



STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA SDĚLOVACÍ TECHNIKY

110 00 Praha 1, Panská 856/3
☎ 221 002 111, 📠 221 002 666

URL: www.panska.cz
e-mail: sekretariat@panska.cz

MATURITNÍ ZKOUŠKA

PRAKTICKÁ ZKOUŠKA Z ODBORNÝCH PŘEDMĚTŮ

ANIMOVANÁ ELEKTŘINA

Studijní obor:

**78-42-M/001
Technické lyceum**

Třída:

4.K

Školní rok:

2006/2007

Jiří Matoušek

Martin Nesrsta

Ondřej Pluhař

Cílem této práce bylo vytvořit multimediální program pro výuku elektřiny a magnetismu v hodinách fyziky. Program obsahuje mikroskopické 3D animace, které ukazují průběh proudu elektrickými součástkami a makroskopické animace součástek v reálném světě. Dále jsou v práci obsaženy kvízy na otestování znalostí studenta a podrobné texty k lepšímu porozumění učiva.

Ukázková práce

ÚVOD



Ukážka práce

Naším úkolem je vytvoření multimediálního programu, který bude obsahovat fyzikální animace z oblasti elektřiny a magnetismu.

Program má dále obsahovat podrobné fyzikální texty k danému jevu a také kvízy, které otestují fyzikální znalosti uživatele. Má mít jednoduché uživatelské rozhraní, aby ho průměrný uživatel počítače dokázal ovládat bez větších problémů.

Naše dlouhodobá maturitní práce je koncipována tak, aby se dala použít jako názorná pomůcka při výuce fyziky na střední škole.

Animace jsou vytvořeny tak, aby co nejpřesněji popsaly fyzikální jev dané kapitoly. Tomuto účelu jsou podřízeny některé aspekty animací.

Ve většině animací se neshoduje měřítko zobrazení ve srovnání se skutečnou velikostí objektů v reálném světě, což je nejvíce vidět na poměru mezi velikostí částic a vodiče. Částice jsou mnohonásobně větší a jejich počet v obvodu je naopak daleko menší.

Vedení proudu je v animacích zprostředkováno elektrony, a proto neodpovídá dohodnutému směru proudu, ale skutečnosti. Červenou barvou je značen kladný pól zdroje napětí a modrou pól záporný. Elektrony tedy putují k červenému, kladnému pólu.

V našich animacích se elektrony pohybují celým obvodem a je znázorněn pouze jejich uspořádaný pohyb daný rozdílem potenciálů pólů zdroje napětí. Tepelný chaotický pohyb (kterým se elektrony v reálném obvodu též pohybují) není zobrazen.

U některých animací bylo nutné ignorovat některé fyzikálně správné jevy kvůli hardwarové náročnosti nebo složitosti animace (hlavně kvůli komplikovanému pohybu částic).

Při vytváření naší dlouhodobé maturitní práce jsme používali programy Autodesk 3DSMax, InterVideo WinDVD Creator, MediaCoder, Adobe Flash, Adobe Photoshop, Adobe Illustrator, Adobe Acrobat a Microsoft Office.

KAPITOLA PRVNÍ



VZNIK ELEKTRICKÉHO PROUDU

Ukázka práce

ELEKTRICKÝ PROUD JAKO DĚJ

Elektrický proud je *uspořádaný pohyb volných částic s elektrickým nábojem*. Ve vodiči se volné elektrony pohybují od záporného pólu ke kladnému pólu (naopak než je směr elektrické intenzity). Elektrický proud nepřenášejí jen volné elektrony, ale i částice nabitě kladně, pohybující se ve směru intenzity elektrického proudu (v kapalinách, plynech a polovodičích).

Směr elektrického proudu je podle ustanovené dohody směr uspořádaného pohybu kladně nabitých částic. Proud v elektrickém obvodu vychází z kladného pólu zdroje a pohybuje se k pólu zápornému.

ELEKTRICKÝ PROUD JAKO FYZIKÁLNÍ VELIČINA

Elektrický proud je určen *jako podíl náboje Q , který projde průřezem vodiče za jednotku času, a tohoto času*: $I = \frac{Q}{t}$, $[I] = A$ (ampér).

Náboj Q je celkový náboj, který projde průřezem vodiče: $Q = Q_+ + |Q_-|$

Elektrický proud měříme ampérmetrem.

Z definičního vztahu můžeme vyjádřit jednotku elektrického náboje $[Q] = A \cdot s = C$ (coulomb). Jednotka ampérsekunda (a ampérhodina) se občas používá v technické praxi.

DĚLENÍ ELEKTRICKÝCH PROUDŮ

Elektrické proudy dělíme na:

1. *kondukční (vodivostní) proudy* – dochází k přenosu náboje ve vodiči, jehož konce mají rozdílný potenciál (vzniká napětí). Jsou způsobeny volnými elektrony v kovech, ionty v elektrolytech, elektrony a dírami v polovodičích.
2. *konvenční proudy* – nejsou způsobeny pohybem částic s nábojem v důsledku existence potenciálového rozdílu. Proběhnutím s nabitým vodičem dveřmi proteče dveřním otvorem proudový impuls, přenos náboje nabitým pásem ve van der Graaffově elektrostatickém generátoru
3. *posuvné proudy* – vznikají při polarizaci dielektrika

ELEKTRICKÝ ZDROJ

Aby byl zachován trvalý elektrický proud, musí se udržovat stálý rozdíl elektrických potenciálů mezi svorkami zdroje – svorkové napětí U . Mezi svorkami zdroje vzniká uvnitř zdroje a vně zdroje elektrické pole, jehož siločáry směřují od kladného pólu k zápornému.

Částice s nábojem se ve vnější části obvodu pohybují ve směru působení elektrostatických sil. Při tomto pohybu konají práci a ztrácejí elektrickou potenciální energii, která se přeměňuje na jiné formy energie.

Vnější část obvodu se chová jako spotřebič elektrické energie. Práce, kterou vykonají elektrostatické síly ve vnější části obvodu při přenesení náboje Q je určena vztahem $W = Q \cdot U$.

Svorkové napětí značíme šipkou orientovanou ve směru působení elektrostatické síly na kladné částice (od kladné k záporné svorce zdroje).

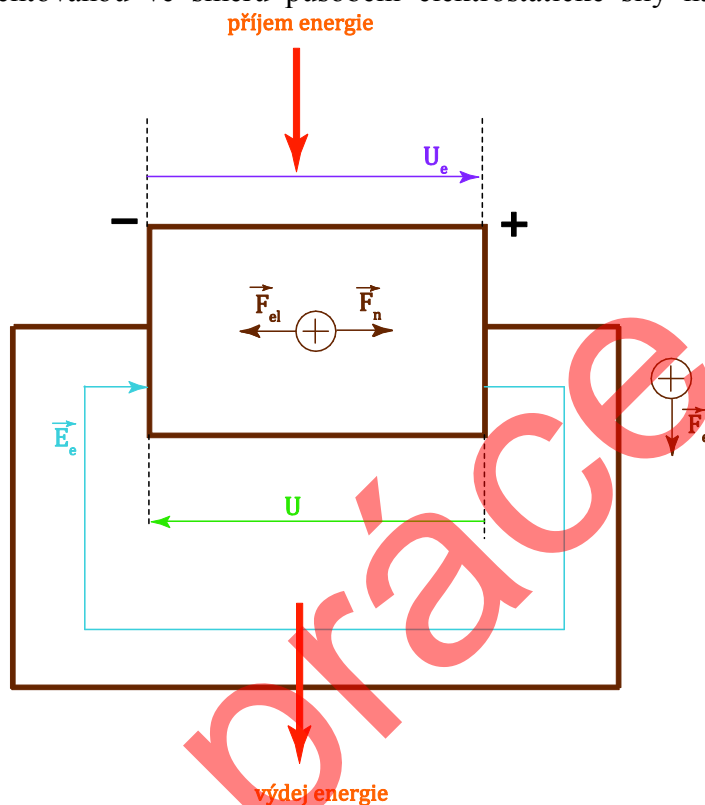
Elektrický proud ale teče i uvnitř zdroje, kde se volné částice pohybují proti směru elektrostatických sil, tedy zde musí působit ještě jiné síly neelektrostatického původu. Tyto síly konají práci uvnitř zdroje.

Elektrická potenciální energie nabitých částic se ve zdroji zvětšuje na úkor jiné formy energie, která je uvolňována ve zdroji nebo přiváděna zvenku. Tyto neelektrostatické síly vykonají práci W_z při přenesení náboje Q . Z toho můžeme zadefinovat elektromotorické napětí jako $U_e = \frac{W_z}{Q}$. Elektromotorické

napětí značíme šipkou ve směru působení neelektrostatických sil (od záporného ke kladnému pólu).

Pokud není ke svorkám zdroje připojen spotřebič a zdrojem neprochází elektrický proud, jsou elektrostatické a neelektrostatické síly v rovnováze. Svorkové napětí nezatíženého zdroje (napětí naprázdno) U_0 je stejné jako napětí elektromotorické $U_e = U_0$.

Po připojení spotřebiče dojde ke zmenšení nábojů na svorkách zdroje a rovnováha mezi elektrostatickými a neelektrostatickými silami se poruší. Tím se udržuje trvalý elektrický proud. Částečně se práce neelektrostatických sil spotřebuje uvnitř zdroje. U zatíženého zdroje platí $W = UQ < W_z = U_e \cdot Q \Rightarrow U < U_e$. Svorkové napětí zatíženého zdroje je vždy menší než napětí elektromotorické.



KAPITOLA DRUHÁ



KIRCHHOFFOVY ZÁKONY

Ukážka práce

ÚVOD

Při řešení elektrických sítí obvykle známe napětí zdrojů, odpory rezistorů a hledáme proudy, které procházejí jednotlivými větvemi a napětí jednotlivých rezistorů. K spočítání takových příkladů se používají rovnice sestavené podle prvního a druhého Kirchhoffova zákona, které objevil německý fyzik Gustav Robert Kirchhoff v roce 1841.

Složitě elektrické obvody se nazývají elektrické sítě.

Místo, kde se vodivě stýkají minimálně tři vodiče, se nazývá uzel.

Vodivé spojení sousedních uzlů se nazývá větev.

GUSTAV ROBERT KIRCHHOFF

Německý fyzik *Gustav Robert Kirchhoff* se narodil 12. března 1824 v Königsbergu, Prusko (nyní Kaliningrad, Rusko) jako syn právníka. Studoval v místním gymnáziu a poté ve věku 18 začal studovat na Königsberské univerzitě, založené v roce 1544 prvním pruským vévodou Albertem. Mezi jeho profesory patřil Franz Neumann, slavný teoretický fyzik. V době, kdy zde začal Kirchhoff studovat Neumann začal pracovat na výzkumu elektrické indukce. Neumann vydal první dvě knihy o elektrické indukci v roce 1845, v době, kdy u něho studoval Kirchhoff. Tímto Kirchhoffa velmi ovlivnil. Mezi jeho další profesory patřil Friedrich Richelot, matematik a budoucí Kirchhoffův tchán. Kirchhoff provedl vynikající výzkum související s elektrickým proudem v době, kdy studoval u Neumanna. *Kirchhoffovy zákony* byl vydané v roce 1845 v době kdy ještě studoval. Kirchhoffovy zákony umožňují počítání proudů, napětí a odporů v elektrických obvodech s více smyčkami a rozšiřují výzkumy Ohma. Kirchhoffovy zákony vycházejí z Ohmova zákona, ale zjednodušují počítání složitých obvodů na jednoduché algebraické rovnice.



Rok 1847 byl pro Kirchhoffa velice rušný. Obdržel doktorát z Königsberské univerzity a oženil se s Klárou Richelotovou, dcerou jeho profesora matematiky na Königsberské univerzitě. Také dostal zřídka udílený cestovní grant na studijní cestu do Paříže, ale politická situace ho donutila zůstat doma. Později se v tomto roce přestěhovali do Berlína.

V Berlíně učil na neplacené pozici od roku 1848 do 1850. Zde opravil dosavadní porozumění elektrických proudů a elektrostatiky (analogie mezi prouděním tepla a prouděním proudu,;

pokud má materiál neměnnou teplotu neproudí teplo, proto si fyzikové mysleli, že může existovat statický proud ve vodiči). V roce 1850 se přestěhovali do Breslau (nyní Wrocław), kde získal místo pomocného profesora fyziky. Zde založil nauku o pružné deformaci. Základní teorie byla objevena Germainem a Poissonem a dále rozšířena Navierem. On ji dořešil pomocí variačního počtu.

V Breslau potkal Bunsena, který tam trávil akademický rok 1851-52 a stali se z nich blízcí přátelé. V roce 1854 Bunsen, který pracoval v Heidelbergu, přemluvil Kirchhoffa, aby se za ním přestěhoval. Kirchhoff tam přijal nabídku profesora fyziky a začal spolupracovat s Bunsenem.

Kirchhoff nebyl jediný, kdo v té době pracoval na elektrických prouděch. Wilhelm Weber a Rudolf Kohlrausch pracovali na elektrických prouděch a publikovali podobné výsledky jako Kirchhoff v roce 1857 o problému rychlosti proudu ve vysoce vodičích. Kirchhoff i Weber zjistili, že tato rychlost byla nezávislá na druhu vodiče a byla hodně blízká rychlosti světla. Avšak oba to zavrhl jako náhodu, aniž by pokračovali ve výzkumu. Tento další krok udělal o pět let později Maxwell, když usoudil, že světlo je elektromagnetický jev.

Zásadní Kirchhoffova práce na záření černého tělesa (pojem který sám zavedl v roce 1862) byla důležitým momentem ve vývoji kvantové teorie. Fraunhofer pozoroval jasné linie ve spektru produkovaném ohněm a všiml si, že se objevují na podobných frekvencích jako černé linie ve spektru Slunce. Pro další výzkum potřeboval čistší látky, pokud látka obsahovala nečistoty, tyto nečistoty ovlivnily linie ve spektru. Kirchhoff udělal zásadní průlom vytvořením čistších látek, než byly původně dostupné. Nyní mohli zjistit, že každý prvek měl vlastní charakteristické spektrum. V 1859 publikoval radiační zákon, která říká že pro daný atom nebo molekulu jsou emisní a absorpční frekvence elektromagnetického záření stále stejné.

Kirchhoff a Bunsen pokračovali se zkoumáním spektra Slunce a v roce 1861 objevili chemické složení atmosféry slunce. V průběhu jejich zkoumání objevili dva nové prvky: cesium a rubidium. Kirchhoff vysvětlil, že černé linie ve spektru Slunce jsou způsobeny absorpcí světla jednotlivých vlnových délek, jak světlo prochází plyny v atmosféře Slunce.

S jeho první ženou Klárou měl dva syny a dvě dcery a od roku 1869, v němž Klára zemřela, je musel sám vychovávat. To bylo ještě těžší díky jeho handicapu, kvůli kterému musel strávit většinu života o berlích nebo na vozíku. V roce 1872 se znovu oženil s Luise Brömmelovou. Kirchhoff dostával hodně nabídek od různých univerzit, ale byl šťastný v Heidelbergu, a proto všechny tyto nabídky odmítal. Avšak jak ho jeho zdraví začalo zrazovat a zjistil, že experimentování, které ho bavilo, začínalo být těžké, přijal místo předsedy matematické fyziky v Berlíně v roce 1875. Stále mu totiž umožňovalo teoretické výzkumy bez problémů, které mu jeho zdraví přinášelo v experimentální fyzice.

Místo předsedy teoretické fyziky na universitě v Berlíně vykonával až do své smrti 17. října 1887. Kirchhoff je pohřben na Alter St.-Matthäus-Kirchhof hřbitově v Schönebergu v Berlíně, pár metrů od hrobů bratří Grimmů.

PRVNÍ KIRCHHOFFŮV ZÁKON

Zákon pro uzel elektrické sítě. Tento zákon je důsledkem zákona zachování elektrického náboje, protože částice s nábojem nemohou v uzlu ani vznikat ani zanikat. Proud, který do uzlu přiteče z něj také vyteče. Algebraický součet proudů v uzlu je nulový. Pro n větví v uzlu platí $\sum_{k=1}^n I_k = 0$

DRUHÝ KIRCHHOFFŮV ZÁKON

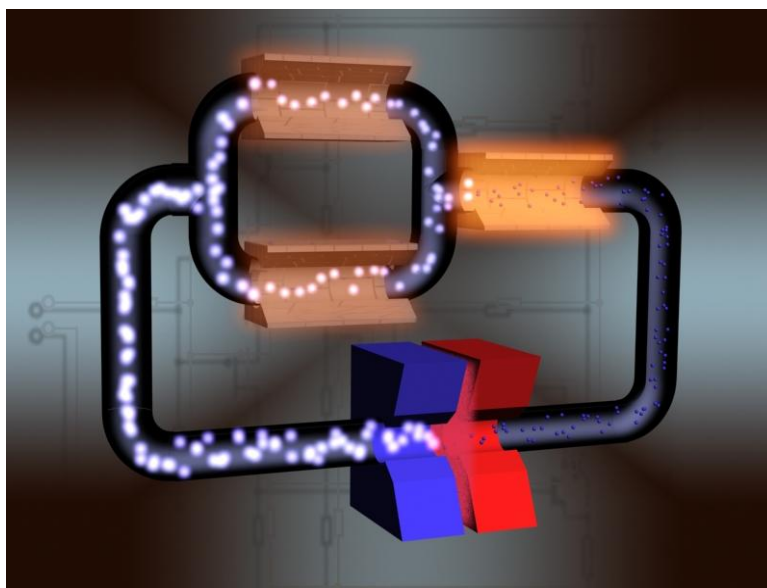
Zákon pro jednoduchou smyčku elektrické sítě. Tento zákon říká, že celkový součet změn elektrických potenciálů v uzavřené smyčce je nulový. Součet úbytků napětí na rezistorech je v uzavřené smyčce stejný jako součet elektromotorických napětí zdrojů v této smyčce. Pro n rezistorů a m zdrojů platí $\sum_{k=1}^n R_k I_k = \sum_{j=1}^m U_{ej}$ (resp. $\sum_{k=1}^n R_k I_k - \sum_{j=1}^m U_{ej} = 0$).

ANIMACE

První kirchhoffův zákon.



Druhý kirchhoffův zákon.



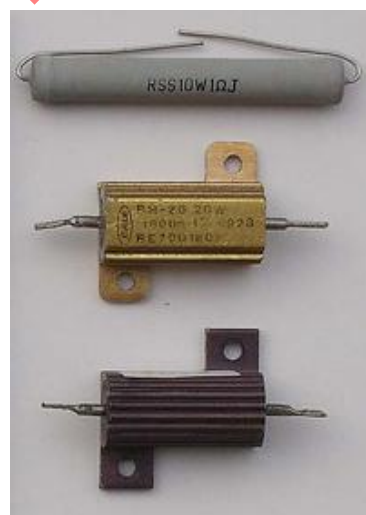
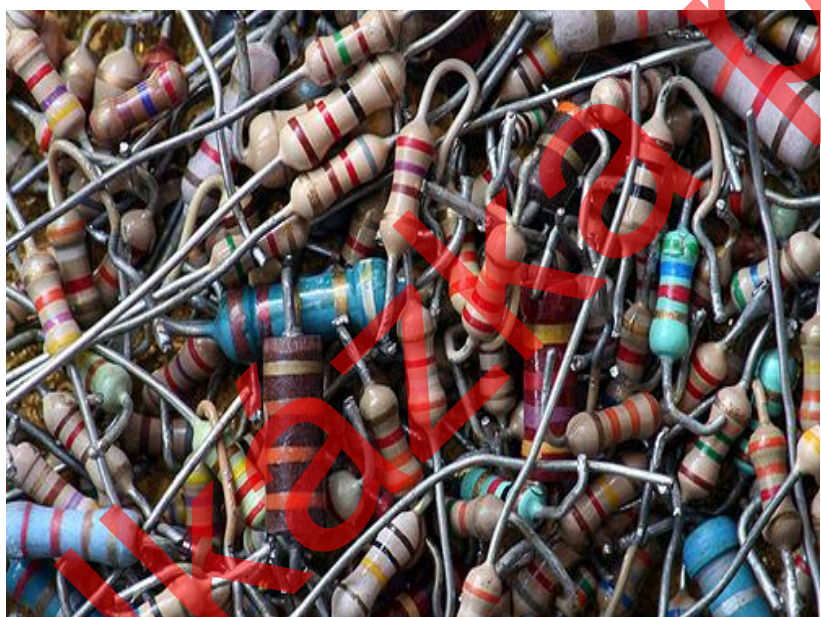
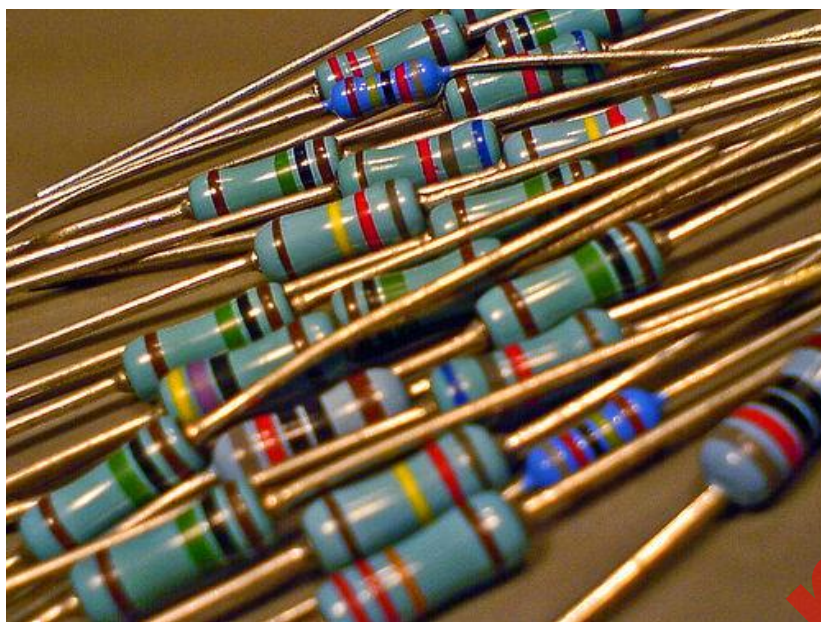
KAPITOLA TŘETÍ



REZISTORY

Ukážka práce

PŘÍKLADY REZISTORŮ



HODNOTY ODPORŮ REZISTORŮ

Základní jednotkou odporu rezistoru je *ohm* [Ω]. Rezistory se nevyrábějí s libovolnou hodnotou velikosti odporu, ale vychází se z řady jmenovitých hodnot. Písmeno E značí, že jsou hodnoty rozloženy exponenciálně. Každá vyšší řada obsahuje vždy dvojnásobný počet hodnot než nejbližší nižší, což zaručuje, že vyšší řada obsahuje všechny hodnoty z nižší řady. Čísla v těchto řadách se samozřejmě mohou řádově měnit. Nejznámější je řada E12 s prvky 12-15-18-22-27-33-39-47-56-68-82. Řada E24, která má dvojnásobný počet prvků

obsahuje 10-11-12-13-15-16-18-20-22-24-27-30-33-36-39-43-47-51-56-62-68-75-82-91. Poté se používají řady E3, E6, E48, E96, E192.

Hodnota odporu rezistorů se značí buď napsáním čísla na rezistor, a nebo častěji barevnými proužky.

BAREVNÉ ZNAČENÍ REZISTORŮ

Pro barevné značení hodnoty odporu rezistorů se používá mezinárodní kód podle normy EIA-RS-279. V USA se také používá jiný kód podle vojenské normy MIL-STD-199.

Hodnota odporu je u rezistoru znázorněna barevnými proužky. U běžných rezistorů má kód tři nebo čtyři proužky. Kód se čte zleva doprava, přičemž levá strana je, kde je první proužek blíže ke kraji rezistoru.



pruh A – první platná číslice hodnoty odporu

pruh B – druhá platná číslice hodnoty odporu

pruh C – desítkový násobitel

pruh D – tolerance (neuvádí se vždy, pokud není uvedena počítá se s tolerancí 20%)

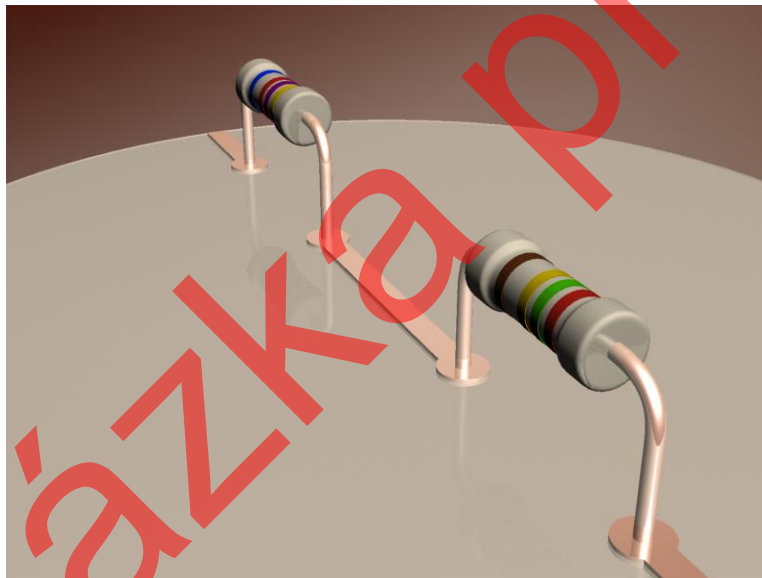
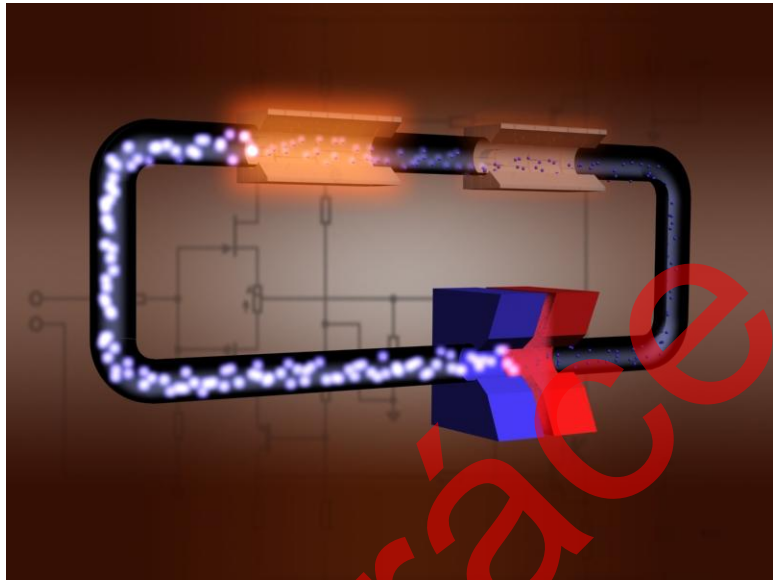
Některé rezistory používají ještě přesnější určování hodnoty odporu tím, že mají pět proužků. První tři proužky jsou pro hodnotu, čtvrtý je násobitel a pátý je tolerance. U některých odporů může být zcela vpravo ještě šestý pruh definující tepelný koeficient odporu, tento pruh je výrazně širší.

barva	1.pruh	2.pruh	3.pruh	násobitel	tolerance
černá	0	0	0	10^0	
hnědá	1	1	1	10^1	$\pm 1\%$
červená	2	2	2	10^2	$\pm 2\%$
oranžová	3	3	3	10^3	
žlutá	4	4	4	10^4	
zelená	5	5	5	10^5	$\pm 0,5\%$
modrá	6	6	6	10^6	$\pm 0,25\%$
fialová	7	7	7	10^7	$\pm 0,1\%$
šedá	8	8	8	10^8	$\pm 0,05\%$
bílá	9	9	9	10^9	
zlatá				10^{-1}	$\pm 5\%$
stříbrná				10^{-2}	$\pm 10\%$
žádná					$\pm 20\%$

Při určování velikosti odporu rezistoru musíme nejdříve zjistit, na které straně tělíska jsou proužky nanесeny blíže ke kraji rezistoru. Tam je začátek barevného kódu a odtud se stanoví pořadí proužků k opačnému konci.

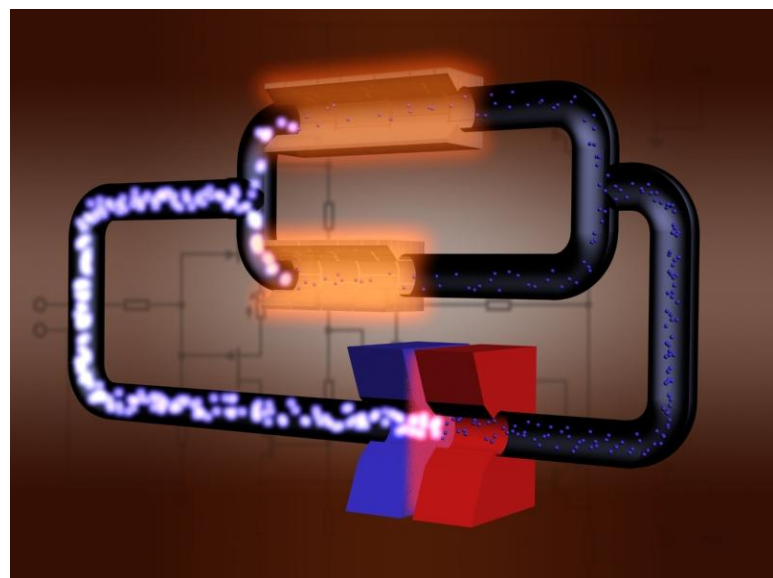
Sériové spojení rezistorů.

Obvod je tvořen sériovým spojením rezistorů s různými odpory a zdroje napětí. Rezistor vlevo má menší odpor. Oběma rezistory prochází stejný proud, počet elektronů procházejících vodičem se tedy nemění. Součet úbytků napětí na obou rezistorech je roven napětí zdroje. Větší úbytek napětí je na rezistoru s větším odporem (ve shodě s Ohmovým zákonem). Vzhledem k tomu, že proud procházející oběma rezistory, je stálý a větší napětí je na rezistoru vpravo. V tomto rezistoru se mění více elektrické energie na jiný druh energie (tepelnou, mechanickou práci, ...).



Paralelní spojení rezistorů.

Obvod je tvořen dvěma paralelně zapojenými rezistory s různými odpory, zdrojem napětí a vodiči. Odpor horního rezistoru je přitom menší než odpor dolního, napětí je na obou rezistorech stejné. Elektrický proud procházející rezistory je proto různý. Větší proud (více elektronů) teče horním rezistorem, a proto se v tomto rezistoru také mění více elektrické energie na jiný druh energie (teplo, mechanickou práci, ...).



KAPITOLA ŠESTÁ



POLOVODIČE

Ukázka práce

ROZDĚLENÍ LÁTEK

Látky můžeme dělit podle měrného elektrického odporu na:

- kovy: $\rho \in (10^{-8}; 10^{-6}) \Omega \cdot \text{m}$
- polovodiče: $\rho \in (10^{-6}; 10^8) \Omega \cdot \text{m}$
- izolanty: $\rho \in (10^8; \infty) \Omega \cdot \text{m}$

Nejlepším vodičem je stříbro a nejlepším izolantem je diamant.

Dále také můžeme látky rozdělit podle teplotní závislosti odporu na:

- kovy: s rostoucí teplotou roste měrný odpor
- polovodiče: s rostoucí teplotou většinou měrný odpor klesá (pokud roste, pak roste výrazněji rychleji než u kovů)

Mezi polovodiče patří křemík, germanium, selen, telur, grafit, sulfid olovnatý, lufid kademnatý, arsenid galia a další.

VLASTNÍ POLOVODIČE

Vlastní polovodič je polovodič neobsahující příměsi.

Nejvýznamějším materiálem pro výrobu polovodičových součástek je čistý monokrystalický křemík. Atom křemíku má 14 elektronů, a z toho 10 je pevně vázáno k jádru a zbývající vytvářejí elektronové vazebné dvojice se čtyřmi sousedními atomy v krystalové mřížce. Křemík krystalizuje v diamantové struktuře – plošně centrovaná kubická soustava, a k uvolnění elektronu z této vazby je zapotřebí energie větší než je vazebná energie $E_V = 1,1 \text{ eV}$ ($1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$). Tuto energii musí elektron získat najednou.

Možnosti získání této energie:

- tepelná excitace – kladné ionty neustále kmitají kolem svých rovnovážných poloh. Při pokojové teplotě je tato energie $E = 0,025 \text{ eV}$, a uvolňuje se tedy velice málo elektronů. Se zvyšující teplotou se zvětšuje kmitání elektronů, a tím i jejich energie. Zvětšuje se počet elektronů, které se mohou uvolnit.
- světelná excitace – elektron získává energii dopadem elektromagnetického záření (např. světla). Záření má energii přímo úměrnou jeho frekvenci. Energie viditelného světla je 1,5 - 3,1 eV. Tento jev se nazývá vnitřní fotoefekt.

Dojde-li k uvolnění elektronu v krystalu, začne se v něm pohybovat. Na jeho místě vzniká prázdné místo, které má kladný náboj, a které se může v krystalu také pohybovat.

Toto „kladné místo“, tato kvazičástice se nazývá díra. Pohyb díry v krystalu probíhá tak, že na chybějící místo po uvolněním elektronu se dostane jiný elektron a díra vznikne jinde. Proces vzniku elektron – díra nazýváme generace.

Pokud se setká elektron s dírou, elektron ztrácí část své energie a zapojuje se opět do vazebné dvojice. Tento proces se nazývá rekombinace.

Při stále teplotě se v polovodiči udržuje dynamická rovnováha mezi generací a rekombinací. Po zapojení polovodiče do obvodu vzniká elektrické pole, které způsobuje uspořádaný pohyb děr ve směru elektrické intenzity a volných elektronů ve směru opačném. Elektrický proud v polovodiči je součtem proudu elektronového a děrového $I = I_e + I_d$. S rostoucí teplotou se zvětšuje počet elektronů a měrný elektrický odpor se zmenšuje. U kovů je konstantní počet volných elektronů a se zvyšující se teplotou se zvětšuje měrný elektrický odpor. Tato elektrická vodivost se nazývá vlastní vodivost.

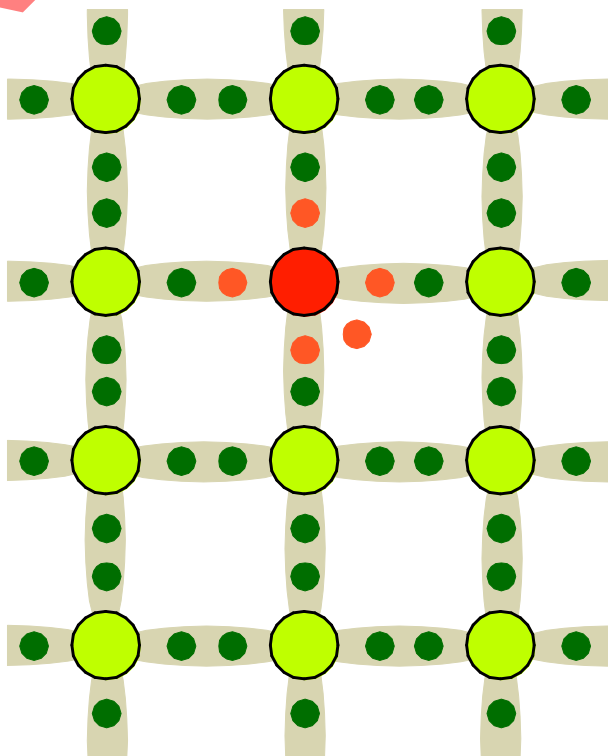
PŘÍMĚSOVÉ POLOVODIČE

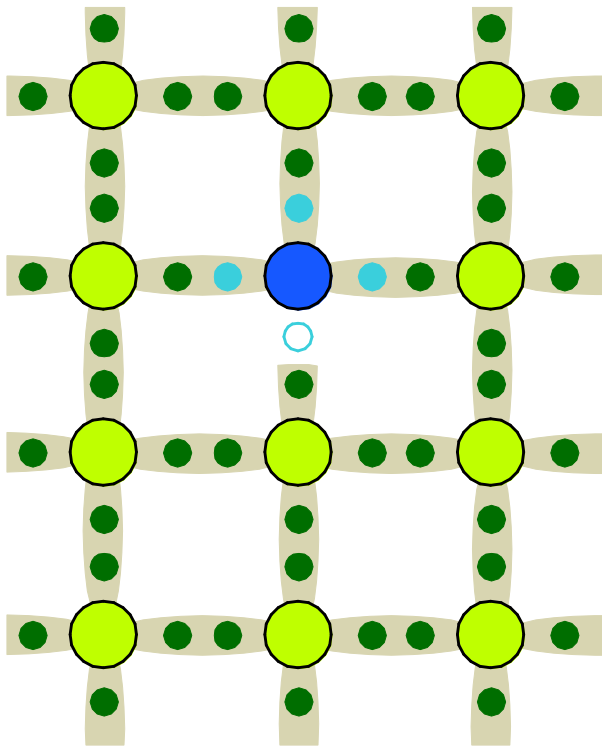
Příměsové polovodiče jsou polovodiče obsahující příměsi jiných prvků. Cizí atom se může vyskytovat v :

- substituční poloze: nahradí původní atom v jeho poloze v krystalické mřížce
- intersticiální poloze: atom se nachází mimo mřížové body krystalické mřížky

Při umístění atomu do intersticiální polohy dochází ke změně objemu polovodiče, proto se nejčastěji používá substituční poloha. Vodivost způsobená příměsemi se nazývá příměsová vodivost.

Přidá-li se do křemíku (čtvrtá skupina periodické tabulky) prvek z páté skupiny (P, As, Sb, ...), podílí se jen jeho čtyři valenční elektrony (z celkových pěti valenčních elektronů) na kovalentní vazbě s křemíkem. Pátý elektron je vázán slabě a může se lehce uvolnit a pohybovat krystalem. Příměsi nazýváme donory – dávají k dispozici elektron. V tomto krystalu převažují elektrony (elektrony prvku z páté skupiny a elektrony vzniklé generací) a jsou majoritními nositeli náboje. Díry jsou minoritními nositeli náboje. Jedná se o polovodič s elektronovou vodivostí, který také nazýváme polovodič typu N.





Přidá-li se do křemíku prvek ze třetí skupiny periodické tabulky prvků (B, Al, Ga, In, ...) obsadí svými elektrony jen tři vazby. Protože chybí elektron, který by vytvořil čtvrtou vazbu s křemíkem, vzniká místo vazby díra. Tato díra může být snadno zaplněna přeskokem elektronu z některého sousedního atomu křemíku, a tím se tedy může díra v krystalu pohybovat. Příměsi nazýváme akceptory. Protože elektrony přijímají. Majoritními nositeli náboje jsou díry, minoritními elektrony. Jedná se o polovodič s děrovou vodivostí, který také nazýváme polovodič typu P.

PN PŘECHOD

PN přechod je přechod mezi polovodičem typu P a polovodičem typu N vytvořený v jednom krystalu.

Právě po vytvoření PN přechodu bude docházet k difúzi děr z polovodiče typu P do polovodiče typu N. Tam díry rekombinují s elektrony. U rozhraní na straně polovodiče P se objevují elektricky nevykompenzované nepohyblivé záporné ionty akceptorů.

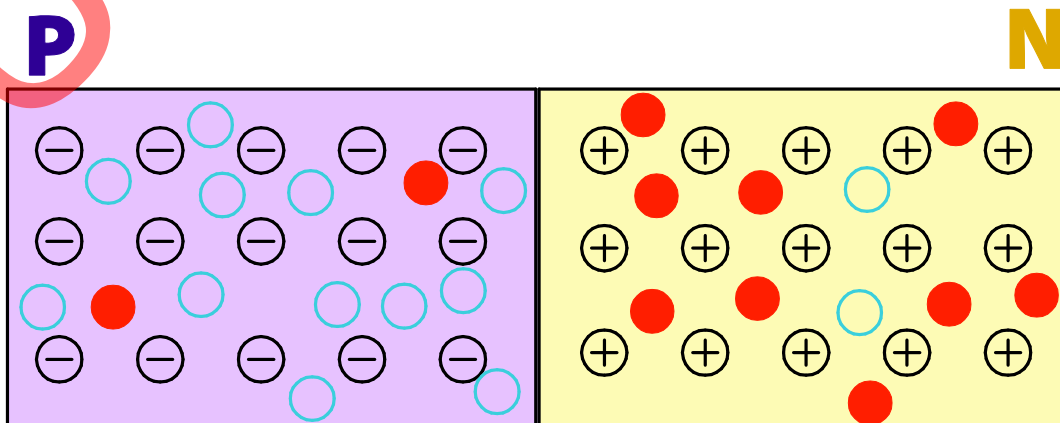
● **elektron**

○ **díra**

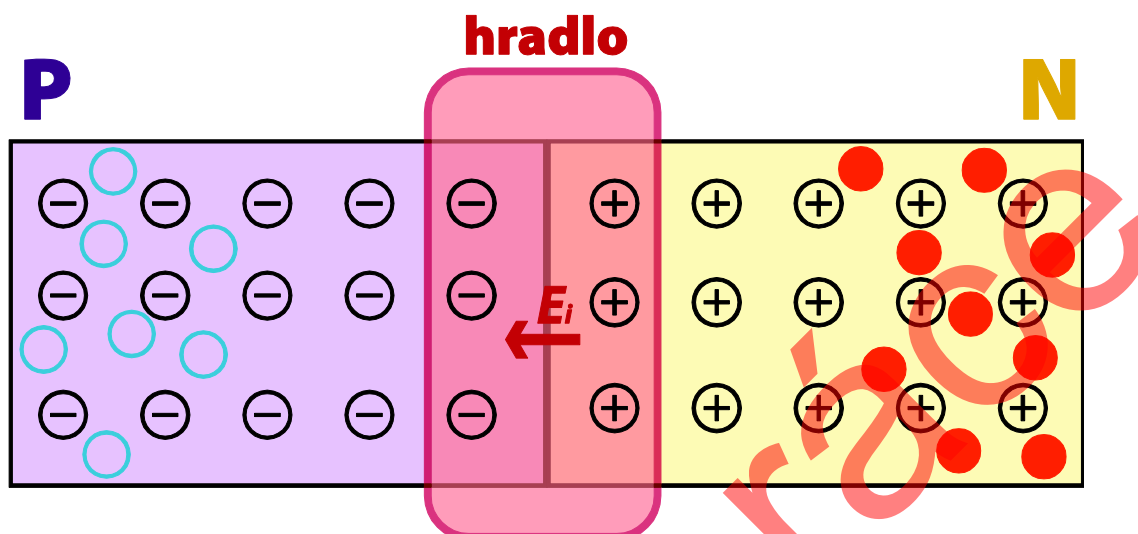
⊕ **kladný iont donoru**

⊖ **záporný iont akceptoru**

Analogicky dochází k difúzi elektronů z polovodiče typu N do polovodiče typu P, tam rekombinují s dírami. U rozhraní na straně polovodiče N se objevují nevykompenzované nepohyblivé kladné ionty donorů.

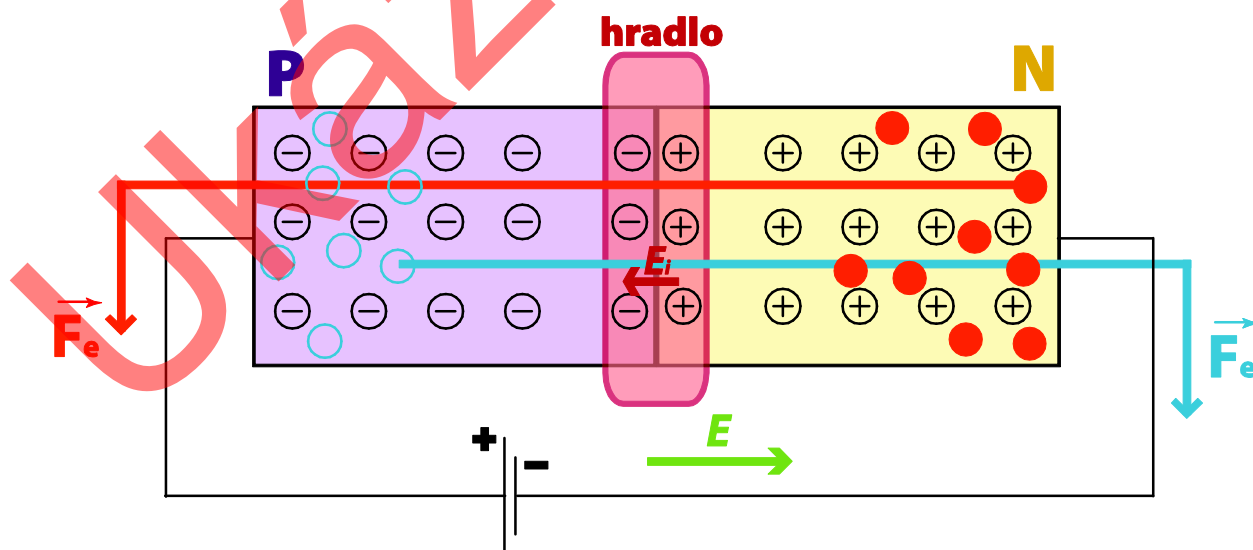


Vzniká hradlová vrstva – hradlo – o tloušťce zhruba $1\ \mu\text{m}$ s elektrickým polem, jehož intenzita směřuje z N do P, a které brání dalšímu pronikání elektronů a děr do oblasti přechodu PN. V rovnovážném stavu se v této oblasti nenacházejí žádné částice s nábojem, a proto má tato oblast velký odpor.



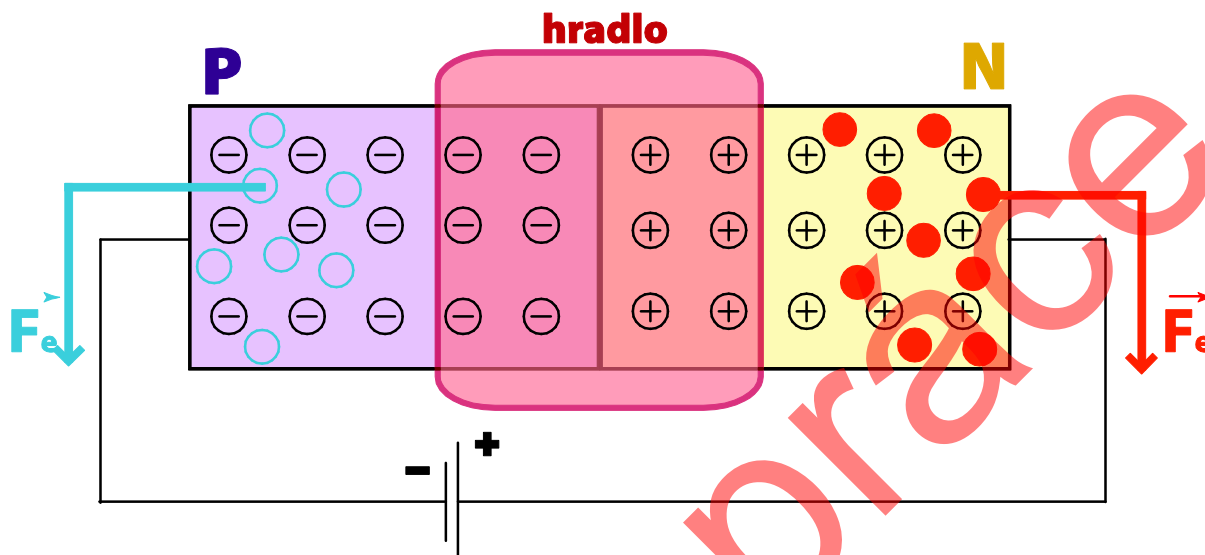
ZAPOJENÍ PN PŘECHODU V PROPUSTNÉM SMĚRU

Oblast P přechodu připojíme ke kladnému pólu zdroje, oblast N k zápornému pólu zdroje a v polovodiči vzniká elektrické pole, které je orientováno opačně než pole hradlové vrstvy. Dochází k potlačení této vrstvy a obvodem od určité velikosti intenzity vnějšího elektrického pole (tj. od určité hodnoty napětí zdroje) prochází elektrický proud. Díry jsou přitahovány k zápornému pólu zdroje, elektrony ke kladnému.



ZAPOJENÍ PN PŘECHODU V ZÁVĚRNÉM SMĚRU

Oblast N přechodu zapojíme ke kladnému pólu zdroje, oblast P k zápornému pólu zdroje, hradlová vrstva se zvětší a proud neprochází (prochází jen velmi malý proud). Elektronů z části N jsou přitahovány vnějším elektrickým polem ke kladnému pólu zdroje a díry z části P jsou přitahovány k zápornému pólu zdroje.



Pokud budeme zvyšovat proud, dojde k průrazu PN hradla:

- tepelný průraz – při zvyšování napětí začíná přechodem procházet malý proud. Jeho průchodem se uvolňuje Joulovo teplo, a proto dojde k excitaci nositelů náboje. Tím se zvýší vodivost, zvětší se proud a zároveň i Joulovo teplo. Při velké teplotě dojde k roztavení PN přechodu – součástka ztrácí své polovodičové vlastnosti. Jedná se o destruktivní průraz.
- Zenerův průraz – dochází k němu, pokud má hradlo malou šířku, a tudíž se uplatňují kvantové jevy. Díky tunelovému ujevu dochází k tomu, že nositel náboje překoná potenciálovou bariéru, kterou představuje PN přechod, a zvětší se vodivost součástky.
- lavinový průraz – při velké intenzitě vnějšího elektrického pole jsou elektrony urychlovány na relativně dlouhé dráze (šířka PN přechodu), a tím získají energii potřebnou k uvolnění dalšího elektronu z atomu. Uvolněný elektron s velkou energií může uvolnit další a dochází k lavinovému uvolňování elektronů. Na místě každého uvolněného elektronu vzniká díra.

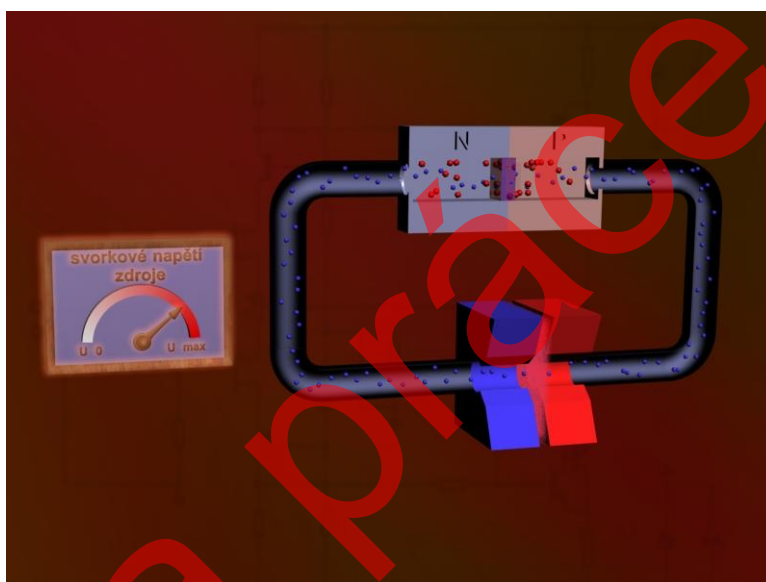
ANIMACE

V animaci je PN přechod v propustném resp. závěrném směru, protože je založen na funkci polovodičů a má nejširší využití. Většina polovodičových součástek má jeden nebo více PN přechodů. Nejpoužívanější a nejjednodušší polovodičová součástka obsahující jeden PN přechod je dioda. PN přechod je rozdělen na dvě části. Na část P, kde je vodivostní částicí tzv. díra, a na část N, kde vodí elektrony. Na rozhraní částí P a N se nachází oblast s opačným

napětím, než je mezi částmi P a N. Říká se jí hradlová oblast a vzniká při výrobě (z iontů obou materiálů). Hradlová oblast je nesmírně důležitá pro správnou funkci přechodu PN, protože zabráňuje rekombinaci děr a elektronů. (Kvůli větší složitosti animace a lepší přehlednosti je znázorněno napětí zdroje na měřáku místo zářením.)

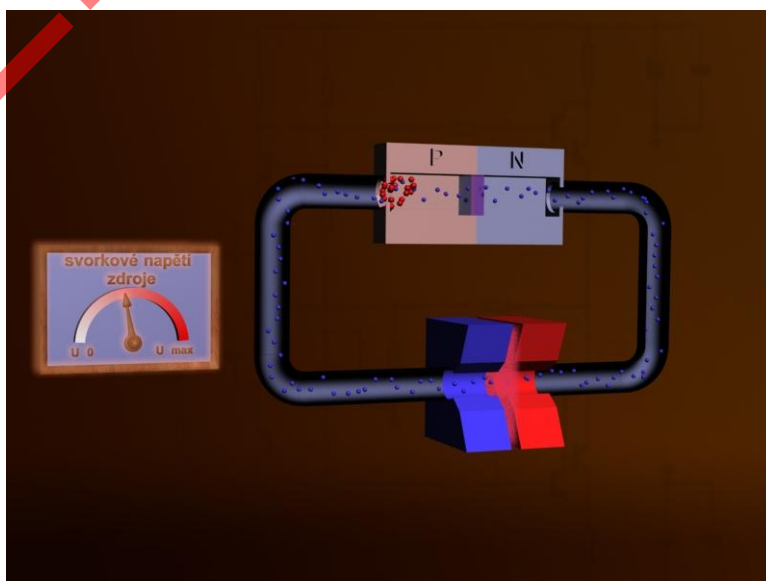
PN přechod v propustném směru.

Při propustném zapojení PN přechodu (tj. strana P je připojena ke kladnému pólu zdroje a N k zápornému) je potřeba překonat hradlové napětí; pak již mohou díry putovat do oblasti N a elektrony do oblasti P. Dioda se chová jako vodič s nepatrným odporem.



PN přechod v závěrném směru.

Při závěrném zapojení PN přechodu (tj. strana P je připojena k zápornému pólu zdroje a N ke kladnému) mají díry i elektrony tendenci putovat k pólu zdroje, který je přitahuje (odpuďí se od sebe a přes hradlovou oblast vůbec neprocházejí). Dioda se chová jako rezistor s nekonečně velkým odporem až do svého proražení (to nastává v případě, že napětí zdroje překročí maximální napětí, které je dioda schopna vydržet).



KAPITOLA OSMÁ

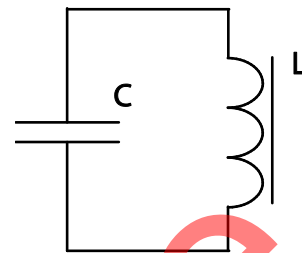


ZAŘÍZENÍ VE STŘÍDAVÉM PROUDU

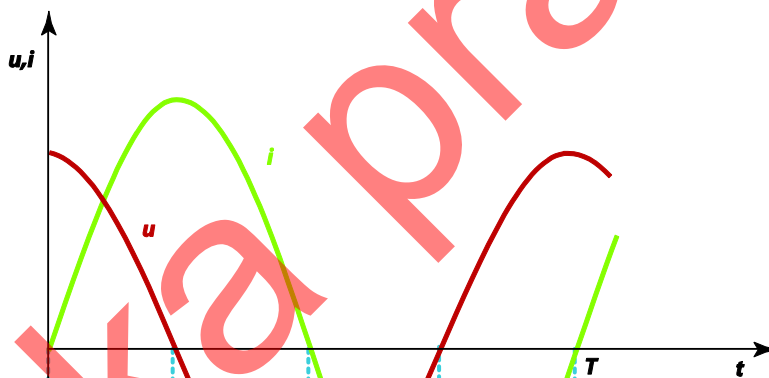
Ukázka práce

ELEKTROMAGNETICKÝ OSCILÁTOR

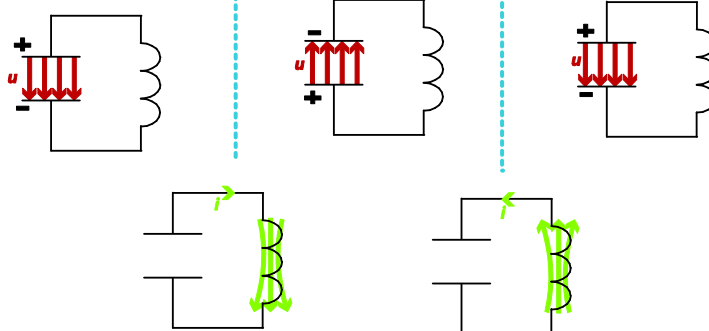
Nejjednodušší elektromagnetický oscilátor je obvod složený z cívky a kondenzátoru – *oscilační obvod* (obvod LC). Parametry tohoto obvodu jsou kapacita C kondenzátoru a indukčnost L cívky. Nabitím kondenzátoru se mezi jeho deskami vytvoří elektrické pole, jehož energie představuje počáteční energii oscilátoru. Po připojení kondenzátoru k cívce začne oscilačním obvodem procházet proud, kondenzátor se vybíjí a energie elektrického pole se zmenšuje. Zároveň se zvětšuje proud procházející cívkou a kolem ní se vytváří magnetické pole. Energie elektrického pole kondenzátoru se mění na energii magnetického pole cívky.



Kondenzátor se celý vybije za jednu čtvrtinu periody T kmitání LC obvodu. V tomto okamžiku dosahuje proud maximální hodnoty a celková energie kmitání je dána energií magnetického pole cívky. Kondenzátor je vybit a proud se začíná zmenšovat. Díky tomu vzniká *indukované napětí*, obvodem začíná procházet *indukovaný proud* a kondenzátor se zase nabíjí. Polarita jeho napětí je ale opačná a v okamžiku $t = \frac{T}{2}$ je ukončena přeměna magnetické energie v energii elektrickou. Ve druhé polovině periody se děj opakuje, ale směry proudů a pořadí polarity kondenzátorů jsou opačné.



Časové diagramy napětí a proudu jsou vzájemně posunuty o $\frac{T}{4}$, mezi napětím a proudem je fázový rozdíl $\frac{\pi}{2}$. Při maximálním napětí v obvodu jím prochází minimální proud a naopak.



Amplitudy napětí a proudu se s časem zmenšují. Příčinou je odpor oscilačního obvodu, který je z největší části tvořen odporem vinutí cívky. V něm se energie elektrického a magnetického

pole postupně mění na vnitřní energii vodiče – Joulovo teplo. Elektromagnetické kmitání oscilačního obvodu je tedy tlumené.

Abychom zabránili tlumení oscilačního obvodu, můžeme na začátku každé periody připojit oscilační obvod na krátký okamžik ke zdroji stejnosměrného napětí. Kondenzátor se nabije na počáteční hodnotu a oscilátor bude neustále kmitat. Jeho napětí ale nebude harmonické.

Pokud chceme mít netlumené harmonické kmitání, musíme jeho ztráty energie nahrazovat v průběhu celé periody. Toho docílíme, připojíme-li oscilátor ke zdroji harmonického napětí $u = U_m \sin \omega t$. Oscilační obvod pak bude kmitat s úhlovou frekvencí ω , která se může lišit od úhlové frekvence vlastního kmitání.

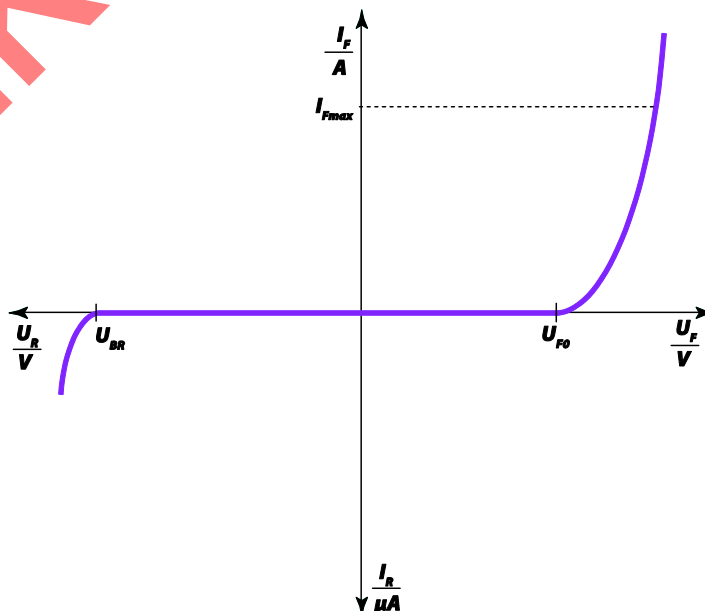
Připojením elektromagnetického oscilátoru ke zdroji harmonického napětí, vzniká v oscilátoru nucené kmitání. Oscilátor kmitá s frekvencí připojeného zdroje (nekmitá s frekvencí vlastního kmitání). Nucené kmitání je netlumené.

Frekvence nuceného kmitání nezávisí na parametrech oscilačního obvodu.

USMĚRŇUJÍCÍ DIODA

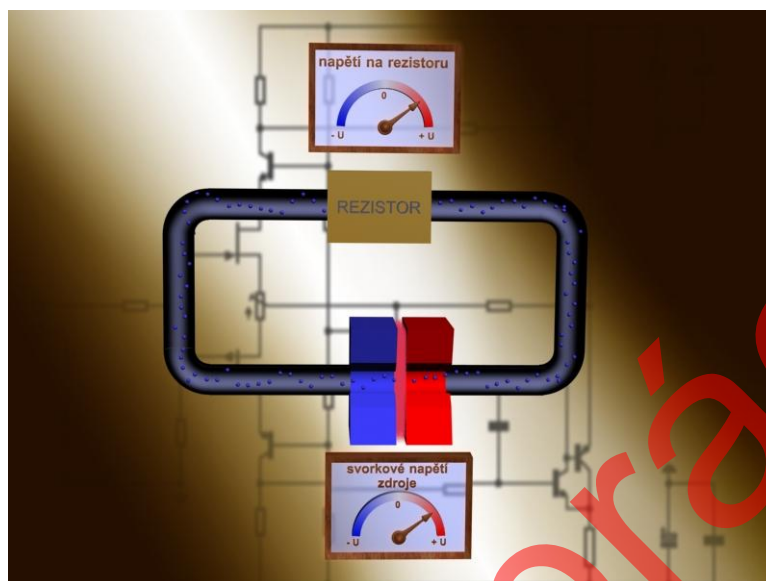
Dioda je jednoduchý PN přechod s přidanou ochranou proti prachu, vlhkosti, ... Vývod spojený s oblastí typu P je anoda, vývod spojený s oblastí typu N je katoda. Nejčastěji se používají dva typy diod, a to hrotová a plošná.

Hrotová dioda se vyrábí tak, že k polovodičové destičce typu N se hrotem přiloží wolframový drátek, kterým necháme krátkodobě projít elektrický proud. Drátek se přivaří a vzniká stabilní PN přechod. Protože je plocha přechodu malá, může diodou procházet jen malý proud. Skutečnou diodu můžeme nahradit ideální diodou a k ní paralelně zapojeným kondenzátorem. Pokud zapojíme diodu v propustném směru, neuplatní se její kapacita. V zapojení do závěrného směru je odpor diody velký a proud tedy prochází i větví s kondenzátorem (závisí na jeho kapacitanci $X_C = \frac{1}{C\omega}$). Pokud bude obvodem procházet střídavý proud s velkou frekvencí, bude kapacitance malá, proud bude procházet přes kondenzátor a obvodem s diodou v závěrném směru bude procházet proud. To se používá pro usměrnění vysokofrekvenčních proudů (radiové a televizní přijímače, ...). Čím je frekvence vyšší, tím lépe bude proud usměrněn.

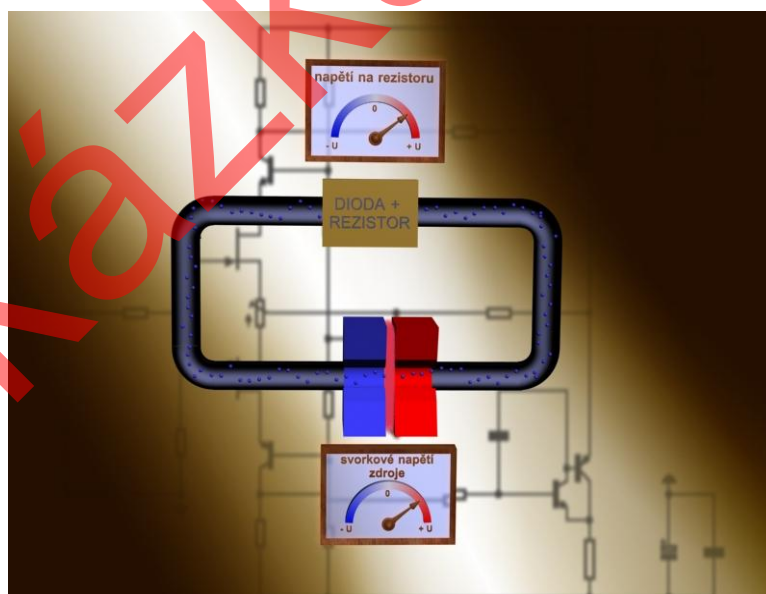


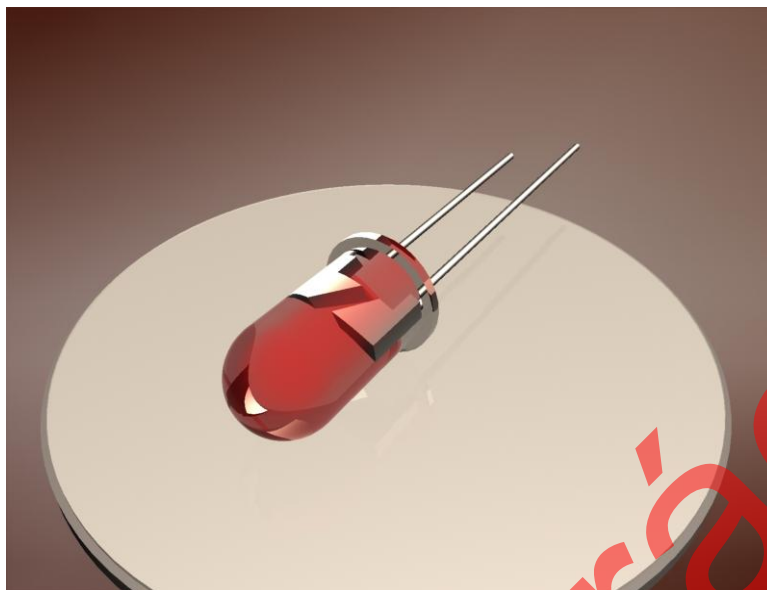
Rezistor v obvodu střídavého proudu.

Na animaci vidíme jaký má průběh střídavý proud (resp. napětí) v obvodu s rezistorem. Takovýto průběh je celkem nezajímavý a pokud máme k dispozici stejnosměrný proud, je určitě vhodnější. Na rezistoru nedochází k posunu fáze.

Dioda v obvodu střídavého proudu.

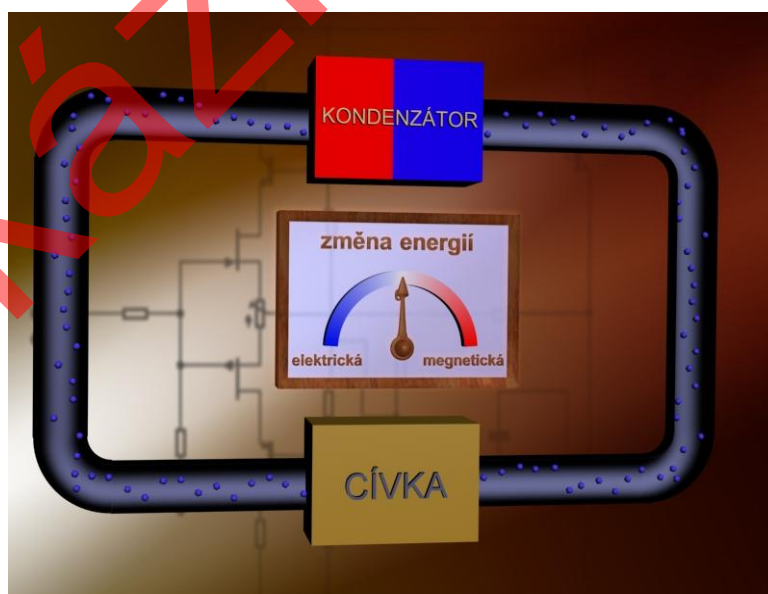
V obvodu je zapojená dioda která má usměrňující význam. I když je napětí zdroje střídavé tak na rezistoru už je stejnosměrné, ale pulzující.



LED dioda.Oscilační obvod.

Oscilační scilační obvod se skládá z cívky a kondenzátoru. Má využití v elektrotechnice (vysílače, přímače atd.)

Na animaci je znázorněn elektromagnetický oscilátor (obvod s cívkou a kondenzátorem) a jeho nenucené kmitání (kondenzátor byl nabitý před zapojením do obvodu). Průběh kmitání: Kondenzátor se vybije, přitom se změní elektrická energie na magnetickou energii v cívce, ta se přemění opět na elektrickou a kondenzátor se nabije opačně, než předtím. Známe také nucene kmitání, které vzniká připojením zdroje střídavého harmonického napětí k elektromagnetickému oscilátoru.



KAPITOLA DESÁTÁ



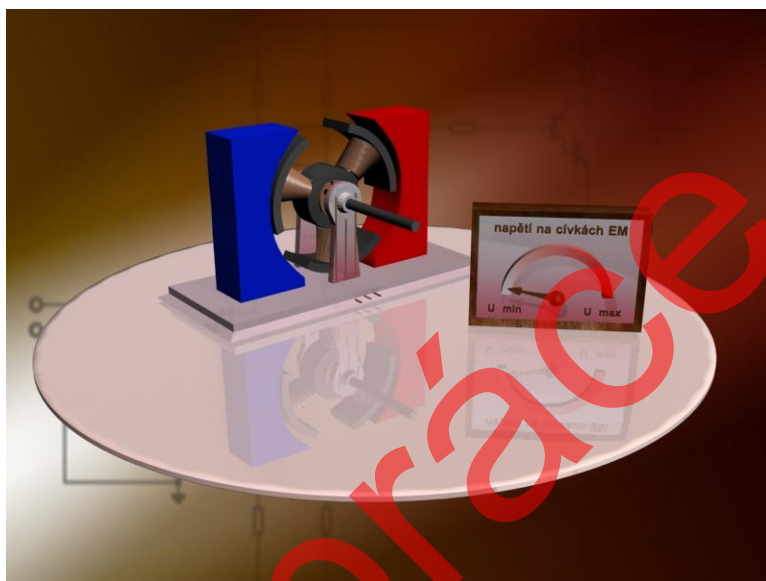
PRAKTICKÉ VYUŽITÍ ELEKTRICKÉHO PROUDU

Ukázka práce

ANIMACE

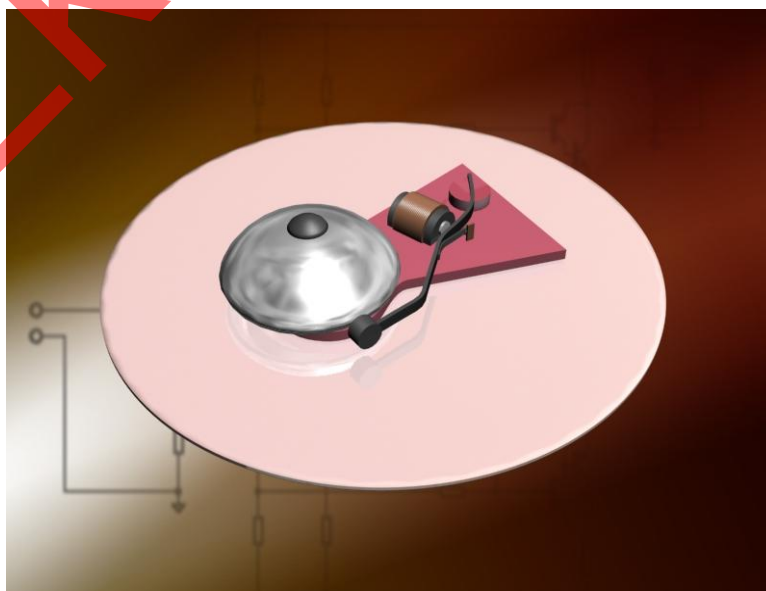
Elektromotor.

Elektromotor (resp. generátor) je zařízení, které slouží k přeměně mechanické energie na elektrickou. Pracuje na principu elektromagnetické indukce. V tomto případě jsou ve statoru dva magnety a v rotoru, v němž se elektrická energie (puštěním proudu) mění v energii magnetickou, jsou tři cívky. Interakce magnetických sil mezi státorem a rotorem má za následek roztočení elektromotoru.

Zvonek.

Zvonek se skládá z elektromagnetu (cívky), pohyblivé části a hlavy. Pohyblivá část (palička) je z vodivého materiálu a napojena do obvodu s elektromagnetem tak, že v pozici kdy se nedotýká hlavy, je obvod uzavřen a v pozici, kdy se jí dotýká, je obvod otevřen. Palička je lehce napružená, aby byl její klidový stav s nejmenší energií v pozici, kdy se nedotýká zvonící hlavy. Zvonění má za následek neustálé přerušování obvodu s elektromagnetem.

Elektromagnet je umístěn tak, aby mohl v případě sepnutí obvodu přitahovat paličku k hlavě.



ZÁVĚR



Ukážka práce

Hlavním účelem projektu bylo vytvoření programu vysvětlujícího hůře pochopitelné děje, které probíhají v obvodu elektrického proudu.

Hodně úsilí bylo věnováno názornému přiblížení fyzikálních jevů probíhajících v obvodu elektrického proudu - a to jak elektrických, tak i magnetických.

Bylo velice obtížné vymyslet a vytvořit program, který by umožňoval spouštění daných animací, zobrazoval podrobné fyzikální texty, obsahoval kvízy k otestování znalostí uživatelů a zároveň měl příjemné a jednoduché uživatelské rozhraní.

Věříme, že se nám dané úkoly podařilo splnit co nejlépe, a že práce bude využívána v hodinách fyziky nebo jen tak, pro zábavu studentů.

Ukázková práce