinky zlata prípadne iných (kovových) materiálov
 - ▶ Tieto javy boli podnetom ku vzniku odboru, ktorý sa v súčasnosti nazýva **ELEKTROSTATIKA**
 - ▶ Elektrostatika sa dnes využíva napríklad v kopírkach, laserových tlačiarňach, pri elektrostatickom nanášaní farieb, na zachytávanie popolčeka v komínoch, tepelných elektrární a pod.

Metódu elektrostatického kopírovania vynášiel Američan Chester Carlsson v roku 1938 (elektrografia). V roku 1961 dodala na trh prvú kopírku firma XEROX

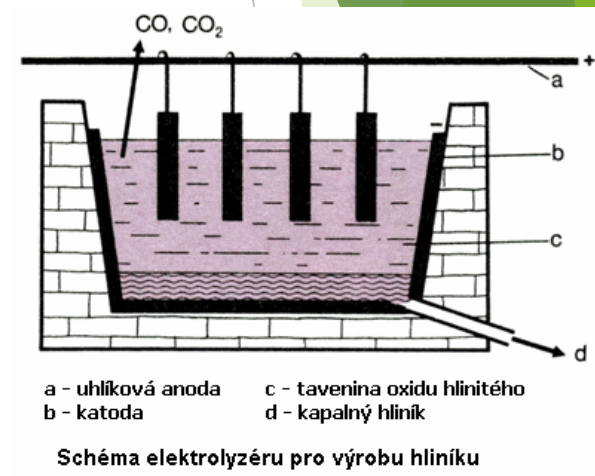
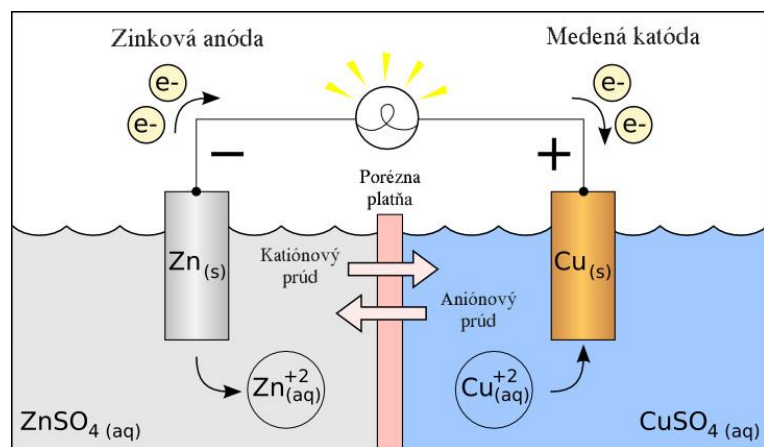
1. Nabitie povrchu statickou elektrinou, 2. Vytvorenie latentného obrazu osvetlením, 3. Nanesenie práškovej farby (toneru), 4. Vytlačenie na nabitý papier, odstránenie náboja z papiera



Základom kopírky je valec, pokrytý vrstvičkou elektricky nabitého svetlo citlivého materiálu. Miesta, na ktoré dopadne svetlo, sa stanú elektricky vodivými a následne je z nich odvedený elektrický náboj. Neosvetlené miesta zostanú nabité a na valci tak vznikne neviditeľný elektrostatický „obraz“ kopírovanej predlohy. Malá nosná guľička (priemer cca 0,3 mm) v xeroxovom kopírovacom stroji je pokrytá časticami čierneho prášku nazývaného toner, ktoré sú k nej priťahované elektrostatickými silami. Pri kopírovaní sú záporne nabité častice toneru prenesené z guľičky na tie miesta rotujúceho valca, kde bol vytvorený kladne nabitý obraz kopírovaného dokumentu. Odtiaľ sú následne prenesené na nabitý list papiera, kde sa tepelne „zažehlia“ - vytvorí sa trvalá kópia.

Historický vývoj a význam

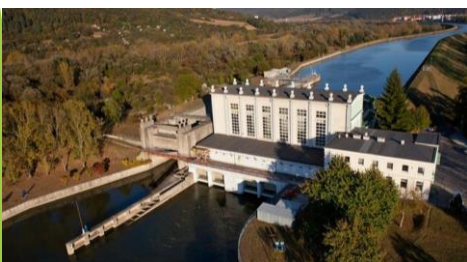
- ▶ Neskôr ľudia skúmali účinky elektriny na živé organizmy a vyrobili chemické zdroje elektriny.
 - ▶ Daný odbor nazvali **ELEKTROCHÉMIA**
 - ▶ Elektrochémia sa využíva napr. v batériách, pri galvanickom pokovovaní alebo pri elektrolytickej výrobe kovov a plynov.



Galvanický článok dostal svoj názov podľa talianskeho lekára a prírodovedca Luigiho Galvaniho, ktorý v roku 1780 pri pitvaní žabích stehienok spozoroval ich zášklby po dotyku dvoch rozdielnych kovových predmetov na rôzne konce nervov, podobné zášklbom vyvolávaným elektrickým nábojom. Tento jav správne vysvetlil taliansky fyzik Alessandro Volta, a to vznikom elektrického napätia medzi dvoma kovmi (nástrojom a kovovým podkladom) vodivo prepojenými elektrolytom (obsiahnutým v bunkách). Na základe týchto úvah zostavil v roku 1800 článok, skladajúci sa z medenej a zinkovej elektródy ponorenej do roztoku kyseliny sírovej. Voltov článok dával napätie približne 1 V a stal sa prvým zdrojom stáleho elektrického prúdu, do tej doby sa elektrina vytvárala trením alebo indukčnou elektrinou.

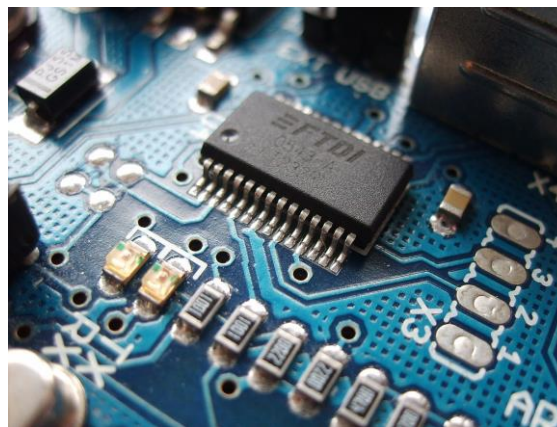
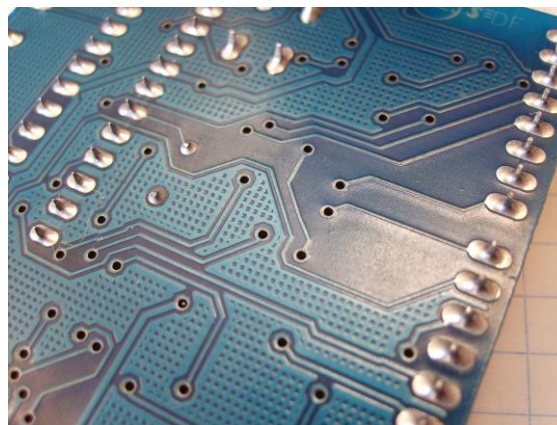
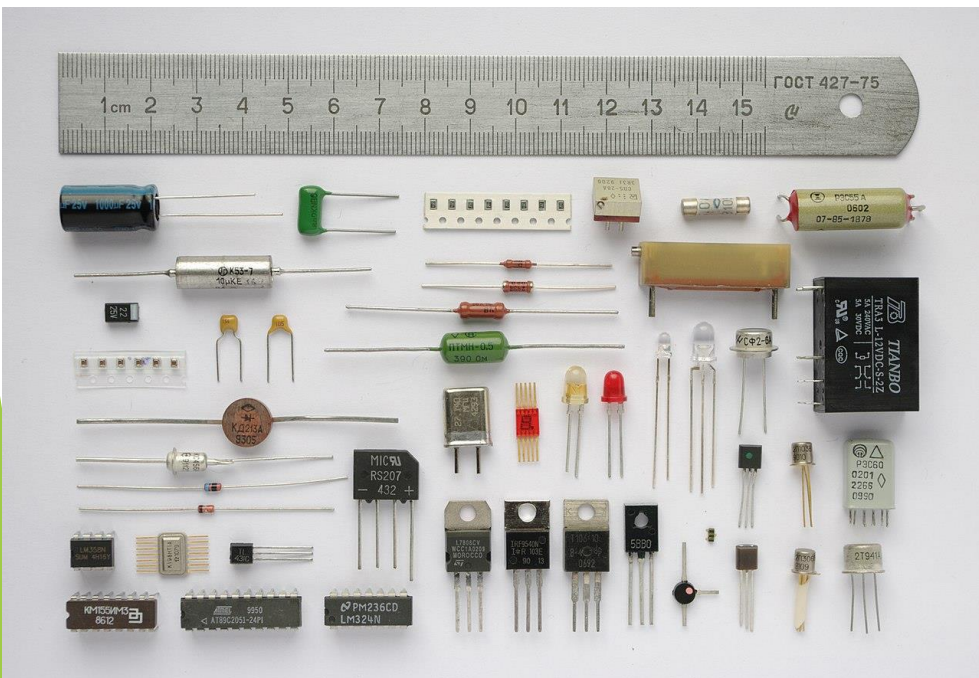
Historický vývoj a význam

- ▶ Dalším skúmaním tepelných účinkov elektriny a vzťahov medzi elektrinou a magnetizmom došlo ku významným objavom umožňujúcim praktické využitie elektriny na svietenie, výrobu elektrických strojov a ich ovládaní
 - ▶ Tento odbor nazvali **ENERGETIKA**
 - ▶ Energetika nám zaisťuje výrobu, distribúciu a využitie elektrickej energie v závodoch a domácnostiach, poskytuje svetlo, teplo a poháňa rôzne stroje, zariadenia a prístroje.



Historický vývoj a význam

- ▶ Objavom polovodičov a ich využitím pre komunikáciu bola otvorená nová oblasť pre skúmanie a vynálezy
 - ▶ Tento vedný odbor nazvali **ELEKTRONIKA**
 - ▶ Elektronika využíva poznatky na návrh, výrobu a využitie elektronických zariadení
 - ▶ Poznáme ju aj ako informačnú elektroniku, priemyselnú elektroniku, riadiacu elektroniku, lekársku elektroniku, telekomunikačnú elektroniku, výkonovú atď.



Historický vývoj

- Počas 19. storočia bol navrhnutý teoretický aj praktický základ elektrotechniky. Z dlhej rady fyzikov, chemikov, vynálezcov, konštruktérov a schopných podnikateľov, ktorí sa o rozvoj elektrotechniky zaslúžili sú najvýznamnejší:

Alessandro VOLTA (1745 - 1827)



Taliansky fyzik, ktorý bol členom Kráľovskej spoločnosti v Londýne a Francúzskej akadémie vied. Patril k zakladateľom elektrodynamiky. Nadviazal na Galvaniho pokusy a zistil, že zdrojom elektrického prúdu sa môže stať vhodná kombinácia kovových elektród, ponorených do elektrolytu. Zostrojil prvú elektrickú batériu. Na jeho počesť bola jednotka napätia nazvaná **volt**.

André Marie AMPÉRE (1775 - 1836)



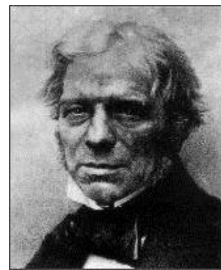
Tento francúzsky fyzik a matematik objavil dôležité zákony v odbore elektromagnetizmu, nazvané jeho menom (Ampérov zákon, Ampérove pravidlo). Dokázal, že cievka s prúdom sa chová ako magnet, navrhoval konštrukcie meracích prístrojov. Okrem fyziky sa venoval aj chémii, psychológii a botanike. Na jeho počesť bola jednotka elektrického prúdu nazvaná **ampér**.

Georg Simon OHM (1787 - 1854)



Významný nemecký fyzik, ktorý bol členom Kráľovskej spoločnosti v Londýne. Zaoberal sa problémami z oblasti akustiky (konštrukcie sirén, fyzikálnou podstatou počutia, interferenčnými javmi). Najznámejší sa však stal objavom jedného zo základných zákonov elektrotechniky o vzťahu medzi prúdom, napätím a odporom, nazvaného jeho menom. Na jeho počesť bola jednotka odporu nazvaná **ohm**.

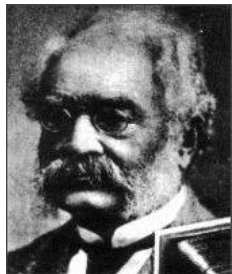
Michael FARADAY (1791 - 1867)



Britský fyzik a chemik, člen významných vedeckých spoločností. Zaoberal sa hlavne elektrinou a vzťahom medzi elektrickými a magnetickými javmi. Objavil elektromagnetickú indukciu, samoindukciu, diamagnetismus a zákony elektrolýzy. Do fyziky a techniky zaviedol pojem elektrických siločiar a magnetických indukčných čiar. Jeho objavy neskôr priviedli J.C.Maxwella k vytvoreniu ucelenej teórie elektromagnetického poľa. Na jeho počesť bola jednotka kapacity nazvaná **farad**.

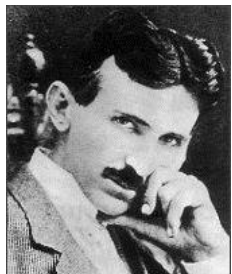
Historický vývoj

Werner von SIEMENS (1816 - 1892)



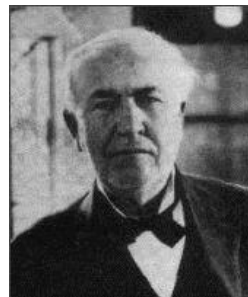
Nemecký vynálezca, ktorý dokázal priviesť vtedajšie znalosti o elektrine a magnetizme až k ich praktickému využitiu. Jedným z jeho prvých vynálezov bol nový typ telegrafného prístroja pre poštu a armádu. Neskôr sa jeho podnik stal významným výrobcom telefónov. 4. 12. 1866 skonštruoval prvý dynamoelektrický stroj, ktorý sa stal predchodcom dnešných generátorov elektrického prúdu. K ďalším vynálezom patria jednosmerný elektromotor, elektrická lokomotíva, elektrický výťah. Jeho menom bola nazvaná jednotka vodivosti **siemens**.

Nikola TESLA (1856 - 1943)



Americký technik a vynálezca chorvátskeho pôvodu. Na začiatku spolupracoval s T. A. Edisonom, ale na rozdiel od neho sa stal priekupníkom využívania striedavého prúdu. K najvýznamnejším vynálezom patria viacfázové asynchrónne motory a vysokofrekvenčný generátor. Pokúšal sa o diaľkový prenos energie pomocou vysokofrekvenčných prúdov. Na jeho počesť bola jednotka magnetické indukcie nazvaná **tesla**.

Thomas Alva EDISON (1847 - 1931)



Tento slávny americký vynálezca a podnikateľ bol priekupníkom všestranného využitia elektrickej energie, hlavne jednosmerného prúdu. So svojimi početnými spolupracovníkmi získal asi 1300 patentov. K jeho najvýznamnejším vynálezom patria napr. písací stroj (1871), uhlíkový reostat (1876), fonograf (1877), mikrofón (1878), žiarovka (1879), dynamo (1881), poistka (1885), akumulátor (1900), elektromobil (1902) ...

Jozef MURGAŠ (1864 - 1929)



Rímskokatolícky kňaz, maliar a slovenský vynálezca, priekopník bezdrôtovej telekomunikácie. Pravdepodobne ako prvý na svete uskutočnil rádiový prenos hovoreného slova. V roku 1903 podal vo Washingtone prihlášku na dva patenty: Zariadenie na bezdrôtovú telegrafiu a druhý Spôsob prenášania správ bezdrôtovou telegrafiou (schválené v roku 1904). Výsledkom jeho ďalšej práce boli patenty napr. vlnomer, elektrický transformátor, zariadenie na výrobu elektromagnetických vln, bezdrôtová telegrafia, prístroj na výrobu elektrických oscilácií atď. Jeho najvýznamnejším objavom, ale zostáva dosiahnutie bezdrôtového prenosu hovoreného slova pred svedkami, čím sa zapísal do histórie ako vynálezca rádia (1905).

Zrýchlený chronologický zoznam histórie a vývoja elektrotechniky

- 600 - pr. n. l. – popis príťažlivých síl vznikajúcich trením jantáru // Thales
- 1600 - prvé poznatky o elektrine získanej trením // Gilbert W.
- 1663 - prístroj na výrobu elektriny trením // Guericke O.
- 1729 - rozdelenie látok na vodiče a nevodiče // Gray St.
- 1733 - rozlíšenie kladnej a zápornej elektriny // Du Fay
- 1752 - dôkaz elektrickej povahy blesku, hromozvod // Franklin B.
- 1784 - vzťahy o príťažlivých silách medzi nábojmi // Coulomb Ch. A.
- 1789 - podnet k získaniu zdroja elektrického prúdu, tzv. živočíšna elektrina // Galvani L.
- 1796 - galvanický článok na výrobu el. prúdu //Volta A.
- 1800 - uskutočnená elektrolýza vody // Carlisle A.
- 1802 - objav a popis elektrického oblúku // Petrof V. V.
- 1809 - elektrický telegraf // Sömmering S. T.
- 1811 - elektrická oblúčková lampa // Davy H.
- 1820 - pôsobenie elektrického prúdu na magnetku // Oersted H. Ch.
- 1821 - objavenie termoelektriny // Seebeck T. J.
- 1824 - základy elektromagnetizmu a elektrodynamiky // Ampere A. M.
- 1825 - Magnetizácia železa elektrickým prúdom, elektromagnet // Gay-Lussac L. J.
- 1826 - vzťah medzi elektrickým prúdom, napätím a odporom, Ohmov zákon // Ohm G. S.
- 1828 - prvý elektrický motor //Barlow P.
- 1831 - objav elektromagnetickej indukcie, základy teórie elektromagnetického poľa // Faraday M.

Zrýchlený chronologický zoznam histórie a vývoja elektrotechniky

- 1833 - Pravidlo o smere indukovaného prúdu // Lenz H. F. E.
- 1834 - elektromagnetický telegraf // Gauss K. F. // Weber W. E.
- 1834 - elektromotor na jednosmerný prúd // Jacobi M. H.
- 1835 - závislosť elektrického odporu na teplote // Lenz H. F. E.
- 1837 - Morseov telegraf a abeceda // Morse S. F. B.
- 1838 - objav galvanoplastiky // Jacobi M. H.
- 1841 - zákon o premene elektrickej energie v tepelnú energiu // Joule J. P.
- 1850 - výpočet elektrických prúdov v rozvetvených obvodoch // Kirchhoff G. R.
- 1851 - konštrukcia indukčnej cievky // Ruhmkorff H. D.
- 1855 - prví diaľkopis // Hughes D. E.
- 1859 - objav katódových paprskov // Plücker J.
- 1860 - olovený akumulátor // Planté G. R.
- 1861 - telefónny mikrofón // Reis J. P.
- 1864 - teória elektromagnetického poľa // Maxwell J. C.
- 1866 - konštrukcia dynama // Siemens W.
- 1876 - elektrický telefón // Bell A. G.
- 1877 - tonograf (gramofón) a mikrofón // Edison T. A.
- 1877 - trubice katódových paprskov // Braun K. E.
- 1878 - regulácia elektrického oblúku lampy // Křižík F.
- 1879 - uhlíková žiarovka // Edison T. A.
- 1879 - elektrická pouličná dráha // Siemens W.
- 1882 - prenos elektrickej energie na vzdialenosť 57 km // Depréz M.
- 1882 - prvá verejná elektráreň

Zrýchlený chronologický zoznam histórie a vývoja elektrotechniky

- 1885 - otáčavé magnetické pole a indukčný motor // Ferraris G. // Tesla N.
- 1886 - elektrolytická priemyslová výroba hliníka // Héroult P. L. T.
- 1888 - objavenie elektromagnetických vln // Hertz H.
- 1888 - objav fotoelektrického javu // Hallwachs W. L. F.
- 1889 - trojfázový generátor a trojfázový rozvod // Dolivo-Dobrovolskij M.
- O.
- 1891 - princíp kinematografu (biograf) // Edison T. A.
- 1891 - konštrukcia transformátora // Tesla N.
- 1893 - konštrukcia fotónky // Geitel H. F.
- 1895 - röntgenové žiarenie (lúče X) // Röntgen W. C.
- 1896 - objav prirodzenej rádioaktivity // Becquerel H.
- 1897 - bezdrôtový telegraf // Marconi G. M.
- 1897 - zmeranie elektrického náboja iontov // Townsen J.
- 1898 - konštrukcia obrazovky // Braun K. F.
- 1900 - žiarovka s kovovým vláknom // Auer K.
- 1901 - zákon o emisii elektrónov z rozžeravených kovov // Richardson O. W.
- 1902 - prirodzený rádioaktívny rozpad // Rutheford E. // Poulsen V.
- 1903 - vysielateľ netlmených elektrických kmitov // Poulsen V.
- 1903 - základy elektrónovej teórie atómu // Thomson J. J.
- 1904 - konštrukcia diódy // Fleming J. A.
- 1905 - špeciálna teória relativity // Einsten A.
- 1906 - konštrukcia zosilňovacej elektrónky // Forest L. // Lieben R.
- 1909 - stanovenie hmotnosti a náboja elektrónu // Millikan R.
- 1912 - vynález osvetlenia majáku // Dalén N. G.
- 1913 - vytvorenie modelu atómu // Bohr N.
- 1915 - elektrónkový vysielateľ // Forest L.
- 1916 - obecná teória relativity // Einstein A.

Zrýchlený chronologický zoznam histórie a vývoja elektrotechniky

- 1919 - prvá umelá jadrová premena // Rutheford E.
- 1922 - základy polarografie // Heyrovský J.
- 1926 - prvý televízny prenos // Baird J. L.
- 1932 - teória o zložení atómového jadra z protónov a neutrónov // Heisenberg W. K // Tamm I. J. // Ivaněnko D. D.
- 1934 - objav umelej rádioaktivity // manželvia Curieovú
- 1934 - štiepenie prvkov neutrónmi // Fermi E.
- 1935 - konštrukcia radaru // Watson-Watt R. A.
- 1938 - štiepenie jadra uránu // Hahn O. // Strassmann F.
- 1939 - prenos farebnej televízie // Baird J. L.
- 1942 - prvú jadrovú reaktor // Fermi E.
- 1948 - objav tranzistorov // Brattain W. H. // Bardeen J. // Shockley W. B.
- 1950 - návrh na riadenie termojadrovej reakcie // Tamm I. J. // Sacharov A. D.
- 1950 - elektrónový mikroskop // Müller E. W.
- 1951 - neradená termojadrová reakcia (vodíková pumpa) // Teller E.
- 1954 - objav laseru // Townes Ch. H. // Prochorov A. M. // Basov N. G.

- 1954 - prvá atómová elektrárňa // SSSR
- 1957 - prvá umelá družica Zeme // SSSR
- 1958 - pokusná telekomunikačná družica // USA
- 1958 - objav laseru // Basov N. G. // Prochorov A. M. // Townes Ch. H.
- 1959 - prenos fotografických obrázkov prevrátenej strany Mesiaca // SSSR
- 1962 - prenos televíznych programov pomocou družice Telstar // USA
- 1966 - prenos televíznych obrázkov z povrchu Mesiaca // SSSR
- 1972 - počítač s laserovou pamäťou // USA
- 1979 - prvá kompaktná doska (CD)
- 1986 - v strojárenských prevádzkach sú prvú krát využité laserové roboty
- 90-te roky - rýchly rozvoj technológií, vývoj materiálov, výroba zariadení, zdokonaľovanie mobilných zariadení, vesmírne družice, zmeňovanie elektronických súčiastok, vývoj softvéru a mnoho ďalšieho... Aby technologické a elektronické zariadenia, postupy a metódy uľahčili život ľudí.

Základné pojmy - jednotková sústava SI

► 7 základných veličín a jednotiek

| Názov | Značka | Veličina |
|----------|--------|------------------------|
| meter | m | dĺžka |
| kilogram | kg | hmotnosť |
| sekunda | s | čas |
| ampér | A | elektrický prúd |
| kelvin | K | termodynamická teplota |
| kandela | cd | svietivosť |
| mol | mol | látkové množstvo |

Vedľajšie jednotky sústavy SI

| Názov | Značka | Veličina |
|----------------|--------|--------------|
| hodina | h | čas |
| minúta | min | čas |
| deň | d | čas |
| tona | t | hmotnosť |
| liter | l | objem |
| celziov stupeň | °C | teplota |
| elektrónvolt | eV | energia |
| uhlový stupeň | ° | rovinný uhol |

Násobky jednotiek

| násobok | predpona | značka |
|-----------|----------|--------|
| 10^3 | kilo- | k |
| 10^6 | mega- | M |
| 10^9 | giga- | G |
| 10^{12} | tera- | T |
| 10^{15} | peta- | P |
| 10^{18} | exa- | E |

Diely jednotiek

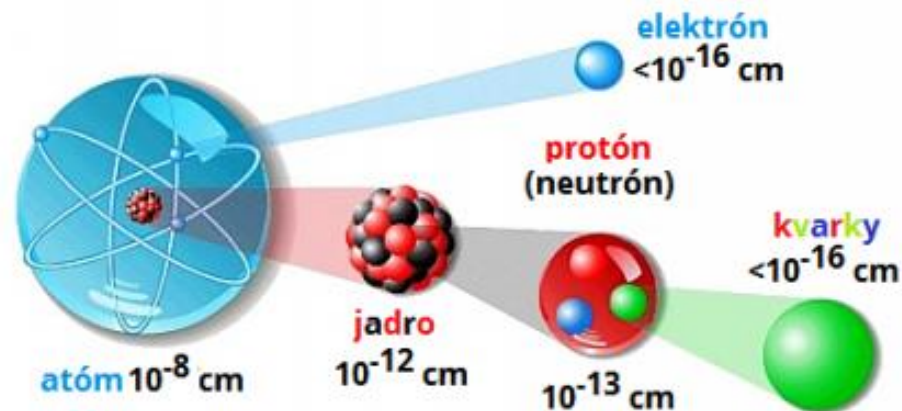
| diel | predpona | značka |
|------------|----------|--------|
| 10^{-3} | mili- | m |
| 10^{-6} | mikro- | μ |
| 10^{-9} | nano- | n |
| 10^{-12} | piko- | p |
| 10^{-15} | femto- | f |
| 10^{-18} | atto- | a |

Odvodené jednotky - sú odvodené od základných jednotiek pomocou fyzikálnych veličín

| Názov | Značka | Veličina | Rozmer |
|------------------|------------------|---------------------|---|
| štvorcový meter | m^2 | plošný obsah | m^2 |
| kubický meter | m^3 | objem | m^3 |
| meter za sekundu | m/s | rýchlosť | $m \cdot s^{-1}$ |
| newton | N | сила | $kg \cdot m \cdot s^{-2}$ |
| joule | J | práca | $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$ |
| watt | W | výkon | $kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$ |
| coulomb | C | elektrický náboj | A.s |
| volt | V | elektrické napätie | $kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$ |
| farad | F | elektrická kapacita | $kg^{-1} \cdot m^2 \cdot s^4 \cdot A^2$ |
| ohm | elektrický odpor | Ω | $kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$ |
| siemens | S | elektrická vodivosť | $kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^3 \cdot A^2$ |

Elektrický prúd - náboje v pohybe

- ▶ Prví fyzici sa zaoberali elektrickými javmi, pričom nemali ani tušenie o ich podstate.
- ▶ Napriek tomu sa im podarilo objaviť veľa zákonitostí, ktorými sa tieto javy riadia.
- ▶ Dnes vieme, že elektrické vlastnosti látok sú ukryté vo vnútri atómu, ktorý sa skladá zo záporne nabitých elektrónov a kladne nabitého jadra. Jadro je zložené z kladných protónov a neutrónov bez elektrického náboja.
- ▶ V atóme je počet elektrónov a protónov rovnaký, preto je atóm navonok elektricky neutrálny.



- ▶ Rôzne látky majú rôznu schopnosť prenášať elektrický náboj - hovoríme, že majú rôznu vodivosť.
- ▶ Vodivosť látok závisí od počtu voľných nábojov v ich štruktúre - môžu nimi byť buď voľné elektróny (v kovoch), alebo kladné a záporné ióny (v kvapalinách a plynch). Podľa vodivosti rozdeľujeme látky do troch skupín:

Elektrický prúd - náboje v pohybe

- ▶ **VODIČE** - obsahujú veľké množstvo voľných nábojov, ktoré sa môžu pôsobením elektrického poľa vo vodiči premiestňovať.
 - ▶ Patria sem: kovy (striebro, meď, hliník), vodné roztoky solí a kyselín, ľudské telo, niektoré plyny
- ▶ **NEVODIČE** - neobsahujú takmer žiadne voľné náboje a preto majú veľmi malú až zanedbateľnú vodivosť. Nevodiče sa nazývajú aj izolanty alebo dielektriká.
 - ▶ Patria sem: sklo, porcelán, guma, niektoré plasty, suchý vzduch a pod.
- ▶ Dokonalý vodič ani dokonalý izolant však neexistuje.
- ▶ **POLOVODIČE** - ich vodivosť leží medzi vodičmi a nevodičmi, počet voľných nábojov v ich štruktúre sa môže meniť napr. zmenou teploty alebo osvetlenia
 - ▶ Najznámejší polovodič je kremík, z ktorého sa vyrábajú polovodičové súčiastky od najjednoduchších súčiastok až po najzložitejšie mikroprocesory



Medená ruda



Medený vodič s izoláciou



PVC granulát - izolačný materiál



Kremík



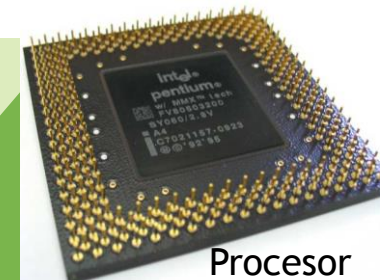
Germánium



Dióda



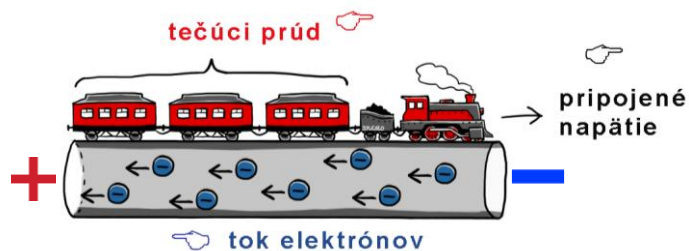
Tranzistor



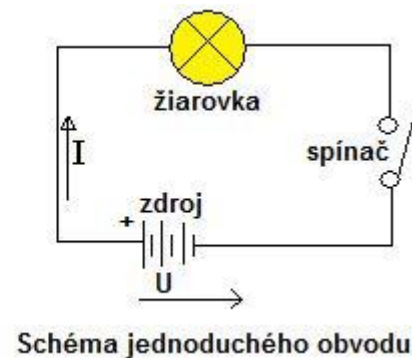
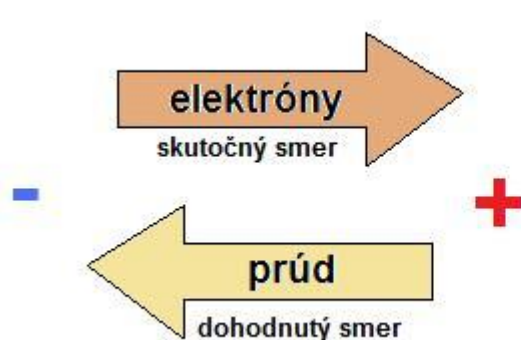
Procesor

Elektrický prúd - náboje v pohybe

- ▶ **Elektrický prúd** je usporiadaný pohyb voľných elektrických nábojov (elektrónov, iónov) pôsobením vonkajšieho elektrického poľa. Aby vodičom prechádzal elektrický prúd, musí byť tento vodič pripojený ku zdroju napätia.
- ▶ Smer elektrického prúdu bol určený dohodou - od kladného ku zápornému pólu zdroja napätia.
- ▶ Fyzikálna veličina elektrický prúd má značku I a jednotku **A** (ampér).
- ▶ Fyzikálna veličina elektrické napätie má značku **U** a jednotku **V** (volt).



Ak pripojíme ku kovovému vodiču zdroj napätia, vznikne medzi koncami vodiča elektrické pole. Pôvodne neusporiadaný pohyb voľných elektrónov v kove sa zmení - elektróny sa začnú pohybovať usporiadane od záporného pólu ku kladnému (takýto usporiadaný pohyb sa volá elektrický prúd)



Elektrický prúd - Ohmov zákon

- ▶ Ohmov zákon vyjadruje vzťah medzi elektrickým prúdom, napätím zdroja a odporom spotrebiča.
- ▶ Znenie zákona:
 - ▶ Elektrický prúd I pretekajúci vodičom (obvodom) je tým väčší, čím väčšie je napätie U a čím menší je odpor vodiča R (obvodu).
 - ▶ Elektrický prúd I pretekajúci vodičom s konštantným odporom R je priamo úmerný napätiu U medzi koncami vodiča.
 - ▶ $R = \frac{U}{I}$ [Ω], $I = \frac{U}{R}$, $U = R \cdot I$

▶ Odpor kovového vodiča

- ▶ Príčinou elektrického odporu kovov sú predovšetkým zrážky voľných elektrónov s kladnými iónmi kryštálovej mriežky. Odpor závisí na:

- ▶ Mernom odpore ρ (ró), jednotka je ohm.meter = $\Omega \cdot m$ (charakterizuje materiál)
- ▶ Dĺžke vodiča l , jednotka meter = m
- ▶ Kolmom priereze vodiča S , jednotka meter štvorcový = m^2
- ▶ Teplotnom súčiniteli odporu α (alfa), jednotka K^{-1}
- ▶ Teplote t

- ▶ $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$ $R_t = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta t)$, kde R_0 je počiatočná teplota vodiča, R_t je teplota vodiča po zahriatí a Δt je rozdiel teplôt

- ▶ Odpor kovových vodičov rastie pri zahrievaní približne lineárne. Teplotný súčiniteľ odporu α je kladný

| kov | merný odpor ($10^{-6} \Omega \cdot m$) | teplotný súčiniteľ ($10^{-3} K^{-1}$) |
|--------|---|--|
| ocel' | 0,15 | 5,0 |
| meď | 0,018 | 4,0 |
| hliník | 0,027 | 4,0 |

Ďakujem za pozornosť