KRATAK PREGLED RAZVOJA ELEKTROTEHNIKE I ELEKTRONIKE

- PRVA ZNANJA O ELEKTRIČNIM POJAVAMA: PNE (AKO SE KOMAD ĆILIBARA PROTRLJA VUNENOM TKANINOM I ĆILIBAR I TKANINA STIČU OSOBINU DA PRIVLAČE LAKE PREDMENTE)
- OKO 1600 GOD. DŽILBERT DAO NAZIV OVIM TELIMA ELEKTRIČNA TELA PO REČI ELEKTRON – ĆILIBAR
- DI FE 1733 SVOJIM EKSPERIMENTIMA POKAZAO DA POSTOJE DVA RAZLIČITA NAELEKTRISANJA KOJE JE BENDŽAMIN FRANKLIN NAZVAO POZITIVNIM I NEGATIVNIM
- 1781 ŠARL KULON ODREĐUJE SILU KOJA DELUJE IZMEĐU DVA NAELEKTRISANJA Q1 I Q2

$$F = k\frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

- 1800. VOLT NAPRAVIO PRVU MODERNU BATERIJU VOLTIN STUB
- ERSTED 1819 OTKRIO MAGNETSKO DEJSTVO ELEKTRICITETA
- 1820 ANDRE AMPER UTVRDIO POSTOJANJE PRIVLAČNIH I ODBOJNIH SILA IZMEĐU PROVODNI8KA I UVEO NAZIVE ELEKTRIČNA STRUJA I NAPON
- 1821 ZEBEK JE OTKRIO TERMOELEKTRIČNI EFEKAT
- 1827 OM OPISUJE JEDAN OD OSNOVNIH ZAKONA ELEKTROTEHNIKE – OMOV ZAKON $$I = GE = \frac{E}{R}$$
- MAJKL FARADEJ – ELEKTROMAGNETSKA INDUKCIJA, UVEO POJAM ELEKTROLIZE I NAZIVE ELEKTROLIT, ANODA, KATODA.
- 1833 ELEKTROMAGNETNI MOTOR, ELEKTRIČNI TELEGRAF...
- 1841 DŽUL JE DO FORMULU PO KOJOJ SE RAČUNA ELEKTRIČNA ENERGIJA KOJA SE U OTPOIRNIKU PRETVORI U TOPLOTU

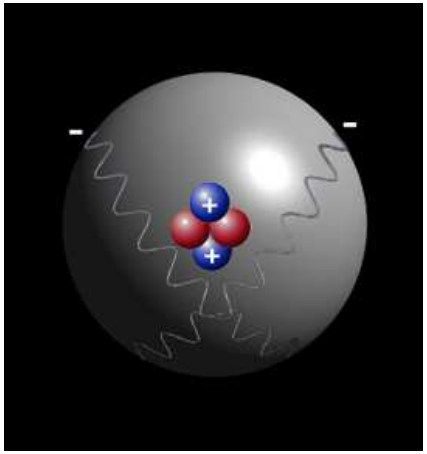
$$W = RI^2t$$

- 1845 KURHOFOVI ZAKONI
- 1855 DŽEJMS MAKSVEL FORMULIŠE TEORIJU ELEKTROMAGNETSKOG POLJA
- 1876 BEL PATENTIRA TELEFON
- 1879 EDISON DEMONSTRIRA ELEKTRIČNU SVETILJKU
- 1903 FLEMING RAZVIJA TERMOELEKTRONSKU CEV SA DVE ELEKTRODE
- 1906 FOREST RAZVIJA VAKUUMSKU CEV KOJA OMOGUĆAVA POJAČANJE RADIO SIGNALA
- PRVA POLOVINA 20. VEKA OKARAKTERISANA JE DOMINACIJOM ELEKTRONSKIH CEVI.
- 1948 IBM PREZENTUJE RAČUNAR KOJI SE SASTOJI OD 12500 ELEKTRONSKIH CEVI I 21400 RELEA
- 1948 U BEL LABORATORIJAMA KONSTRUISAN TRANZISTOR(BARDIN , BRETEN I ŠOTKI DOBILI NOBELOVU NAGRADU 1956)
- TRANZISTOR ZATIM BRZO POČINJE DA ZAMENJUJE ELEKTRONSKE CEVI

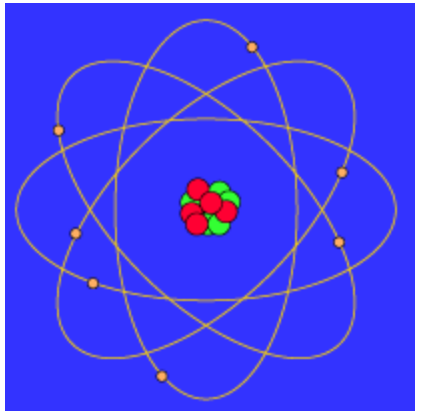
- OTKRIĆE TRANZISTORA DOPRINELO JE MINIJATURIZACIJI ELEKTRONSKIH KOMPONENATA
- KRAJEM PEDESETIH RAZVIJENA SU PRVA INTEGRISANA ELEKTRONSKA KOLA
- SEDAMDESETIH INTEGRISANA KOLA MASOVNO ZAMENJUJU DISKRETNE KOMPONENTE
- DANAS IMAMO:
- KOLA MALOG STEPENA INTEGRACIJE (SMALL SCALE INTEGRATION - SSI) DO 100 KOMPONENATA (STANDARDNA LOGIČKA KOLA I FLIP FLOPOVI)
- KOLA SREDNJEG STEPENA INTEGRACIJE (MSI) – OD 100-1000 KOMPONENATA (SLOŽENIJA KOMBINACIONA I SEKVENCIJALNA KOLA)
- KOLA VELIKOG STEPENA INTEGRACIJE (LSI) – OD 1000-10000 KOMPONENATA(SLOŽENIJI SPECIJALIZOVANI DIGITALNI SISTEMI)
- KOLA VRLO VELIKOG STEPENA INTEGRACIJE (VLSI) – PREKO 10000 KOMPONENATA (SLOŽENI DIGITALNI SISTEMI, MIKROPROCESORI, MEMORIJE..)
- NAJKOMPLEKSNIJA SAVREMENA DIGITALNA VLSI KOLA SADRŽE OKO 125 000000 KOMPONENATA

ATOMSKA STRUKTURA MATERIJE

- ELEKTRONIKA – OBLAST FIZIKE KOJA SE BAVI EMISIJOM, PONASANJEM I DELOVANJEM ELEKTRONA, I ELEKTRONSKIM UREDJAJIMA
- ATOM – NAJMANJA JEDINICA (CESTICA) HEJMISKOG ELEMENTA KOJA SADRZI SVE NJEGOVE OSOBINE
- ATOMI SE SATOJE OD: ELEKTRONA, PROTONA I NEUTRONA



http://en.wikipedia.org/wiki/Atom



http://csep10.phys.utk.edu/astr162

- ELEKTRONI SU NEGATIVNO NAELEKTRISANE CESTICE I IMAJU NAJMANJU MASU
- PROTONI SU POZITIVNO NAELEKTRISANE CESTICE I IMAJU OKO 1836 PUTA VECU MASU OD ELEKTRONA
- NEUTRONI SU NEUTRALNE CESTICE I IMAJU OKO 1838 PUTA VECU MASU OD ELEKTRONA
- ELEKTRON JE NEDELJIVA ELEMENTARNA CESTICA
- NAELEKTRISANJE ELEKTRONA JE UZETO ZA ELEMENTARNO NAELEKTRISANJE (KVANT NAELEKTRISANJA):

$$q_e = 0.160219 \cdot 10^{-18}\, C$$

- MASA ELEKTRONA

$$m_e = 0.91095 \cdot 10^{-30}\, kg$$

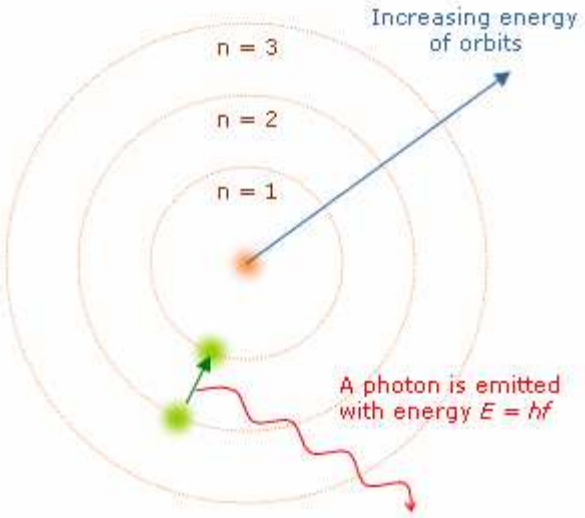
- POLUPREČNIK ATOMA 10^{-10} m
- POLUPREČNIK JEZGRA: $2\ 10^{-15} – 10\ 10^{-15}$ m
- KONCENTRACIJA ATOMA U ČVRSTIM TELIMA

  10^{28}-10^{30} ATOMA U m^3

- UKUPNO NAELEKTRISANJE ATOMA U NORMALNOM STANJU JE NULA. POTPUNI ATOMI NE DELUJU JEDNI NA DRUGE ELEKTRIČNIM SILAMA SEM NA VRLO BLISKOM RASTOJANJU. TELO CIJI SU SVI ATOMI ELEKTRIČNO NEUTRALNI JE ELEKTRIČNO NEUTRALNO.

- ELEKTRON MOŽE DA NAPUSTI ATOM UDALJAVANJEM IZVAN UTICAJA JEZGRA – U TOM SLUČAJU ATOM POSTAJE POZITIVAN JON

BOROV MODEL ATOMA



- ELEKTRONI MOGU DA SE NAĐU U ODREĐENIM FIKSNIM ORBITAMA

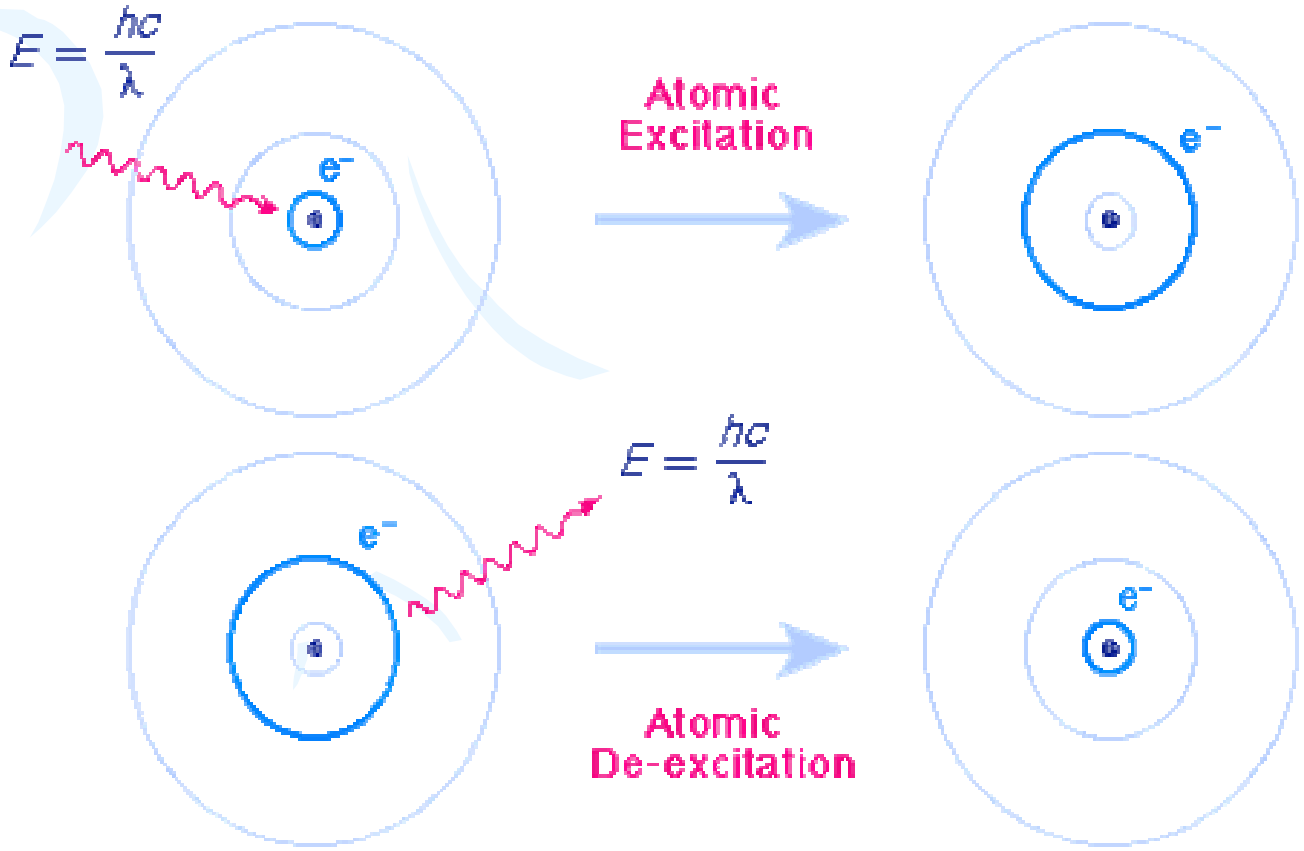
$$mvr = n\frac{h}{2\pi}$$

- PRI PRELASKU SA PUTANJE SA ENERGIJOM **W1** NA ORBITU SA ENERGIJOM **W2** EMITUJE SE ELEKTOMAGNETSKO ZRAČENJE
- ELEKTRON NE MOŽE DA POSEDUJE BILO KOJU ENERGIJU VEĆ SAMO DISKRETNE VREDNOSTI

$$W_n = -\frac{W_1}{n^2}, \quad n = 1,2,3,...$$

- UDALJENOST PUTANJE ELEKTRONA OD JEZGRA ODREDJENA JE ENERGIJOM KOJU TAJ ELEKTRON POSEDUJE. ZATO SE POSMATRAJU ENERGETSKI NIVOI ELEKTRONA

EKCITACIJA I DEEKSCITACIJA ATOMA



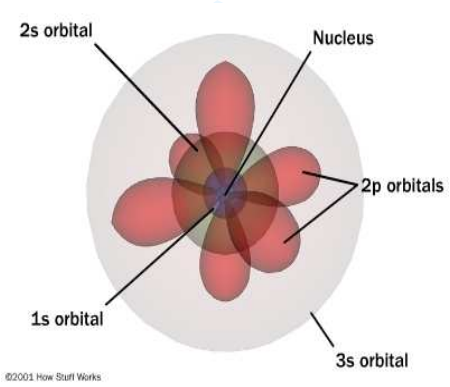
http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/light/bohr.html

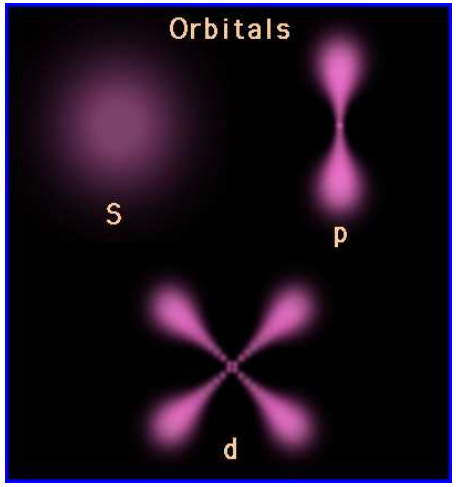
- ENERGETSKI NIVOI ELEKTRONA SE IZRAŽAVAJU U ELEKTRONVOLTIMA.

  1 eV= 0.160219 10^(-18) J
- ELEKTRONI U ATOMU KOJI SE NALAZE U NORMALNOM STANJU ZAUZIMAJU NAJNIŽE ENERGETSKE NIVOE
- BOROV MODEL JE JEDNOSTAVAN I POGODAN ZA UVOĐENJE KVANTNIH POJAVA
- DANAS POSTOJE PRECIZNIJI I POTPUNIJI MODLEI: MOGUĆE VREDNOSTI ENERGETSKIH NIVOA ELEKTRONA ODREĐENE SU SA 4 KVANTNA BROJA: GLAVNI KVANTNI BROJ n, ORBITALNI KVANTNI BROJ l, MAGNETNI KVANTNI BROJ m I SPIN s.
- GRUPE ELEKTRONA KOJE IMAJU ISTI KVANTNI BROJ n OBRAZUJU ELEKTRONSKE LJUSKE (K,L,M...)

  ZA SVAKU LJUSKU POSTOJI MAKSIMALAN BROJ ELEKTRONA KOJI SE U NJOJ MO\E NACI (K-2,L-8,N-18,N-32)

- PREMA PRINCIPU ISKLJUCIVOSTI (PAULI) U SVAKOM ATOMU U ODREDJENOM KVANTNOM STANJU MOZE BITI SAMO JEDAN ELEKTRON
- ELEKTRONI U ATOMU NORMALNOM STANJU ZAUZIMAJU SVOJE NAJNIZE ENERGIJSKE NIVOE
- ELEKTRONI KOJI PRIPADAJU SPOLJNOJ ELEKTRONSKOJ LJUSCI IMAJU NAJVECU ENERGIJU I NAJSLABIJE SU VEYANI ZA JEZGRO- **VALENTNI ELEKTRONI**
- VALENTNI ELEKTRONI UCESTUJU U HEMIJSKIM REAKCIJAMA, POJAVAMA PROVODNOSTI I SVETLOSNIM POJAVAMA

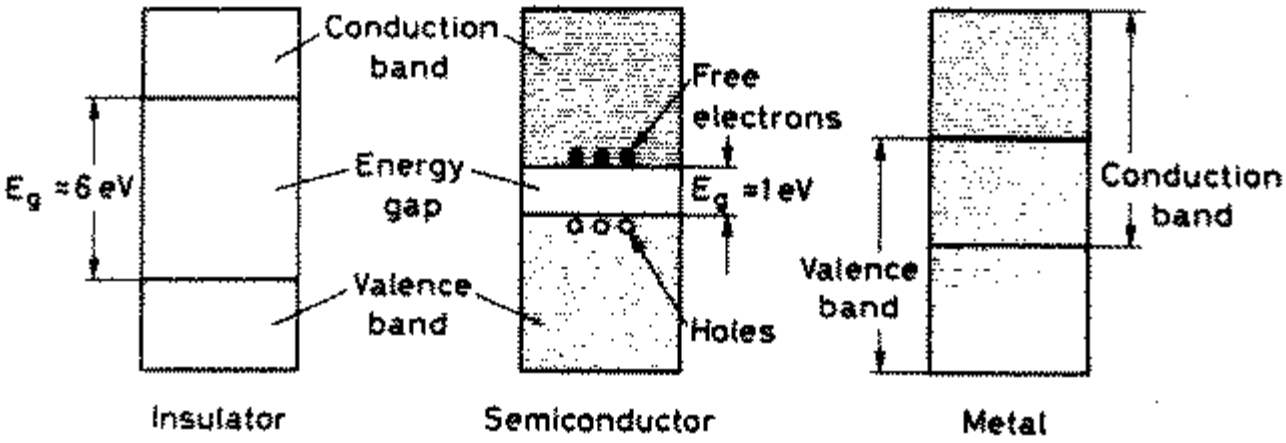




ENERGETSKE ZONE ELEKTRONA

- KADA SE ATOMI NALAZE U NEPOSREDNOJ BLIZINI USLED UZAJAMNOG DELOVANJA ATOMA DOLAZI DO PROMENE ENERGETSKIH STANJA ELEKTRONA (DOLAZI DO CEPANJA ENERGETSKIH NIVOA)
- U KRISTALIMA U KOJIMA POSTOJI VELIKI BROJ ATOMA KOJI SU DOVOLJNO BLIZU JEDNI DRUGIMA DOLAZI DO POJAVE **ENERGETSKIH ZONA**
- IYMEDJU ENERGETSKIH ZONA POSTOJE ZONE ENERGIJE KOJE ELEKTRONI NE MOGU IMATI- Z**ABRANJENE ZONE** ILI **ENERGETSKI PROCEPI**
- DA BI ELEKTRON PREŠAO IZ NIŽE ENERGETSKE ZONE U VIŠU MORA MU SE NA NEKI NAČIN DATI ENERGIJA KOJA JEDNAKA NAJMANJE ŠIRINI ENERGETSKOG PROCEPA

- OD POSEBNOG ZNAČAJA ZA ELEKTRIČNE OSOBINE ČVRSTIH TELA SU DVE NAJVIŠE ENERGETSKE ZONE: **PROVODNA I VALENTNA ZONA**
- ELEKTRONI U NAJVIŠOJ (PROVODNOJ) ZONI SU SASVIM LABAVO VEZANI ZA SVOJE ATOME



- **IZOLATORI-** VALENTNA ZONA JE PUNA, A ENERGIJSKI PROCEP IZMEĐU VALENTNE I PROVODNE ZONE ŠIROK (REDA VELIČINE 15 eV); U NORMALNIM USLOVIMA U PROVODNOJ ZONI PRAKTIČNO NEMA ELEKTRONA
- **PROVODNICI –** VALENTNA ZONA I PROVODNA ZONA SE PREKLAPAJU; TE DVE ZONE SU DELIMIČNO POPUNJENE ; LABAVO VEZANI ELEKTRONI IZ PROVODNE ZONE JEDNOG ATOMA PRELAZI POD DEJSTVOM POLJA U NEPOPUNJENU ZONU DRUGOG ATOMA
- **POLUPROVODNICI –** ENERGIJSKI PROCEP IZMEĐU VALENTNE I PROVODNE ZONE JE MANJI REDA VELIČINE 1 eV ; ZBOG TOGA NA SOBNOJ TEMPERATURI IZVESTAN BROJ ELEKTRONA PRELAZI U PROVODNU ZONU

ELEKTRIČNA STRUJA

- UREĐENO USMERENO KRETANJE NOSILACA NAELEKTRISANJA
- TRI VRSTE SLOBODNIH NOSIOCA NAELEKTRISANJA:SLOBODNI ELEKTRONI, POZITIVNI I NGATIVNI JONI
- ELEKTRIČNA STRUJA: $$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

GUSTINA ELEKTRIČNE STRUJE

$$I = \int_S \vec{J}\, d\vec{S} \qquad \vec{J} = Nq\vec{v}$$

- PRIBLIŽNA VREDNOST MAKSIMALNO DOZVOLJENE STRUJE U BAKARNIM PROVODNICIMA KOJI SE KORISTE U STAMBENIM OBJEKTIMA JE **6 A/mm^2**

ELKTRIČNA PROVODNOST I ELEKTRIČNA OTPORNOST

- KADA SE SLOBODNI NOSIOCI NALAZE U HOMOGENOM ELEKTRIČNOM POLJU:

$$\vec{v} = \mu \vec{E}$$

μ – POKRETLJIVOST SLOB. NOSILACA

- GUSTINA STRUJE NASTALE USLED ELOVANJA $\vec{E}$

$$\vec{J} = Nq\,\vec{v} = \sigma\,\vec{E}$$

σ – SPECIFIČNA ELEKTRIČNA PROVODLJIVOST

- TAKOĐE:

$$\vec{E} = \rho\,\vec{J}, \qquad \rho = \frac{1}{\sigma}$$

ρ- SPECIFIČNA ELEKTRIČNA OTPORNOST

- POLUPROVODNICI: ρ OD $10^{-4}\,\Omega m$ DO $10^{10}\Omega m$
- IZOLATORI: ρ OD 10^{10} DO $10^{19}\Omega m$
- PROVODNICI: ρ OD $10^{-18}\,\Omega m$ DO $10^{-4}\,\Omega m$

PROVODNICI

- PROVODNICI PRVOG REDA (ELEKTRONI NOSIOCI NAELEKTRISANJA): METALI I NIHOVE LEGURE
- METALI VELIKE PROVODNOSTI: SREBRO ($\rho=1{,}65\cdot10^{-8}\Omega m$) , ZLATO ($\rho=2{,}35\cdot10^{-8}\Omega m$) , **BAKAR ($\rho=1{,}7241\cdot10^{-8}\Omega m$)**, ALUMINIJUM ($\rho=2.78\cdot10^{8}\Omega m$)
- METALI SLABIJE PROVODNOSTI (**$\rho\sim10^{-6}\,\Omega m$)**: NIKL, CINK, GVOZDJE, OLOVO MOLIBDEN,PLATINA
- LEGURE METALA: KONSTANTAN(55% Cu, 45% Ni), MANGANIN(86%Cu,12%Mn 2%Ni), NIHROM
- PROVODNICI DRUGOG REDA (JONI NOSIOCI NAELEKTRISANJA): ELEKTROLITI

- METALI SU MATERIJALI KOJI DOBRO PROVODE STRUJU; NJIHOVA SPECIFIČNA ELEKTRIČNA PROVODNOST SRAZMERNA JE

$$\sigma = en\mu_n = \frac{1}{\rho}$$

- POŠTO SU n I μ_n TEMPERATURNO ZAVISNI TO JE I σ (ρ) ZAVISNO OD TEMPERATURE

$$\rho(T) = \rho(T_0)\left[1 + \alpha_\rho (T - T_0)\right]$$

- GDE JE α TEMPERATURNI KOEFICIJENT SPECIFIČNE OTPORNOSTI I ODREĐUJE SE EKSPERIMENTALNO
- TEMPERATURNI KOEFICIJENT ZA BAKAR IZNOSI **$3.9 \cdot 10^{-3}$ 1/°C**

SUPERPROVODNICI

- ZA NEKE PROVODNIKE NA VRLO NISKIM TEMPERATURAMA BLISKIM APSOLUTNOJ NULI (-273.15°C) SPECIFICNA OTPORNOST PADA NAGLO PRAKTICNO NA NULU - POSTAJU **SUPERPROVODNICI**
- NPR:OLOVO-7.3 K, TANTAL-4.38 K, ZIVA-4.2 K, KALAJ-3.7 K
- HLADJENJE NA TEMP. OD OKO 4.2 K VRSI SE POMOCU TECNOG HELIJUMA I DANAS NIJE NEKI PROBLEM
- POSTIYANJE TEMPERATURA BLISKIH APSOLUTNOJ NULI NIJE LAKO; DANAS (2002,2003) NAJNIYE POSTIGNUTE TEMPERATURE :
- 450 pK – MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY
- 100 nK – HELSINKI INSTITUTE OF TECHNOLOGY
- °C=K-273.15, K=°C+273.15, °F=°C·1.8+32

- **ELEKTRIČNA STRUJA U METALIMA**

- U HOMOGENOM DUGOM PRAVOM METALNOM PROVODNIKU KONSTANTNOG POPREČNOG PRESEKA

$$U = E \cdot l, \quad I = J \cdot S, \quad J = \sigma E \Rightarrow I = \sigma \frac{S}{l} U$$

- ODNOSNO

$$U = RI$$ OMOV ZAKON

EKVIVALNETNI OBLICI OMOVOG ZAKONA

$$I = \frac{U}{R} \qquad R = \frac{U}{I}$$

OTPORNICI

- KOMPONENTE KOJE UNOSE OTPORNOST U ELEKTIČNO KOLO
- KORISTE SE ZA REGULACIJU STRUJA I NAPONA
- ELEKTRIČNA OTPORNOST SE OBELEŽAVA SA R I ZAVISI OD DIMENZIJA OTPORNIKA I OD MATERIJALA OD KOGA JE NAPRAVLJEN
- ZA OTPORNIK U KOME JE USPOSTAVLJENO HOMOGENO ELEKTRIČNO POLJE I KOJI IMA KONTANTAN POPREČNI PRESEK

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

ρ - SPECIFIČNA ELEKTRIČNA OTPORNOST [Ωm]

l - DUŽINA PROVODNIKA

S - POPREČNI PRESEK

- TEMPERATURSKI KOEFICIJENT OTPORNOSTI

$$TC = \alpha = \frac{dR}{dT} \cdot \frac{1}{R}$$

ρ, R ZAVISE OD TEMPERATURE

- TC (α) SE OBIČNO IZRAŽAVA U %/°C ILI U MILIONITIM DELOVIMA PO STEPEPENU ppm/°C
- KOD VEĆINE OTPORNIKA ZAVISNOST R OD TEMPERATURE SE MOŽE APROKSIMIRATI:

$$R = R_0(1 + \alpha(T - T_0))$$

R_0 - OTPORNOST NA T_0

- TAKOĐE SE NAVODI I TEMPERATURNA OTPORNOST

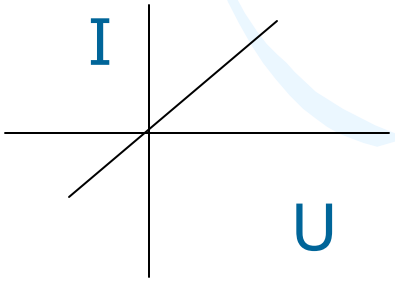
$$R_\theta = \frac{\Delta T}{P} \quad \left[\frac{K}{W}\right]$$

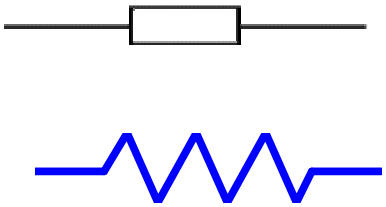
ΔT - TEMPERATURNA RAZLIKA

P - SNAGA DISIPACIJE NA OTPORNIKU

IDEALAN OTPORNIK

- IDEALAN OTPORNIK JE UREĐAJ U KOME SE ELEKTRIČNA ENERGIJA PRETVARA U TOPLOTNU I NIKAD SE NE AKUMULIŠE U OBLIKU MAGNETSKE I ELEKTROSTATIČKE ENERGIJE

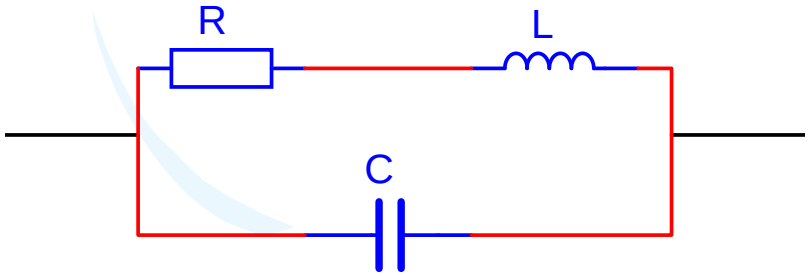




- IDEALAN OTPORNIK JE OKARAKTERISAN SAMO SA R I NA STALNOJ TEMERATURI ELEKTRIČNA OTPORNOST NE ZAVISI OD JAČINE STRUJE I PRIKLJUČENOG NAPONA

EKVIVALENTNA ŠEMA FIZIČKOG OTPORN IKA

- PORED ELEKTRIČNE OTPORNOSTI OTPORNIK POSEDUJE I PARAZITNU INDUKTIVNOST I PARAZITNU KAPACITIVNOST



- UTICAJ PARAZITNIH KAPACITIVNOSTI I INDUKTIVNOSTI SE OBIČNO ZANEMARUJE ALI SE KADA SE ZAHTEVA VISOKA TAČNOST NA VISOKIM FREKVENCIJAMA MORAJU UZETI U OBZIR
- $L=80\cdot10^{-9}H$, C=0.5 pF

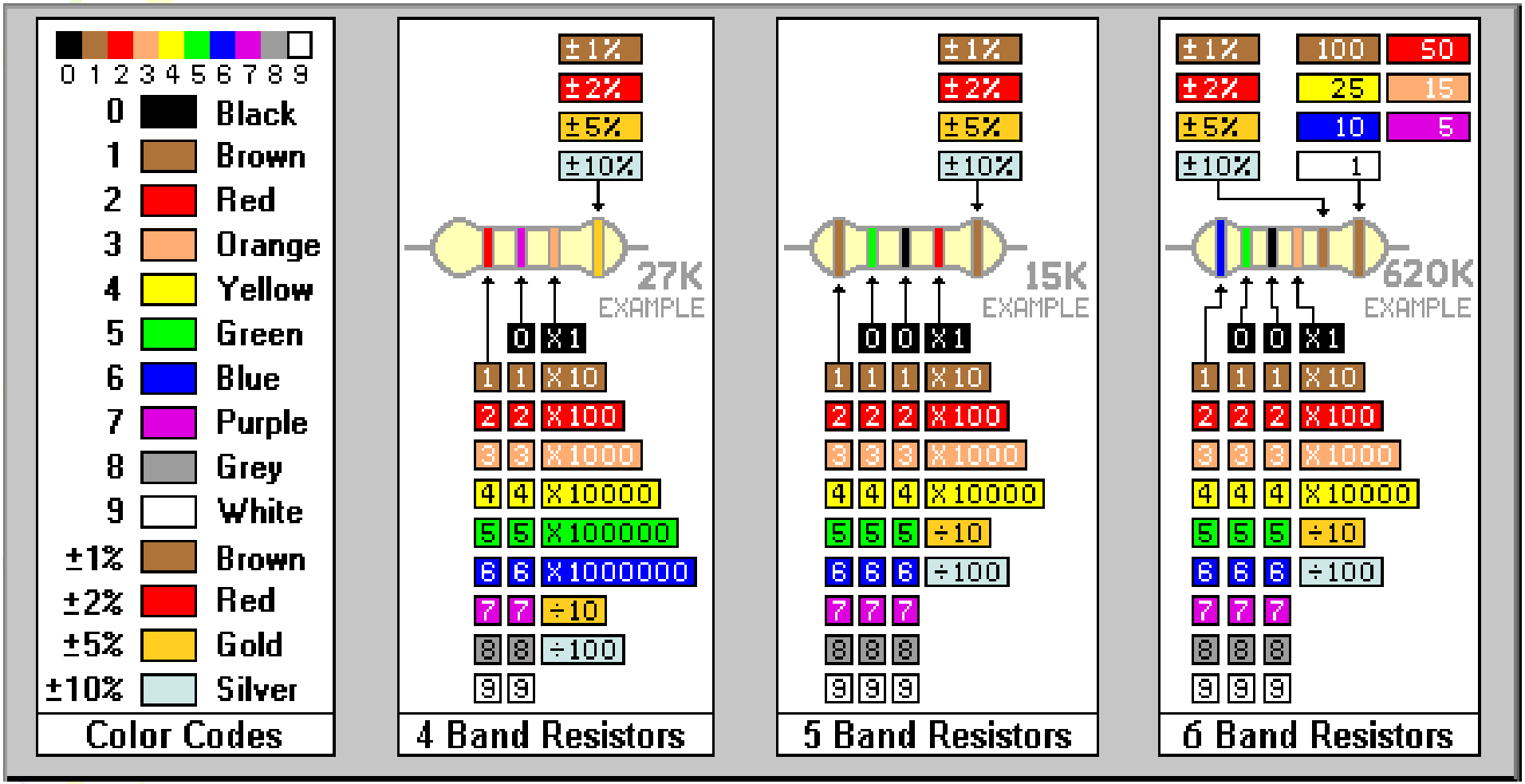
DRUGI POKAZATELJI KVALITETA OTPORNIKA

- TOLERANCIJA: % MAKSIMALNOG ODSTUPANJA OD NOMINALNE (ŽELJENE) VREDNOSTI OTPORNOSTI; STANDARDIZOVANE VREDNOSTI:

  $\pm 0.1\%, \pm 0.25\%, \pm 0.5\%, \pm 1\%, \pm 2\%, \pm 5\%, \pm 10\%, \pm 20\%$

- VREMENSKA STABILNOST OTPORNIKA: SPECIFICIRA SE KAO RELATIVNA PROMENA OTPORNOSTI U ODREĐENOM VREMENSKOM INTERVALU PRI ODREĐENIM USLOVIMA RA (npr. 6%/1000 h na 70˚C)
- PROMENA OTPORNOSTI U ZAVISNOSTI OD NAPONA(0.1 ppm/V dobri , 350 ppm/V obični)
- UTICAJ VLAŽNOSTI
- UTICAJ ATMOSFERSKOG PRITISKA

OZNAČAVANJE OTPORNIKA BOJAMA

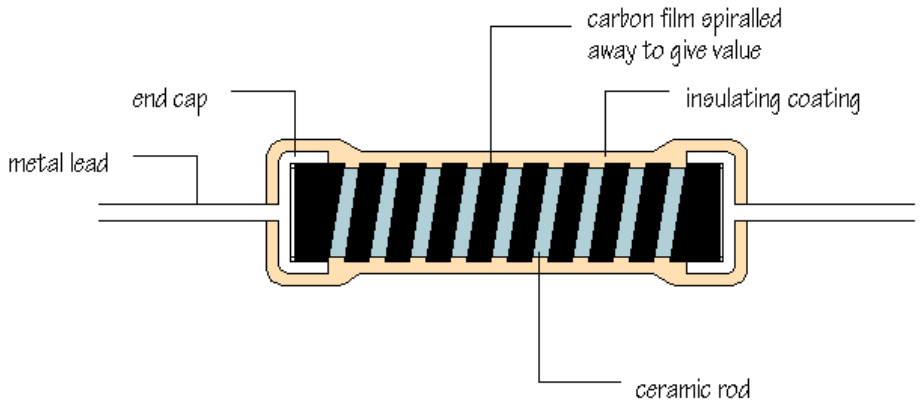


PODELA OTPORNIKA

- PREMA TOME DA LI SE OTPORNOST MENJA I KAKO: FIKSNI,PROMENLJIVI,POLUPROMENLJIVI (TRIMERI),NELINEARNI
- PREMA MATERIJALU I NAČINU IZRADE: ŽIČANI, OD MASE, SLOJNI, POLUPROVODNIČKI, OD SPECIJAALNIH MATERIJALA
- PREMA ZAŠTITI: NEZAŠTIĆENI, ZAŠTIĆENI LAKOM, ZALIVENI, VAKUUMIRANI, PRELIVENI STAKLOM...
- PREMA NAMENI: OPŠTE I SPECIJALNE NAMENE
- PODELE SE MOGU IZVRŠITI I PREMA VREDNOSTI OTPORNOSTI, SNAGE DISIPACIJE...

SLOJNI OTPORNICI

- SASTOJE SE OD OTPORNOG SLOJA (FILMA) NANETOG NA IZOLATORSKU PODLOGU (NAJČEŠĆE KERAMIČKU CEVČICU), NA ČIJIM SU KRAJEVIMA PRIČVRĆENI KONTAKTI
- U ZAVISNOSTI OD OTPORNOG SLOJA DELE SE NA UGLJENE, METALSLOJNE, METALOKSIDNE I KOMPOZITNE
- **UGLJENI OTPORNICI**
  - OTPORNI SLOJ IZRADJEN OD UGLENIKA (CARBON FILM); PREDNOSTI: JEDNOSTAVNA IZRADA, MALA ZAVISNOST OTPORNOSTI OD UČESTANOSTI, VELIKA STABILNOST



- **METALSLOJNI OTPORNICI**
  - SLIČNI UGLJENIM ALI JE OTPORNI SLOJ IZRAĐEN OD LEGURE METALA; OTPORNI SLOJ SE NANOSI VAKUUMSKIM NAPARAVANJEM ILI RASPRŠIVANJEM METALA I VRLO JE TANAK (<1μm);
  - METALNI SLOJ NAJČEŠĆE: PLATINA, PALADIJUM, HROM-NIKL LEGURE... MANJIH SU DIMENZIJA OD UGLJENIH PRI ISTOJ SNAZI, IMAJU BOLJU TEMPERATURNU KARAKTERISTIK (**α: 50-100 ppm/°C**)
- **METALOKSIDNI**
  - IMAJU OTPORNI SLOJ IZRAĐEN OD OKSIDA METALA NAJČESĆE OD DIOKSIDA KALAJA; ISTIH SPOLJNIH DIMENZIJA KAO I METALSLOJNI OTPORNICI ALI STABILNIJI PRI IMPULSNOM REŽIMU RADA

  KOMPOZITNI
  - OTPORNI SLOJ SASTOJI SE OD MEHANUČKE SMESE ČAĐI (GRAFITA) SA VEZIVNIM SREDSTVIMA (ORGANSKI ILI NEORGANSKI DIELEKTRICI)
  - PREDNOSTI: JEDNOSTAVNOST IZRADE I NISKA CENA(**α: 70 10-4 1/°C**)

OTPORNICI OD MASE

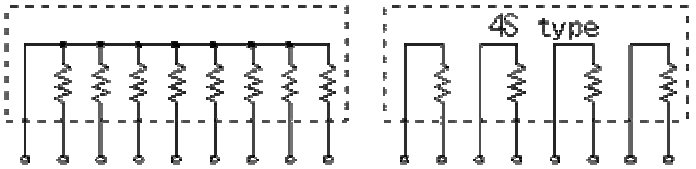
- NAJČEŠĆE UPORTEBLJIVANI: CENA NISKA PROIZVODNJA JE DNOSTAVNA
- IZRAĐUJU SE NA BAZI KRAMIKA I NA BAZI LAKA
- NISU VSIOKE PRECIZNOSTI, NESTABILNI SU , UNOSE VELIKI ŠUM

ŽIČANI OTPORNICI

- NA IZOLACIONO TELO OD KERAMIKE ILI PORCULANA JE NAMOTANA ŽICA OD LEGURA VELIKE SPECIFIČNE OTPORNOSTI
- MOGU BILITI IZRAĐENI SA VELIKOM PRECIZNOŠĆU, TEMPERATURNO KOMPENZOVANI, STABILNIH SU KARAKTERISTIKA MALI ŠUM
- CENA IM JE VELIKA, PROIZVDNJA SLOŽENA IMAJU VELIKE DIMENZIJE

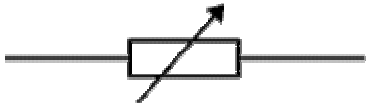
OTPORNIČKE MREŽE

- OTPORNIČKE MREŽE SE KORISTE KAO RAZDELNICI NAPONA U MERNIM INSTRUMENTIMA, KAO OTPORNICI ZA PRETPOLARIZACIJU SIGNALNIH LINIJA U DIGITALNIM UREĐAJIMA

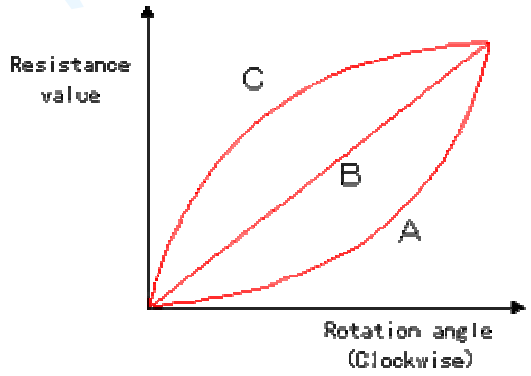


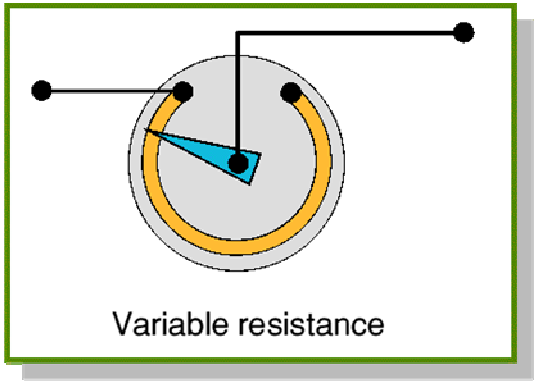
PROMENLJIVI OTPORNCI

- ELEKTROMEHANIČKI SKLOP KOJI SE SASTOJI OD OTPORNOG ELEMENTA SA TRI KRAJA OD KOJIH JE JEDAN KLIZNI KONTAKT
- KONSTRUKCIJA: KLIZNI I OBRTNI



- OBLIKOVANJEM TELA NA KOJE SE NANOSI REZISTIVNI MATERIJAL POSTIŽE SE ŽELJENI OBLIK ZAVISNOSTI R OD POLOŽAJA KLIZNOG KONTAKTA
- NAMENA: PRESET I KONTROLNI

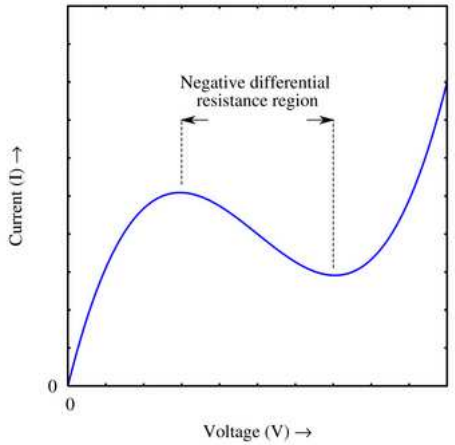




DIFERENCIJALNA OTPORNOST

- KADA OTPORNOST ZAVISI OD NAPONA I STRUJE DEFINISE SE DIFERENCIJALNA OTPORNOST:

$$R = \frac{dV}{dI}$$



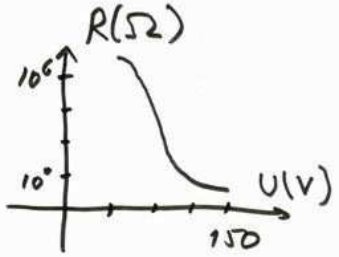
- NEGATIVNA DIFERENCIJALNA OTOPORNOST

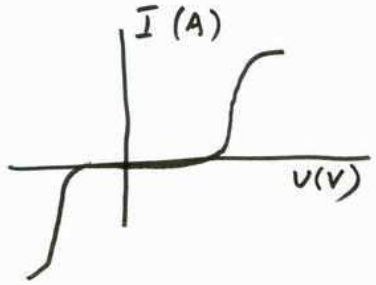
NELINEARNI OTPORNICI

- OTPORNOST OVIH OTPORNIKA NELINEARNO I U VELIKOJ MERI ZAVISI OD TEMPERATURE SVETLOSTI, ELEKRTIČNOG ILI MAGNETNOG POLJA

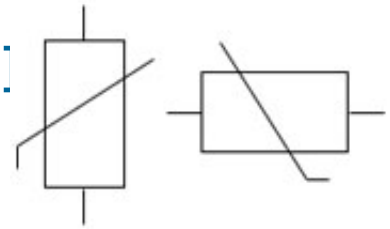
- **VARISTORI** – OTPORNO
  SA PROMENOM NAPONA

$$U = kI^{\alpha}, \alpha > 1$$





- **KORISTE SE ZA ZA ZAŠTITU ELEKTRONSKIH KOLA OD PRENAPONA**
- PRAVE SE OD SILICIJUM KARBIDA (SiC) I SINTEROVANOG OKSIDA CINKA (ZnO)



- **TERMISTORI-** OTPORNOST IZRAZITO I NELINEARNO ZAVISI OD TEMPERATURE;
- NTC TERMISTORI – OTPORNOST IZRAZITO OPADA SA PORASTOM TEMPERATURE

$$R_T = R_{T0} e^{b(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})}$$

- PTC TERMISTORI – OTPORNOST IZRAZITO RASTE SA PORASTOM TEMPERATURE

$$R_T = A \cdot e^{b(T - T_0)}$$