

*Niž tak nezušľachťuje človeka
ako pochybnosť.
Naprava ňou samého seba
a nesúdi iného.*

Seneca

Venujeme mladým učiteľom elektrotechniky

Buďte lepší ako my

ÚVOD

Odborno-metodická príručka pre určený predmet elektrotechnika poskytuje materiál, ktorý má pomôcť učiteľom stredných priemyselných škôl skvalitniť a zefektívniť výchovno-vzdelávací proces tak, aby dosahované výsledky zodpovedali súčasným nárokom na prípravu študentov v oblasti elektrotechniky.

Rozvoj vzdelávacej sústavy predpokladá **všestrannú a postupnú modernizáciu práce školy**. Modernizácia vyučovacieho procesu si vyžaduje predovšetkým presné a jasné stanovenie vzdelávacích cieľov, optimálne vymedzenie učebného obsahu a používanie účinných vyučovacích metód. Nestačí iba modernizácia vyučovacích prostriedkov. Úlohou učiteľov je tieto požiadavky realizovať vo vlastnej vzdelávacej práci.

Príručka pozostáva z dvoch častí. I. časť obsahuje 1.,2.,3.,4. a polovicu 5. kapitoly (I. - VI. tematický celok). II. časť obsahuje druhú polovicu 5. kapitoly (VII. - XII. tematický celok) a 6. kapitolu.

1. kapitola sa týka **vzdelávacích cieľov** predmetu elektrotechnika. Okrem vzdelávacích cieľov, ktorými sú osvojenie a upevnenie vedomostí, zručností a návykov, mali by učitelia venovať primeranú pozornosť aj výchovným cieľom. V procese vyučovania elektrotechniky treba úmerne rozvíjať viaceré zložky výchovy, a to najmä **rozumovú, vlasteneckú, mravnú, pracovnú a estetickú**.

2. kapitola je určená charakteristike **učebného obsahu**. Je to predovšetkým otázka správneho výberu základného učiva. Modernizácia učebného obsahu predmetu predpokladá predovšetkým orientáciu na **základnú štruktúru učiva** a vytváranie systému vedomostí, zručností a návykov s horizontálnymi a vertikálnymi spojmi.

3. kapitola pojednáva o základných **vyučovacích metódach** v elektrotechnike. Popri metódach tradičného vyučovania - výkladu, rozhovoru a pod. sa doporučujú moderné vyučovacie metódy, a to hlavne problémová metóda.

4. kapitola uvádza stručnú charakteristiku **vyučovacieho procesu** elektrotechniky ako celku. Popisuje sa spôsob prípravy učiteľa na vyučovaciu hodinu.

5. kapitola, ktorá je obsahovo najrozsiahlejšia, je **odbornometodicko analýzou jednotlivých 12-tich tematických celkov** predmetu elektrotechnika. Obsahuje metodické postupy osvojovania si základných vedomostí v tomto predmete.

6. kapitola obsahuje **modely vyučovacích hodín** v elektrotechnike.

Želaním autorov je, aby príručka pomohla učiteľom v ich práci. Predloženú prácu treba chápať ako jeden pohľad na spôsob výuky predmetu a z toho dôvodu nemožno vylúčiť aj iné spôsoby riešenia danej problematiky.

1. VZDELÁVACIE CIELE V ELEKTROTECHNIKE

1.1. Rozumová výchova (vzdelávanie)

Je základnou zložkou výchovy. Vytvára trvalé základy aj pre výchovu pracovnú, mravnú a estetickú.

a) Základné úlohy rozumovej výchovy

- osvojovanie a upevňovanie vedomostí, zručností a návykov žiakov,
- rozvoj tvorivých poznávacích schopností žiakov.

Prvou úlohou rozumovej výchovy (vzdelávania) je teda osvojovanie a upevňovanie vedomostí, zručností a návykov žiakov.

Rozsah učiva je daný **učebným obsahom** predmetu. Učebný obsah elektrotechniky je predpísaný učebnými osnovami a je uvedený v učebniciach elektrotechniky.

Žiaci si osvojujú predovšetkým základné vedomosti, ktoré majú v ich vedomí vytvárať systém s príslušnými horizontálnymi a vertikálnymi spojmi. Učiteľ pri vyučovaní postupuje podľa zvoleného metodického postupu (ten vychádza z logických metód myslenia) a používa vhodné aktivačné vyučovacie metódy.

Ďalšou úlohou rozumovej výchovy (realizuje sa súčasne s osvojovaním a upevňovaním učiva) je rozvíjanie **tvorivých poznávacích schopností** žiakov. V elektrotechnike treba systematicky rozvíjať jednak zmyslové poznávanie, predovšetkým **logické** (abstraktné) **myslenie**. Túto úlohu splní učiteľ najmä použitím vhodných vyučovacích metód vo všetkých fázach vyučovacieho procesu. V prvej fáze, t.j. pri osvojovaní učiva, možno rozvíjať zmyslové poznávanie (napr. pri demonštračných pokusoch učiteľa) a tiež logické myslenie (napr. použitím problémovej vyučovacej metódy, logických metód, atď.). Rozvoj tvorivých schopností žiakov je nevyhnutný i v ďalšej fáze vyučovacieho procesu, t. j. pri upevňovaní učiva (napr. tvorivé myslenie sa rozvíja pri precvičovaní vedomostí formou riešenia príkladov, atď.).

b) Špecifické úlohy rozumovej výchovy v základoch elektrotechniky

- vytvorenie optimálneho systému základných vedomostí
- vplyv nových vedeckých poznatkov na učebný obsah elektrotechniky.

V prvom rade sa musí vytvoriť **optimálny systém základných vedomostí**; jeden návrh jadra systému je uvedený v tejto príručke, pozri kapitolu "Odborno-metodická analýza učebného obsahu elektrotechniky". Musí to byť logický systém základných vedomostí, súvisiacich v horizontálnom a vertikálnom smere.

Návrh predpokladá vyradiť z učebného obsahu niektoré vedľajšie učivo a naopak doplniť ho novými témami, napr. základnými poznatkami o vlastnostiach elektromagnetických vĺn, o vedení elektrického prúdu v polovodičoch, v plynoch a vo vákuu a pod.

V druhom rade je dôležitá otázka, ako vplýva neustály príliv **nových vedeckých poznatkov** na učebný obsah základov elektrotechniky. Treba si uvedomiť, že ide o základný predmet, a preto štruktúra a obsah predmetu má mať **trvalejší charakter**.

Predovšetkým sa základné učivo musí neustále **upresňovať na základe najnovších poznatkov** súčasnej vedy a techniky, ktoré sa týkajú podstaty elektrických a magnetických javov. Treba si uvedomiť, že súčasná technika využíva teóriu relativity, kvantovú elektroniku (polovodiče, integrované obvody), atď. V základoch elektrotechniky sa síce poznatky spomínaných vedných odborov priamo nevysvetľujú, treba však v tomto predmete vytvoriť priaznivé podmienky k tomu, aby si ich žiaci osvojili v príslušných odborných predmetoch.

V súčasnosti je situácia v učebnom obsahu základov elektrotechniky taká, že skúmané elektrické a magnetické javy sa v tomto predmete nevysvetľujú použitím zákonov mikrosвета (napr. zákonmi kvantovej teórie), ale sa uplatňujú veličiny a zákony, ktoré tieto javy popisujú z **pohľadu makrosвета** (napr. veličiny el. prúd, el. odpor, Ohmov zákon a pod.). Z tohoto dôvodu pri výklade základných elektrických a magnetických javov sa musia dôsledne uplatňovať poznatky **o vnútornej stavbe atómov**, o atómovej štruktúre látok a tiež treba tam, kde je to možné, dôsledne presadzovať **kvantový charakter stavby hmoty**.

1.2. Vlastenecká výchova

Základom vlasteneckej výchovy je predovšetkým výchova **lásky k svojej vlasti a k svojmu národu a k prírode Slovenska.**

V elektrotechnike môže učiteľ poukázať na históriu a súčasnosť elektrotechniky na Slovensku a na podiel slovenských vedcov a technikov na jej rozvoji.

Boli to napr. Štefan A. Jedlí (objav princípu elektrického dynama), Jozef Murgaš (objavy v oblasti bezdrôtovej rádiatelegrafie), Dionýz Ilkovič (v oblasti polarografie) a ďalší.

Tiež možno poukázať na význam elektrotechniky pri **obrane vlasti**. Z tohto hľadiska sú dôležité vedomosti o elektrických vlastnostiach látok (rôzne materiály a súčiastky, ako napr. rezistory, kondenzátory, cievky, polovodičové prvky a pod.) a vedomosti o elektrickom a magnetickom poli, elektromagnetickej indukcii a elektromagnetických vlnách (rôzne stroje, prístroje, počítače, vysielacie a pod.).

Technik musí poznať vplyv vedy a techniky **na prírodu**. V súčasnom období je obzvlášť naliehavá otázka ochrany a čistoty prírody a životného prostredia človeka. Niektoré látky znečisťujú ovzdušie, zem, vodu (napr. vznik ozónovej diery spôsobujú freóny používané i v chladiarenskom priemysle).

1.3. Pracovná a technická výchova

Práca je prvou a základnou podmienkou ľudskej existencie. Dve základné úlohy **pracovnej výchovy** obecné sú:

- naučiť žiakov **pracovať odborne** (pracovná kvalifikácia)
- vytvoriť **pomer žiaka k práci** (formovanie mravných vlastností).

V rámci vyučovania odborných predmetov sa formujú určité pracovné predpoklady (základy pracovnej kvalifikácie) v procese osvojovania a upevňovania vedomostí, zručností a návykov. Ide predovšetkým o rozvoj špecifických zručností a návykov (ako je

napr. zručnosť riešiť určitý typ úloh). Ďalšou úlohou pracovnej výchovy v tomto predmete je utváranie dobrej pracovnej morálky, t.j. ide o formovanie príslušných citových, vôľových a charakterových vlastností žiaka.

V rámci pracovnej výchovy učiteľ zároveň formuje **pracovný štýl** žiaka, ktorý sa predovšetkým opiera o

- systematicnosť a pravidelnosť
- dôslednosť
- vytrvalosť.

Technická výchova úzko nadväzuje na pracovnú výchovu. Jej hlavným cieľom je oboznámiť žiakov teoreticky a prakticky s rozličnými **druhmi práce** a s **technikou** (pracovnými nástrojmi, strojmi a pod.). Technická výchova má obecné dve stránky:

- spojovanie základov vied s vedeckými zásadami výroby (teoretická časť)
- získavanie praktických zručností a návykov v zaobchádzaní s jednoduchšími pracovnými nástrojmi a strojmi (praktická časť).

Hlavnou podmienkou úspešného nadobudnutia technického vzdelania je ovládanie základov vied. V predmete elektrotechnika si žiaci osvojujú základné odborné vedomosti z elektrotechniky, ktoré tvoria základ pre získanie technického vzdelania prostredníctvom ďalších odborných predmetov. Zároveň treba rozvíjať technické myslenie žiakov. Schopnosť prakticky zaobchádzať s elektrickými prístrojmi a strojmi nadobúdajú žiaci vo väčšej miere v iných odborných predmetoch.

1.4. Mravná výchova

Morálkou (mravnosťou) rozumieme spoločenské normy a pravidlá, podľa ktorých ľudia určitého spoločenského celku konajú. Z hľadiska výchovy je to:

- morálka heteronomná (daná zvonku) - sú to obecne uznávané a verejne hlásané mravné normy
- morálka autonómna - mravné normy, ktoré určitý jedinec vnútorne uznáva.

Výchova má za cieľ, aby zvonku danú morálku vstúpila žiakovi tak, aby sa stala jeho osobným presvedčením

Mravné výchovné ciele sú jednak vzťahové (vzťah žiakov k práci, ku kolektívu a pod.) a jednak ide o formovanie charakterových vlastností (čestnosť, vytrvalosť a pod.).

Výchova k **humanizmu** predpokladá formovanie medziludských vzťahov, najmä vzbudzovanie úcty človeka k človeku, ľudskej spolupatričnosti, bratstva, súcitnosti, ale zároveň odstraňovanie nespravodlivosti, chýb, zlých skutkov a pod. Ľudská osobnosť v duchu ideálov humanizmu sa v súčasnosti môže maximálne rozvinúť jedine v demokratickej spoločnosti.

V predmete elektrotechnika musí učiteľ svoje výchovné pôsobenie zamerať preto aj na **humanitnú výchovu**. Treba si uvedomiť, že výchova k humanizmu je dlhotrvajúci proces, začína sa od detstva v rodine a rozvíja sa v škole i vo výchovnej práci mimo vyučovania. Súvisí s citovou výchovou žiakov a vyžaduje určité psychologické schopnosti učiteľa. Postoje a názory 14 - 16 ročného žiaka sa stále vyvíjajú a tiež jeho správanie nemusí byť vždy v zhode s vnútorným prežívaním. Napríklad, navonok slušné vystupovanie žiaka nemusí byť ešte prejavom úprimnosti ale egoizmu. V tejto súvislosti musí učiteľ pri výchovnom pôsobení uplatňovať niektoré mravné zásady, ako je napr. spojenie náročnosti s úctou učiteľa ku žiakovi a vyzdvihovanie kladných a prekonávanie záporných čŕt žiaka. Predovšetkým svojou vlastnou humánnosťou, ale pritom náročnosťou, vedie učiteľ žiakov k tomu, aby vždy konali čestne a vystupovali so zmyslom pre kolektív.

Výchova **charakterových vlastností** má rozhodujúci význam pre úspešné uplatnenie sa jednotlivca v štúdiu a potom i v praxi. Ide predovšetkým o rozvoj vlastností, ktoré vyjadrujú:

- vzťah človeka k iným ľuďom (priateľstvo, čestnosť a pod.)
- vzťah človeka k práci (dôslednosť, zodpovednosť, systematickosť, svedomitosť, schopnosť organizovať prácu a pod.)
- vzťah človeka k sebe samému (skromnosť, sebaovládanie, trpezlivosť a pod.)
- vôľové vlastnosti (vytrvalosť, húževnatosť a pod.).

V elektrotechnike **možno formovať všetky uvedené druhy charakterových vlastností**. Veľkú pozornosť treba venovať najmä rozvoju tých vlastností, ktoré súvisia so vzťahom žiaka k práci, k štúdiu. Žiak sa má učiť:

- svedomité, bez akéhokoľvek úsilia o zľahčenie práce
- zodpovedne, napr. pri doriešení konkrétnej úlohy sa má vyjadriť, či sa zaručuje za výsledok a svoje stanovisko zdôvodní
- dôsledne, napr. každý príklad i jeho dielčiu časť treba dopočítat dôsledne do konca
- systematicky, napr. pri riešení úlohy musí postupovať podľa určitého postupu.

Opäť je tu rozhodujúci **osobný príklad učiteľa**. Ak učiteľ chce svojich žiakov viesť napr. k dôslednému štúdiu a plneniu svojich povinností, musí jednak od nich vyžadovať dôslednosť, ale zároveň musí byť dôsledný sám. Vo vyučovacom procese má na to viaceré príležitosti (napr. každý príklad treba dopočítat dôsledne do konca, dané slovo musí učiteľ vždy dodržať a pod.).

Dôležitou zložkou mravnej výchovy je aj výchova **k uvedomelej disciplíne**. Disciplína je totiž základným predpokladom dosiahnutia kladného výsledku určitej činnosti.

Prvé základy disciplinovaného správania sa kladú v rodinnom živote a na tie nadväzuje škola. Všeobecne sa za nedisciplinovaných pokladajú takí žiaci, ktorí nesplnia normy a pravidlá pre prácu v

škole a tiež nedostatočne plnia príkazy a požiadavky svojich učiteľov. Niekedy učitelia za nedisciplinovanosť nesprávne pokladajú aj prejavy temperamentu a živosti žiaka. Tiež naopak, mylne pokladajú za určite disciplinovaného takého žiaka, ktorý ticho sedí, plní príkazy bez odvrávania a teda formálne sa podriaďuje stanoveným pravidlám a príkazom.

Učiteľ elektrotechniky musí tiež jednak od žiakov vyžadovať disciplinovanú pracovnú činnosť, ale zároveň im musí vysvetliť, že disciplína je nevyhnutná podmienka každej úspešnej práce. K disciplíne vedie učiteľ žiakov aj svojím osobným príkladom, napr. presnou organizáciou svojej pedagogickej práce. Zároveň vedie k disciplinovanej činnosti aj svojich žiakov, napr. aby na hodine disciplinovane pracovali, aby uvážene a disciplinovane vyjadrovali svoje myšlienky a pod.

1.5. Estetická výchova

Úlohou estetickkej výchovy na škole je viesť žiakov k rozvoju schopností,

ako sú:

- objavovanie a vnímanie krásy objektívneho sveta (je spojené s estetickým prežívaním)
- hodnotenie krásy objektívneho sveta, čiže výchova vkusu (vedieť rozoznať, čo je skutočne krásne)
- tvorenie krásy (t.j. estetické zobrazenie objektívneho sveta a výchova k umeniu)
- estetické spravenie sa žiakov a utváranie estetického životného prostredia.

Aj v elektrotechnike sa má estetickosť prejavovať v každej zložke vyučovacieho procesu. Rozhodujúcim činiteľom je opäť osobnosť učiteľa, kultúrna úroveň jeho vystupovania a schopnosť prenášať estetické momenty do pedagogického procesu. Zároveň má

učiteľ dbať o dodržanie základných estetických prejavov v štýle práce svojich žiakov. Usmerňuje predovšetkým:

- estetiku všetkých rečových prejavov a vystupovaní žiakov (od bežného rozhovoru až po odpovede pri skúšaní)
- estetiku písomných prejavov žiakov (úhl'adnosť v písme a kresbách na tabuli a v pracovných zošitoch a pod.)
- zovňajšok žiaka (čistota pracovného obleku, úprava vlasov a pod.)
- estetickú úpravu a čistotu pracovného prostredia v triede.

2. UČEBNÝ OBSAH PREDMETU ELEKTROTECHNIKA

2.1.Charakteristika učebného obsahu

Učebným obsahom (obsahom vzdelania) obecne sa rozumie súhrn **vedomostí, zručností a návykov**, ktoré si žiaci majú osvojiť v jednotlivých vyučovacích predmetoch. Ide o ucelenú sústavu teoretických poznatkov, intelektuálnych a praktických zručností a návykov.

Predmet elektrotechnika patrí medzi základné odborné predmety. Žiaci v ňom získavajú ucelený teoreticko-odborný základ elektrotechniky. Štruktúra a obsah predmetu má trvalejší charakter. Vedomosti, zručnosti a návyky v ňom získané, sa ďalej rozvíjajú v nasledujúcich elektrotechnických predmetoch.

Elektrotechnika sa vyučuje v 1. a 2. ročníku na stredných priemyselných školách elektrotechnických. Učebné osnovy predmetu sú v podstate rovnaké pre všetky študijné odbory.

V odboroch slaboprúdovej elektrotechniky sa používajú učebnice:

- T. Hajach, M. Tuma, E. Šteliarová: "Základy elektrotechniky I a "Základy elektrotechniky II
- zbierka príkladov: A. Blahovec "Základy elektrotechniky v príkladoch a úlohách".

Učiteľ pri vypracovaní tematického plánu a pri konkrétnej príprave na jednotlivé vyučovacie hodiny vychádza v prvom rade z učebných osnov, ktoré však možno považovať iba za všeobecnú inštrukciu na výchovno-vzdelávaciu prácu v danom predmete. Učebné osnovy sa delia na tematické celky a tie na témy s určitým počtom vyučovacích hodín.

Učiteľ vychádza z učebnice, v ktorej je uvedená učebná látka v zodpovedajúcom rozsahu a tiež zo zbierky príkladov. O výbere základného a vedľajšieho (primárneho a sekundárneho) učiva však učiteľ musí rozhodnúť sám.

2.2.Vedomosti v základoch elektrotechniky

a) Základné a vedľajšie vedomosti

Učiteľ v príprave musí vykonať **didaktickú analýzu učiva** (rozbor učiva). Informácia, ktorú žiak získa o okolitom svete, sa nazýva **poznatok**. Ak si poznatok žiak osvojí učením a individuálnou skúsenosťou vo svojom vedomí, potom vzniká **vedomosť**.

Pri členení učiva treba prihliadať na delenie vedomostí, ktoré sa delia na vedomosti **konkrétne** (fakty, vzťahy medzi faktami, pojmy) a vedomosti **obecné** (definície, zákony, poučky, pravidlá).

Pri výbere učiva treba ďalej vedomosti deliť na základné a vedľajšie (rozvíjajúce). V súčasnosti, keď vývoj spoločnosti sa vyznačuje prudkým rastom vedeckých informácií, je jediné možné východisko pri výbere učiva v orientácii na základnú štruktúru učiva. Ide v podstate o to, že základné pojmy, definície, zákony a ich vzájomné vzťahy sa musia učiť omnoho dôraznejšie a hlbšie, druhoradými, faktografickými poznatkami sa žiaci nemajú príliš zaťažovať.

V tejto práci je uvedený návrh na vymedzenie základného učiva predmetu elektrotechnika, pričom sa rešpektujú platné učebné osnovy. Zdôrazňuje sa význam dôsledného vysvetlenia základných veličín a zákonov elektrotechniky, dosah ich platnosti, uvádzajú sa vhodné základné príklady (na prvé precvičenie a upevnenie nadobudnutých vedomostí). Návrh vedľajšieho (rozširujúceho) učiva sa v tejto práci neuvádza.

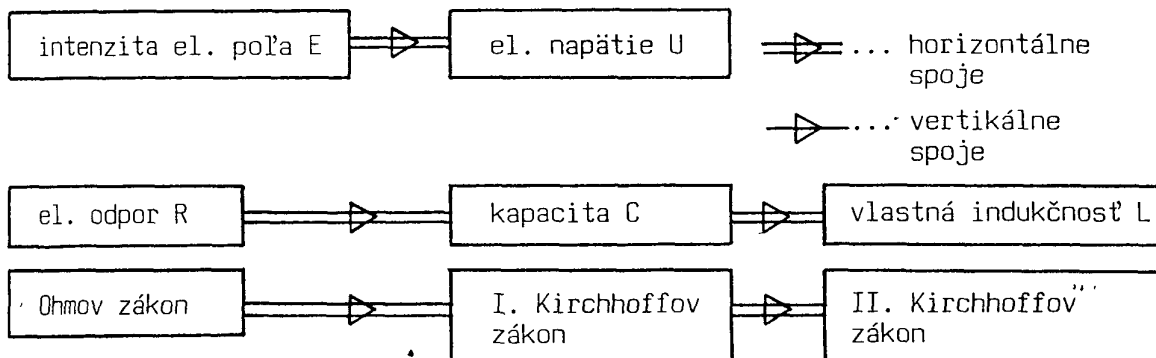
b) Spôsob vytvárania systému vedomostí

Metodika vyučovania elektrotechniky musí obsahovať cieľavedomý postup osvojenia si poznatkov. Základným zmyslom tohoto postupu je vytváranie **systému** (sústavy) **vedomostí** s potrebnými **horizontálnymi** a **vertikálnymi** spojmi.

Pri vytváraní systému vedomostí v smere **horizontálnych** spojov sa využívajú vzťahy medzi jednotlivými **rovnocennými pojmami** alebo **rovnocennými zákonmi**. Napríklad, horizontálne spoje existujú medzi základnými veličinami elektrického poľa (intenzita elektrického poľa E a elektrické napätie U), alebo medzi základnými veličinami charakterizujúcimi prvky elektrického obvodu (elektrický odpor R , kapacita C , vlastná Indukčnosť L), pozri tabuľku 1. Podobne existujú horizontálne spoje medzi zákonmi. Napríklad, medzi základnými zákonmi elektrického obvodu (Ohmov zákon, I. Kirchhoffov zákon, II. Kirchhoffov zákon), pozri tabuľku 1.

Tabuľka 1.

Príklady horizontálnych spojov medzi vedomosťami



Pri vytváraní systému vedomostí v smere **vertikálnych** spojov ide o postupné prehĺbovanie daného **pojmu** alebo **zákona** po jednotlivých základných krokoch. Rozširovanie pojmov (veličín) elektrický odpor R a kapacita C v smere vertikálnych spojov medzi vedomosťami je uvedené v tabuľke 2. Vertikálne spoje vznikajú aj medzi zákonmi a poučkami. Napríklad, zo základných zákonov elektrického obvodu (Ohmov zákon, I. a II. Kirchhoffov zákon) vyplývajú vzorce na výpočet výsledného odporu pri sériovom a paralelnom spojení rezistorov a z týchto vzorcov sa odvodí

transfiguračné vzorce premeny spojenia odporov do trojuholníka na spojenie odporov do hviezdy, pozri tabuľku 3.

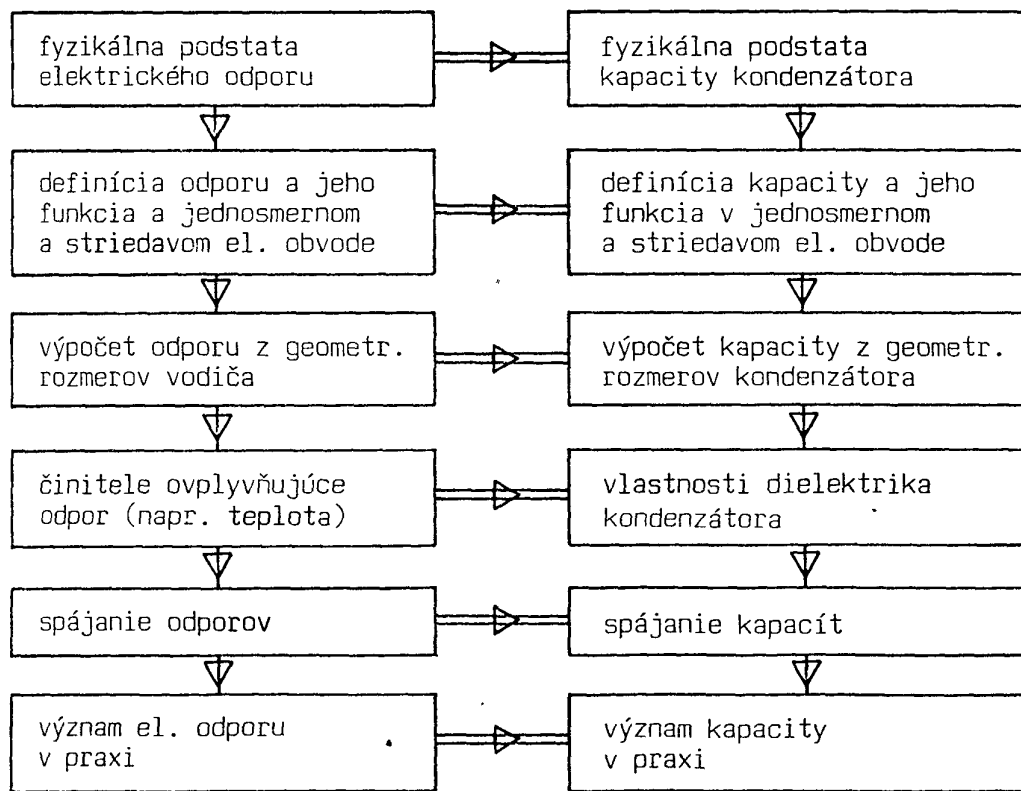
Z tabuľky 2 a z tabuľky 3 tiež vyplýva, že horizontálne spoje vznikajú aj medzi jednotlivými krokmi dvoch alebo viacerých vertikálnych systémov vedomostí. Napríklad, po získaní vedomostí o spájaní kapacít vznikne horizontálny spoj so skôr osvojenou vedomosťou o spájaní rezistorov alebo po osvojení učiva o obvode jednosmerného prúdu, obvode striedavého prúdu a obvode s prechodným javom vzniknú horizontálne spoje medzi vedomosťami o vlastnostiach, ktoré v týchto obvodoch majú veličiny elektrický odpor, kapacita a vlastná Indukčnosť.

Tabuľka 2

Príklady horizontálnych a vertikálnych spojov medzi vedomosťami (rozvíjanie pojmov)

el. odpor R:

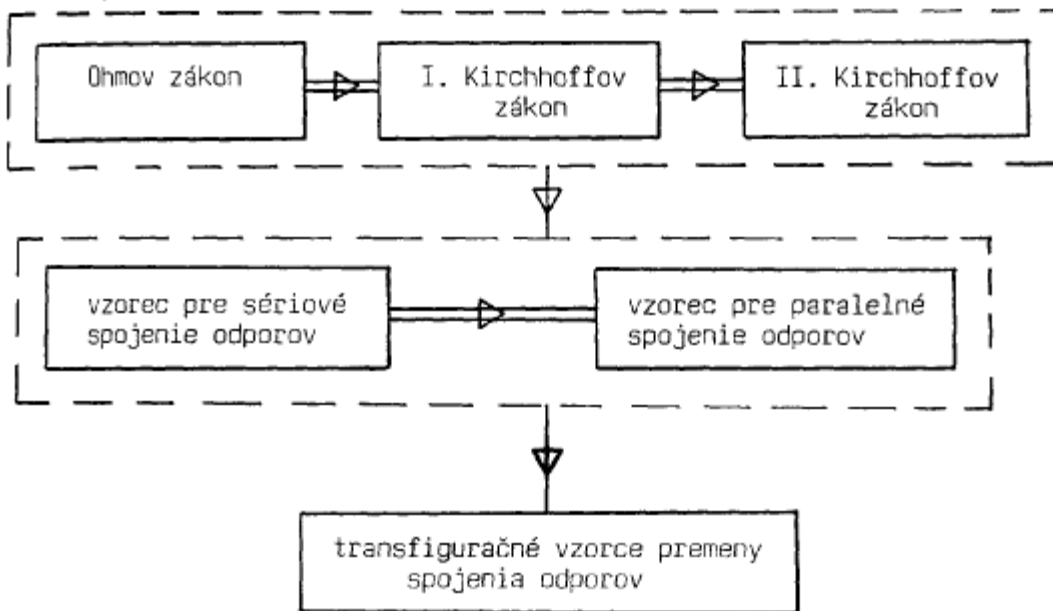
kapacita C:



Tabuľka 3

Príklady horizontálnych a vertikálnych spojov medzi

zákonmi)



c) Význam analógie pre systemizáciu vedomostí

Z hľadiska systémového usporiadania vedomostí a tiež z hľadiska rozvoja abstraktného myslenia, tvorivej aktivity a samostatnosti žiakov má veľký význam používanie metód logického myslenia a z nich najmä analógie. Žiakom treba vysvetliť existujúcu podobnosť medzi:

- **statickým elektrickým prúdovým polom** (spôsobuje ustálený jednosmerný prúd vo vodiči)
- **elektrostatickým polom**
- **magnetostatickým polom.**

Je to predovšetkým analógia "**ako predmet výučby**", ktorá sa prejavuje podobnosťou medzi základnými vlastnosťami (napr. veličinami elektrického a magnetického poľa). Napríklad, silové pôsobenie polí vyjadruje veličina intenzita elektrického poľa E alebo analogicky intenzita magnetického poľa H .

Pri osvojovaní základných vedomostí o elektrickom a magnetickom poli sa používa analógia aj ako vyučovacia metóda, t.j. **"ako prostriedok výučby"**. Vo viacerých prípadoch sú totiž definície niektorých veličín alebo zákonov formálne podobné. Napríklad, vzťahy na výpočet:

- elektrickej vodivosti G vodiča
- dielektrickej vodivosti G_d , izolantu
- magnetickej vodivosti G_m látky

sú si formou podobné, aj keď vyjadrujú rôzne vlastnosti látok (v týchto vzťahoch), pozri tabuľku 4.

Tabuľka 4

~~Príklad analógie "ako prostriedok výučby"~~
 tomto prípade existuje formálna podobnosť aj medzi jednotkami

$G = \gamma \frac{S}{l}$	$[S; Sm^{-1}, m^2, m]$
$G_d = \epsilon \frac{S}{l}$	$[F; Fm^{-1}, m^2, m]$
$G_m = \mu \frac{S}{l}$	$[H; Hm^{-1}, m^2, m]$

V minulosti často používaná analógia medzi prúdením kvapaliny a elektrickým poľom sa v súčasnosti nepoužíva. Ustúpila štruktúrálnemu a systémovému poňatiu obsahu učiva i tendencii interpretovať podstatu elektrických a magnetických javov na základe kvantového charakteru stavby hmoty.

d) Základný systém učiva základov elektrotechniky

V tejto práci sa uvádza **návrh základného učiva** predmetu elektrotechnika s ohľadom na vytváranie horizontálnych a vertikálnych vzťahov medzi vedomosťami. Pri uvedenom alebo podobnom postupe sa vo vedomí žiaka vytvorí **dynamický systém** navzájom súvisiacich základných vedomostí.

Základné bloky učiva v elektrotechnike sú:

1. Elektrické pole - nachádza sa v **okolí každého elektrického náboja Q** ; vzniká tiež v priestore, v ktorom je **premenlivé magnetické pole** - tzv. **elektromagnetická indukcia**. V základoch elektrotechniky sa charakterizuje jednak el. pole vo vodivej látke (el. prúdové pole) a tiež zvlášť el. pole v nevodivej látke alebo vákuu.

2. Magnetické pole - vzniká v okolí **pohybujúceho sa elektrického náboja Q** .

3. Elektromagnetické vlny - ide o vzájomnú kombináciu premenlivého elektrického a magnetického poľa. Elektromagnetická vlna vychádza zo zdroja elektromagnetického vlnenia a pohybuje sa priestorom.

Systémové osvojovanie učiva predpokladá najprv základnú charakteristiku **elektrického poľa**. Základné veličiny elektrického poľa (intenzita el. poľa E a el. napätie U) treba definovať najprv obecné pre elektrické pole a až potom ich interpretovať pre **elektrické pole vo vodiči** (elektrické prúdové pole) a **elektrické pole v nevodiči alebo vákuu**. Systematicky si treba osvojovať aj ďalšie veličiny a vlastnosti, ktoré sú buď spoločné alebo špecifické pre elektrické pole vo vodivom alebo v nevodivom prostredí.

Súčasnú učebnú osnovu elektrotechniky obsahujú základné učivo o **statickom magnetickom poli**. Vlastnosti (veličiny) striedavého magnetického poľa sa neskúmajú; popisuje sa iba spôsob vzniku

vírového elektrického poľa z premenlivého magnetického poľa, t.j. elektromagnetická indukcia.

e) Moderné vedecké poznatky v učebnom obsahu základov elektrotechniky

Jadro učebného obsahu v elektrotechnike tvorí systém navzájom súvisiacich vedomostí o elektrickom a magnetickom poli. V súčasnosti sa v tomto predmete elektrické a magnetické javy popisujú z **pohľadu makrosвета**. V elektrotechnike si žiaci osvojujú definície makroskopických veličín, ako sú elektrický prúd, el. napätie, el. odpor, indukcia magnetického poľa a pod. a tiež zákony vyjadrujúce súvislosti medzi makroskopickými veličinami, ako sú Ohmov zákon, Joule-Lenzov zákon a pod.

Súčasná fyzika však skúma zákony prírody predovšetkým z **pohľadu mikrosвета**. Učiteľ musí viesť žiakov k tomu, aby si uvedomili, že pôsobenie zákonov v mikrosвете sa javí inakšie, než je tomu pri sledovaní javov mikrosвета.

Kvantová technika skúma predovšetkým vlastnosti elementárnych častíc s nenulovou klúdovou hmotnosťou (napr. elektrón) a zároveň objasňuje stavbu atómov, vznik molekúl a vplyv mikroskopickej štruktúry na makroskopické vlastnosti tuhých, kvapalných a plyných látok. Z kvantovej mechaniky vychádza napr. fyzika tuhých látok, ktorá skúma podstatu rôznych materiálov, napr. vodičov, polovodičov, feromagnetických látok a pod.

Na kvantový charakter stavby hmoty má učiteľ poukázať pri vysvetľovaní podstaty hmoty; najprv vysvetlí pojem hmoty, ktorá sa vyskytuje v dvoch základných formách - ako **látka** a ako **pole** (pozri tému "Stavba hmoty"). Kvantová teória sa uplatňuje pri objasňovaní základných vlastností foriem hmoty, t.j. látky a poľa.

Významným zákonom mikrosвета je okrem pojmu **nedeliteľnosti** elementárnych častíc aj pojem ich $\hbar$, čo znamená, že

napr. všetky elektróny majú rovnakú klúdovú zotrvačnú hmotnosť, rovnaký elektrický náboj a pod.

Na základe kvantovej teórie sa tiež vysvetľujú procesy zlučovania **atómov do molekúl** (niektoré chemické zákony sú teda dôsledkom kvantových zákonov) a tiež **sa objasňuje vnútorná stavba a vlastnosti** (okrem iných aj elektrické a magnetické) **pevných, kvapalných a plyných látok**. Učiteľ zdôrazní, že z kvantovej teórie vychádza napr. teória polovodičov (najprv sa skúma chovanie elektrónov v kryštalickej mriežke, z toho vyplývajú rôzne vlastnosti polovodiča, ako je elektrická vodivosť a pod.). Žiakov treba všade tam, kde je to možné, upozorňovať a viesť k tomu, že cesta k ďalšiemu spoznávaní elektrických a magnetických javov v látkach vedie iba cez uplatnenie zákonov mikrosвета.

V súčasnom učebnom obsahu základov elektrotechniky sa uplatňujú poznatky o **atómovej štruktúre látok** pri výklade podstaty niektorých elektrických a magnetických vlastností látok. Skutočnosť, že látky pozostávajú z **atómov** alebo **iónov**, resp. **molekúl** a tie zase z **elementárnych častíc**, sa uplatňuje pri výklade podstaty napr. vedenia elektrického prúdu v kvapalných vodičoch, polarizácie dielektriká a pod.

f) Učebný obsah elektrotechniky z hľadiska medzipredmetových vzťahov

Pri analýze učiva treba brať do úvahy aj **medzipredmetové vzťahy**. Učiteľ elektrotechniky má poznať učebný obsah (učebné osnovy) nadväzných predmetov. Poznatky o stavbe hmoty, o elektrických a magnetických javoch získavajú žiaci aj v predmetoch fyzika a chémia. Tiež je nevyhnutné, aby učebné osnovy matematiky zodpovedali (obsahovo i časové) požiadavke, aby žiaci pri osvojovaní základných pojmov a zákonov v elektrotechnike už mali potrebné matematické znalosti. Napríklad, pri osvojovaní

vedomostí o obvodoch striedavého prúdu musia žiaci ovládať počítanie s komplexnými číslami.

2.3. Zručnosti a návyky v elektrotechnike

Získané vedomosti treba vedieť uplatniť v praxi a k tomu žiaci potrebujú získať **skúsenosti**. Dôležitým prvkom učebného obsahu sú preto okrem vedomostí aj **zručnosti a návyky**.

V elektrotechnike sa žiakom vstupujú jednak zručnosti a návyky **spoločné** všetkým predmetom (napr. zručnosť vedieť si zostaviť učebný plán alebo zručnosť vybrať si učebnú činnosť a pod.) a tiež **špecifické** (napr. zručnosť riešiť určitý typ úloh z elektrotechniky alebo zručnosť v používaní kalkulačky pri riešení konkrétnych príkladov).

V súvislosti s formovaním zručností a návykov treba venovať pozornosť problému uplatňovania **algoritmov** v myslení žiakov. Pod algoritmom sa rozumie presný a jednoduchý predpis na vykonanie elementárnych operácií v presnej časovej následnosti na dosiahnutie určitého výsledku.

Algoritmický predpis je teda systém základných elementárnych operácií, ktoré sa nemajú ďalej rozkladať. U žiakov sa týmto spôsobom vytvárajú všeobecné metódy (postupy) myslenia a činnosti.

Algoritmy učenia - určujú činnosť žiaka pri vyučovaní alebo učení. Napríklad jeden typ základného algoritmu priebehu vyučovacieho procesu základov elektrotechniky:

1. Osvojenie nových vedomostí:

- príprava žiakov na učiteľov výklad
- učiteľov výklad základných poznatkov
- nadobúdanie vedľajších vedomostí (samostatne alebo učebnou činnosťou učiteľa)

2. Upevňovanie vedomostí, zručností a návykov:

- precvičovanie a opakovanie vedomostí
- formovanie zručností a návykov

3. Preverovanie a hodnotenie vedomostí, zručností a návykov:

- ústne skúšky
- písomné skúšky

Vyučovacie algoritmy - sú to postupy, ktorými sa riešia úlohy patriace k určitému typu úloh. Napríklad, všeobecný algoritmus riešenia konkrétnej úlohy z tematických celkov elektrostatické a magnetické pole:

1. Zadanie úlohy:

- a) uvedú sa hodnoty známych veličín a vymenujú sa veličiny, ktorých hodnoty treba vypočítať
- b) násobky a diely hodnôt známych veličín sa prepočítajú na ich základné hodnoty (napr. z miliampérov na ampéry) jednotiek sústavy SI.

2. Rozbor úlohy:

- a) podľa možnosti sa nakreslí a vyznačí schéma zapojenia
- b) určí sa postup riešenia, uvedú sa základné matematické vzťahy.

3. Riešenie úlohy:

- a) obecné sa odvodí výsledný vzťah na výpočet každej veličiny
- b) dosadia sa konkrétne hodnoty a pomocou kalkulačky sa úloha dopočíta
- c) ku každej vypočítanej hodnote sa uvedie jednotka veličiny.

Príklad algoritmu riešenia zložitého obvodu jednosmerného prúdu pomocou rovníc na základe I. a II. Kirchhoffovho zákona:

1. Zadanie úlohy:

- a) uvedie sa schéma zapojenia obvodu
- b) uvedú sa hodnoty známych veličín a vymaňujú sa hodnoty, ktoré treba vypočítať.

2. Analýza obvodu:

- a) určí sa počet uzlov, vetví a slučiek v obvode
- b) zvolia sa smery prúdov vo všetkých vetvách.

3. Riešenie obvodu:

- a) určia sa uzly a slučky, pre ktoré sa majú napísať rovnice I. a II. Kirchhoffovho zákona (počet neznámych hodnôt sa rovná počtu potrebných rovníc)
- b) vyznačia sa šípkami kladné smery napätí na odporoch a na zdrojoch v obvode
- c) zvolí sa smer sčítania napätí vo zvolených slučkách
- d) napíšu sa rovnice podľa I. Kirchhoffovho zákona pre zvolené uzly
- e) napíšu sa rovnice podľa II. Kirchhoffovho zákona pre zvolené slučky
- f) rieši sa sústava n rovníc o n neznámych
- g) vyznačia sa skutočné smery prúdov vo vetvách.

4. Kontrola riešenia obvodu:

- a) vypočítané hodnoty sa dosadia do rovníc pre I. a II. Kirchhoffov zákon.

2.4. Postup získavania vedomostí, zručností a návykov

Učebný obsah si žiaci osvojujú v priebehu vyučovacieho procesu, pričom sa plnia **základné učebné úlohy** v určitom poradí:

- a) nadobúdanie nových vedomostí
- b) upevňovanie vedomostí, zručností a návykov
- c) preverovanie získaných vedomostí, zručností a návykov.

Veľmi dôležitý je **výber vyučovacích metód vo vzťahu k učebnému obsahu**. V jednotlivých fázach vyučovacieho procesu sa uplatňujú viaceré vyučovacie metódy.

a) Nadobúdanie (osvojovanie) nových vedomostí

Predchádza tomu **príprava žiakov** na počúvanie učiteľovho výkladu. Ak učiteľ chce dosiahnuť, aby si žiaci aktívne osvojovali učivo, potrebuje k tomu **motiváciu** učenia. Záujem žiakov môže podnietiť napr. krátkym rozprávaním. **Nadobúdanie nových vedomostí** predpokladá cieľavedomý postup učiteľa pri systematickom výklade základných poznatkov s použitím vhodných vyučovacích metód (tradičných, moderných i metód logického myslenia). V tejto súvislosti treba zdôrazniť, že sa ustupuje len od predkladania hotových poznatkov žiakom a práca učiteľa sa presunuje predovšetkým na vzbudzovanie **aktivity** a najmä na rozvíjanie **logického a tvorivého** myslenia žiakov.

V práci sa **uvádza návrh metodického postupu osvojovania základného učiva s použitím vhodných aktivačných metód.**

b) Upevňovanie vedomostí, zručností a návykov

V procese osvojovania učiva učiteľ odovzdáva žiakom nové vedomosti, ktoré konkretizuje riešením základných príkladov. Nadobudnuté vedomosti však nie sú ešte trvalé a preto si ich žiaci dlho nezapamätajú. Zároveň ešte neovládajú potrebné zručnosti a návyky.

Upevňovanie nadobudnutých vedomostí je preto ďalším nevyhnutným krokom vyučovacieho procesu. Uskutočňuje sa **metódou cvičenia a metódou opakovania** nadobudnutých znalostí. Precvičovanie sa realizuje najmä riešením ďalších **konkrétnych úloh** v škole alebo doma a odpoveďami žiakov na kontrolné otázky.

Pri precvičovaní nadobudnutých vedomostí sa zároveň formujú zručnosti a návyky žiakov. Učiteľ sleduje ich postupný rozvoj a dbá o rozvíjanie **vyjadrovacích schopností** žiakov.

Opakovanie učiva je nevyhnutné na ďalšie upevnenie znalostí žiakov. V základoch elektrotechniky sa uskutočňuje priebežné opakovanie a tiež súhrnné opakovanie.

Na dosiahnutie trvalých vedomostí a pre mentálny rozvoj žiaka je veľmi dôležité súhrnné (tematické) opakovanie. Pri tematickom opakovaní sa základné učivo určitého tematického celku nielen upevňuje, ale predovšetkým sa začleňuje **do systému základných vedomostí**. Zároveň sa upevňujú nadobudnuté zručnosti a návyky.

c) Preverovanie a hodnotenie vedomostí, zručností a návykov

Opakovanie učebného obsahu je zvyčajne spojené s preverovaním získaných vedomostí, zručností a návykov žiakov. Preverovaním sa zisťuje nielen kvalita žiakových schopností, ale **aj kvalita jeho učebnej práce**.

Vedomosti, zručnosti a návyky žiakov v elektrotechnike sa preverujú najmä prostredníctvom písomných prác a ústnych skúšok. Pri **hodnotení** prospechu žiaka má učiteľ prihliadať najmä na obsah osvojených vedomostí, na ich trvácnosť, na schopnosť žiaka aplikovať ich v učebnej práci, najmä pri riešení konkrétnych úloh a na stupeň osvojovania si potrebných zručností a návykov.

3. ZÁKLADNÉ VYUČOVACIE METÓDY V ELEKTROTECHNIKE

3.1. Klasifikácia vyučovacích metód

Učebný proces prebieha ako dialektická jednota vyučovacej činnosti učiteľa a učebnej činnosti žiaka. Učiteľ sa má usilovať o vysokú **efektívnosť** vyučovania t. j. má vyučovať tak, aby si žiaci osvojili nové vedomosti s čo najmenšou námahou a v čo najkratšom čase.

V riadení učebného procesu má významné miesto učebný obsah, ktorý určuje v podstate výber a aplikáciu **vyučovacích metód**. Učiteľ sa musí orientovať na základnú štruktúru učiva vytvárajúcu systém, do ktorého zaradí vhodné aktivačné metódy. Správne volená vyučovacia metóda mu umožní účinnejšie splniť výchovno-vzdelávací cieľ i ostatné požiadavky z hľadiska efektívnosti

výchovno-vzdelávacieho procesu. Teda **väzba aktivizačných metód na systém s určitou štruktúrou základného učiva** by mala byť rozhodujúcim predpokladom úspechu vo výchovno-vzdelávacej práci učiteľa.

Vyučovacou metódou rozumieme cieľavedomý a premyslený spôsob, ktorým sa učiteľ usiluje o dosiahnutie stanovených výchovno-vzdelávacieho cieľa (vedomosti, zručnosti, návyky, rozvoj abstraktného myslenia, mravné vlastnosti, atď). Vyučovacie metódy sa obecné delia podľa rôznych kritérií.

Podľa **zdroja získavania** vedomostí, zručností a návykov sa delia na:

1.Slovné (ústne) metódy (zdrojom poznatkov je učiteľovo slovo):

- výklad (vysvetľovanie, popis, rozprávanie, prednáška)
- rozhovor.

2.Metódy práce s knihou (zdrojom je kniha, najmä učebnica, časopis alebo vopred pripravené texty).

3.Názorné metódy (zdrojom je bezprostredné pozorovanie predmetov a javov):

- pozorovanie (film, predvádzanie učebných pomôcok, atď.)
- demonštračný pokus učiteľa
- pokus
- exkurzia.

4.Praktické metódy (zdrojom je praktická činnosť žiaka):

- laboratórne cvičenia
- práce v školských dielnach
- práca v závode.

Podľa **organizácie poznávacej činnosti** (t.j. spôsobu získavania vedomostí, zručností, návykov a hĺbky .abstraktného myslenia) sa vyučovacie metódy delia na:

1 . Reproductívne (výkladovoilustratívne a reproductívne) - žiak si osvojuje hotové vedomosti a opakuje už známe spôsoby činnosti. Tieto metódy rozširujú vedomosti, zručnosti a návyky žiaka, vytvárajú v jeho myslení základné myšlienkové operácie (analýzu, syntézu, abstrahovanie, atď.), avšak nezaručujú rozvoj jeho tvorivých schopností.

2 . Problémové (problémový výklad a čiastkovo-zisťovacia alebo heuristická metóda - pri problémovom výklade učiteľ nastoľuje problém a sám ho rieši, pričom žiaci sledujú jeho myšlienkový postup. Najbežnejším variantom problémovej metódy je však riešenie zložitej úlohy, rozčlenenej učiteľom na niekoľko čiastkových úloh, čiže problémov, ktoré riešia samostatne žiaci (čiastkovo-zisťovacia metóda).

3 . Výskumné - ich podstatou je samostatná, tvorivá činnosť žiakov na riešení zložitej úlohy (problému).

Z logického hľadiska sa používajú metódy logického myslenia:

- analýza
- syntéza
- indukcia (postup od jednotlivého ku všeobecnému)
- dedukcia (zo všeobecnej tézy vyplývajú jednotlivé fakty)
- abstrahovanie
- zovšeobecňovanie
- analógia
- modelovanie, atď.

Podľa funkcie vo vyučovacom procese sa delia na:

1 . Metódy osvojovania nových vedomostí (metódy prípravy žiakov na aktívne osvojovanie učiva a metódy nadobúdania nových vedomostí) - výklad, demonštračný pokus, práca s knihou, atď.

2 . Metódy upevňovania vedomostí, zručností a návykov - patria

tu najmä precvičovanie a opakovanie učiva.

3. Metódy preverovania a hodnotenia vedomostí, zručností a návykov – metódy ústneho, písomného, programového a praktického skúšania.

3.2. Metódy osvojovania nových vedomostí v základoch elektrotechniky

a) Metódy prípravy žiakov pred učiteľovým výkladom

V základoch elektrotechniky sa žiaci pripravujú na osvojovanie nového učiva, najmä predbežným čítaním predchádzajúceho alebo súvisiaceho materiálu (doma alebo v škole), predbežným pozorovaním predmetu alebo javu alebo krátkym učiteľovým rozprávaním pred výkladom nového učiva.

b) Výklad

Je základnou tradičnou metódou v základoch elektrotechniky, ktorá sa používa pri osvojovaní nového učiva. Učiteľ vysvetľuje stručne a jasne predovšetkým základné poznatky, využíva základné didaktické zásady. Medzi základnými vedomosťami musí dôsledne **rozlišovať**, tiež má poukázať na vzťah medzi základnými a vedľajšími (rozvíjajúcimi) vedomosťami. Vysvetľuje podľa vhodného vopred pripraveného **metodického postupu výkladu učiva**, čím sleduje vytváranie **systému** vedomostí vo vedomí žiakov v horizontálnom a vertikálnom smere. Metodický postup výkladu učiva sa zostavuje s prihliadnutím na základné metódy logického myslenia, ako sú analýza, deduktívny úsudok, analógia a pod.

Pri výklade používa učiteľ základnú **didaktickú techniku**. "Klasickým" didaktickým prostriedkom je **tabuľa**, síce už zastaralá, avšak na vyučovaní základov elektrotechniky ešte stále potrebná. Najdôležitejšiu úlohu má tabuľa pri systemizácii osvojovaného základného učiva. Tabuľu v mnohých prípadoch nahrádzajú **spätné**

projektora, najčastejšie sa používa MEOTAR. Výhodou spätnej projekcie je možnosť vopred napísať a nakresliť základné učivo na fólii (priesvitke), ktoré sa potom premieta na plátno alebo inú vhodnú plochu. V prípade potreby sa text alebo obrázky dopisujú na fóliu priamo počas výkladu. V elektrotechnike sa metóda výkladu aplikuje pri osvojovaní základného učiva nových a ťažších tém.

c) Rozhovor

Je ďalšou vyučovacou metódou, ktorá sa používa v elektrotechnike pri osvojovaní nového učiva. Učiteľ kladie otázky v určitom postupe a žiaci dávajú na ne odpovede. Táto metóda zvyšuje aktivitu a čiastočne rozvíja myslenie žiakov.

d) Práca žiaka s knihou

Na doplnenie učiteľovho výkladu alebo rozhovoru sa vo vhodných prípadoch pri osvojovaní nového učiva používa metóda práce s knihou, najmä s učebnicou. Táto metóda nielenže rozvíja žiakovu aktivitu a tvorivé myslenie, ale zároveň ho učí pracovať samostatne. Aj v elektrotechnike sa žiaci majú viesť k tomu, aby sami vyhľadávali potrebné vedomosti a informácie v knižnej alebo časopiseckej literatúre.

Keďže učiteľ vysvetľuje v prvom rade základné vedomosti, potom metóda, práce s knihou sa uplatňuje predovšetkým pri osvojovaní **vedľajších a rozvíjajúcich** vedomostí.

e) Metódy názorného vyučovania (práca s názornými učebnými pomôckami, film a televízia, demonštračné pokusy)

Tieto metódy pomáhajú rozvíjať u žiakov zmyslové vnímanie a tak skvalitňujú proces poznania. Pozorovanie predmetu alebo javu sa môže sprevádzať abstrakciou a inými logickými činnosťami.

Práca učiteľa s **názornými učebnými pomôckami** patrí medzi základné **metódy pozorovania** predmetov a javov v elektrotechnike.

Keď učiteľ predvádza žiakom učebné pomôcky, zámerne vysvetľuje alebo dáva také otázky, aby sa im vybavovali podstatné znaky predmetu. Pri výklade základných pojmov a veličín má predovšetkým žiakom ukázať všetky základné prvky elektrického alebo magnetického obvodu, napr. elektrické zdroje, spojovacie vodiče, spotrebiče, odporníky, kondenzátory, cievky, termočlánky, magnety, atď. Pri vysvetľovaní podstaty elektrických a magnetických javov sa používajú vhodne zhotovené modely (napr. model stavby atómu, siločiar elektrického a magnetického poľa), obrazové materiály (schémy zapojenia elektrických a magnetických obvodov, magnetizačné krivky, fázorové diagramy, atď.).

Pri vysvetľovaní nového učiva sa uplatňujú aj ďalšie metódy pozorovania, napr. používanie **audiovizuálnych prostriedkov** (film, diafilmy, diapozitívy, televízia).

Vo **zvukovom filme** sa spája pôsobenie slova a obrazu, čím sa formuje jednota pojmov a živej obrazovej predstavy. Film treba zaradiť cieľavedome do vyučovacieho procesu pri osvojovaní nových vedomostí, aby jeho zhliadnutie umožnilo žiakom systematizáciu vedomostí a priblížilo praktickú aplikáciu osvojovaných vedomostí.

Lahko dostupný **diafilm** alebo **diapozitív** môže byť tiež účinnou názornou vyučovacou metódou na osvojenie nového učiva v elektrotechnike. Vhodný prístroj je napr. diaproyektor ASPECTOMAT, ktorým sa premietajú diapozitívy troch geometrických rozmerov rámkov s možnosťou automatickej výmeny obrázkov. Pomocou adaptéra možno týmto prístrojom premietat' aj diafilmy.

Výhľadovo treba uvažovať o využití **televízie** pri vyučovaní elektrotechniky. Záleží to však od uskutočnenia televízneho vysielania pre školy s príslušnou tematikou a vo vhodnom čase.

Je možné využiť aj **priemyselnú televíziu** v rámci školy. Základnou podmienkou je vybudovanie televízneho rozvodu s možnosťou vysielania zo školského štúdia i z jednotlivých učební.

V elektrotechnike sú dôležité **demonštračné pokusy**, ktoré tvoria základ názorného vyučovania. Pri demonštračnom pokuse oboznamuje učiteľ žiakov (prípadne s pomocou niekoľkých žiakov) so základnými javmi z oblasti elektrických obvodov, elektrostatického a magnetického poľa. Pozorovanie pokusu umožňuje žiakovi hlbšie pochopiť javy, ktoré pri učiteľovom vysvetľovaní alebo pri samostatnom učení ostali ešte nejasné.

V predmete elektrotechnika ide o demonštráciu základných javov z elektrotechniky a preto niektoré jednoduchšie pokusy môže učiteľ pripraviť a zostaviť sám laboratórnym spôsobom a predviesť v učebni. Na systematické vykonávanie demonštračných pokusov sú vhodné súpravy pomôcok.

V špeciálnych odborných učebniach je možné vykonávať **frontálne pokusy**, keď žiaci robia súčasne rovnaký pokus.

f) Problémové metódy

Zaradujeme ich medzi moderné vyučovacie metódy v elektrotechnike. Požiadavka modernizácie vyučovacieho procesu v súčasnom období vedecko-technického pokroku si vyžaduje využiť všetky nové poznatky, ktoré prinášajú psychologické vedy a tiež didaktika a pedagogika v používaní vyučovacích metód. Používanie tradičných vyučovacích metód a vôbec zaužívaný spôsob vyučovania, ktorý je založený prevažne na pasívnom osvojovaní poznatkov, často iba na základe pamäti a pozorovania, sa dostáva do protirečenia so súčasnými a perspektívnymi úlohami výchovno-vzdelávacej práce. Pri tradičnom vyučovaní je aktívnym činiteľom učiteľ, ktorý sa usiluje odovzdávať vedomosti v hotovej podobe čo najzrozumiteľnejšie a podľa možnosti v čo najväčšom množstve. Nemôže však dôsledne uplatňovať požiadavku individuálneho

prístupu k žiakovi, väčšina žiakov sa nenaučí tvorivo myslieť a aplikovať teóriu na riešenie konkrétnych úloh a pod.

Uvedené nedostatky pomáha odstrániť tzv. **problémová metóda vyučovania**. Vo vyučovacom procese môže dať učiteľ úlohu alebo otázku, na ktorú žiak nevie ihneď odpovedať - vzniká **problémová situácia**. Problémové situácie, ktoré sú prinárodné pre žiakov, rieši učiteľ. Ak žiaci majú predpoklady zvládnuť určitú problémovú situáciu, potom ju pokladáme za **problém**, ktorý sú žiaci schopní riešiť.

Pri problémovom vyučovaní ide v podstate o to, že učiteľ namiesto súvislého výkladu predkladá úlohy, čiže vytvára problémy, ktoré riešia samostatne žiaci - jednotlivé, skupinové alebo frontálne. Pri osvojovaní vedomostí problémovou metódou sa dosahuje vysoká aktivita žiakov, tvorivú prácu žiakov učiteľ predovšetkým riadi a usmerňuje. Dosahuje sa vyšší stupeň rozvoja **myslenia** žiakov a tiež sa rozvíjajú vôľové návyky, pomocou ktorých sa žiaci učia prekonávať prekážky a doviest' započatú prácu do konca.

Pri **problémovom výklade** učiteľ nepodáva poznatky v hotovej podobe, ale sám si nastoľuje problémy, ktoré počas výkladu rieši rôznymi myšlienkovými postupmi. Pri riešení každého problému postupuje tak, že vysloví istú hypotézu (predpoklad) a pomocou postupného dokazovania overuje jej pravdivosť. Žiaci sledujú myšlienkové postupy učiteľa a osvojujú si etapy riešenia komplexného problému.

Pri použití **čiasťkovo-zisťovacej** (čiasťtočne výskumnej) **metódy** rozčlení učiteľ zložitú úlohu na rad niekoľkých čiasťkových úloh. Jednotlivé čiasťkové úlohy riešia žiaci a učiteľ rôznorodé odpovede usmerňuje. Metoda je vhodná napríklad pri demonštračných pokusoch učiteľa, kde súvislosti medzi pojmi odhaľujú žiaci.

Vo vyučovaní základov elektrotechniky sa používa aj problémová metóda **heuristickej besedy**, pri ktorej sa celý základný

problém rieši súhrnom otázok tvoriacich malé problémy navzájom na seba nadväzujúce.

V príručke sa uvádzajú viaceré príklady aplikácií uvedených typov problémovej metódy v procese osvojovania základného učiva elektrotechniky.

g) Programované vyučovanie

Medzi účinné metódy, ktorými je možné vyučovať elektrotechniku, patrí aj **programované vyučovanie**. Pri tejto metóde si žiaci individuálne a postupne osvojujú učivo, a to pomocou vyučovacích strojov alebo aj bez nich pomocou osobitne spracovaných učebníc.

Učebná látka je rozdelená na **malé kroky**, pričom veľkou výhodou je, že výsledky sú zisťované okamžite po každom novom kroku. Táto metóda sa však zatiaľ na našich školách v dostatočnej miere nevyužíva.

h) Logické metódy

V **procesе poznania** človek odráža jednotlivé vlastnosti objektívnej reality prostredníctvom zmyslových orgánov vo svojom vedomí. Odraz jednej vlastnosti predmetu alebo javu vo vedomí človeka sa nazýva **pocit** (napr. farba predmetu pociťovaná zrakovým zmyslovým orgánom). Predmety a javy však vnímame ako celky a tak vzniká **vnem** (viaceré pocity sa spájajú v jediný obraz predmetu alebo javu).

Ak chce človek spoznať zákony prírody, nevystačí iba so zmyslovým poznaním. Vo svojom mozgu musí získané pocity a vnemy porovnať a spracovať, t.j. musí **myslieť**. Myslením si uvedomujeme príčinné závislosti v predmetoch a javoch alebo medzi nimi, a tým odhaľujeme to, čo je pre určité predmety a javy charakteristické (všeobecné). Myšlienka teda odráža všeobecné

vlastnosti vecí a zákonité súvislosti medzi predmetmi a javmi. **Myslenie** je sprostredkované a zovšeobecnené poznanie objektívnej skutočnosti. Proces myslenia sa uskutočňuje viacerými spôsobmi, ktoré sa nazývajú **logické metódy**.

Analýza je logická metóda, ktorou v mysli rozdeľujeme predmety a javy na časti a potom skúmame vlastnosti jednotlivých častí. Aj vedomosti, ktoré si žiaci osvojujú v elektrotechnike, sa získavajú analýzou základných elektrických a magnetických javov. Napríklad, elektrický obvod pozostáva z prvkov elektrického obvodu (celok sa delí na časti), vlastnosti každého prvku (napr. elektrického zdroja) sa skúmajú osobitne.

Syntéza je logická metóda, ktorou v mysli spojujeme do jedného celku jednotlivé časti predmetov a javov (rozdelených analýzou).

Abstrahovanie je logická metóda, ktorou v mysli vydeľujeme podstatné vlastnosti a odlučujeme ich od nepodstatných vlastností predmetov a javov. Výsledok abstrahovania je abstrakcia. Ak predmety podrobíme analýze, získame veľmi mnoho častí, ktoré majú veľa vlastností. Treba rozlišovať a vybrať tie vlastnosti, ktoré sú pre určitý predmet a jav podstatné a dôležité. Určitá skupina predmetov alebo javov má vždy nejakú podstatnú vlastnosť spoločnú, ide o všeobecnú vlastnosť skupiny rovnorodých predmetov alebo javov získanú abstrahovaním. Napríklad, všeobecnou vlastnosťou kondenzátorov je ich schopnosť zhromažďovať elektrický náboj.

Zovšeobecnenie - je myšlienkové spojenie niekoľkých všeobecných vlastností skupiny rovnorodých predmetov a javov. Zovšeobecnením vznikajú **pojmy**. Pojem je teda myšlienka vyjadrená slovom, ktorá odráža všeobecné a podstatné znaky (vlastnosti) vo vzájomnej súvislosti, a to určitej skupiny predmetov alebo javov. Napríklad, pojem "kondenzátor" vznikol spojením nasledujúcich všeobecných vlastností:

- pozostáva z dvoch vodičov (elektród) oddelených od seba

izolantom

- pri pripojení napätia sa na elektródach nazhromaždia rovnako veľké a nesúhlasné elektrické náboje
- medzi elektrickými nábojmi existuje v izolante elektrostatické pole, ktoré obsahuje určité množstvo energie elektrostatického poľa.

Spojením niekoľkých pojmov vznikne myšlienka vyjadrená vetou, ktorá niečo tvrdí alebo popiera - ide o **všeobecný súd**. Logický postup, pri ktorom z dvoch alebo niekoľkých súdov sa vyvodzuje nový súd, sa nazýva úsudok (deduktívny a induktívny).

Deduktívny postup (úsudok) - vzniká, keď myšlienkový postup smeruje od všeobecnej tézy k jednotlivým alebo jedinečným prípadom. Príklad deduktívneho úsudku v elektrotechnike:

1. V okolí každého elektrického náboja sa nachádza elektrické pole.
2. Medzi elektródami nabitého kondenzátora (pripojeného na zdroj el. napätia) sa nachádza elektrické pole.
3. Na elektródach kondenzátora sa preto musia nachádzať el. náboje.

Deduktívny postup sa uplatňuje pri riešení každého konkrétneho príkladu, keď sa z obecných vzťahov vypočítajú konkrétne hodnoty jednotlivých veličín. Deduktívny postup sa však používa aj pri odvodzovaní obecných vzťahov a vzorcov. Napríklad, zo základných zákonov elektrického obvodu (I. a II. Kirchhoffov zákon a Ohmov zákon) možno deduktívnym postupom odvodiť vzťahy pre ľubovoľné spojenie odporov (napr. pre sériové alebo paralelné spojenie odporov).

Induktívny postup (úsudok) je myšlienkový postup smerujúci od jednotlivých alebo jedinečných prípadov k všeobecnému záveru. Príklad induktívneho úsudku v elektrotechnike:

1. Pôsobením elektrického poľa nadobúda el. nabitá častica (napr. elektrón) mechanickú energiu. Vo vodivej látke sa pohybová energia elektrónov mení na tepelnú energiu.
2. Elektrické pole medzi elektródami nabitého kondenzátora je zdrojom energie, ktorá spôsobuje tzv. polarizáciu dielektriká kondenzátora.
3. Elektrické pole spôsobuje okrem zmeny pohybového stavu elektricky nabitých častíc zároveň aj vznik magnetického poľa v ich okolí.
4. I toho vyplýva, že elektrické pole predstavuje určitú formu energie, ktorá sa premieňa na iné formy energie.

Induktívny postup sa používa pri osvojovaní vedomostí v elektrotechnike. Pri výklade učiva v spojení s demonštračným pokusom sa zvyčajne postupuje od jednotlivých faktov k všeobecnej téze. Napríklad, pri vysvetľovaní vlastností zdroja jednosmerného prúdu z jednotlivých faktov pozorovaných pri pokuse sa učiteľ so žiakmi dopracuje k výslednému vzťahu, ktorý vyjadruje závislosť medzi vnútorným napätím, vnútorným odporom zdroja a elektrickým prúdom pretekajúcim obvodom. Podobný postup možno použiť pri odvodení vzťahu na výpočet elektrického odporu vodiča v závislosti od jeho geometrických rozmerov, atď.

Induktívny postup výkladu môže byť spojený aj s ďalšími vyučovacími metódami, napr. s problémovou metódou.

Analógia (porovnávanie) - je logická metóda, ktorou zisťujeme podobnosť a rozdielnosť predmetov a javov objektívneho sveta. Pri porovnávaní je dôležitý výber znakov porovnania. V elektrotechnike má analógia veľký význam z hľadiska vytvárania systému vedomostí v smere horizontálnych a vertikálnych spojov. I toho dôvodu sa použitie analógie vysvetľuje v tejto práci už pri delení vedomostí.

Modelovanie - je vyjadrenie originálu (predmetu alebo javu) určitým myšlienkovým modelom, v ktorom sa zvyrazňuje podstata

originálu. Modelom sa zdôrazňujú dôležité a vynechávajú vedľajšie vlastnosti originálu, a tým sa zjednodušuje a uľahčuje jeho ovládnutie.

V elektrotechnike sa modelová metóda uplatňuje pri osvojovaní základných vedomostí, najmä v teórii obvodov striedavého prúdu. Pomocou didaktického myšlienkového modelu sa napríklad charakterizuje obvod striedavého prúdu - základné vlastnosti obvodu vyplývajú z fázového diagramu obvodu (diagramu točivých časových vektorov). Po zostavení fázového diagramu možno obvod v podstate vyriešiť, t.j. určia sa hodnoty základných veličín (efektívne hodnoty napätí alebo prúdov, ich fázový posun, impedancia a pod.).

Logické metódy myslenia sa uplatňujú vo všetkých fázach vyučovacieho procesu, teda nielen pri osvojovaní, ale aj pri upevňovaní a preverovaní vedomostí, zručností a návykov. Učiteľ vyučuje podľa vopred pripraveného **metodického postupu** odovzdávania vedomostí žiakom, ktorý si zostavuje na základe logických metód myslenia. Zároveň dbá o to, aby štruktúra osvojovaného učiva tvorila usporiadaný celok, t.j. **systém vedomostí** navzájom súvisiacich v horizontálnom a vertikálnom smere.

Používanie metód logického myslenia má význam nielen pre učiteľa v tom zmysle, že mu umožňuje vyučovať efektívnym a veľmi účinným spôsobom, ale zároveň sa učia myslieť a používať logické metódy aj žiaci. Cieľom rozumovej výchovy je totiž nielen osvojovanie a upevňovanie vedomostí, zručností a návykov, ale aj rozvoj **tvorivého myslenia**. Viest' žiakov k tomu, aby tvorivo mysleli, umožňujú moderné vyučovacie metódy, napr. problémová metóda. Logické metódy majú zase význam najmä pri utváraní **všeobecných postupov myslenia** vo vedomí žiakov (algoritmov myslenia). Algoritmy myslenia možno považovať do určitej miery

za intelektuálne zručnosti, ktoré sa upevňujú najmä precvičovaním a upevňovaním učiva.

i) Skupinové vyučovanie

Táto metóda umožňuje vyššiu efektívnosť vyučovacieho procesu. Na hodinách elektrotechniky sa skupinové vyučovanie zatiaľ systematicky nevyužíva. Viaceré faktory však hovoria jednoznačne v jeho prospech.

Prvým dôvodom je existujúca **diferenciácia** medzi žiakmi v rámci triedy, ktorá vzniká prirodzeným spôsobom. Z psychológie je známe, že medzi žiakmi sú rozdiely čo do schopností i čo do pracovného tempa. Väčšinou, sa prejavuje vo forme kvantitatívnej diferenciácie, t. j. vo vnútri triedy sa vytvára niekoľko homogénnych skupín, ktoré sa odlišujú prospechom, nadaním a schopnosťami. Skupiny sú variabilné, pretože osobnosť žiaka sa v priebehu výchovy a vzdelania mení.

Skupinové vyučovanie má však aj **výchovnú funkciu**. Učiteľ väčšinou vyučuje frontálnym spôsobom, čím sa vytvárajú dvojčlenné izolované vzťahy párov "učiteľ - žiak". Pri hromadnom triedno-hodinovom systéme vyučovania sa teda jednotliviec izoluje od celku, pretože vo vyučovaní niet socializujúceho činiteľa v zmysle spolupráce a vzájomnej pomoci. Dokonca, ak žiakovi pri učení alebo pri odpovedi niekto pomáha, môže byť za to potrestaný. Akákoľvek spolupráca medzi žiakmi sa teda zakazuje, nie sú podmienky pre rozvoj vzťahov "žiak - žiak". Preto bude nutné vytvárať aj vo vyučovaní elektrotechniky také organizačné formy, ktoré obsahujú socializačný prvok a vedú žiakov k spolupráci. Existuje niekoľko druhov skupinovej práce.

Jednotná skupinová práca je charakteristická tým, že každá skupina žiakov pracuje frontálne na tej istej teoretickej alebo praktickej úlohe.

Diferencovaná skupinová práca je taká, pri ktorej určitá skupina spracúva časť nejakej komplexnej témy alebo rieši rovnakú tému z iného aspektu.

V elektrotechnike sa skupinové vyučovanie môže použiť pri osvojovaní vedomostí (pri problémovom vyučovaní, metóda predĺženého výkladu pre slabších žiakov a pod.), pri upevňovaní vedomostí, zručností a návykov (pri precvičovaní rieši niekoľko skupín príklady rôznej náročnosti a pod.) a pri preverovaní vedomostí, zručností a návykov (skúšaní žiaci sú rozdelení do niekoľkých skupín).

3.3. Metódy upevňovania vedomostí, zručností a návykov

Osvojovanie učiva je iba prvou fázou učebného procesu. Nadobudnuté vedomosti totiž časom žiaci zabúdajú. Na základe tohoto i iných dôvodov nasleduje preto ďalšia fáza učebného procesu - **upevňovanie vedomostí a formovanie zručností a návykov** žiakov. Stanovené úlohy učiteľ splní použitím vhodných vyučovacích metód (predovšetkým cvičenie a opakovanie).

Prvú úlohu možno stanoviť ako dosiahnutie **pevnosti a trvácnosti** osvojených vedomostí. Splnenie tejto úlohy závisí jednak od učiteľa, napr. výber učiva, ktoré sa precvičuje alebo opakuje, počet cvičení a pod. Od žiaka sa zase vyžaduje uvedomelý prístup k učeniu, disciplína, záleží aj od jeho schopnosti uchovať si v pamäti nadobudnuté vedomosti a pod.

Metódy upevňovania znalostí majú umožniť splniť aj ďalšiu úlohu, ktorou je **formovanie zručností a návykov** žiakov. Učiteľ má cieľavedome a systematicky rozvíjať intelektuálne a praktické zručnosti a návyky žiakov. Najväčšiu pozornosť má venovať nácviku **všeobecných postupov činností** (algoritmov činností), napr. algoritmu riešenia určitého typu úloh.

Ďalšou úlohou je požiadavka, že žiaci nemajú iba reprodukovat' získané vedomosti. Učiteľ musí pri upevňovaní vedomostí viesť žiakov k tomu, aby mysleli a získané vedomosti **tvorivo využívali pri riešení konkrétnych úloh**. Zároveň sa tým rozvíja ich aktivita. Upevňovanie nadobudnutých vedomostí má veľký význam aj pri ich začleňovaní do **sústavy vedomostí** vo vedomí žiaka. Predchádzajúce a nové vedomosti sa totiž v priebehu vyučovacieho procesu postupne spájajú do logického systému. Učiteľ má dbať nielen o vytváranie spojov medzi vedomosťami v rámci predmetu elektrotechnika, ale aj medzi elektrotechnikou a príbuznými i vzdialenejšími predmetmi, najmä fyziky, matematiky, chémie a elektrotechnológie. Zároveň treba upozorniť na hranicu tých vedomostí v elektrotechnike, na ktorých budú vznikať spoje s vedomosťami odborných predmetov, ktoré sa vyučujú vo vyšších ročníkoch.

Upevňovanie vedomostí, zručností a návykov má plniť nielen didaktickú, ale aj **výchovnú funkciu**. Trvalým a opakujúcim sa úsilím na splnenie primerane náročných úloh sa formujú charakterové a vôľové vlastnosti žiaka, ako sú rozhodnosť, uvedomelá disciplína, vytrvalosť, svedomitosť a pod.

a) Cvičenie

V podstate je to mnohonásobné opakovanie istých činností na utváranie a upevňovanie určitého návyku alebo zručnosti. V elektrotechnike sa metóda cvičenia uplatňuje pri upevňovaní vedomostí, zručností a návykov. Najčastejšie sa používa bezprostredne po vysvetlení nového učiva alebo súbežne s vysvetľovaním. Nové učivo sa upevňuje predovšetkým **riešením konkrétnych úloh**, čím sa precvičujú nové veličiny, zákony a vzťahy. Učiteľ má k dispozícii príklady z učebníc a zo zbierky príkladov. Žiaci cvičia jednak v škole alebo doma vo forme **domácich úloh**.

Precvičovanie osvojených vedomostí sa realizuje aj **odpoveďami žiakov na konkrétne otázky učiteľa**. Postup kladených otázok a ich obsah vychádza zo základného systému osvojovaných vedomostí.

V elektrotechnike sa pri precvičovaní učiva formujú predovšetkým intelektuálne zručnosti a návyky. Učiteľ venuje pozornosť nácviku **vyučovacích algoritmov**, t. j. všeobecných postupov, ktorými sa riešia úlohy patriace k určitému typu úloh. Tieto postupy sú zostavené na základe logických metód myslenia.

b)Opakovanie

Je to najbežnejšia metóda upevňovania vedomostí. Pre presné a **trvalé** zapamätanie je potrebné opakovať učivo viackrát. V elektrotechnike sa opakujú predovšetkým základné pojmy, veličina, definície, zákony a poučky, pozornosť sa sústreďuje buď na systemizáciu vedomostí alebo na využitie vedomostí, pre riešenie konkrétnych príkladov. Zároveň sa upevňujú zručnosti a návyky. Ak sa učivo osvojuje logickým pochopením, potom ho netreba opakovať tak často, ako učivo, ktoré sa má zapamätať doslovne. O počte opakovaní a jeho obsahu rozhoduje subjektívne učiteľ. Opakovanie sa zvyčajne spája s preverovaním a hodnotením vedomostí, zručností a návykov žiakov.

Pri **priebežnom opakovaní** sa opakujú základné vedomosti, ktoré žiaci nadobudli na predchádzajúcich hodinách a upevňujú sa príslušné zručnosti a návyky. Opakovanie sa uskutočňuje takmer na každej hodine elektrotechniky. Realizuje sa, podobne ako cvičenie, predovšetkým odpoveďami na konkrétne otázky a riešením konkrétnych úloh.

Pri **súhrnnom (tematickom) opakovaní** sa opakujú logicky súvisiace a viac-menej uzavreté celky učiva (tematické celky). V elektrotechnike sa súhrnné opakovanie uskutočňuje vždy po osvojení učiva niektorého tematického celku. Realizuje sa

odpoveďami na kontrolné otázky, riešením príkladov, testmi a pod. Je dôležité nielen pre dosiahnutie trvalých vedomostí, ale aj z hľadiska mentálneho rozvoja žiaka. Pri súhrnnom opakovaní sa totiž základné učivo určitého tematického celku nielen upevňuje, ale zároveň sa skúma z iného zorného uhla, porovnáva sa so skôr získanými vedomosťami a **vkladá sa do systému**. Práve vtedy sa žiakom začínú vybavovať v rozhodujúcej miere horizontálne a vertikálne spoje medzi vedomosťami. K tomu pomáha aj používanie logických metód myslenia, najmä analógie. Konečnou fázou systematizácie učiva je **záverečné opakovanie** na záver školského roku.

Príklady postupu pri precvičovaní a opakovaní nadobudnutých vedomostí sú uvedené v modeloch vyučovacích hodín elektrotechniky (pozri 6. kapitolu práce).

3.4. Metódy preverovania a hodnotenia vedomostí, zručností a návykov

Dôležitou učebnou zložkou vyučovacieho procesu je okrem osvojovania a upevňovania učiva aj **preverovanie** vedomostí, zručností a návykov žiakov (skúšanie). Vykonať kontrolu práce a rozbor výsledkov z vyučovania každého predmetu je nevyhnutné z viacerých dôvodov.

V prvom rade sa vychádza z hľadiska učiteľa, ktorý skúšaním zisťuje **úroveň plnenia vzdelávacích cieľov**, vymedzených učebnými osnovami. Proces riadenia vyučovacieho procesu si totiž vyžaduje spätnú väzbu, t. j. výmenu informácií medzi riadenou zložkou (žiak) a riadiacou zložkou (učiteľ). Tieto informácie pomáhajú učiteľovi správne organizovať učebný proces. Úspešnosť riadenia predmetu elektrotechnika je tiež podmienená stupňom

dokonalosti spätnoväzobných informácií, t.j. závisí od úrovne preverovania vedomostí.

Preverovanie vedomostí je veľmi dôležité aj z hľadiska žiaka. Pri skúšaní totiž učiteľ prácu žiaka aj **hodnotí** (klasifikuje), čím žiak získava informácie o výsledkoch svojej práce. Preveruje sa nielen kvalita jeho vedomostí, zručností a návykov, ale aj organizácia jeho učebnej činnosti. Skúšanie a známkovanie je nesmierne citlivá záležitosť, ktorá vyžaduje od učiteľa pedagogické majstrovstvo, cit a takt. Známková z prospechu v elektrotechnike má vyjadrovať predovšetkým rozsah a kvalitu osvojených vedomostí, ich trvácnosť, schopnosť žiaka tvorivo aplikovať získané vedomosti v učebnej práci (napr. pri riešení príkladov) a stupeň osvojenia si potrebných zručností a návykov. Pri skúšaní, rovnako ako pri upevňovaní vedomostí, sa rozvíja aktivita žiakov, ich tvorivé schopnosti, logické myslenie, vyjadrovacie schopnosti a pamäť. Skúšanie sa väčšinou spája s upevňovaním vedomostí, zručností a návykov žiakov.

Skúšanie a hodnotenie má zároveň **výchovný** a **spoločenský** význam. Prebúdza v žiakoch pocit zodpovednosti za vlastné konanie, ovplyvňuje ich vzťah k učeniu a pod. Spoločenský význam hodnotenia spočíva v tom, že informuje verejnosť i rodičov o študijných výsledkoch žiaka a pomáha pri určovaní budúceho zaradenia žiaka do spoločenskej praxe.

a) Ústne skúšky

V elektrotechnike sa ústnym skúšaním zisťuje stav žiakových vedomostí, a to jednak schopnosť ich reprodukovať a jednak schopnosť ich tvorivo používať. Realizuje sa **otázkami** učiteľa, na ktoré žiak **odpovedá**. Učiteľ musí **rozlišovať** otázky podľa ich typu a náročnosti. Otázky majú vychádzať zo základného systému vedomostí a tvoriť určitý logický postup.

V prvom rade si učiteľ musí premyslieť znenie otázky a správne a jasne ju formulovať. Formulácia otázky určuje vopred charakter odpovede, určitému typu otázok zodpovedajú príslušné odpovede. Niektoré otázky vyžadujú iba reprodukciu osvojených vedomostí, iný typ ťažších otázok ovplyvňuje rozvoj samostatného a tvorivého myslenia. K tomuto typu patria napr. tie, ktoré vyžadujú vysvetliť vznik javu, definíciu veličiny, vysvetlenie zákona a pod., t.j. týkajú sa predovšetkým základného systému osvojených vedomostí. Otázky sa zostavujú a kladú podľa vhodného metodického postupu, ktorý vychádza z logických metód myslenia.

Žiakovi je treba nechať čas na rozmyslenie odpovede. Má sa mu umožniť odpovedať súvislé a bez prerušenia. Učiteľov zásah sa vyžaduje iba vtedy, keď žiak nepochopil otázku alebo keď omyl na začiatku riešenia znemožňuje ďalší úspešný postup. **Pri skúšaní základných zákonov elektrotechniky** nestačí iba uviesť matematickú formuláciu zákona, ale žiak musí **vysvetliť aj fyzikálny význam zákona, aký význam v danom vzťahu má každá jednotlivá veličina a uviesť jednotky veličín.**

b) Písomné skúšky

V elektrotechnike sa rozsah získaných vedomostí a schopnosť ich tvorivého využitia najobjektívnejšie overuje písomnými skúškami. Zároveň učiteľ zisťuje úroveň získaných zručností a návykov. Písomné skúšky sa uskutočňujú písomnými odpoveďami žiakov pri tabuli, systematickými hromadnými previerkami alebo formou didaktických textov.

Písomná skúška formou **písomnej odpovede pri tabuli** sa zvyčajne spája s ústnou skúškou. Pri písomnej odpovedi vystupujú vedomosti žiaka v určitom myšlienkovom procese. V elektrotechnike je to najmä pri **odvodzovaní veličín a ich jednotiek, pri vysvetľovaní a odvodzovaní zákonov, vzťahov a pod.** Učiteľ vtedy najoptimálnejšie zisťuje rozsah nadobudnutých

vedomostí i schopnosť logicky myslieť. Ak žiak **napíše zákon vo forme matematického vzťahu**, musí rovnako, ako pri ústnom skúšaní vysvetliť, čo daný vzťah vyjadruje (t.j. fyzikálny význam zákona), ďalej aký význam v danom vzťahu má každá jednotlivá veličina a uvedie jednotky veličín. Veľký význam má aj praktické využitie obecných zákonov a vzorcov na riešenie **konkrétnych úloh (príkladov)**. Vtedy sa v najvyššej miere prejavuje schopnosť žiakov tvorivo využívať nadobudnuté vedomosti. Zároveň sa hodnotí stupeň osvojenia si intelektuálnych zručností (napr. postup pri odvodzovaní zákona alebo pri riešení príkladu) i praktických zručností (napr. používanie kalkulačky).

Pri ukončení tematického celku sa doporučuje preveriť vedomosti **skupinovými písomnými previerkami**. Žiaci sú rozdelení do niekoľkých skupín a riešia niekoľko praktických príkladov. Písomné previerky sú pomerne objektívne, majú sa plánovať a treba na ne upozorniť žiakov dopredu. V tejto práci sú uvedené i návrhy príkladov pre písomné previerky v elektrotechnike.

Preverovanie vedomostí je vhodné robiť aj krátkymi písomnými prácami - testmi. Dĺžka trvania testu má byť cca 10 - 15 minút a nie je nutné predchádzajúce oznámenie žiakom. Aj keď testy nesmú byť jedinou formou preverovania vedomostí, má ich používanie niekoľko výhod. Umožňujú rýchlo a včas informovať učiteľa o stupni osvojenia si vedomostí žiakmi. V pedagogickej praxi sa môžeme stretnúť s dvomi typmi testov:

1. Vyhľadávanie správnej odpovede z niekoľkých predložených (označované ako testy škrtacie alebo výberové).
 2. K danej otázke sa vypíše správna odpoveď alebo sa vypočíta príklad alebo sa zakreslia hodnoty (označované ako testy tvorivé - odpovede môžu byť hodnotené buď počtom bodov alebo známkou).
- Pri zostavovaní vlastného testu volí vyučujúci postup:

- 1 . Zvolí vhodný typ testu (výberová alebo tvorivá odpoveď).
- 2 . Určí jeho charakter (napr. priebežný, vstupný), stanoví jeho rozsah (10 -90 minút) a určí počet otázok.
- 3 . Zvolí počet odpovedí na jednotlivé otázky (pri volenom) alebo určí bodovú hodnotu jednotlivých otázok (pri tvorivom).
- 4 . Stanoví vhodnú klasifikačnú stupnicu.
- 5 . Prejedná test v predmetovej komisii školy.
- 6 . Pripraví potrebný počet testovacích formulárov.
- 7 . Vykoná test v stanovenom termíne.

Používajú sa dva formuláre:

- a) Formulár pre odpovede z testu (pre žiakov).
- b) Formulár pre vyhodnotenie testu (pre učiteľa).

V tejto práci je uvedených niekoľko výberových testov pre jednotlivé tematické celky. Postup otázok v teste a ich formulácia sleduje systém vedomostí súvisiacich vo vertikálnom i horizontálnom smere. Metodika štatistického spracovania výsledkov testov sa neuvádza.

4. VYUČOVACÍ PROCES ELEKTROTECHNIKY

4.1. Psychologické základy výchovy

Psychologické základy výchovy musí poznať každý učiteľ. Treba si uvedomiť, že osobnosť človeka, jeho prežívanie a správanie, sa utvára jednak v dôsledku **biologických** vplyvov (napr. dedičnosť, vplyv organizmu a pod.) a tiež vplyvom **výchovy a prostredia** (napr. vplyv rodinného prostredia, školy a pod.). Utváranie osobnosti človeka má určité vývinové štádiá (podľa veku). Žiak 1. a 2. ročníka strednej školy má 14 - 16 rokov a nachádza sa v počiatočnom období adolescencie. V tomto období dochádza k duševnému dospievaniu, k vyrovnávaniu lability, ktorá vznikla v dôsledku telesného vývinu. Okrem prebiehajúceho procesu

rozumovej výchovy sa dotvára vývin ideovopolitických, mravných a povahových črt osobnosti.

Základné vedomosti z psychológie pomáhajú učiteľovi zaujať správne stanovisko k rôznym prejavom činnosti žiakov v rámci vyučovacieho procesu. Treba vedieť vybadať napr. vplyv okamžitého psychického stavu žiaka na jeho učebnú činnosť, alebo prejavy preťaženia žiaka v dôsledku neprimeraných požiadaviek, atď. Ak sa elektrotechnika vyučuje na šiestej alebo siedmej vyučovacej hodine, niektorí žiaci už môžu byť unavení, čo vedie k zníženiu ich výkonnosti. Ak centrálna nervová sústava nie je v čerstvom stave, potom sa žiak dokáže učiť ako-tak mechanicky, avšak logické myslenie mu už dobre nepracuje. Tiež si treba uvedomiť, že žiak si osvojuje učivo aj z ostatných predmetov, pritom množstvo učiva, ktoré sa dokáže naučiť a zapamätať si, je ohraničené. Časté preťažovanie nervovej sústavy môže viesť k trvalej únave organizmu.

4.2. Základy didaktiky (vyučovací proces)

Didaktika (teória vyučovania) je súčasť pedagogiky, ktorá sa zaoberá zákonitosťami vyučovacieho procesu. V súčasnom období sa didaktika definuje širšie ako teória vyučovania, vzdelávania a výchovy. Predmetom didaktiky na dnešnom stupni vývoja je **výchovno-vzdelávací proces ako celok**.

Vyučovací proces sa definuje ako proces dvoch vzájomne na seba pôsobiacich zložiek:

- a) **Učenie sa žiakov** - je taká činnosť žiakov, ktorou cieľavedome a systematicky nadobúdajú vedomosti, zručnosti a návyky, ako aj formy správania a osobnostné vlastnosti.
- b) **Vyučovanie učiteľa** - je taká činnosť učiteľa, ktorou cieľavedome a systematicky pôsobí na žiaka s cieľom vstúpiť mu isté vedomosti, zručnosti a návyky, spôsoby správania a

osobnostné vlastnosti v súlade s požiadavkami vytýčenými spoločnosťou. Učiteľ je teda riadiacim činiteľom vo vyučovacom procese.

Základné štrukturálne zložky vyučovacieho procesu sú:

- a) Osvojovanie vedomostí.
- b) Upevňovanie vedomostí, vštepovanie zručností a návykov.
- c) Preverovanie vedomostí, zručností a návykov.

4.3. Materiálne vyučovacie prostriedky

Používajú sa na zvýšenie účinnosti a efektívnosti vyučovacích metód pri plnení vytýčených výchovno-vzdelávacích cieľov.

Materiálne vyučovacie prostriedky sa delia na:

a) Učebné pomôcky

Sú to tie vyučovacie prostriedky, ktoré bližšie objasňujú a súvisia s osvojovaným učivom. V elektrotechnike sa používajú rôzne názorné učebné pomôcky (napr. časti elektrických a magnetických obvodov), pomôcky na vykonávanie demonštračných pokusov laboratórnym spôsobom (alebo súpravy učebných pomôcok), modely, obrazové materiály a pod.

b) Didaktická technika

Sú to tie vyučovacie prostriedky, ktoré umožňujú učiteľovi lepšie a efektívnejšie vyučovať a žiakom učiť sa.

V elektrotechnike používajú základnú didaktiku jednak žiaci, do ktorej predovšetkým patrí:

- **pracovný zošit** - žiak si zaznamenáva predovšetkým poznatky. Učiteľ musí zdôrazniť, ktoré učivo si žiaci musia zaznamenať a umožní im to bez náhlenia vykonať,
- **učebnica a zbierky príkladov**
- **písacie potreby** - schémy zapojenia a obrázky kreslia žiaci

farebnými ceruzkami (aby sa prípadná chyba dala odstrániť),

- **elektronická kalkulačka** - používa sa pri riešení konkrétnych príkladov.

Didaktickú techniku používa aj učiteľ. V elektrotechnike je to predovšetkým:

- **tabuľa, krieda (aj farebná), špongia (utierka)** - tvoria základnú didaktickú techniku,
- **spätný projektor MEOTAR s priesvitkami** - pri výklade učiteľa môže nahradiť tabuľu. Používajú sa buď vopred pripravené priesvitky (fólie) alebo učiteľ kreslí na ne počas výkladu tužkou so zmazateľnou stopou,
- **audiovizuálne prostriedky** (filmy, diafilmy, diapozitívy, televízia s príslušnými prístrojmi a zariadeniami).

4.4. Didaktické zásady

Sú to vlastne pravidlá o tom, ako využívať pedagogické zákony na splnenie vytýčených výchovno-vzdelávacích cieľov.

Tieto zásady platia pri vyučovaní elektrotechniky rovnako, ako pri ostatných vyučovacích predmetoch. Sú to predovšetkým:

a) Zásada výchovy vo vyučovacom procese

Vyjadruje nevyhnutnosť zabezpečiť vo vyučovaní najvhodnejšie podmienky pre rozvoj poznávacích schopností a kladných osobnostných vlastností, ktoré sa prejavujú v správaní žiaka.

b) Zásada vedeckosti a prístupnosti vo vyučovacom procese

Učiteľ podáva žiakom na osvojenie už overené a spoľahlivé poznatky súčasnej vedy. Zároveň treba dodržať aj podmienku primeranosti učiva podľa veku žiakov.

c) Systematickosť (sústavnosť) vo vyučovacom procese a jeho súvislosť s praxou

Vyjadruje nevyhnutnosť osvojovania si vedomostí a formovania zručností a návykov postupne a podľa určitého systému. Zároveň je nutné používať získané znalosti na riešenie praktických úloh.

d) Zásada uvedomenosti a aktivity žiakov

Keď sa v žiakoch prebudí záujem o učenie a pochopia úlohy i potrebu ich správneho vykonania, potom možno hovoriť o uvedomenom učení. Učiteľ má pri vyučovaní vedúcu úlohu a preto musí žiakov správne usmerňovať.

e) Zásada jednoty konkrétneho a abstraktného vo vyučovacom procese

Znamená, že pri vyučovaní treba postupovať podľa metód logického myslenia (napr. indikatívne alebo deduktívne úsudky). Vo vyučovacom procese má veľký význam jednak názornosť a s tým súvisiace pozorovanie predmetov a javov, ale zároveň treba rozvíjať aj abstraktné myslenie žiakov, napr. počas učiteľovho výkladu.

f) Zásada dôkladnosti osvojovania poznatkov a všestranného rozvoja poznávacích schopností žiakov

Vyjadruje, že vedomosti, zručnosti a návyky si žiaci majú osvojiť dôkladne a trvácne. Zároveň sa majú rovnomerne rozvíjať všetky poznávacie schopnosti, ako sú logické myslenie, pamäť, atď.

g) Zásada kolektívneho charakteru vyučovacieho procesu a rešpektovania individuálnych osobitostí žiakov

Vyjadruje nutnosť vychovávať triedu ako kolektív a organizovať prácu všetkých žiakov. Súčasne treba aj individuálne pristupovať ku každému žiakovi a rozvíjať jeho kladné a potláčať záporné vlastnosti.

4.5. Organizačné formy vyučovania

Vyučovacia forma je vonkajšie usporiadanie procesu vyučovania a podmienok, v ktorých sa uskutočňuje. Hromadné formy vyučovania obecné sú:

- a) vyučovacia hodina v triede
- b) vyučovacia jednotka v laboratóriách a odborných učebniach
- c) vyučovacia jednotka v dielňach
- d) vychádzka a exkurzia
- e) domáce úlohy žiakov.

Základnou organizačnou formou vyučovania elektrotechniky je **vyučovacia hodina**. Základné články vyučovacej hodiny pri triedno-hodinovom systéme vyučovania sú:

- otvorenie hodiny (organizačná príprava, motivácia)
- upevňovanie vedomostí, zručností a návykov (osvojených na predchádzajúcich hodinách), spojené so skúšaním
- osvojovanie nového učiva (napr. výklad učiteľa)
- upevňovanie nového učiva (opakovaním a precvičovaním)
- uloženie a vysvetlenie domácej úlohy.

Modely vyučovacích hodín elektrotechniky sú uvedené v 6. kapitole tejto práce (2. časť).

4.6. Príprava učiteľa na vyučovaciu hodinu

Učiteľ sa musí na každú vyučovaciu hodinu riadne pripraviť. Dobré plánovanie a rozvrhnutie hodiny umožní cieľavedomú a

efektívnu činnosť učiteľa a žiakov, pokojné ovzdušie a disciplínu. Každá téma má určitý počet vyučovacích hodín a každá hodina má v tejto sústave svoje miesto.

Učiteľ najprv vykoná:

- **situačnú analýzu** - premyslí možnosti výučby v daných podmienkach
- **analýzu vyučovacieho procesu**
 1. po stránke **obsahovej** (výchovno-vzdelávacie ciele, ako sú vedomosti, zručnosti, návyky, atď.),
 2. po stránke **metodickej** (vyučovacie metódy a materiálne vyučovacie prostriedky, didaktické zásady, celkový metodický postup a pod.).

Z uvedeného vyplýva, že pri **plánovaní vyučovacej hodiny** elektrotechnika musí si učiteľ premyslieť:

a) Vyučovacie ciele hodiny

Sú to:

- **vedomosti** – tu patria základné pojmy, veličiny, zákony, pojmy, základné príklady a pod.
- **zručnosti a návyky** - tu patria všetky typy a úkony duševnej i telesnej práce
- **vzťahy** - tu patrí mravná výchova (napr. normy správania) a ďalšie zložky výchovy

b) Učebný obsah vyučovacej hodiny

V elektrotechnike sa musí učiteľ orientovať predovšetkým na základné učivo. Medzi učivom musí dôsledne rozlišovať.

c) Výber vhodných vyučovacích metód

Učiteľ musí vybrať vhodnú didaktickú techniku a učebné pomôcky.

d) Určenie štruktúry vyučovacej hodiny

Každá hodina pozostáva z radu za sebou nasledujúcich učebných situácií. Úlohou učiteľa je pripraviť si vhodný metodický postup vyučovania v rámci každej vyučovacej hodiny.

5. ODBORNO-METODICKÁ ANALÝZA UČEBNÉHO OBSAHU ELEKTROTECHNIKY

I. tematicky celok: ÚVOD

1. Vývoj a význam elektrotechniky

a) Vývoj elektrotechniky

Stretnutie s elektrickými a magnetickými javmi v staroveku, napr. pri trení jantáru, sa objavilo silové pôsobenie elektrického poľa, objav silového magnetického pôsobenia niektorých železných rúd a pod.

Prvé vedecké bádania v oblasti elektrických a magnetických javov (Gilbert, Galvani).

Objavenie bleskozvodu (Franklin, Diviš).

Prvý galvanický článok (Volta).

Objav základných zákonov elektrotechniky (Coulomb, Kirchhoff, Ohm, Lenz).

Magnetické účinky elektrického prúdu (Oerstedt, Ampére).

Objav elektromagnetickej indukcie (Faraday).

Technická aplikácia elektrických a magnetických javov (Edison, Hertz, Popov, Tesla a ďalší).

Súčasný rozvoj elektrotechniky (automatizácia, elektronika, polovodičová technika, výroba elektrickej energie a pod.).

Českí a slovenskí vynálezcovia z oblasti elektrotechniky - Diviš (bleskozvod), Jedlík (elektrické stroje), Murgaš (rádiotelegrafia), Heyrovský (elektrochémia), atď.

b) Význam elektrotechniky

Poukáže sa na **výhody** používania elektrickej energie:

- možnosť rýchleho prenosu na veľké vzdialenosti
- možnosť premeny na iné formy energie
- vysoká účinnosť a pod.

I na niektoré **nevýhody** (napr. neskladovateľnosť).

Elektronika prispieva k rozvoju výrobných síl.

c) Význam predmetu elektrotechnika

Zdôrazní sa, že elektrotechnika je veda (tvorí ju systém objektívnych poznatkov, otvorenosť k novým poznatkom, používa sa vedecko-dialektická metóda skúmania). Žiakom sa vysvetlí, že si musia hlboko osvojiť základné pojmy, veličiny a zákony elektrotechniky, ak chcú byť úspešní v ďalšom štúdiu svojho odboru.

2. Návrh základného systému vedomostí elektrotechniky

Názvy tematických celkov sú:

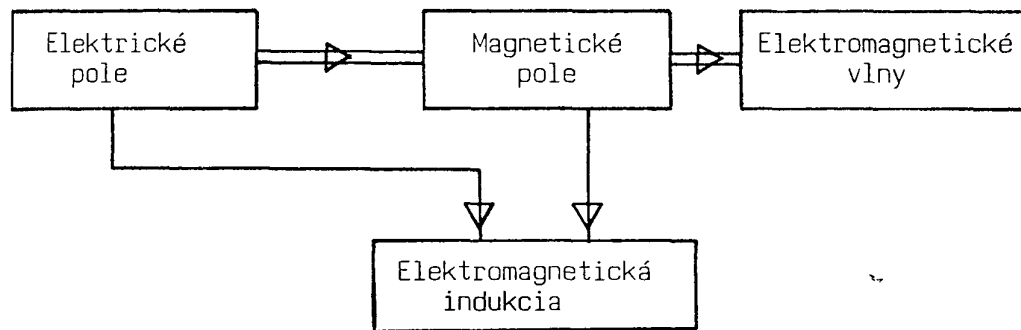
1. Úvod
2. Základné pojmy
3. Jednosmerný prúd
4. Riešenie obvodov jednosmerného prúdu
5. Základy elektrochémie
6. Elektrostatické pole
7. Magnetické pole
8. Elektromagnetická indukcia
9. Striedavé prúdy
10. Obvody striedavého prúdu
11. Trojfázová sústava
12. Prechodné javy

V nasledujúcej **odborno-metodickej analýze jednotlivých tematických celkov** elektrotechniky je poradie i pomenovanie viacerých tém oproti doteraz používaným učebným osnovám čiastočne pozmenené, predpísaný učebný obsah však ostáva rovnaký. Sleduje sa tým vytvorenie optimálneho systému

základného učiva. Učiteľ postupuje vždy podľa určitého metodického postupu osvojovania učiva.

Tabuľka 4

Návrh základného systému vedomostí v elektrotechnike



..... horizontálne spoje medzi vedomosťami
..... vertikálne spoje medzi vedomosťami

Poznámka: Súčasné predpísané učebné osnovy predmetu elektrotechnika neobsahujú základné učivo o elektromagnetických vlnách.

Základné učivo o elektrickom a magnetickom poli treba rozdeliť podľa určitého systému. Návrh **základného systému vedomostí z elektrického poľa a z magnetického poľa** je uvedený v tabuľke 2.

Podľa uvedeného systému sa učivo o elektrickom poli vo vodiči (el. prúdové pole) delí na:

- **obvody jednosmerného prúdu** (statické prúdové pole) - učebná látka sa vysvetľuje v tematických celkoch "Jednosmerný prúd", "Riešenie obvodu jednosmerného prúdu", "Základy elektrochémie". Ide o popis jednosmerného prúdu v tuhých a kvapalných vodičoch; učebné osnovy neobsahujú učivo o el. prúde v polovodičoch, plynach a vo vákuu.
- **obvody striedavého prúdu** - učebná látka sa vysvetľuje v tematických celkoch "Striedavé prúdy", "Obvody striedavého prúdu", "Trojfázová sústava".
- **obvody s prechodnými javmi** - učebná látka sa vysvetľuje v

tematickom celku "Prechodné javy".

Učivo o **elektrickom poli v nevodiči** sa delí na:

- **elektrostatické pole** učebná látka sa vysvetľuje v tematickom celku "Elektrostatické pole".
- **striedavé elektrické pole v nevodičoch** - učebné osnovy príslušné učivo neobsahujú.

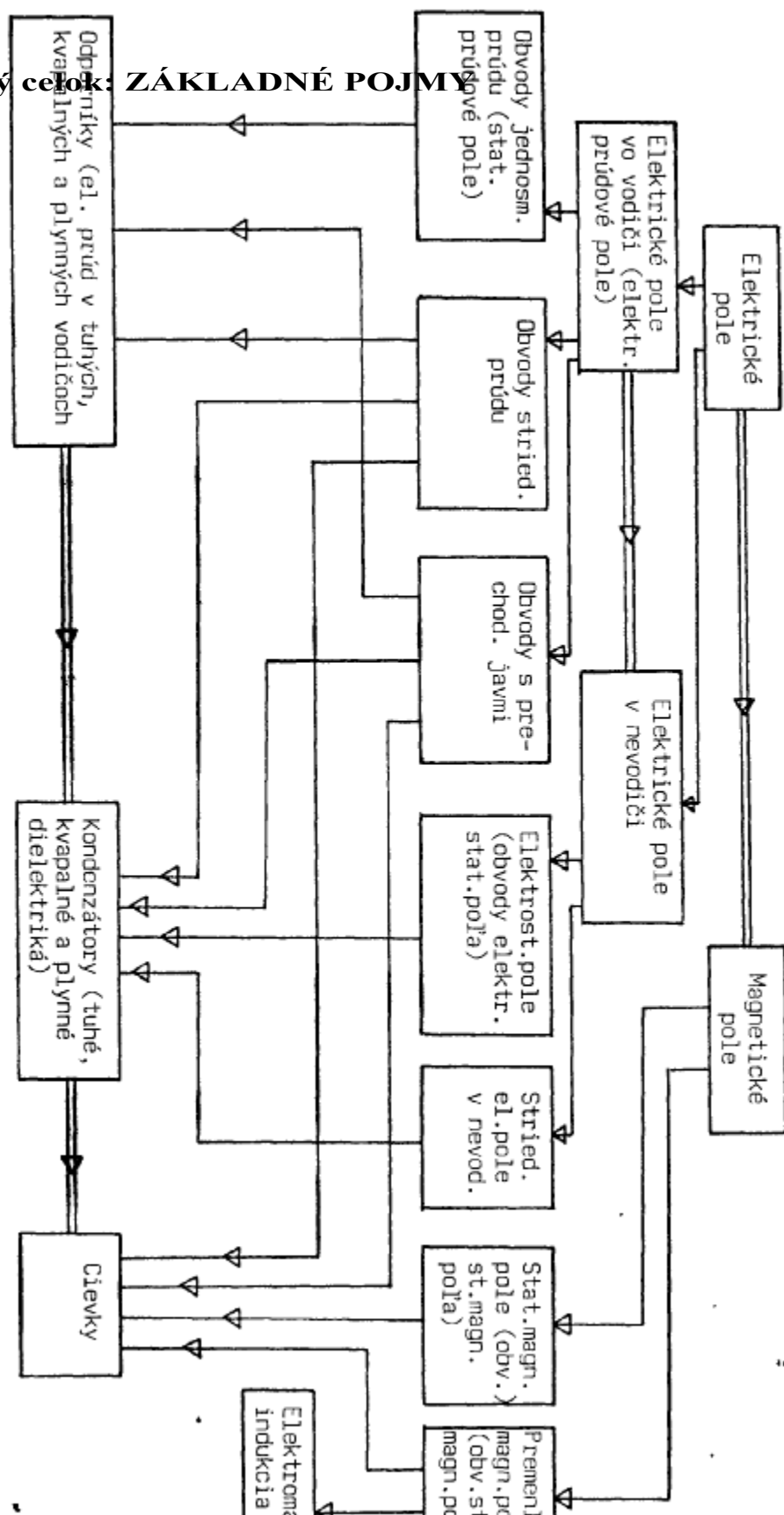
Učivo o **magnetickom poli** sa v uvedenom systéme delí na:

statické magnetické pole (obvody statického magnetického poľa) - učebná látka sa vysvetľuje v tematickom celku "Magnetické pole".

premenlivé magnetické pole - učebné osnovy príslušné učivo neobsahujú.

elektromagnetická indukcia - učivo je vertikálne priradené k učivu o premenlivom magnetickom poli. Učebná látka sa vysvetľuje v tematickom celku "Elektromagnetická indukcia".

tematický celok: ZÁKLADNÉ POJMY



Fyzikálne veličiny a ich jednotky

Fyzikálna veličina

Je podstatná a merateľná vlastnosť fyzikálneho telesa alebo deja. Žiaci uvedú príklady skalárnych veličín (čas, hmotnosť a pod.) a vektorových veličín (rýchlosť, sila a pod.). Učiteľ používa **metódu výkladu a rozhovoru** (využíva medzipredmetové vzťahy s fyzikou).

Jednotka veličiny

Učiteľ vysvetlí, že na zmeranie veličiny musí byť zvolená určitá veľkosť veličiny za **jednotkovú veľkosť** (číselná hodnota 1). Veličina sa potom meria tak, že sa porovnáva, koľkokrát je jej hodnota väčšia alebo menšia, než zvolená jednotka.

Učiteľ zdôrazní, že od 1.1.1980 sa používajú len **zákonné meracie jednotky Medzinárodnej sústavy jednotiek (SI)**. Sústava SI obsahuje **7 základných veličín** (prislúcha im 7 základných jednotiek), ostatné veličiny sústavy (a ich jednotky) sú **odvodené zo základných veličín**, t.j. vyjadrujú sa matematickým vzťahom k základným veličinám sústavy SI.

Každá jednotka má svoje:

- **pomenovanie** (napr. meter, ampér, newton)
- **označenie** (napr. 1m, 1A, 1N)
- **rozmer** , t.j. vzťah jednotky k základným jednotkám sústavy SI (napr. $1\text{N} = \text{kg.m.s}^{-2}$)
- **definíciu (realizáciu)**, t.j. stanovenie jednotkovej veľkosti veličiny.

Definícia každej základnej jednotky je určená.

Príklad 1: Odvodte rozmer jednotky 1 watt, t.j. vyjadrite jednotku vzťahom k základným jednotkám sústavy SI!

Riešenie: Učiteľ spolu so žiakmi odvodí, že pre veličinu "výkon" platí:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = \frac{m \cdot a \cdot s}{t} = \frac{m \cdot v \cdot s}{t^2} = \frac{m \cdot s^2}{t^3}$$

$$\left[1W = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \right]$$

Do sústavy SI patria aj dekadické násobky a diely jednotiek, ktoré učiteľ uvedie vo forme tabuľky (predpona, značka, násobok, príklad). Príklady uvádzajú žiaci, napr. megawatt, kilometer, miliampér, mikrofarad a pod.

Fyzikálny zákon

Ak zmena jednej fyzikálnej veličiny spôsobí zmenu inej veličiny a táto vzájomná závislosť sa dá zapísať matematickým vzťahom - ide o fyzikálny zákon. Učiteľ zdôrazní, že elektrické a magnetické javy sa popisujú prostredníctvom veličín a zákonov.

Príklad 2: Vysvetlite na konkrétnom príklade, že vzťah $F = m \cdot a$ je fyzikálny zákon (napr. na gravitačnom silovom pôsobení)!

Riešenie: Napr. v gravitačnom poli Zeme je na jej povrchu zrýchlenie $a = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Vzťah $F = m \cdot a$ vyjadruje skutočnosť, že na teleso väčšej hmotnosti pôsobí v tomto poli väčšia tiažová sila (t.j. telesá s väčšou hmotnosťou vážia viac). Ak sa zmení hodnota jednej veličiny (hmotnosti m), zmení sa aj hodnota druhej veličiny (sily F). Napr., keď $m = 20 \text{ kg}$, vtedy $F_1 = 200 \text{ N}$, ak $m_2 = 70 \text{ kg}$, vtedy $F_2 = 700 \text{ N}$, V inom prípade sa sila F mení v dôsledku zmeny zrýchlenia telesa (napr. teleso hmotnosti

m má na Mesiaci menšiu tiaž ako na Zemi, pretože zrýchlenie telesa na povrchu Mesiaca je menšie).

2. Stavba hmoty

a) Elektrické a magnetické javy

Energia elektrického a magnetického poľa sa využíva v širokom rozsahu (žiaci uvedú príklady, napr. elektromotor, akumulátor, rádioprijímač a pod.), s elektrickými a magnetickými javmi sa však v prírode stretávame zriedkavo (blesk, trenie izolantu, magnetická ruda a pod.). Učiteľ konštatuje, že vysvetlenie podstaty elektrických a magnetických javov vychádza z poznatkov o stavbe hmoty.

b) Základné formy hmoty

Učiteľ použije metódu výkladu a rozhovoru, uplatňuje medzipredmetové vzťahy, pretože žiaci si osvojujú vedomosti o stavbe hmoty aj vo fyzike a chémii.

Hmota sa vyskytuje v dvoch základných formách, ako:

1) **látk**a (skupenstvo tuhé, kvapalné, plynné, plazma). Látkovú formu hmoty predstavujú:

- z hľadiska makrosвета **telesá**. Patria tu vesmírne telesá, všetky predmety na zemskom povrchu a pod.;
- z hľadiska mikrosвета **častice**. Základnými stavebnými časticami látok sú **molekuly**, resp. **atómy** (ióny) a tie sa skladajú z **elementárnych častíc** (protóny, elektróny, neutróny a pod.).

Kvantová mechanika vysvetľuje vlastnosti elementárnych častíc a zároveň objasňuje stavbu atómov a tiež štruktúru tuhých, kvapalných a plynných látok;

2) **pole** (elektrické, magnetické, gravitačné a pod.). Polia sú viazané

na objekty látkovej formy hmoty a nachádzajú sa v ich okolí. Prostredníctvom polí pôsobia jednotlivé látky (telesá i častice) vzájomne na seba, napr. gravitačnou, elektrickou, magnetickou silou. **Vzájomné silové pôsobenie látok** (interakcia) patrí medzi najdôležitejšie vlastnosti prírody.

c) Elementárne častice

Učiteľ zdôrazní, že moderná fyzika pri objasňovaní podstaty fyzikálnych javov vychádza zo **zákonov mikrosveta**. Aj pre poznanie podstaty elektrických a magnetických javov preto treba začať vlastnosťami elementárnych častíc.

Učiteľ metódou rozhovoru so žiakmi zopakuje a tiež vysvetlí nové pojmy, týkajúce sa elementárnych častíc, predovšetkým ich elektrické a magnetické vlastnosti.

Elementárne častice sú predovšetkým protón, elektrón, neutrón (základné častice atómu). Všetky protóny majú rovnakú kľudovú hmotnosť a vyznačujú sa rovnakým **elementárnym nedeliteľným kladným elektrickým nábojom** rovnakej hodnoty. Neutrón má hmotnosť približne rovnakú ako protón, ale nemá elektrický náboj. Elektrón má kľudovú hmotnosť 1836-krát menšiu ako protón a vyznačuje sa **elementárnym záporným elektrickým nábojom** rovnakej hodnoty ako protón.

Existencia kľudovej hmotnosti častice je spojená s existenciou gravitačného poľa, analogicky **elektrický náboj** častice s **elektrickým poľom** v jej okolí. V okolí protónu a elektrónu preto je elektrické pole, pozri obr. 1a.

V okolí **pohybujúcej sa elektricky nabitej častice** sa objavuje **magnetické pole**. Magnetické pole preto vzniká v okolí pohybujúceho sa protónu, elektrónu (alebo iónu), vo vákuu alebo vo vodivej látke (pozri obr. 1b).

Poznámka: Elektrické a magnetické polia sa zobrazujú pomocou tzv. siločiar (pozri tém. celky "Elektrostatické pole" a "Magnetické pole").

Látky (častice a telesá) pôsobia na seba **silou prostredníctvom svojich polí**. Vzájomné silové pôsobenie medzi časticami alebo telesami sa nazýva **interakcia**. Interakcia vzniká medzi tými časticami a telesami, v okolí ktorých sú **polia rovnakého druhu**, tak vzniká napr. silové pôsobenie elektrických polí (pozri obr. 10), silové pôsobenie magnetických polí a pod. Častice (i telesá) s elektrickým nábojom sa buď **odpuďujú** (súhlasné náboje) alebo **príťahujú** (nesúhlasné náboje).

Obr. 1

Elektrické a magnetické pole

A. Elektrické pole v okolí elektrónu

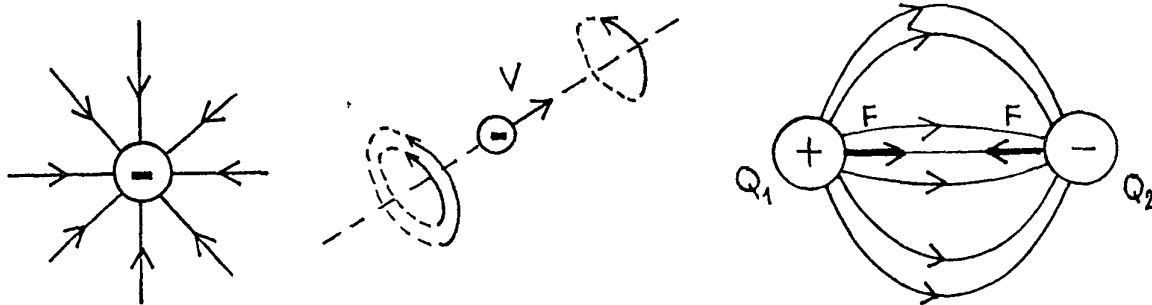
B. Magnetické pole v okolí elektrónu

C. Elektrické pole medzi elektricky nabitými telesami guľového tvaru (el. interakcia)

A.

B.

C.



d) Stavba atómu

Učiteľ naďalej používa metódu výkladu a rozhovoru. Zdôrazní, že zákony mikrosveta sú odlišné od zákonov "klasickej fyziky", t.j. zákonov makrosveta.

Elektricky neutrálny atóm - obsahuje daný počet protónov, ktoré sa nachádzajú v atómovom jadre (okrem nich sú tam aj neutróny a ďalšie častice) a rovnaký počet elektrónov (elektrónový obal atómu), ktoré obiehajú okolo jadra iba po dovolených kvantových dráhach. Medzi protónmi a elektrónmi v atóme je elektrické silové pôsobenie, avšak **v okolí elektricky neutrálného atómu sa elektrické pole neobjavuje.**

Učiteľ vysvetlí, že pri **elektrických javoch** v látkach menia svoj stav iba elektróny. Jadro atómu ostáva nedotknuté (uvoľnenie protónu z jadra patrí medzi jadrové procesy, pri ktorých sa uvoľňuje oveľa väčšia energia).

e) Ión

Je to atóm (alebo molekula), ktorý sa vyznačuje hodnotou kladného alebo záporného elementárneho elektrického náboja (alebo jeho celo číselného násobku). V okolí iónu je preto **elektrické pole**. Z elektricky neutrálného atómu vznikne ión tým spôsobom, že buď atóm uvoľní jeden alebo niekoľko valenčných elektrónov (kladný ión) alebo k valenčnej sfére atómu sa pripútajú cudzie elektróny

(záporný ión). Učiteľ uvedie ako príklad model elektricky neutrálneho atómu a iónu niektorého prvku.

f) Stavba látok. Elektricky nabité teleso

Učiteľ zdôrazní, že základné stavebné častice látok sú **atómy** alebo **molekuly** (molekula je celok, ktorý vznikol spojením dvoch alebo viacerých atómov). Látka (tuhá, kvapalná i plynná) je teda sústava atómov alebo molekúl, medzi ktorými je malá vzdialenosť. Plynné skupenstvo látky možno považovať za sústavu izolovaných atómov; ak sa vzdialenosti medzi atómami alebo molekulami zmenšujú (kvapalné a tuhé látky), potom sa v sústave objavia nové vlastnosti - objavuje sa vzájomné silové pôsobenie medzi atómami, resp. molekulami (napr. príťažlivé elektrické sily v iónových kryštáloch).

Látky (prvky alebo zlúčeniny) sa rozlišujú podľa svojich charakteristických vlastností. **Vlastnosti látok** možno vysvetliť na základe poznatkov o stavbe atómov, poznatkov o stavbe molekúl (žiaci sa v chémii oboznamujú s druhmi chemických väzieb, niektoré zákony procesov zlučovania atómov do molekúl možno vysvetliť tiež kvantovými zákonmi) a poznatkov o zákonoch vzájomného pôsobenia medzi atómami alebo molekulami vytvárajúcich sústavu (látku).

Vlastnosti látok sa delia na:

- **fyzikálne** (hustota, teplota topenia, elektrická vodivosť a pod.)
- **chemické** (schopnosť zlučovať sa s inými látkami a pod.).

Učiteľ použije metódu rozhovoru k tomu, aby žiaci na základe doteraz osvojených vedomostí z fyziky, chémie a elektrotechniky o stavbe atómu a existencii elementárneho elektrického náboja (kladného alebo záporného), sami jednoducho vysvetlili vznik **elektricky nabitého telesa (látky)**.

V prírode sa látky vyskytujú väčšinou elektricky neutrálne. Učiteľ sa najprv pýta žiakov na príklady elektricky nabitých telies (napr. elektricky sa nabíja sklo trené hodváhom alebo osoby s gumovou obuvou pri chodení po linoleu a pod.). Ďalej sa pýta na dôvod, prečo ostalo napr. sklo elektricky nabité. Učiteľ odpovede žiakov usmerňuje, aby sa dospelo k správnejmu záveru, že "vzájomným trením dvoch telies sa z atómov jedného telesa odtrhnú elektróny a umiestňujú sa na druhom, jedno teleso sa preto nabíja kladne a druhé záporne". Elektrický náboj telesa je teda rovný súčtu všetkých elementárnych elektrických nábojov chýbajúcich, resp. nadbytočných elektrónov v atómoch telesa. V okolí elektricky nabitého jedného alebo viacerých telies je tiež elektrické pole (pozri obr. 1c).

Elektrické silové pôsobenie medzi nabitými telesami je príťažlivé alebo odpudivé (rovnako ako medzi elektricky nabitými časticami).

g) Štruktúra (stavba) látok a ich rozdelenie z hľadiska elektrickej vodivosti

Ak do **elektrického poľa** vložíme častice alebo telesá s elektrickým nábojom alebo látky, ktoré obsahujú elektricky nabité častice schopné vo vnútri látky sa premiestňovať, potom silové pôsobenie poľa môže sa prejaviť ako **zmena pohybového stavu** týchto častíc, resp. telies. Elektrické pole preto vyvoláva jednak zmenu rýchlosti samostatných nabitých častíc a telies alebo v tzv. vodivých látkach spôsobuje pohyb elektricky nabitých častíc látky (elektrónov alebo iónov) - vzniká elektrický prúd.

Elektrický prúd je teda pohyb (prúdenie) elektricky nabitých častíc alebo telies (elektrických nábojov) vo vákuu alebo v látke v dôsledku silového pôsobenia elektrického poľa.

Učiteľ vysvetlí, že dôležitou vlastnosťou každej látky je **elektrická vodivosť**. Elektrická vodivosť látky závisí od jej štruktúry. Podľa elektrickej vodivosti sa látky delia na:

1. **Vodiče** - sú to elektricky neutrálne látky, ktoré obsahujú veľký počet elektricky nabitých častíc schopných premiestňovať sa látkou pôsobením vonkajšieho elektrického poľa. Rozoznávame:

- **tuhé vodiče** (napr. kovy). Väčšina tuhých látok pozostáva z kryštálov, v ktorých atómy látky vytvárajú pravidelné priestorové mriežky. Uzly kryštálovej mriežky kovu sú vytvorené kladnými iónmi a medzi nimi sa voľne pohybujú záporné elektróny kovu (valenčné elektróny atómov). Kov, ako celok je elektricky neutrálny - obsahuje rovnaký počet protónov a elektrónov. Pôsobením vonkajšieho elektrického poľa sa voľné elektróny začnú pohybovať príslušným smerom. Elektrický prúd v kovoch je teda vytváraný **voľnými elektrónmi**.
- **kvapalné vodiče** (elektrolyty). Elektrolyt pozostáva z rozpúšťadla (napr. voda) a z rozpustnej látky (napr. kuchynská soľ). Molekuly rozpustnej látky sa v rozpúšťadle

rozpustia na kladné a záporné ióny (disociácia). Pôsobením vonkajšieho elektrického poľa sa ióny začnú pohybovať; elektrický prúd v kvapalných vodičoch je teda **vytváraný iónmi**.

- **plynné vodiče.** Plyn pri normálnom tlaku a teplote nie je elektricky vodivý, aby sa stal vodivým, treba ho ionizovať. Pri ionizácii molekuly plynu sa z nej odtrhne jeden alebo viacej elektrónov a ostáva z nej kladný ión. Pôsobením vonkajšieho elektrického poľa sa elektróny a kladné ióny začnú pohybovať opačnými smermi - vzniká elektrický prúd.

2. **Polovodiče** (napr. kremík, germánium, zlúčeniny kyslíka a pod.) - sú to látky, ktorých elektrická vodivosť je podstatne menšia než u vodičov, nemožno ich však považovať za nevodiče. Polovodiče sa však vyznačujú dôležitými vlastnosťami, ktoré majú veľký význam z hľadiska technického využitia (polovodičové elektronické prvky - diódy, tranzistory a pod.). Polovodiče sú prevažne tuhého skupenstva.

Tuhé polovodiče pozostávajú (podobne ako vodiče) z kryštálov, ktorých atómy vytvárajú mriežky rôznych štruktúr. Pri izbovej teplote je elektrická vodivosť čistého (bezprímesového) polovodiča malá, pretože polovodič nemá mnoho voľných elektrónov. S rastúcou teplotou sa slabo viazané elektróny postupne uvoľňujú a preto vlastná elektrická vodivosť polovodiča stúpa. Najbežnejšie polovodičové látky sú kremík a germánium.

V technickej praxi sa uplatňujú polovodiče, do ktorých sa technologickým postupom vnášajú prímesi cudzích atómov.

3. **Nevodiče** (izolanty) - sú to látky (tuhé, kvapalné a plynné), ktoré obsahujú nepatrné množstvo voľných elektrónov alebo iónov.

Keď si žiaci osvoja základné vedomosti o rozdelení látok z hľadiska ich elektrickej vodivosti, potom môže učiteľ rozšíriť ich

doterajšie vedomosti o **elektricky nabitom telese**. Žiaci už vedia, že pod elektrickým nábojom telesa sa rozumie elektrický náboj všetkých nadbytočných elektrónov (záporne nabité teleso) alebo náboj všetkých chýbajúcich elektrónov (kladne nabité teleso).

V prípade **elektricky nabitého vodiča** (napr. platňa nabitého kondenzátora) sa elektrické množstvo nachádza iba na jeho povrchu (na guľovom vodiči je rovnomerne rozložené). Elektrický náboj sa na vodič privedie napríklad tak, že sa vodič hociktorým miestom dotkne iného elektricky nebitého telesa, podobne sa elektrický náboj odvádza z celého vodivého telesa. V prípade elektricky nebitého nevodiča (napr. skla treného hodváhom) sa elektrický náboj nachádza iba na tých miestach telesa, na ktorých pribudli, resp. ubudli elektróny jednotlivých atómov. Tiež elektrický náboj možno odvieť iba z miesta dotyku.

3. Elektrický náboj. Elektrický prúd

a) Elektrický náboj

Je to určité množstvo elementárnych (kladných alebo záporných) elektrických nábojov (elektrónov, iónov a pod.), ktorého veľkosť možno merať. Elektrický náboj elektricky nabitého telesa je daný počtom prebytočných elektrónov (záporný náboj) alebo chýbajúcich elektrónov (kladný náboj) v atómoch telesa.

Elektrický náboj Q - je odvodená veličina sústavy SI. Jednotka elektrického náboja je preto tiež odvodená a nazýva sa **coulomb (1C)**.

b) Coulombov zákon

Učiteľ konštatuje, že podobne ako dve hmotné telesá pôsobia vzájomne na seba gravitačnou silou, rovnako aj dva guľové (alebo bodové) elektrické náboje prostredníctvom **svojich elektrických polí** pôsobia vzájomne na seba **silou F** .

Učiteľ uvedie jednoduchý obrázok, napr. na príťažlivú silu medzi nesúhlasnými guľovými el. nábojmi, pozri obr. 1c. Táto sila je priamo úmerná súčinu veľkostí nábojov Q_1 a Q_2 a nepriamo úmerná ich vzájomnej vzdialenosti r a tiež závisí od prostredia (permitivita).

Platí:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad \left[\text{N}; \text{F} \cdot \text{m}^{-1}, \text{C}, \text{C}, \text{m} \right] \quad [1]$$

Poznámka: Predpísané učebné osnovy nepoužívajú vektorový počet na formuláciu jednotlivých zákonov. Pri počítaní s vektorovými veličinami preto určujeme iba veľkosť (hodnotu) a nie smer. Napríklad, pri vyjadrovaní Coulombovho zákona vzťahom /1/ sa určí iba veľkosť vektorovej veličiny F .

Príklad 1: Vypočítajte odpudivú silu dvoch elektrónov, ktoré sú od seba vzdialené 10^{10}m .

Výsledok: $F = 2,3 \cdot 10^{-8}\text{N}$.

c) Elektrický prúd

Je trvalý pohyb elektrických nábojov vo vodivej látke a vzniká premiestňovaním hmotných nosičov elektrického náboja (elektrónov, iónov a pod.) v dôsledku silového pôsobenia vonkajšieho elektrického poľa.

Poznámka: Elektrický prúd môže prúdiť aj vo vákuu. Hmotné nosiče náboja však musia byť do vákuu dodané.

Elektrický prúd môže byť:

- **jednosmerný** - smer premiestňovaných el. nábojov sa v priebehu času nemení (pri ustálenom prúde sa nemení ani jeho veľkosť)

– **striedavý** - smer a veľkosť el. prúdu sa v priebehu času menia.

Učiteľ ďalej vysvetlí definíciu jednotky elektrického prúdu a vzťah medzi elektrickým prúdom I a nábojom Q , a to v prípade jednosmerného ustáleného prúdu pretekajúceho tuhou vodivou látkou.

Veličina elektrický prúd I patrí medzi 7 základných veličín sústavy SI. Jednotkou el. prúdu v sústave SI je ampér (1A).

Nosičmi elektrického náboja sú elementárne častice alebo elektricky nabité atómy, resp. molekuly (ióny), ktoré nie sú prístupné priamemu pozorovaniu. Preto sa jednotka el. prúdu musela definovať z niektorého jeho účinku; v sústave SI sa 1 ampér definuje z elektrodynamického účinku el. prúdu. Učiteľ uvedie definíciu 1 ampéra.

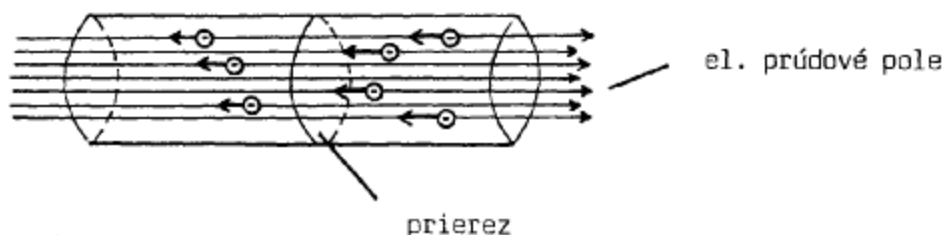
Medzi odvodenou veličinou el. náboj Q a základnou veličinou el. prúd I platí vzťah:

$$Q = I \cdot t \quad (C; A, s) \quad (2)$$

Učiteľ vysvetlí, že ak vodičom preteká ustálený jednosmerný prúd I , potom prierezom vodiča prejde za čas t elektrický náboj Q , ktorého hodnota je daná vťahom (2), pozri obr.2

Obr. 2

Prechod elektrického náboja prierezom vodiča



Zo vzťahu (2) vyplýva veľkosť odvodennej jednotky 1 coulomb (1C je elektrický náboj, ktorý prejde prierezom vodiča pri prúde 1A za dobu 1s). Rozmer 1C teda je:

$$[Q] = 1C = 1As$$

Väčšia jednotka je ampérhodina, $1Ah = 1A \cdot 3600s = 3600$

As = 3600 Q. Meraním sa zistilo, že hodnota elementárneho el. náboja je:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19}C$$

Nasledujú príklady na konkretizáciu osvojených základných vedomostí. Väčšinu základných príkladov riešia už žiaci s pomocou učiteľa. Zároveň sa začínajú upevňovať ich intelektuálne zručnosti (napr. spôsoby riešenia konkrétnych úloh) a praktické zručnosti a návyky (napr. schopnosť používať kalkulačku).

Príklad 2: Aký prúd prechádza vodičom, keď cez jeho prierez prejde za 30 minút el. náboj $Q = 54 C$.

Výsledok: $I = 30 mA$.

Príklad 3: Vypočítajte počet elementárnych nábojov, ktorý obsahuje 1 C.

$$\text{Výsledok: } n = \frac{1 C}{1,6 \cdot 10^{-19}C} = 6,28 \cdot 10^{18} \text{ elem. nábojov}$$

Jednotku 1 A si teda môžeme predstaviť ako el. prúd, pri ktorom prejde prierezom vodiča $6,28 \cdot 10^{18}$ elektrónov za 1 sekundu.

Príklad 4: Určite rozmer jednotky permitivity. Vychádzajte z Coulombovho zákona.

$$\text{Výsledok: } \frac{F}{m} = A^2 \cdot s^4 \cdot kg^{-1} \cdot m^{-3}$$

d) Hustota elektrického prúdu

Číselne je to prúd, ktorý preteká jednotkovou plochou prierezu vodiča. Pre hustotu jednosmerného prúdu 3 platí:

$$J = \frac{I}{S} \quad \left[\frac{\text{A}}{\text{m}^2} ; \text{A}, \text{m}^2 \right] \quad [3]$$

V technickej praxi je nevyhnutné dodržať prípustné prúdové zaťaženie vodičov, ktoré sa udáva hustotou elektrického prúdu.

Príklad 5: Aký najväčší prúd I môže prechádzať vodičom kruhového prierezu s priemerom $d = 0,8 \text{ mm}$, ak dovolené prúdové zaťaženie je $J = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Am}^{-2}$.

Výsledok: $I = 1,26 \text{ A}$

e) Elektrický obvod

Je to uzavretá dráha (okruh) cez látku alebo cez vákuum, na ktorej **elektrické pole pôsobí na elektrické náboje** (ak sa môžu pohybovať, potom preteká obvodom el. prúd). Pozostáva z **prvkov el. obvodu**; obraz ich zapojenia sa nazýva **schéma zapojenia** obvodu.

Učiteľ vysvetlí, že prvky el. obvodu vyznačujeme v schéme zapojenia pomocou **elektrických značiek** (určených normou). Značka zároveň vyjadruje veličinu, ktorou je daný prvok obvodu charakterizovaný (napr. odporník sa v obvode jednosmerného prúdu charakterizuje veličinou el. odpor R).

V elektrotechnike si žiaci postupne osvojujú základné vedomosti o elektrických obvodoch. Sú to predovšetkým poznatky o vlastnostiach prvkov elektrického obvodu a o elektrických obvodoch.

Základné **prvky elektrického obvodu** sú:

- **elektrický zdroj** - je prvok obvodu, v ktorom sa určitý druh energie mení na elektrickú energiu. El. zdroj sa charakterizuje

veličinami el. napätie U a el. odpor R . Učiteľ uvedie príklady zdrojov jednosmerného a striedavého napätia.

- **elektrický spotrebič** - je prvok obvodu, v ktorom sa el. energia mení na určitý druh energie. Učiteľ uvedie príklady spotrebičov v obvodoch jednosmerného a striedavého prúdu. V obvodoch ustáleného jednosmerného prúdu sa spotrebič charakterizuje veličinou el. odpor R . V obvodoch striedavého prúdu a v obvodoch s prechodnými javmi sa spotrebič charakterizuje predovšetkým veličinami el. odpor R , vlastná indukčnosť L , kapacita C .

Učiteľ zdôrazní platnosť jedného zo základných zákonov prírody - **zákona o premene a zachovaní energie**. Elektrická energia sa v spotrebiči mení napr. na energiu tepelnú (zohrievanie vodiča), svetelnú (svietenie vodiča), energiu magnetického poľa (magnetické pole v okolí pohybujúceho sa el. náboja), chemickú (elektrolýza), elektrodynamickú (premena elektrickej energie na mechanickú energiu) a pod.

- **vedenie** - je prvok obvodu, ktorým sa el. energia premiestňuje zo zdroja do spotrebiča alebo naopak, vracia sa zo spotrebiča do zdroja. V obvodoch jednosmerného prúdu sa vedenie charakterizuje veličinou el. odpor R . Vedenie v obvodoch striedavého prúdu sa charakterizuje veličinami el. odpor R , indukčnosť L , kapacita C .

Elektrické obvody možno deliť na dve základné skupiny. Prvú skupinu tvoria obvody, ktorými v dôsledku pôsobenia el. prúdového poľa **preteká elektrický prúd**. Delia sa na:

- **obvody jednosmerného prúdu** - tieto obvody pozostávajú z vodivých prvkov (zdroja, vedenia a spotrebiča), pozri obr. 3a. Jednosmerný prúd preteká v obvode stále jedným smerom (v smere od kladnej po zápornú svorku zdroja) a len vtedy, ak je el. obvod uzavretý. Spotrebič je rezistor a charakterizuje sa veličinou

el. odpor R . **Rezistor** (odporník) je spotrebič, v ktorom sa elektrická energia (vo forme pohybovej energie nosičov el. náboja) premieňa nenávratne na tepelnú energiu.

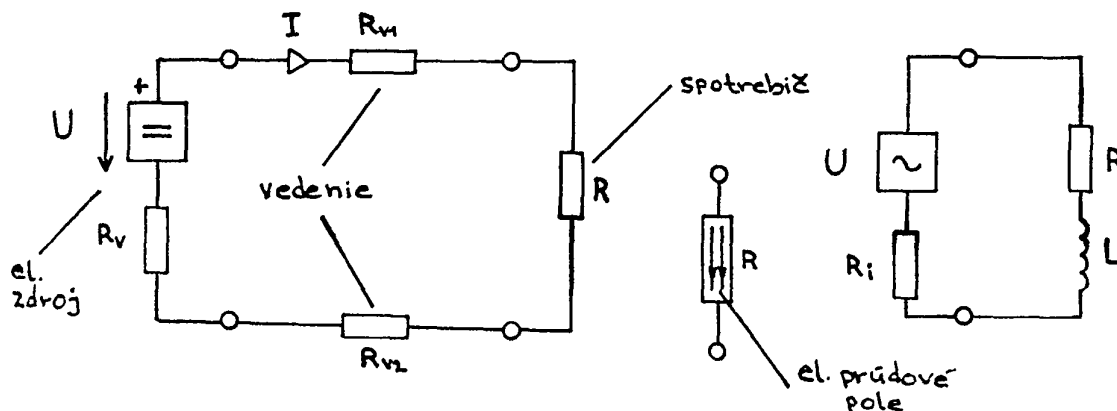
- **obvody striedavého prúdu** - tieto obvody pozostávajú jednak z vodivých prvkov (zdroje striedavého napätia, cievok a rezistorov), ale aj z nevodivých prvkov (kondenzátory). V týchto obvodoch síce el. náboje nevodivým prvkom neprechádzajú, v ostatných častiach obvodu však el. prúd preteká. V obvode harmonického striedavého prúdu sa veľkosť a smer napätia zdroja a prúdu v obvode mení pravidelne, napr. podľa funkcie sínus, pozri obr. 3b. Spotrebičom môže byť rezistor (el. odpor R), cievka (vlastná indukčnosť L) a kondenzátor (kapacita C).
- **obvody s prechodnými javmi** - tieto obvody pozostávajú zo zdroja jednosmerného prúdu a spotrebičom môžu byť vodivé i nevodivé prvky (rezistory, cievky a kondenzátory). Obvod s prechodným javom sa vyznačuje tým, že el. prúd preteká iba jedným smerom a mení pritom svoju hodnotu; prechodný jav trvá však iba určitú dobu, dokedy nenastane v obvode ustálený stav, pozri tém. celok "Prechodné javy".

Obr. 3

Prúdové elektrické obvody

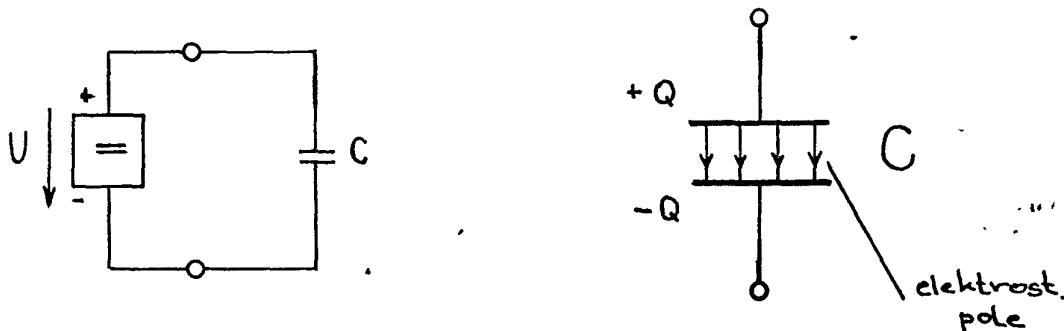
a) so zdrojom jednosmerného napätia

b) so zdrojom striedavého napätia



Druhú skupinu tvoria obvody, v ktorých síce el. pole pôsobí, ale elektrický prúd nepreteká. Sú to elektrostatické obvody - kondenzátor pripojený na zdroj jednosmerného napätia v ustálenom stave, pozri obr. 4.

Obr. 4 Elektrostatický obvod



4. Základné veličiny elektrického poľa

a) Elektrické pole všeobecne

Učiteľ uvedie a názorne vysvetlí delenie (charakteristiku) elektrických polí z viacerých hľadísk.

Elektrické pole má určité vlastnosti a treba ho charakterizovať **v každom bode priestoru**, v ktorom sa nachádza.

V prvom rade treba pole určitým spôsobom **znázorniť**. Elektrické polia znázorňujeme pomocou tzv. **siločiar elektrického poľa**. Elektrické siločiar nám umožňujú získať predstavu o umiestnení a pôsobení poľa v určitom priestore; podľa tvaru siločiar možno usudzovať o smere silového pôsobenia poľa a podľa ich hustoty o veľkosti silového pôsobenia poľa. Elektrické pole sa nachádza:

- v okolí každého **elektrického náboja Q**
- v priestore, v ktorom je **premenlivé magnetické pole** (pozri tematický celok "Elektromagnetická indukcia").

Podľa prostredia, ktoré sa v el. poli nachádza, delíme polia na:

- **elektrické pole vo vodivom prostredí** (elektrické prúdové pole). Pôsobením elektrického prúdového poľa sa v látke pohybujú nosiče elektrických nábojov (t. j. vzniká el. prúd), napr. v obvode

jednosmerného prúdu.

- **elektrické pole v nevodivom prostredí** (v nevodivej látke alebo vákuu). Ak sa veľkosť el. poľa v nevodivom prostredí nemení, potom hovoríme o **elektrostatickom poli** (popisuje sa predovšetkým elektrostatické pole v okolí osamoteného guľového náboja alebo pole medzi elektródami nabitého kondenzátora).

Veľkosť (hodnota) silového pôsobenia elektrického poľa v danom bode priestoru v priebehu času môže byť:

- **konštantná** (nemenná)

v okolí el. náboja Q stálej hodnoty (napr. statické prúdové elektrické pole v obvode ustáleného jednosmerného prúdu od kladnej po zápornú svorku zdroja alebo elektrostatické pole v nevodivom prostredí medzi elektródami nabitého kondenzátora),

v priestore, v ktorom sa magnetické pole mení lineárne (rovnomerne).

- **premenlivá**

v okolí el. náboja Q , ak sa mení jeho veľkosť (napr. ak sa mení el. náboj na póloch zdroja striedavého prúdu, potom sa mení aj elektrické prúdové pole prechádzajúce obvodom).

v priestore, v ktorom zmena magnetického poľa nie je lineárna (napr. sínusová).

Podľa veľkosti a smeru silového pôsobenia elektrické pole môže byť:

- **homogénne** - v rôznych bodoch poľa pôsobia sily rovnakej veľkosti i smeru (siločiary sú navzájom rovnobežné čiary). Napr. homogénne je elektrické prúdové pole v rezistore rovnakého prierezu, pozri obr. 3 alebo elektrostatické pole doskového kondenzátora, pozri obr. 4.

- **nehomogénne** - v rôznych bodoch poľa pôsobia sily rozdielnej veľkosti alebo smeru (siločiary sú krivky navzájom nerovnoběžné). Napr. nehomogénne je elektrostatické pole v okolí jednej alebo viacerých elektricky nabitých častíc alebo telies, pozri obr. 1a alebo 1c.

Podľa niektorých autorov (napr. Peierla "Zákony prírody") je účelné deliť elektrické polia aj z ďalších hľadísk. Elektrické pole v určitom bode priestoru je:

- **žriedlové** - je v tých bodoch priestoru, z ktorých elektrické pole (znázornené pomocou siločiar) vychádza alebo vchádza. Žriedlové el. pole je preto v tých bodoch poľa, ktoré sú **spojené s el. nábojom Q**. El. siločiar totiž vychádzajú z kladného náboja a vchádzajú do záporného náboja (alebo vychádzajú z kladného a končia v nekonečne, alebo prichádzajú z nekonečna a končia v zápornom náboji).
- **nežriedlové** - je v tých bodoch priestoru, ktorými el. pole plynulé prechádza, t. j. siločiar el. poľa v tom bode ani nezačína ani nekončí.

Nežriedlové elektrické pole je preto v tých bodoch poľa, v ktorých sa nenachádzajú el. náboje; to znamená, že sa nachádza **v okolí náboja Q** (nie však na ňom). Nežriedlové el. pole sa nachádza tiež v priestore s **premenlivým magnetickým poľom** (elektrické pole tam vzniká elektromagnetickou indukciou), pretože tam nie sú elektrické náboje.

Elektrické pole v určitom bode priestoru je:

- **nevírové (potenciálové)** - nech sa hmotný nosič náboja Q_s (nazveme ho skúšobný) pohybuje v elektrickom poli po uzavretej krivke tak, že sa vráti späť do východzieho bodu (pozri prerušované čiary na obr. 5a); ak sa celková práca A , ktorú pole

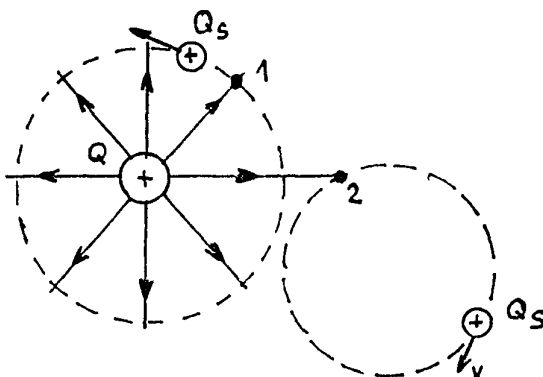
vykoná prostredníctvom v ňom pohybujúceho sa náboja Q_s rovná nule, potom v danom bode je nevírové pole (napr. na obr. 5a bod 1 a bod 2 poľa). Nevírové el. pole sa nachádza v **okolí každého el. náboja Q** . Každý bod el. nevírového poľa (poľa v okolí náboja Q) potom možno charakterizovať veličinou **elektrický potenciál V** ; práca A_{21} , ktorú vykoná jednotkový náboj Q_s (1C) pri premiestnení po ľubovoľnej dráhe z bodu 1 do bodu 2 poľa, je rovná rozdielu potenciálov v daných bodoch, t. j. hodnote $V_2 - V_1$.

- **vírové** - ak sa prácu konajúci náboj Q_s vráti späť do východzieho bodu poľa a vykonaná práca A nie je rovná nule. Vírové el. pole vzniká pri elektromagnetickej indukcii, t. j. v priestore, v ktorom existuje **premenlivé magnetické pole**. Siločiarou tohoto poľa sú uzavreté krivky (v žiadnom bode poľa nezačínajú ani nekončia); ak sa náboj Q_s premiestni po uzavretej krivke (ktorá môže byť totožná so siločiarou) späť do východzieho bodu, vykoná prácu rôznu od nuly, pozri obr. 5b.

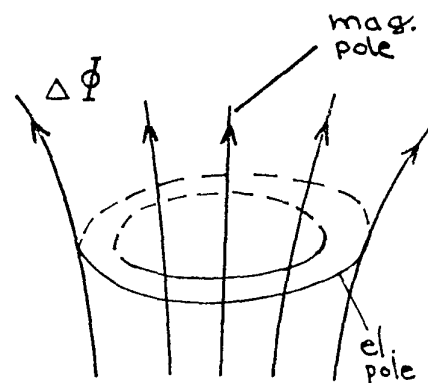
Obr. 5

Vírové a nevírové elektrické pole

a) Nevírové el. pole
 v okolí náboja Q



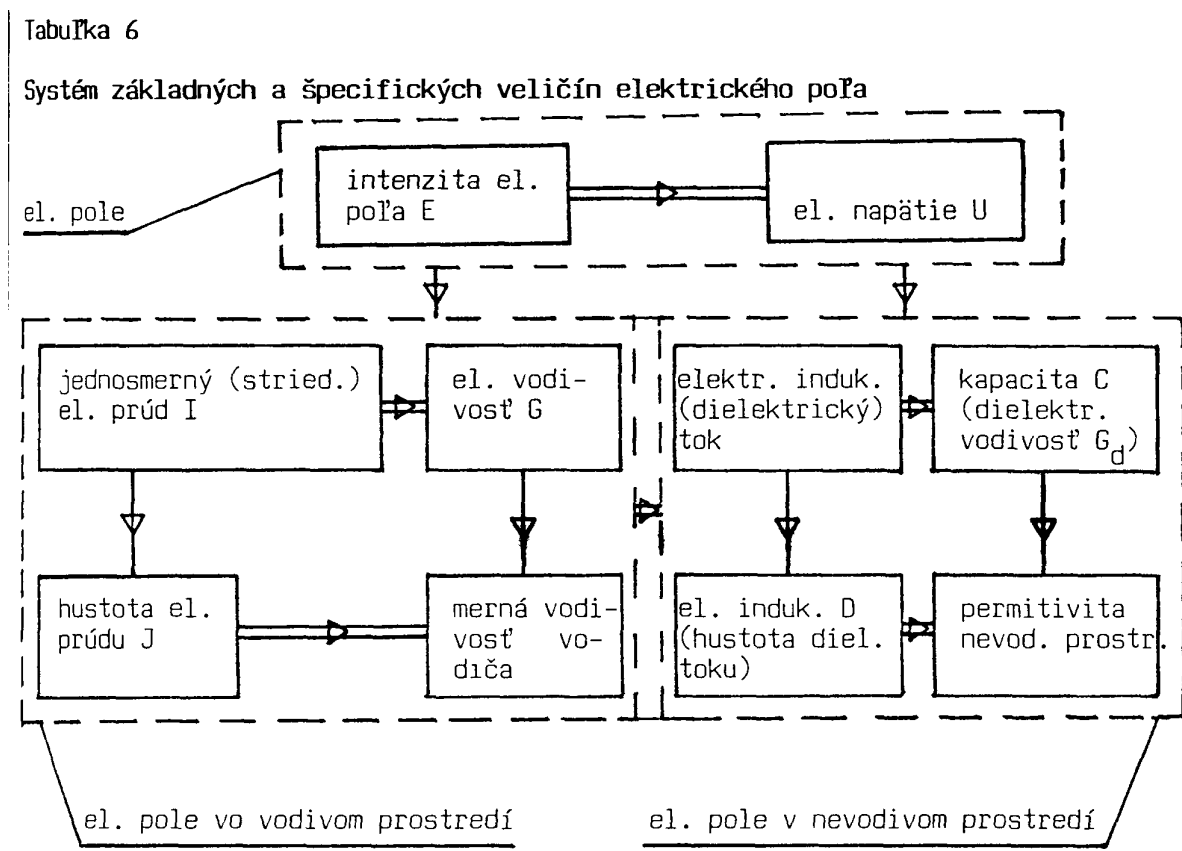
b) Vírové el. pole vzniknuté
 elektromagnetickou indukciou



Poznámka: Podobne sa charakterizuje magnetické pole. Magnetické pole je vždy nežriedľové, pretože jeho siločiaru nikde nezačínajú ani nekončia (neexistujú totiž "magnetické náboje", z ktorých by mohli magnetické siločiaru vychádzať). Magnetické pole však môže byť vírové i nevírové (pozri tematické celky "Magnetické pole" a "Elektromagnetická indukcia").

b) Systém základných a špecifických veličín elektrického poľa

Učiteľ zdôrazní, že **systém vedomostí** o elektrickom poli sa prejavuje predovšetkým vo forme súvislostí (horizontálnych a vertikálnych spojov) medzi základnými a špecifickými veličinami elektrického poľa, pozri tabuľku 6.



V uvedenom systéme sa vyskytujú 2 základné veličiny elektrického poľa:

- intenzita elektrického poľa E
- elektrické napätie U .

Učiteľ nadviaže na poznatky žiakov z predmetu fyzika. Vysvetlí, že existuje určitá **analógia medzi elektrickým a gravitačným poľom**. Vo fyzike sa žiaci tiež už oboznámili so základnými veličinami dynamiky - silou F a mechanickou prácou A (resp. pohybovou energiou A_k telesa).

Podobne ako gravitačné pole sa vyznačuje energiou, tiež v priestore s elektrickým poľom je **nazhromaždená elektrická energia**. Veľkosť energie sa v niektorých prípadoch dá vypočítať matematickým vzťahom (napr. energia elektrostatického poľa nabitého kondenzátora je rovná práci, ktorú treba vynaložiť, aby elektrostatické pole vzniklo).

Učiteľ zdôrazní, že energia el. poľa **sa môže premieňať** na iné formy energie, t. j. každé el. pole sa vyznačuje **schopnosťou konať prácu**. V nasledujúcich riadkoch bude predmetom výkladu premena energie elektrického poľa **na mechanickú energiu elektricky nabitého telesa alebo častice**.

Učiteľ vysvetlí, že podobne ako **gravitačné pole pôsobí na telesá s hmotnosťou m** , pôsobí **elektrické pole na časticu a telesá s elektrickým nábojom Q_s** .

Základné vlastnosti elektrického poľa (rovnako ako gravitačného poľa) preto sú:

- **silové pôsobenie poľa** (charakterizuje ho veličina intenzita E). Táto vlastnosť sa prejavuje vo forme **elektrickej** sily F , ktorou el. pole pôsobí na el. náboj Q_s (viazaný na hmotnú časticu alebo teleso);

- **schopnosť poľa konať mechanickú prácu** (charakterizuje ho veličina el. napätie U). Táto vlastnosť sa prejavuje jednak vo forme získania **pohybovej energie** A_k hmotného nosiča náboja Q_s ($A_k = 1/2 m v^2$) alebo vo forme **mechanickej práce** A , ktorú koná nosič náboja Q_s , ak sa pôsobením vonkajšej mechanickej sily F (pôsobí proti sile F_{el}) premiestňuje v elektrickom poli ($A = F l$).

Poznámka: Na popis el. nábojov budeme používať indexy.

El. náboj Q - ide o náboj, ktorého pole sa charakterizuje.

El. náboj Q_s - ide o náboj, na ktorý pole pôsobí silou F , resp. jeho premiestňovaním sa koná práca A .

Učiteľ ďalej vysvetlí, prečo sa uvedené základné vlastnosti elektrického poľa charakterizujú práve veličinami intenzita E a el. napätie U .

Rovnako ako silové pôsobenie gravitačného poľa sa v danom bode poľa charakterizuje veličinou **zrýchlenie** a a na teleso s hmotnosťou m pôsobí sila $F = m \cdot a$, tiež aj silové pôsobenie elektrického poľa sa v danom bode charakterizuje veličinou **intenzita** E a na dodaný náboj Q_s pôsobí sila $F_{el} = Q_s \cdot E$ (pozri definícia intenzity E). Veľkosť sily F teda závisí jednak od samotného poľa (intenzita E), ale tiež aj od hodnoty náboja Q_s ; z toho dôvodu silové pôsobenie elektrického poľa charakterizuje veličina intenzita E .

Ako už bolo uvedené, pri premiestnení náboja Q_s z jedného do druhého bodu elektrického poľa sa v dôsledku pôsobiacej vonkajšej sily F vykoná mechanická práca $A = F \cdot l$.

Učiteľ konštatuje, že prácu A možno určiť aj pomocou elektrických veličín, t. j. vzťahom $A = U \cdot Q_s$ (pozri definíciu napätia U). Veľkosť práce A teda závisí jednak od energetických schopností samotného poľa (napätie U), ale opäť aj od hodnoty náboja Q_s ; z toho dôvodu schopnosť el. poľa konať prácu charakterizuje veličina napätie U .

Špecifické veličiny elektrického poľa charakterizujú vplyv poľa **na látku**. Prvá skupina špecifických veličín podľa uvedeného systému charakterizuje el. pole vo vodivom prostredí. Sú to:

- elektrický prúd I
- elektrická vodivosť G (el. odpor R) vodiča.

Z týchto veličín možno odvodiť ďalšie veličiny (vertikálne spoje), ktoré bližšie charakterizujú el. prúd a el. vodivosť látky. Sú to hustota el. prúdu J a merná el. vodivosť γ vodiča.

Druhá skupina špecifických veličín charakterizuje elektrické pole v **nevodivom prostredí**. Sú to:

- elektrický indukčný (dielektrický) tok ψ
- kapacita C (dielektrická vodivosť Q_d nevodivého prostredia).

Z týchto veličín možno tiež odvodiť veličiny, ktoré bližšie charakterizujú el. pole v nevodivom prostredí. Sú to el. indukcia D (hustota dielektrického toku) a permitivita nevodivého prostredia (nevodivej látky alebo vákuu).

c) Intenzita elektrického poľa E

Základná veličina elektrického poľa E je vektorovou veličinou a definuje sa pre každý bod elektrického poľa. Charakterizuje silové účinky každého elektrického poľa (nevírového a vírového poľa vo vodivom i nevodivom prostredí).

Učiteľ vysvetlí, že elektrické pole pôsobí **elektrickou silou F na každý el. náboj Q** , ktorý sa v tomto poli nachádza. Silové účinky má jednak el. prúdové pole (spôsobuje pohyb voľných nosičov el. náboja vo vodiči) a tiež silou pôsobí el. pole aj na náboje v nevodivom prostredí (vyvolá polarizáciu dielektrika alebo zmenu pohybového stavu nosiča náboja vo vákuu).

Definícia:

Intenzita el. poľa E v danom bode poľa je veličina, ktorá charakterizuje silové účinky elektrického poľa a číselne je rovná sile, ktorou elektrické pole pôsobí na jednotkový náboj (1C) umiestnený v tomto bode.

Matematicky sa intenzita E vypočíta ako podiel sily F a náboja Q_s (na ktorý pole danou silou pôsobí). Pre veľkosť intenzity E napr. v bode 1 poľa platí:

$$E_1 = \frac{F_{el.1}}{Q_S} \quad \left[Vm^{-1}; N, C \right] \quad [4]$$

Zo vzťahu [4] vyplýva, že jednotkou intenzity E by mal byť $1N/C$, v sústave SI sa však používa jednotka $1V/m$ (pozri tém. celok "Elektrostatické pole").

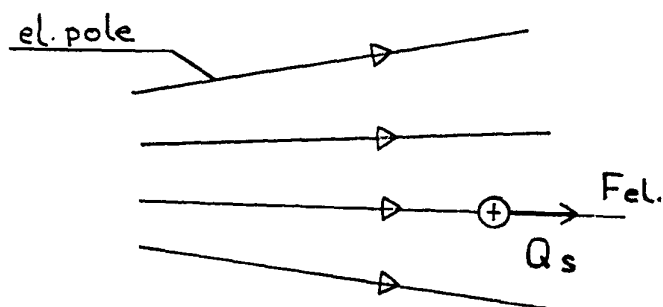
Učiteľ názorne vysvetlí definíciu, pozri obr. 6. Ak sa v bode 1 poľa objaví skúšobný náboj Q_S , bude naň pôsobiť elektrická sila $F_{el.}$ (bez ohľadu na to, či sa môže alebo nemôže, pohybovať).

Pokusom možno zistiť, že veľkosť sily F , v bode 1 poľa závisí aj od veľkosti náboja Q_S (čím je náboj väčší, tým je aj sila väčšia). Silové účinky el. poľa sa preto stanovujú a porovnávajú tak, že sa určí veľkosť sily pôsobiacej v jednotkových bodoch poľa vždy na rovnaký skúšobný náboj (podľa definície na jednotkový náboj, t. j. hodnoty $1C$).

Ak náboj Q_S nie je jednotkový, potom sa musí vypočítať podiel sily $F_{el.}$ a náboje Q_S (získaná hodnota je číselne rovná sile pôsobiacej na jednotkový náboj, t. j. intenzita E).

Obr. 6

Definícia intenzity E



Poznámka: Uvedená definícia intenzity E a vzťah [4] vyjadrujú iba veľkosť vektorovej veličiny E . Ak sa má určiť aj smer

intenzity E (je totožný so smerom elektrických siločiar), potom treba počítať s pôsobením el. poľa na kladný náboj Q_s , v definícii na kladný jednotkový náboj (+ 1C).

Poznámka: Na obr. 6 je pomocou siločiar znázornené elektrické pole, ktorého intenzitu E stanovujeme. V skutočnosti však po vložení náboja Q_s vzniká nové výsledné pole v dôsledku vzájomného pôsobenia pôvodného (skúmaného) poľa a poľa náboja Q_s .

Príklad 1: Vypočítajte intenzitu E elektrického poľa v bode, v ktorom pole pôsobí na náboj $2 \cdot 10^{-6} \text{C}$ silou 2 N!

Výsledok: $E = 10^6 \text{ Vm}^{-1}$.

d) Elektrické napätie U

Základná veličina elektrického poľa napätia U sa vzťahuje na dva rôzne body elektrického poľa. Charakterizuje energiu, t. j. **schopnosť konať prácu** každého elektrického poľa (nevírového i vírového poľa vo vodivom i nevodivom prostredí).

Energia el. poľa v **nevodivom prostredí** sa mení buď na pohybovú energiu nosičov náboja (ak je prostredím vákuum) alebo spôsobí tzv. polarizáciu dielektrika (ak je prostredím nevodivá látka). Energia el. poľa vo vodivom prostredí (el. prúdové pole) sa mení najprv tiež na pohybovú energiu nosičov náboja a potom na ďalšie formy energie (napr. na tepelnú energiu vodiča).

Učiteľ najprv uvedie a vysvetlí definíciu napätia U v **nevodivom prostredí** pre prípad nevírového el. poľa vo vákuu (vo vákuu sa náboj Q_s môže pohybovať). Môže to byť napr. homogénne pole medzi doskovými elektródami nebitého kondenzátora alebo

nehomogénne pole v okolí jedného alebo viacerých guľových nábojov Q , pozri obr. 7a.

Definícia:

El. napätie U_{12} medzi bodmi 1 a 2 el. poľa je veličina charakterizujúca schopnosť poľa konať prácu a číselne je rovná mechanickej práci, ktorá sa vykoná pri premiestnení hmotného nosiča jednotkového náboja (1C) z bodu 2 do bodu 1 poľa.

Matematicky:

$$U_{12} = \frac{A_{12}}{Q_S} \quad \left[V; J, C \right] \quad [5]$$

kde A_{12} mechanická práca, ktorú vykoná náboj Q pri premiestnení z bodu 2 do bodu 1 poľa.

Jednotkou el. napätia je 1 volt (1V).

Definícia:

El. pole má medzi dvoma bodmi poľa napätie 1V, ak pri premiestnení náboja 1C z jedného do druhého bodu poľa sa vykoná práca 1 J.

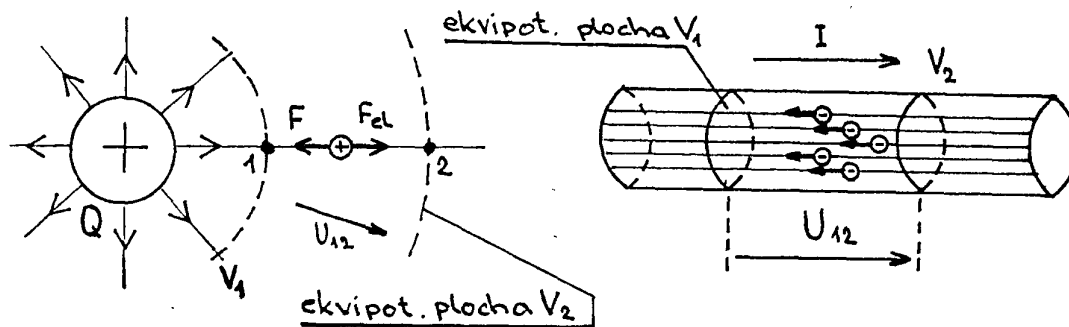
Učiteľ názorne vysvetlí definíciu U , napr. pre prípad elektrostatického poľa v okolí osamoteného kladného guľového náboja Q , pozri obr. 7a. Na kladný náboj Q_S pôsobí v každom bode poľa odpudivá elektrická sila F_{el} , ktorá závisí od veľkosti intenzity E poľa a od náboja Q_S (veľkosť sily možno vypočítať Coulombovým zákonom). Ak sa pôsobením rovnako veľkej mechanickej sily F (pôsobí proti F_{el}) premiestni nosič náboja Q_S z miesta 2 do miesta 1, vykoná sa mechanická práca A_{12} . Veľkosť práce A_{12} však závisí od hodnoty náboja Q_S , a keďže podľa definície sa napätie U_{12} číselne rovná práci, ktorú vykoná jednotkový náboj, preto sa musí určiť podiel práce A_{12} a náboja Q_S .

Obr. 7

Definícia elektrického napätia U

a) el. pole v nevodivom prostredí

b) el. pole vo vodiči



Poznámka: Veľkosť mechanickej práce A_{12} , možno vypočítať pomocou vzťahu $A_{12} = F \cdot l$ iba v prípade homogénneho poľa ($F = \text{konšt.}$), pretože sila F sa vzťahuje k jednotlivým bodom poľa. Vzťah na výpočet mechanickej práce v elektrickom poli $A_{12} = U_{12} \cdot Q_s$ možno však použiť pre homogénne pole i nehomogénne pole (pozri obr. 7a); napätie U sa totiž vzťahuje k dvom bodom poľa.

Učiteľ uvedie definíciu napätia U aj v prípade **el. poľa vo vodivom prostredí** (el. prúdové pole). Poletvorným prvkom el. prúdového obvodu je zdroj el. prúdu, v ktorom vznikajú kladné a záporné el. náboje (v zdrojoch jednosmerného prúdu sa náboje objavujú trvale a nemennej polaroty medzi pólmi). El. prúdové pole vychádza z kladného pólu, ide cez vedenie na spotrebič a vchádza do záporného pólu zdroja.

Definícia (el. prúdové pole):

El. napätie U_{12} medzi miestami (prierezmi) 1 a 2 uzavretého el. prúdového obvodu je číselne rovná práci, ktorú pole vykonalo

prostredníctvom pohybujúcich sa nosičov el. náboja (v oblasti medzi miestami 1 a 2), ak prierezom vodiča (napr. v mieste 1) prešiel jednotkový el. náboj (1C).

Matematicky:

$$U_{12} = \frac{A_{12}}{Q_1} \quad \left[\text{V; J, C} \right] \quad [6]$$

$$Q_1 = I \cdot t \quad \left[\text{C; A, s} \right] \quad [7]$$

kde C_1 el. náboj, ktorý prešiel za čas t prierezom vodiča v mieste 1

t doba trvania práce A_{12} (prúdu I)

Učiteľ opäť názorne vysvetlí definíciu U , pozri obr. 7b. V tomto prípade sa energia el. prúdového poľa najprv premieňa na pohybovú energiu nosičov el. náboja vo vodiči a potom na inú formu energie, predovšetkým na tepelnú energiu vodiča (kmitavý pohyb atómov mriežky).

Učiteľ objasní zmysel uvedenej definície napätia v prúdovom poli. Medzi miestami 1 a 2 vodiča sa pohybujú nosiče el. náboja, ktoré počas doby t vykonajú v tejto oblasti prácu A_{12} . Zároveň počas doby t prejde ľubovoľným prierezom vodiča (napr. v mieste 1) elektrický náboj $Q = I \cdot t$. Podiel práce A_{12} a náboja Q_1 , je číselne rovný práci, ktorú medzi miestami 1 a 2 vykonajú pohybujúce sa nosiče el. náboja, ak prierezom vodiča prejde jednotkový náboj 1C, a to podľa definície práve napätie U_{12} .

Poznámka: Energia el. poľa v prípade el. prúdového poľa sa premieňa aj na **energiu magnetického poľa**. Tento jav však nesúvisí s definíciou el. napätia (el. práce A_{12}), preto na tomto mieste ho netreba bližšie analyzovať.

Príklad 2: Určite rozmer jednotky 1 V!

$$\text{Výsledok: } 1 \text{ V} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$$

Príklad 3: Dokážte, že jednotka intenzity V/M sa môže písať aj ako N/C!"

Riešenie: Vychádza sa z definičného vzťahu intenzity E a použije sa aj definičný vzťah napätia U .

Príklad 4: Premiestnením náboja $Q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ z miesta 2 do miesta 1 elektrostatického poľa sa vykoná práca $A_{12} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ J}$.
Vypočítajte napätie U_{12} !
Výsledok: $U_{12} = 1000 \text{ V}$.

e) Elektrický potenciál V

Učiteľ vysvetlí, že **nevírové elektrické pole** (t. j. pole v okolí el. náboja Q) z hľadiska schopnosti konať prácu možno charakterizovať aj veličinou el. potenciál V . Kým napätie U sa vzťahuje na dva rôzne body elektrického poľa, potenciál V je napätie medzi daným bodom poľa a miestom s nulovými účinkami poľa (potenciál možno preto považovať za veličinu vzťahujúcu sa k jednému bodu poľa).

Potenciál V je možné definovať iba pre nevírové (potenciálové) pole. Toto pole má v prvom rade tú vlastnosť, že celková práca A , ktorú vykoná pohybujúci sa náboj Q_s je rovná nule, ak sa náboj Q_s vráti späť do východzieho bodu (napr. bod 1 poľa na obr. 7a). Tiež práca A_{12} medzi bodmi 1 a 2 tohoto poľa nezávisí od tvaru dráhy, po ktorej sa náboj Q_s premiestni z bodu 2 do bodu 1, ale závisí iba od miest, v ktorých sa body 1 a 2 nachádzajú. Každému bodu

nevírového elektrického poľa v okolí náboja Q možno preto stanoviť určitú hodnotu el. potenciálu V .

Definícia: El. potenciál V v danom bode el. poľa je veličina, ktorá charakterizuje schopnosť poľa konať prácu a číselne je rovná práci, ktorú vykoná kladný jednotkový náboj (+1C) pri premiestnení z miesta s nulovými účinkami poľa do daného bodu poľa.

Matematicky: (potenciál v bode 1 poľa)

$$V_1 = \frac{A_1}{Q_S} \quad [V; J, C] \quad [8]$$

Tiež platí:

$$U_{12} = V_1 - V_2 \quad [V; V, V] \quad [9]$$

Učiteľ opäť konkrétne vysvetlí uvedenú definíciu a dokáže platnosť vzťahu [9]. Za miesto s nulovými účinkami možno považovať v okolí osamoteného náboja Q nekonečno (pozri obr. 7a), v poli nabitého kondenzátora jeho záporne nabitú platňu, v prúdovom poli el. obvodu to je záporný pól zdroja. Ak sa napr. v poli osamoteného náboja Q , pozri obr. 7a, premiestni náboj Q_S z nekonečna do bodu 2, vykoná prácu A_{12} ak sa premiestni Q_S z nekonečna do bodu 1, vykoná prácu A_1 . Pri premiestnení náboja Q_S z bodu 2 do bodu 1 vykoná sa práca A_{12} , ktorá je v nevírovom poli rovná rozdielu $A_1 - A_2$.

Teda platí:

$$U_{12} = \frac{A_{12}}{Q_S} = \frac{A_1 - A_2}{Q_S} = \frac{A_1}{Q_S} - \frac{A_2}{Q_S} = V_1 - V_2$$

Učiteľ konštatuje, že v nevírovom poli (vo vodivom i nevodivom prostredí) sa nachádzajú miesta rovnakého potenciálu, tzv. **ekvipotenciálne plochy**. Napríklad, v okolí osamoteného náboja Q majú tieto miesta tvar guľových plôch.

Poznámka: Vírové elektrické pole, ktoré vzniká v priestore s premenlivým magnetickým poľom, nie je potenciálovým poľom. Ak sa náboj Q_s pohybuje po určitej siločiare a vráti sa späť do východzieho bodu, potom vykonaná práca nie je rovná nule.

Príklad 5: Pri premiestnení náboja $Q_s = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ z miesta s nulovými účinkami poľa do bodu 2 sa vykonala práca $A_2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ J}$, pri premiestnení z toho istého miesta do bodu 1 práca $A_1 = 2 \cdot 10^{-3}$. Vypočítajte napätie U_{12}

$$\text{Výsledok: } U_{12} = V_1 - V_2 = 1000 \text{ V} - 250 \text{ V} = 750 \text{ V}.$$

III. tematický celok: JEDNOSMERNÝ PRÚD

1. Elektrický odpor R vodiča

a) Miesto v systéme základných vedomostí

V tomto tematickom celku si žiaci osvojujú poznatky o **elektrickom poli vo vodivom prostredí** (el. prúdové pole). Sú to poznatky o veličinách a zákonoch (Ohmov zákon, Lenz-Jouleov zákon), ktoré charakterizujú prechod **ustáleného jednosmerného prúdu tuhým vodičom**. Žiaci sa oboznámia tiež s vlastnosťami prvkov jednoduchého obvodu jednosmerného prúdu (zdroja el. napätia, spotrebiča a vedenia).

Učiteľ konštatuje, že na popis vlastností obvodu jednosmerného prúdu sa používa jednak základná veličina el. poľa - **el. napätie U** a tiež špecifické veličiny el. poľa (prúdové) - **el. prúd I** a tiež **el. odpor R** látky (el. vodivosť G). Žiakom treba vysvetliť, že predmetom skúmania budú vzťahy medzi týmito veličinami. Treba si však vždy uvedomiť, že napätie U vyjadruje energetické vlastnosti poľa, prúd I a odpor R vyjadrujú vplyv el. poľa na vodivú látku. Z hľadiska prúdového elektrického obvodu možno teda **napätie U považovať za príčinu existencie prúdu I vo vodiči**.

Učiteľ postupne prehľbuje pojem el. odpor v smere vertikálnych spojov medzi vedomosťami:

- fyzikálna podstata odporu
- definícia odporu
- výpočet odporu z geometrických rozmerov vodiča
- činitele ovplyvňujúce odpor.

b) Fyzikálna podstata el. odporu látky

Učiteľ uvedie dva základné dôvody, ktoré viedli k definícii veličiny el. odpor R .

V prvom rade každá vodivá látka sa bráni prietoku el. prúdu, t. j. premiestňovaniu svojich voľných nosičov náboja pôsobením el. poľa; el. odpor je preto prirodzená vlastnosť každého vodiča.

V druhom rade vo vodičoch rovnakej dĺžky a rovnakého prierezu, ale rôznych materiálov tečú pri rovnakom napätí rôzne prúdy. Látky sa preto navzájom líšia aj veľkosťou odporu, ktorý kladú pretekajúcemu prúdu.

Fyzikálnu podstatu el. odporu látky vysvetlí učiteľ napr. metódou rozhovoru (na jednotlivé otázky odpovedajú žiaci, ale vysvetľuje ich učiteľ). Žiaci si osvojili súvisiace vedomosti vo fyzike, chémii i v elektrotechnike (pozri tému "Stavba hmoty"). Učiteľ kladie postupne otázky: "Z čoho pozostáva kovový vodič? Kde sa nachádzajú nosiče el. náboja vodiča? Ako pôsobí na nosiče náboja el. pole (napätie)? Popíšte pohyb elektrónov v kryštálovej mriežke a uveďte, na aké druhy energie sa vo vodiči premieňa energia elektrického prúdového poľa?"

Učiteľ odpovede žiakov usmerňuje a upresňuje a zároveň ich dopĺňa o nové poznatky, ako napr. "rýchlosť elektrónov v tuhom vodiči je veľmi malá (rádové mm.s^{-1}), rýchlosť šírenia el. prúdového poľa vo vodiči sa však rovná rýchlosti svetla; tuhý vodič sa prechodom prúdu neporušuje (ak má dovolenú hustotu prúdu)", atď.

c) Definícia veličiny el. odpor R vodiča (el. vodivosť G)

Definícia:

El. odpor medzi miestami 1 a 2 vodiča je veličina, ktorá sa číselne rovná el. napätiu medzi danými miestami vodiča, ak vodičom preteká jednotkový prúd (1A). Alebo:

El. odpor R medzi miestami 1 a 2 vodiča je podiel napätia U_{12} medzi danými miestami a prúdu I pretekajúceho vodičom.

Matematicky:

$$R = \frac{U_{12}}{I} \quad \left[\Omega ; V, A \right] \quad \sim 10^7$$

Jednotkou el. odporu v sústave SI je ohm (1Ω).

Odpor 1 má vodič, ktorým pri napätí 1V preteká prúd 1A.

Učiteľ definíciu el. odporu názorne vysvetlí, pozri obr. 7b. Ide o merateľnú vlastnosť vodiča (klásť prechodu prúdu odpor). Veličina el. odpor R má:

- vyjadrovať vplyv látky na veľkosť pretekajúceho prúdu;
- zároveň súvisieť s veľkosťou energie el. poľa, ktorá sa vo forme pohybovej energie elektrónov premieňa na tepelnú energiu atómov vodiča (koná a práca A_{12}).

Nech vo vodiči je elektrické pole, ktoré vznikne po pripojení zdroja jednosmerného napätia medzi konce vodiča. Medzi miestami (prierezmi) 1 a 2 vodiča je potom napätie U_{12} a preteká ním prúd I , pozri obr. 7b. Možno povedať, že určité napätie U_{12} vyvoláva vo vodiči prúd I ; zrejme čím silnejšie je el. pole, tým je napätie U_{12} , a tým väčší prúd I preteká vodičom. Rôzne vodiče však kladú prechodu prúdu rôzny odpor. Aby sme vodiče z hľadiska tejto vlastnosti mohli porovnať, musíme určiť, aké veľké el. pole, t. j. napätie U_{12} je potrebné, aby rôznymi vodičmi tiekol rovnaký prúd (jednotkový prúd 1A). Veličina el. odpor R sa preto určí ako podiel napätia U_{12} a prúdu I pretekajúceho vodičom.

Prevrátená hodnota el. odporu R, čiže pomer prúdu I a napätia U_{12} je **el. vodivosť G vodiča**. Čím má materiál väčšiu vodivosť, tým má menší odpor a naopak Teda:

$$G = \frac{1}{R}$$

$$[s; \Omega]$$

[11]

alebo:

$$G = \frac{I}{U_{12}}$$

$$\left[S; A, V \right]$$

_12_7

Jednotka vodivosti sa nazýva **siemens** ($1\text{S} = 1\Omega^{-1}$)

Učiteľ uvedie značku el. odporu R a šípkou vyznačí **polaritu** napätia U_{12} ktorá je súhlasná so smerom prúdu I pretekajúceho odporom (pozri obr. 9 Ohmov zákon).

Príklad 1: Vodičom preteká pri napätí $U = 30\text{ V}$ prúd $I = 6\text{ A}$.

Vypočítajte odpor a vodivosť vodiča.

Výsledok: $R = 5\Omega$

$G = 0,2\text{S}$

Príklad 2: Odvodte rozmer jednotky 1 v základných jednotkách sústavy SI.

Riešenie:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{\frac{A}{Q}}{I} = \frac{F \cdot s}{Q \cdot I} = \frac{m \cdot a \cdot s}{I \cdot t \cdot I} = \frac{ms^2}{I^2 t^3}$$

$$1\Omega = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{A}^{-2} \cdot \text{s}^{-3}$$

d) Výpočet el. odporu R vodiča z jeho rozmerov

Učiteľ môže použiť metódu výkladu spojenú s demonštračným pokusom. Pokusom sa žiaci názorne presvedčia, že odpor vodiča je priamo úmerný dĺžke vodiča l , nepriamo úmerný ploche prierezu S a že závisí od materiálu vodiča. Pre elektrotechnickú prax je nevyhnutné určiť odpor vodiča určitého materiálu jednotkovej dĺžky (1m) a jednotkového prierezu (1m^2), tzv. **merný odpor** [ρ] (rezistivita). Pokusom sa žiaci presvedčia, že el. odpor R vodiča s merným odporom závisí priamoúmerne od dĺžky l a nepriamoúmerne od prierezu S vodiča. Odpor R sa vypočíta podľa vzťahu (pri určitej teplote t):

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad \left[\Omega; \frac{\Omega \cdot m}{m^2} \right] \quad [13]$$

Hodnoty merných odporov najdôležitejších elektrotechnických materiálov sú zmerané a uvádzajú sa vo fyzikálnych tabuľkách (pri teplote 20°C).

Prevrátená hodnota merného odporu je **merná vodivosť** :

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad \left[S \cdot m^{-1}; \frac{\Omega}{m} \right] \quad [14]$$

El. vodivosť G sa z rozmerov vodiča vypočíta podľa vzťahu:

$$G = \gamma \frac{S}{l} \quad \left[S; S \cdot m^{-1} \cdot m^2 \cdot m^{-1} \right] \quad [15]$$

Príklad 3: Telegrafný železný drôt má priemer 4 mm, dĺžku 100 km, Vypočítajte jeho odpor R a vodivosť G pri teplote 20°C.

Riešenie: Z tabuliek $\rho_{Fe} = 0,13 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot m$
 $R = 1060 \Omega, G = 0,94 \cdot 10^{-3} S.$

e) Činitele ovplyvňujúce odpor R

Najbežnejší činiteľ, ktorý ovplyvňuje veľkosť el. odporu R vodiča je **teplota t**. Teplo vodič získava buď z okolia alebo keď ním prechádza el. prúd. So vzrastom teploty spravidla odpor kovov stúpa, u polovodičov alebo elektrolytov sa zase znižuje.

Za predpokladu lineárnej zmeny odporu kovu od teploty (pri bežných teplotách to zodpovedá skutočnosti) možno teplotnú závislosť odporu vyjadriť vzťahom:

$$R_t = R_0 \cdot [1 + \alpha_0 \cdot (t - t_0)] \quad \left[\Omega ; \Omega, ^\circ\text{C}^{-1}, ^\circ\text{C} \right] \quad [16]$$

kde R_t odpor pri teplote t

R_0 odpor pri základnej teplote (najčastejšie pri 20°C)

α_0 teplotný činiteľ odporu pre základnú teplotu t_0

$t - t_0$.. zmena teploty oproti základnej teplote

Učiteľ zdôrazní, že vzťah [16] je rovnicou priamky, obr. 8. Matematicky možno jednoducho dokázať, že ide o priamku. Vzťah [16] je rovnicou tvaru:

$$y = k \cdot x + q$$

pretože

$$R_t = R_0 \cdot \alpha_0 \cdot t + R_0 \cdot (1 - \alpha_0 \cdot t_0)$$

kde smernica $k = R_0 \cdot \alpha_0$

nezávisle premenná x je teplota t

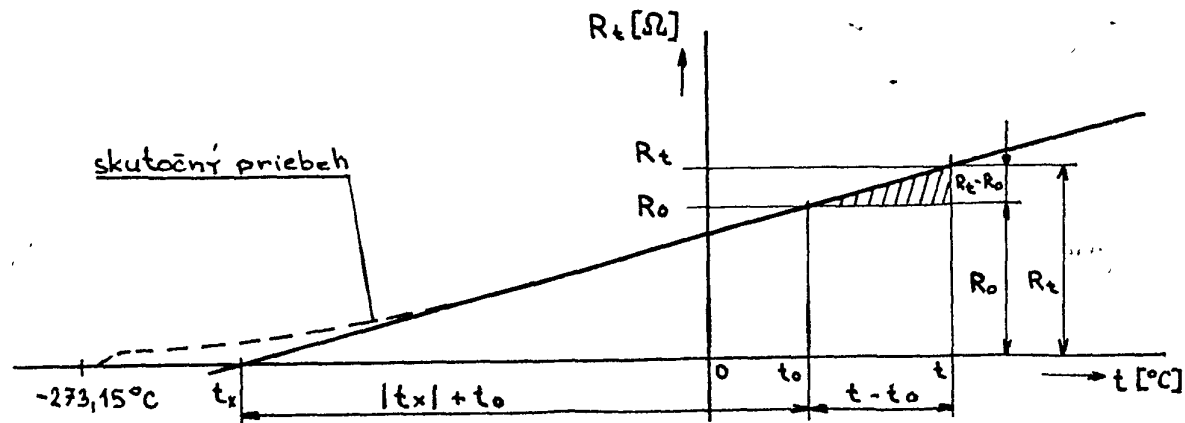
závisle premenná y je odpor R_t

$$q = R_0 (1 - \alpha_0 t_0)$$

Skutočný priebeh teplotnej závislosti odporu sa od teoretického najviac odchyľuje pri nízkych teplotách. V oblasti teplôt blízkych absolútnej nule nastáva jav supravodivosti vodiča (hodnota el. odporu klesá skokom na zanedbateľnú veľkosť).

Obr. 8

Závislosť el. odporu vodiča od teploty



Definícia teplotného činiteľa odporu:

Číselne je to hodnota, o ktorú vzrastie odpor vodiča hodnoty 1Ω pri zvýšení teploty o 1°C .

Hodnoty činiteľa α materiálov sú uvedené vo fyzikálnych tabuľkách (pre základnú teplotu 20°C).

Učiteľ vysvetlí praktický postup určenia teplotného činiteľa odporu, napr. pre Cu vodič. Nech má Cu vodič pri teplote 20°C odpor 1Ω . Po zvýšení teploty na 21°C sa meraním zistí, že odpor vodiča má hodnotu $1,00392\Omega$. Hodnota odporu vzrástla o $0,00392\Omega$. Podľa definície teda:

$$\alpha_{\text{Cu } 20} = 0,00392^{\circ}\text{C}^{-1}$$

Jednotka teplotného činiteľa odporu vyplýva zo vzťahu [16]

$$\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 \cdot (t - t_0)} \quad \text{z toho } [\alpha] = \frac{\Omega - \Omega}{\Omega \cdot ^{\circ}\text{C}} = ^{\circ}\text{C}^{-1}$$

Odvodenie vzťahu [16]: Učiteľ použije napr. metódu problémového výkladu. Problémovým spôsobom vysvetlí, že keď odpor 1Ω , vodiča pri zmene teploty o 1°C má hodnotu α_0 , potom pri zmene teploty o $(t-t_0)$ je táto zmena rovná hodnote $\alpha_0 \cdot (t-t_0)$. Keď miesto 1-ohmového vodiča má vodič hodnotu odporu R , potom bude zmena odporu $\Delta R = \alpha_0 \cdot (t-t_0) \cdot R_0$.

Hodnota odporu R_t , pri teplote t potom bude:

$$R_t = R_0 + \Delta R_0 = R_0 + \alpha_0 \cdot R_0 \cdot (t-t_0) = R_0 \cdot [1 + \alpha_0 \cdot (t-t_0)]$$

Príklad 4: Vedenie z Cu vodiča je dlhé 10 km a prierez má 4,15mm. Vypočítajte jeho odpor pri teplote 20°C , 50°C , -20°C !

Riešenie: Z tabuliek sa určí $\rho_{20} = 0,0175 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$
 a $\alpha_{20} = 0,00392^\circ\text{C}^{-1}$.

$$R_{20} = \rho_{20} \frac{l}{S}$$

$$R_{20} = 0,0175 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{10 \cdot 10^3}{4,15 \cdot 10^{-6}}$$

$$R_{20} = 42,1 \Omega$$

$$R_{50} = R_{20} \cdot [1 + \alpha_{20} \cdot (t-t_0)]$$

$$R_{50} = 42,1 \cdot [1 + 0,00392 \cdot (50-20)]$$

$$R_{50} = 47,05 \Omega$$

$$\text{podobne } R_{-20} = 35,5 \Omega$$

Medzi rozvíjajúce učivo možno zaradiť závislosť činiteľa α od základnej teploty t_0

Platí:

$$\alpha_0 = \frac{1}{|t_x| + t_0}$$

[17]

kde t_x teplota, pri ktorej teoreticky $R_t = 0$.

Zo vzťahu [16] alebo [17] možno vypočítať teplotu t_x (napr. pre Cu materiál $t_x = -235$ °C).

Príklad 5: Vypočítajte hodnotu odporu Fe vodiča pri 100°C, ak pri -10°C mal hodnotu 10Ω.

Riešenie: Príklad možno vypočítať dvoma spôsobmi:

1. Základná teplota je $t_0 = 20$ °C. Z tabuliek $\alpha_{20} = 0,005$ °C⁻¹.
 Najprv vypočítame R_{20} a potom R_{100} .

2. Základná teplota je $t_0 = -10$ °C.
 Najprv vypočítame α_{-10} a potom R_{100} .

$$\begin{aligned} \text{Výsledky: } R_{20} &= 11,75 \Omega & t_x &= -180^\circ\text{C} \\ \alpha_{-10} &= \frac{1}{170} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} & R_{100} &= 16,45 \Omega \end{aligned}$$

2. Ohmov zákon

Učiteľ vysvetlí, že niektoré vodiče sa vyznačujú nasledujúcou vlastnosťou: s rastom pripojeného napätia U_R rastie úmerne pretekajúci prúd I . To znamená, že odpor R vodiča (definovaný $R = U_R/I$), zostáva pri zmene prúdu konštantný. Závislosť I od U_R je preto priamka, pozri obr. 9.

Poznámka: Namiesto označenia U_{12} budeme používať označenie U_R na zdôraznenie skutočnosti, že ide o napätie medzi koncami **vodiča s odporom T** , t. j. o napätie el. prúdového poľa.

Obr. 9

Ohmov zákon



Uvedenú vlastnosť vodiča vyjadruje **Ohmov zákon**: Prúd, ktorý preteká vodičom, je priamoúmerný napätiu medzi koncami vodiča. Teda:

$$I = \frac{U_R}{R} \quad R = \text{konšt.} \quad \text{[18]}$$

Príklad 1: Spotrebičom odporu 440Ω preteká prúd $I_1 = 0,5\text{A}$, neskôršie prúd $I_2 = 0,2\text{A}$. Vypočítajte napätia na spotrebiči!

Výsledok: $U_{R1}=220\text{ V}$; $U_{R2} = 88\text{ V}$.

Poznámka: V elektrotechnickej praxi sa Ohmov zákon často používa. Pri riešení obvodov jednosmerného prúdu sa napr. do rovnice pre II. Kirchhoffov zákon dosadzujú jednak jednotky napätí zdrojov a tiež napätí na odporoch (tie sa vypočítajú podľa Ohmovho zákona). Pri používaní Ohmovho zákona sa musí vždy preskúmať, či sa podmienka $R = \text{konšt.}$ dodrží. Odpor R sa totiž pri zmene prúdu viac-menej mení. Napr., ak vo vodiči rastie prúd, vtedy sa mení teplota vodiča, a teda i jeho odpor. Ak sú zmeny odporu R relatívne nevelké, môžeme Ohmov zákon v tomto zmysle s dostatočnou presnosťou používať. Treba upozorniť aj na skutočnosť, že v odbornej literatúre sa niekedy Ohmov zákon stotožňuje s definičným vzťahom el. odporu R . To znamená, že za Ohmov zákon sa považuje iba vzťah $U_R = I \cdot R$, bez podmienky $R = \text{konšt.}$

Poznámka: Učiteľ musí žiakov naučiť dôsledne rozlišovať Ohmov zákon od II. Kirchhoffovho zákona. Ohmov zákon

hovorí iba o napätí na odpore, t. j. je to vzťah $U_R = I \cdot R$, $R = \text{konšt.}$ Pri riešení jednoduchých obvodov jednosmerného prúdu sa používa formálne podobný vzťah $U = I \cdot R$, kde U je napätie jednosmerného zdroja. Tento vzťah počíta aj s napätím zdroja a vzťahuje sa na celý obvod - nie je to Ohmov zákon, ale II. Kirchhoffov zákon (pozri tém. celok "Riešenie obvodu jednosmerného prúdu"). Ohmov zákon platí len pre jednotlivé prvky obvodu (alebo spojenie niekoľkých prvkov), ktoré sa vyznačujú hodnotou odporu R (napr. spotrebič, vedenie). Preto nie je správne hovoriť o Ohmovom zákone pre celý obvod (ide o II. Kirchhoffov zákon), ale iba pre určité prvky prúdového obvodu.

3. Základné prvky obvodu jednosmerného prúdu

a) Jednoduchý obvod jednosmerného prúdu

Pozostáva iba z vodivých prvkov (pozri obr. 3a):

- zdroj jednosmerného napätia,
- spotrebič (rezistor)
- vedenie (rezistor).

Učiteľ vysvetlí, že značky v schéme zapojenia jednak vyjadrujú fakt, že v obvode sa daný prvok (napr. spotrebič) nachádza, zároveň však predstavuje veličinu, ktorou sa daný prvok charakterizuje.

V obvodoch ustáleného jednosmerného prúdu sa vyskytujú iba 2 značky (veličiny) charakterizujúce prvky obvodu, ktoré majú vplyv na veľkosť prúdu I :

- **el. napätie U** (základné veličina el. poľa) - charakterizuje zdroj napätia
- **el. odpor R vodivej látky** (špecifická veličina el. prúdového poľa) - charakterizuje spotrebič, vedenie i zdroj napätia.

Zdroj jednosmerného napätia má 2 póly (kladný + a záporný -) a vytvára v uzavretom a vodivom **obvode elektrické prúdové pole konštantnej veľkosti**. El. prúdové pole vyvolá v obvode **jednosmerný prúd I** , ktorý preteká od kladnej svorky zdroja cez vedenie a spotrebič do zápornej svorky zdroja; zdroj je tiež vodivým prvkom obvodu a prúd ním preteká od zápornej po kladnú svorku, pozri obr. 10c.

Učiteľ ešte vysvetlí pojem **ustálený jednosmerný prúd**. Po uzavretí obvodu nadobudne prúd ustálenú hodnotu I až po uplynutí určitej doby (vtedy prebieha v obvode tzv. prechodný jav). Ak od pripojenia obvodu k svorkám zdroja uplynie dostatočne dlhý čas, potom obvodom preteká už ustálený jednosmerný prúd.

b) Zdroj jednosmerného prúdu

Základné vedomosti o zdroji jednosmerného prúdu si žiaci osvojujú podľa určitého metodického postupu. Učiteľ môže postupovať nasledovne:

- prevedie demonštračný pokus, ktorým oboznámi žiakov s vlastnosťami zdroja
- použitím problémovej (čiastkovo-zisťovacej) metódy sa objasnia vlastnosti zdroja, uvedú sa základné pojmy a odvodí sa príslušné matematické vzťahy
- vysvetlí zvláštne prípady obvodu jednosmerného prúdu (stav naprázdno a stav nakrátko).

Demonštračný pokus - objektom skúmania je chemický zdroj jednosmerného napätia - galvanický článok (napr. plochá batéria 4,5V) alebo akumulátor (napr. niekoľko článkov NiFe batérie). Odborná učebňa nie je podmienkou, pokus sa môže zostaviť a predviesť laboratórnym spôsobom v "klasickej" učebni.

Použité meracie prístroje a pomôcky: 2 valcové regulačné odporníky METRA (18 Ω ; 2,5A), magnetoelektrický voltmeter a ampérmeter, 2 spínače a spojovacie vodiče.

Postup pri meraní: Učiteľ zostaví el. obvod podľa schémy na obr. 10a. Stručne oboznámi žiakov s prvkami obvodu a ich funkciami v obvode. Spínačom P_1 sa pripája voltmeter, ktorý meria napätie na svorkách zdroja. Keď je zapnutý iba spínač P_1 , vtedy je zdroj nezaťažený (voltmeter má vysoký odpor a po pripojení na zdroj prakticky ním prúd nepreteká). Spínačom P_2 sa uzaviera prúdový okruh (zdroj - ampérmetr - regulačný odporník /spotrebič/ R_2 - zdroj), v ktorom ampérmetr meria el. prúd. Veľkosť prúdu sa mení nastavovaním vhodných hodnôt odporu regulačného odporníka R_2 , ktorý je zároveň spotrebičom. Hodnota odporu regulačného odporníka R_1 , počas merania sa nemení (je ochranou pred prúdom nakrátko). Potom sa pristupuje k vykonaniu pokusu. Žiaci pozorujú, že po zapnutí spínača P_1 a pri rozpojenom spínači P_2 ukáže voltmeter určitú hodnotu napätia zdroja (najvyššiu). Potom sa nastaví maximálna hodnota odporu R_2 regulačného odporníka a spínačom P_2 sa uzavrie prúdový okruh. Žiaci sledujú, že obvodom začal tiecť el. prúd (výchylka ampérmetra) a zároveň pokleslo napätie na svorkách zdroja (menšia výchylka voltmetra).

Nastaví sa menšia hodnota odporu R_2 regulačného odporníka, t. j. obvodom bude pretekať väčší prúd I ; napätie na svorkách zdroja klesne ešte na nižšiu hodnotu. Nakoniec sa prúdový obvod opäť rozpojí spínačom P_2 - hodnota napätia na voltmetri stúpne a vráti sa na pôvodnú najvyššiu hodnotu.

Z pokusu vyplývajú poznatky:

- napätie na svorkách zdroja v prúdovom obvode je menšie ako napätie nezaťaženého zdroja,
- veľkosť svorkového napätia súvisí s prúdom I , ktorý preteká obvodom (teda i zdrojom) - čím je prúd väčší, tým je svorkové napätie zdroja menšie.

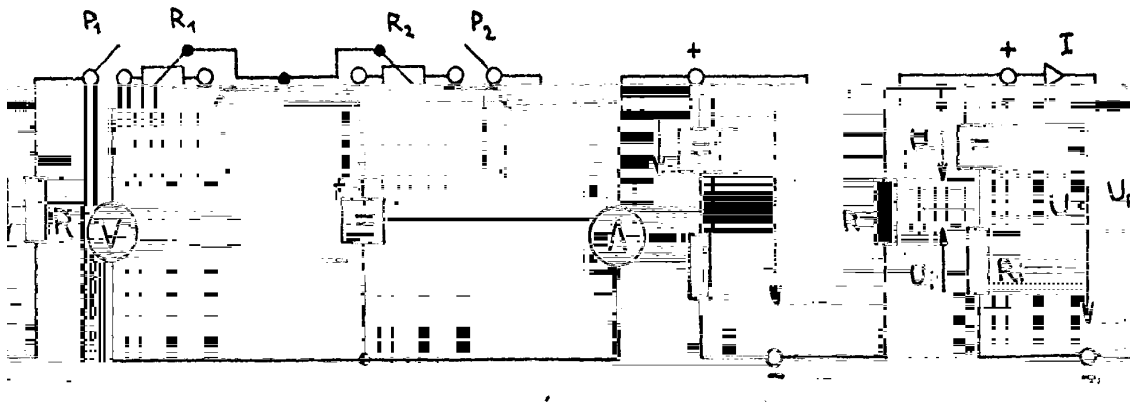
Obr. 10

Vlastnosti zdroja jednosmerného napätia

a) Demonštračný pokus
- schéma zapojenia

b) Zdroj napätia
v obvode - ne-
popísaný

c) Zdroj napätia
charakterizovaný
pomocou veličín I



Vysvetlenie vlastností zdroja. Učiteľ uvedie schému zapojenia jednoduchého obvodu jednosmerného prúdu. Značky znázorňujúce zdroj napätia, sú zatiaľ nepopísané, pozri obr. 10b, iba šípkami je znázornená polarita napätia medzi pólmi zdroja (značka napätia zdroja) a polarita napätia medzi svorkami zdroja.

Učiteľ použije čiastkovo-zisťovaciu problémovú metódu. Stanoví dielčí problém: "Vysvetlite, prečo sú hodnoty napätia na svorkách zdroja v uzavretom prúdovom obvode vždy menšie ako je napätie medzi pólmi nezaťaženého zdroja, ktoré sa vyznačuje stálou hodnotou?" Učiteľ usmerňuje rôzne odpovede žiakov, aby sa dopracovali k správne riešeniu. Riešenie čiastkového problému vyslovia žiaci s pomocou učiteľa: "Zdroj jednosmerného prúdu sa charakterizuje veličinou el. napätie. V druhom rade je zdroj vodivým prvkom, ktorý sa vyznačuje hodnotou el. odporu. Keď preteká zdrojom el. prúd I , potom na základe Ohmovho zákona vzniká na odpore zdroja napätie, ktoré pôsobí proti napätiu medzi pólmi zdroja. Rozdiel oboch napätí je svorkové napätie zdroja."

Učiteľ uvedie nové pojmy - **vnútorné napätie zdroja U_0** (napätie medzi pólmi zdroja), **svorkové napätie zdroja U** (napätie medzi svorkami zdroja), **vnútorný odpor zdroja R_i** a **napätie na vnútornom odpore U_i** , pozri obr. 10c. Stanoví ďalšiu úlohu: "Uved'te matematický vzťah, ktorý vyjadruje súvislosť medzi svorkovým a vnútorným napätím zdroja." Žiaci uvedú:

$$U = U_0 - U_i \quad [19]$$

Na základe Ohmovho zákona platí:

$$U_i = R_i \cdot I \quad [20]$$

Po dosadení vzťahu [20] do [19]:

$$U = U_0 - R_i \cdot I \quad [19a]$$

Učiteľ konštatuje, že na základe II. Kirchhoffovho zákona (pozri tém. Celok „Riešenie obvodu jednosmerného prúdu“) pre veľkosť prúdu I platí:

$$I = \frac{U_0}{R_c} \quad [21]$$

Kde R_c celkový odpor obvodu

V prípade jednoduchého obvodu jednosmerného prúdu a pri zanedbateľnej hodnote odporu vedenia (pozri obrázok 10c) platí:

$$R_c = R + R_i$$

Príklad 1: Galvanický článok má $U = 4,5 \text{ V}$ a vnútorný odpor $R_i = 2\Omega$. Odpor spotrebiča $R = 1\Omega$. Vypočítajte I , U_i , U !

Výsledok: $I = 0,5 \text{ A}$

$$U_i = 1\text{ V}$$

$$U = 3,5\text{ V}$$

Napätie naprázdno U_0 a prúd nakrátko I_k . Učiteľ uvedie schémy zapojenia a vysvetlí zvláštne stavy jednosmerného obvodu, ktoré nastávajú pri krajných hodnotách odporu spotrebiča R. Je to:

- **stav naprázdno** - odpor spotrebiča $R = \infty$. El. obvod je prerušený alebo obsahuje nevodivý prvok, a preto prúd I netečie. Pre svorkové napätie zdroja v stave naprázdno na základe vzťahu [19a] platí:

$$U = U_0 \quad [23]$$

Svorkové napätie v stave naprázdno je teda totožné s vnútorným napätím zdroja.

- **stav nakrátko** - odpor spotrebiča $R = 0\Omega$. Ak sú odpor spotrebiča R a odpor vedenia R_v zanedbateľné, kladie odpor prechodu prúdu v obvode iba vnútorný odpor zdroja R_i . Prúd nakrátko I_k je najväčší prúd, ktorý pri danom zdroji môže obvodom pretekať. Je nebezpečný pri zdrojoch s vysokým U_0 a malým R_i . (napr. dynamo), pretože môže dôjsť k zničeniu zdroja alebo k úrazu.

Platí:

$$I_k = \frac{U_0}{R_i} \quad [24]$$

Príklad 2: Galvanický článok má $U_0 = 4,5\text{ V}$ a $R_i = 2\Omega$ Vypočítajte I_k !

Výsledok: $I_k = 2,25\text{ A}$

c) Spotrebič v obvode ustáleného jednosmerného prúdu

Ďalším základným prvkom obvodu je **spotrebič**, ktorý sa v obvode ustáleného jednosmerného prúdu správa ako rezistor, t. j. charakterizuje sa jedinou veličinou - el. odpor R (pozri obr. 3a).

Napätie U_R na odpore R je zvyčajne úmerne pretekajúcemu prúdu I a vypočíta sa na základe **Ohmovho zákona**. Energia el. prúdového poľa vo forme pohybovej energie nosičov el. náboja (elektrónov) sa v rezistore s odporom R **premieňa na tepelnú energiu** (pozri Lenz-Jouleov zákon), preto sa používa aj názov činný odpor R .

d) Vedenie v obvode ustáleného jednosmerného prúdu

Učiteľ vysvetlí, že ďalším základným prvkom jednoduchého obvodu je **vedenie**, ktoré vodiivo spája zdroj so spotrebičom. V obvode ustáleného jednosmerného prúdu sa vedenie ako vodič charakterizuje tiež iba veličinou **elektrický odpor R** , pozri obr. 3a). Hodnota odporu vedenia má byť čo najmenšia, aby obvodom tiekol čo najväčší prúd a tiež preto, že v tomto prípade **premena elektrickej energie na tepelnú je nežiadúca**. Veľkosť odporu vedenia možno vypočítať z jeho geometrických rozmerov.

e) Regulačné a meracie prvky v obvode jednosmerného prúdu

Okrem základných prvkov (zdroj, spotrebič, vedenie) sa v obvode jednosmerného prúdu vyskytujú aj iné prvky, ktoré plnia rôzne funkcie. Sú to predovšetkým meracie prístroje (napr. ampérmeter a voltmeter), spínače, regulačné odporníky a pod.

Učiteľ môže vysvetliť základné spôsoby **využitia rezistorov v elektrotechnike** (rozvíjajúce učivo). Rozdeľujú sa na:

- **rezistory so stálou hodnotou odporu R** . Učiteľ predvedie ukážky, napr. normálov odporu, rezistorov používaných v slaboprúdovej elektrotechnike. Vysvetlí spôsob označenia menovitých hodnôt odporov, napr. znak TR 104 6k8 znamená, že ide o odpor (označenie R), ďalej je uvedený spôsob vyhotovenia

odporu (trojčísle 104) a hodnota odporu (6k8 je hodnota 6800Ω).

- **regulačné rezistory.** Učiteľ opäť predvedie ukážky. Vysvetlí, že regulačný rezistor môže pozostávať z viacerých rezistorov (prepínajú sa kľukovým kontaktom alebo pomocou kolíkov) alebo sa zhotovuje ako regulačný rezistor s posuvným kontaktom.

Zapája sa ako:

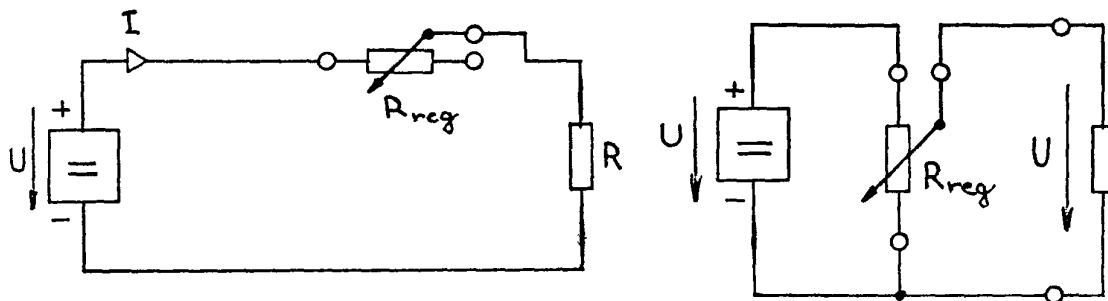
- **reostat** - na reguláciu prúdu v sérii so spotrebičom, obr. 11a;
- **potenciometer** (delič napätia) - na reguláciu napätia a pripája sa paralelne k spotrebiču, obr. 11b.

Obr. 11

Regulačný rezistor

a) zapojený ako reostat

b) zapojený ako potenciometer



4. Práca a výkon ustáleného jednosmerného prúdu

a) Elektrická práca A

Učiteľ pri vysvetľovaní základných pojmov použije metódu rozhovoru. Matematické vzťahy odvodí spolu so žiakmi.

Napätie medzi dvoma miestami el. poľa sme definovali vzťahom (pozri tému "Základné veličiny el. poľa"):

$$U_{12} = \frac{A_{12}}{Q_1} \quad [^{\sim}25_7]$$

kde v prípade el. prúdového poľa:

$$Q_1 = I \cdot t \quad [26]$$

Po dosadení vzťahu [26] do [25] pre prácu A_{12} elektrického prúdového poľa dostávame:

$$A_{12} = U_{12} \cdot I \cdot t \quad \left[\text{J; V, A, s} \right] \quad [27]$$

V obvode jednosmerného (i striedavého) prúdu koná teda el. prúdové pole prácu.

Elektrická energia sa premieňa predovšetkým na energiu:

- **tepelnú** - vo vodiči s odporom R sa energia el. prúdového poľa premieňa na pohybovú energiu -elektrónov vodiča a tá na tepelnú energiu atómov vodiča
- **svetelnú** - časť tepelnej energie vodiča sa premieňa na svetelnú energiu
- **mechanickú** - energia el. prúdového poľa sa premieňa na energiu magnet. poľa a tá na mechanickú (pohybovú) energiu prúdovodiča v magnet. Poli
- **chemickú** - rozklad kvapalného vodiča na zložky (elektrolýza), atď.

V spotrebiči (odporníku) s odporom R energia el. prúdového poľa A_R spôsobuje pohyb nosičov náboja a premieňa sa na **tepelnú energiu**.

Platí:

$$A_R = U_R \cdot I \cdot t \quad [28]$$

Vzťah [28] možno použitím Ohmovho zákona $U_R = I \cdot R$ upraviť. Žiaci odvodlia:

$$A_R = R \cdot I^2 \cdot t \quad [28a]$$

alebo

$$A_R = \frac{U_R^2}{R} t \quad [28b]$$

Učiteľ zdôrazní, že ide o tzv. činnú prácu A_R spotrebiča, keď sa el. energia mení nenávratne (činne) na teplo.

Jednotka práce v sústave SI je **joule** (1J). Medzi prácou A a výkonom P **platí** obecný vzťah:

$$P = \frac{A}{t} \quad \left[\text{J; W, s} \right] \quad [29]$$

Zo vzťahu [29] vyplýva, že:

$$1\text{J} = 1\text{Ws}$$

Väčšie jednotky el. práce sú násobky 1J:

$$1\text{Wh} = 1\text{W} \cdot 3600\text{s} = 3600\text{Ws} = 3600\text{J}$$

$$1\text{kWh} = 3,6 \cdot 10^6\text{J}$$

V praxi sa el. práca udáva v kWh a meria sa elektromermi.

b) Elektrický výkon P

Po dosadení vzťahu [28] do [29] získame vzťah pre elektrický výkon spotrebiča s odporom R :

$$P_R = U_R \cdot I \quad \left[W; V, A \right] \quad \text{[30]}$$

Vzťah [30] možno tiež upraviť použitím Ohmovho zákona (vykonajú žiaci).

Jednotka výkonu (aj elektrického) v sústave SI je **watt** (1W). Väčšie jednotky sú násobky 1W.

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$$

$$1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$$

Učiteľ vysvetlí význam jednotiek el. výkonu v praxi (napr. výkon elektrárne sa udáva v MW).

Učiteľ zároveň rozvíja niektoré zložky mravnej výchovy, vzťah žiakov k elektrotechnike a pod.

Príklad 1: Spotrebič má odpor 200Ω a preteká ním prúd 400 mA po dobu 8 hodín. Vypočítajte výkon a prácu el. prúdu v spotrebiči!

$$\text{Výsledok: } P_R = 32 \text{ W}$$

$$A_R = 1,15 \cdot 10^5 \text{ J} = 0,032 \text{ kWh}$$

5. Účinnosť elektrického spotrebiča

a) Elektrické prúdové obvody - obecné

Každý el. spotrebič slúži na premenu el. energie na iný druh energie (napr. na tepelnú, mechanickú, svetelnú, atď.). Pritom platí zákon premeny a zachovania energie, t. j. množstvo dodanej el. energie sa rovná množstvu premenenej energie.

V každom spotrebiči sa dodaná el. energia A_1 , mení jednou časťou na žiadaný druh energie A_2 (napr. užitočné teplo, mechanická energia) a druhá časť energie A_s je stratová (napr. sa mení na neužitočné teplo).

Platí teda:

$$A_1 = A_2 + A_s \quad \quad \quad [31]$$

Definícia účinnosti el. spotrebiča (zariadenia):

$$\eta = \frac{A_2}{A_1} \quad \quad \quad [32]$$

Slovami: Pomer energie, ktorá sa v spotrebiči užitočne spotrebuje a el. energie, ktorú spotrebič prijíma, sa nazýva **účinnosť spotrebiča**.

Účinnosť spotrebiča sa vyjadruje aj pomerom výkonov. Na názorné vysvetlenie sa použije zobrazenie na obr. 12.

Platí:

$$P_1 = P_2 + P_s \quad \quad \quad [33]$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad \quad \quad [34]$$

kde P_1 príkon - t.j. výkon, ktorý spotrebič odoberá

P_2 užitočný výkon spotrebiča

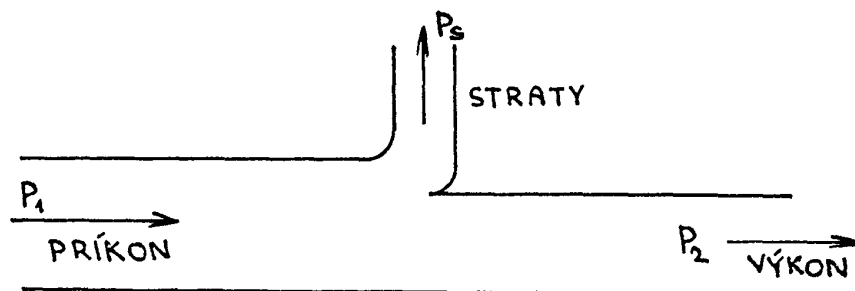
P_s stratový výkon spotrebiča.

Účinnosť sa často vyjadruje v percentách:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \quad \left[\begin{array}{c} \% \end{array} \right] \quad \text{[34a]}$$

Obr. 12

Rozdelenie príkonu spotrebiča



Príklad 1: Jednosmerný elektromotor má výkon $P_2 = 10\text{kW}$, napätie $U = 220\text{V}$ a účinnosť $= 87\%$. Aký je jeho príkon P_1 , a aký prúd I odoberá z vedenia?

Výsledok: $P_1 = 11,49\text{ kW}$

$$I = \frac{P_1}{U} = \frac{11490}{220} = 52,2\text{ A}$$

b) El. obvod jednosmerného prúdu s rezistorom

Pre účinnosť spotrebiča platia tiež vzťahy [32] a [34]. V tomto prípade je: P_2užitočné teplo

P_sstratové teplo.

Príklad 2: Elektrický varič s príkonom 440W má 85 % účinnosť.

Vypočítajte užitočný a stratový výkon variča!

Výsledok: $P_2 = 374W$

$P_s = 66W$.

6. Lenz-Jouleov zákon

Učiteľ použije metódu výkladu a rozhovoru spojenú s demonštračným pokusom. Postupuje nasledovne:

- demonštrácia javu premeny el. energie na tepelnú energiu vodiča
- definícia Lenz-Jouleovho zákona
- praktické využitie Lenz-Jouleovho zákona
- formovanie vedeckého svetonázoru žiakov.

Demonštračný pokus. Učiteľ pokusom oboznámi žiakov s dôležitou vlastnosťou vodiča - každý vodič sa zohrieva, ak ním prechádza prúd. Žiaci pozorujú, že niektoré vodiče sa zohrievajú viac, iné menej. Napríklad, ak paralelne spojíme železný a medený vodič rovnakých geometrických rozmerov a pripojíme na napätie U_R potom medeným vodičom preteká väčší prúd (má menší odpor); tiež aj vykonaná práca v medenom vodiči je väčšia ($A_R = U_R \cdot I \cdot t$), t.j. medený vodič sa bude zohrievať viacej ako železný vodič.

Definícia Lenz-Jouleovho zákona:

Keď el. prúd prechádza cez rezistor, t. j. cez vodič vyznačujúci sa hodnotou **el. odporu R** , potom koná v ňom el. prácu A_R . El. energia sa vo vodiči **mení na tepelnú energiu Q** a teda platí:

$$Q = A_R \quad \left[\text{J; J} \right] \quad \text{[35]}$$

Uvedený vzťah sa nazýva Lenz-Jouleov zákon. Jeho definícia: El. práca, vynaložená na pretlačenie el. prúdu odporom vodiča sa mení v teplo.

Pri ďalšom objasňovaní zákona použije učiteľ metódu rozhovoru, pretože ide o vedomosti, ktoré si žiaci už skôr osvojili.

El. práca prúdu v spotrebiči s odporom R je daná známym vzťahom:

$$A_R = U_R \cdot I \cdot t \quad \text{[36]}$$

alebo

$$A_R = R \cdot I^2 \cdot t \quad \text{[36a]}$$

Po dosadení napr. vzťahu [36a] do [35] dostávame Lenz-Jouleov zákon v tvare:

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \quad \left[\text{J; } \Omega, \text{ A, s} \right] \quad \text{[35a]}$$

Poznámka: Jednotka práce (energia) v sústave SI je 1 joule. Ako jednotka tepelnej energie sa používala aj 1 kilokalória a mechanickej energie 1kpm = 9,81J. Lenzovi a Jouleovi sa podarilo tepelnú a mechanickú energiu vzájomne porovnať a zistili, že platí:

$$1 \text{ kcal} = 427 \text{ kpm} = 4188 \text{ J, z toho } 1 \text{ J} = 0,00024 \text{ kcal}$$

V odbornej literatúre sa preto Lenz-Jouleov zákon uvádzal v tvare: $Q = 0,00024 \cdot R \cdot I^2 \cdot t$ [kcal; Ω , A, s]

Praktické využitie Lenz-Jouleovho zákona. Učiteľ sa pýta žiakov na príklady priemyselného využitia tepelných účinkov el. prúdu. Žiaci odpovedajú, že napr. sa využíva na rôzne spôsoby el. zvárania (napr. oblúkové a odporové), na výrobu látok tavením v el. peciach (napr. ocele), v domácnostiach (napr. na ohrievanie varenie, hľadanie).

Učiteľ uvedie, že sa stretávame aj s nežiadúcou premenou el. energie na teplo s tzv. stratami, predovšetkým pri rozvode el. energie vedením. Zo vzťahu [35a] vyplýva, že el. prúdom vyvinuté teplo rastie so štvorcom prúdu tečúceho vedením. Preto je výhodné prenášať el. energiu na veľké vzdialenosti vysokým napätím a malým prúdom.

Učiteľ tiež zdôrazní, že Lenz-Jouleov zákon je špecifickou formou základného zákona prírody - zákona o premene a zachovaní energie. Poukáže na nezničiteľnosť hmoty a energie.

Príklad 1: Elektrický varič s príkonom 440W a účinnosťou 85 % je pripojený na napätie 220V. Vypočítajte užitočný a stratový výkon, prúd, odpor variča a užitočné teplo, ktoré varič vyvinie za 1 hod.!

Výsledok: $P_2 = 374\text{W}$

$$P_s = 66\text{W}$$

$$Q = 1,35 \cdot 10^6\text{J}$$

$$I = 2\text{A}$$

$$R = 110\Omega.$$

Poznámka: V príklade 1 predpokladáme jednosmerné napätie U .

Učiteľ upozorní žiakov, že aj striedavé napätie s efektívnou hodnotou $U = 220\text{V}$ spôsobí v spotrebiči s odporom R striedavý prúd, ktorý vykoná rovnakú prácu ako prúd od jednosmerného napätia (pozri tém. celok "Striedavé prúdy")

Príklad 2: Medené vedenie má dĺžku 2000m a priemer 1mm^2 . Vedením preteká prúd $I = 1,2\text{A}$ (dovolené prúdové zaťaženie je $2 \cdot 10^6 \text{ Am}^{-2}$, t. j. hodnota prúdu má prípustnú hodnotu). Vypočítajte výkon (stratový), ktorý vzniká pri prechode prúdu vedením.
Výsledok: $P = 54 \text{ W}$.

7. Preverovanie vedomostí

a) Písomná skúška - riešenie príkladov

Skupina A

Príklad 1: Spotrebičom tiekol 12 hodín prúd 50 mA pri teplote 20 °C. Vypočítajte:

- a) aké el. množstvo Q prešlo prierezom vodiča
- b) odpor R , ak spotrebič je rezistor vyrobený z manganínového drôtu dĺžky 13 m a priemeru 0,5 mm ($\rho_{20} = 0,42 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$)
- c) výkon spotrebiča P
- d) množstvo tepla Q , ktoré vzniklo prechodom prúdu cez vodič.

Výsledok:

- a) $Q = 2160 \text{ C}$
- b) $R = 27,3 \Omega$
- c) $P = 0,068 \text{ W}$
- d) $Q = AR = 244,8 \text{ J}$

Príklad 2: Akú teplotu má cievka navinutá z Cu vodiča dĺžky 350m a prierezu 1mm^2 , ak jej odpor pri prevádzke $R_t = 10,5 \Omega$? ($\alpha_{20} = 0,00392^\circ\text{C}^{-1}$, $\rho_{20} = 0,0175 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$).
Výsledok: $R_{20} = 6,12 \Omega$ $t = 196^\circ\text{C}$.

Skupina B

Príklad 1: Žiarovka s výkonom 40 W svieti 8 hodín a je pripojená na napätie $U = 220 \text{ V}$. Vypočítajte:

- a) koľko spotrebuje el. energie (v kWh)
- b) aké el. množstvo pretečie žiarovkou
- c) el. odpor žiarovky.

Výsledok:

- a) $A_R = 0,32 \text{ kWh}$
- b) $Q = 524 \text{ C}$
- c) $R = 1208$

Príklad 2: Cievka z medeného vodiča priemeru $d = 1,5 \text{ mm}$ má pri teplote 100 C odpor $R_{100} = 65 \Omega$. Akú dĺžku l má vodič? ($\alpha_{20} = 0,00392^\circ\text{C}^{-1}$, $\rho_{20} = 0,0175 \cdot 10^{-6} \Omega \text{ m}$).

Výsledok: $R_{20} = 49,6 \Omega$
 $l = 5000 \text{ m}$

b) Test

1. Medzi 7 základných jednotiek sústavy SI patria nasledujúce 3 jednotky:

- a) coulomb, kilogram, meter
- b) meter, sekunda, volt
- c) kandela, ampér, mól
- d) teplotný stupeň, ampér, coulomb

2. 10^{-12} násobok ampéra je:

- a) mikroampér
- b) nanoampér
- c) pikoampér
- d) megaampér

3. Rozmer jednotky el. náboja v sústave SI je:

- a) $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$
- b) C
- c) $\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$
- d) $\text{A} \cdot \text{s}$

4. 1 ampér sa v sústave SI definuje z účinku:

- a) elektrodynamického
- b) tepelného
- c) elektromagnetického
- d) chemického

5. V okolí osamoteného el. náboja Q sa nachádza el. pole:

- a) homogénne, nevírové, nežriedlové
- b) nehomogénne, nevírové, nežriedlové
- c) nehomogénne, vírové, nežriedlové
- d) nehomogénne, nevírové; žriedlové

6. Základné vlastnosti každého el. poľa, t. j. silové pôsobenie a schopnosť konať prácu, vyjadrujú 2 základné veličiny:

- a) napätie a potenciál
- b) napätie a intenzita
- c) intenzita a potenciál
- d) náboj a napätie

7. Z neutrálneho atómu vznikne kladný ión, keď:

- a) jadro neutrálneho atómu prijme protóny
- b) atóm prijme do elektrónového obsahu elektróny
- c) z elektrónového obalu sa odpútajú elektróny
- d) jadro neutrálneho atómu prijme viac protónov ako el. obal elektrónov

8. Elektrický odpor R vodiča je:

- a) priamoúmerný ρ a S a nepriamoúmerný l
- b) priamoúmerný S a l a nepriamoúmerný ρ
- c) priamoúmerný l a nepriamoúmerný ρ a S
- d) priamoúmerný ρ a l a nepriamoúmerný S

9. Jednotka merného odporu (rezistivity) je:

- a) $S \cdot m^{-1}$
- b) $\Omega^{-1} m$
- c) Ωm^{-1}
- d) Ωm

10. Ohmov zákon s podmienkou $R = \text{konšt.}$ má tvar:

- a) $I = U_R \cdot R$
- b) $R = \frac{I}{U_R}$
- c) $U_R = I \cdot R$
- d) $U_R = \frac{I}{R}$

11. Tepelný súčiniteľ odporu je hodnota, o ktorú pri zvýšení teploty o 1°C vzrastie:

- a) odpor 1 m dlhého vodiča
- b) odpor ľubovoľne dlhého vodiča
- c) odpor vodiča o hodnotu 1Ω
- d) odpor vodiča dĺžky 1 m² a prierezu 1 m

12. Keď prúd tečúci spotrebičom s odporom R sa zdvojnásobí, výkon sa zmení na:

- a) na štvornásobnú hodnotu pôvodného výkonu
- b) dvojnásobnú hodnotu výkonu
- c) nezmení sa
- d) polovicu pôvodného

13. Keď P_1 je príkon, P_2 je výkon a P_s stratový výkon, potom účinnosť el. zariadenia je:

a) $\frac{P_s}{P_2}$

b) $\frac{P_1}{P_2}$

c) $\frac{P_s}{P_1}$

d) $\frac{P_2}{P_1}$

14. Joule-Lenzov zákon hovorí o premene energie:

- a) tepelnej na mechanickú
- b) tepelnej na elektrickú
- c) elektrickej na tepelnú
- d) mechanickej na tepelnú

15. 1kWh je:

- a) 10^6 J
- b) 10^3 J
- c) $3,6 \cdot 10^3 \text{ J}$
- d) $3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

IV. tematický celok: RIEŠENIE OBVODU JEDNOSMERNÉHO PRÚDU

1. I. a II. Kirchhoffov zákon

a) Miesto v systéme základných vedomostí

V tomto tematickom celku sa žiaci oboznámia so základnými zákonmi el. obvodu (I. a II. Kirchhoffov zákon) a naučia sa riešiť jednoduché a zložité obvody ustáleného jednosmerného prúdu.

Základné zákony a vzorce, ktoré platia pre el. obvod, si žiaci majú osvojiť systematicky **v smere vertikálnych spojov medzi vedomosťami:**

- základné zákony el. obvodu, t.j. definícia I. a II. Kirchhoffovho zákona
- sériové a paralelné spojenie odporov alebo zdrojov (vzorce sa odvodžia z I. a II. Kirchhoffovho zákona)
- premena spojenia odporov do trojuholníka na spojenie do hviezdy (vzorce sa odvodžia zo vzťahov pre sériové a paralelné spojenie odporov).

Poznatky o riešení obvodov jednosmerného prúdu si žiaci môžu osvojiť podľa nasledujúceho postupu:

- riešenie jednoduchého obvodu
- riešenie zložitého obvodu s jedným zdrojom
- riešenie zložitého obvodu s viacerými zdrojmi.

Učiteľ musí venovať pozornosť rozvoju základných zručností a návykov žiakov. Z intelektuálnych **zručností a návykov** treba dôkladne uplatňovať **vyučovacie algoritmy**, t. j. postupy riešenia určitého typu úloh (napr. pri riešení obvodov jednosmerného prúdu určitou metódou riešenia). Zároveň treba rozvíjať aj **praktické zručnosti** (napr. používanie elektronickej kalkulačky).

b) Analýza jednosmerného el. obvodu

V IV. tematickom celku sa riešia jednosmerné el. obvody, ktoré pozostávajú zo zdrojov jednosmerného prúdu, vedenia a rezistorov. V el. schémach sa nachádzajú značky týchto prvkov a vo výpočtoch vystupujú 3 veličiny: jednosmerné el. napätie, ustálený jednosmerný prúd a el. odpor (alebo el. vodivosť).

El. obvod môže byť **jednoduchý** a **zložitý**. Základnými časťami zložitého el. obvodu sú **uzol**, **vetva** a **slučka**. Učiteľ uvedie príklady obvodov, ich časti a definuje ich (použije MEOTAR alebo nakreslí na tabuľu). Zdôrazní, že pred každým riešením treba urobiť **analýzu zložitého obvodu**, t. j. určiť, koľko obsahuje uzlov, vetiev a slučiek.

c) I. Kirchhoffov zákon

Učiteľ môže postupovať nasledovne:

- predvedie demonštračný pokus
- metódou výkladu definuje a vysvetlí I. Kirchhoffov zákon (uvedie základné matematické vzťahy)
- zdôvodní platnosť I. Kirchhoffovho zákona
- žiaci vypočítajú konkrétny príklad.

Demonštračný pokus. Učiteľ predvedie pokus, ktorým dokáže platnosť zákona. Pokus možno predviesť pomocou obvodu, ktorý učiteľ zostaví podľa obr. 13a. Použité meracie prístroje a objekty: zdroj jednosmerného prúdu (napr. akumulátorová batéria), 4 magnetoelektrické ampérmetre, regulačné rezistory $105\ \Omega$, 1,6 A), spínač, spojovacie vodiče.

Postup pri meraní:

Učiteľ zapojí obvod podľa schémy zapojenia na obr. 13a. Pri zapojenom obvode najprv nastaví maximálnu hodnotu odporu R_{reg} . Po uzavretí obvodu spínačom P sa nastaví určité hodnoty odporov R_1 , R_2 a R_3 . Potom sa zníži hodnota R_{reg}

tak, aby na všetkých ampérmetroch boli odčítateľné hodnoty prúdov. Žiaci pozorujú, že hodnota prúdu I sa rovná súčtu hodnôt I_1 , I_2 a I_3

Definícia I. Kirchhoffovho zákona:

Učiteľ zdôrazní, že I. Kirchhoffov zákon je základným zákonom el. obvodu a hovorí o **prúdoch vo vetvách obvodu, ktoré sa stretávajú v danom uzle.**

Pre uzol A na obr. 13 podľa I. Kirchhoffovho zákona platí:

$$I - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

Po úprave rovnice (37) (na pravej strane je nula) dostávame:

[37a]

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

[37]

Symbolicky:

$$\sum I = 0$$

[38]

Definícia:

Súčet prúdov do uzla pritekajúcich sa rovná súčtu prúdov z uzla odtekajúcich..

Alebo (pre rovnicu v anulovanom tvare):

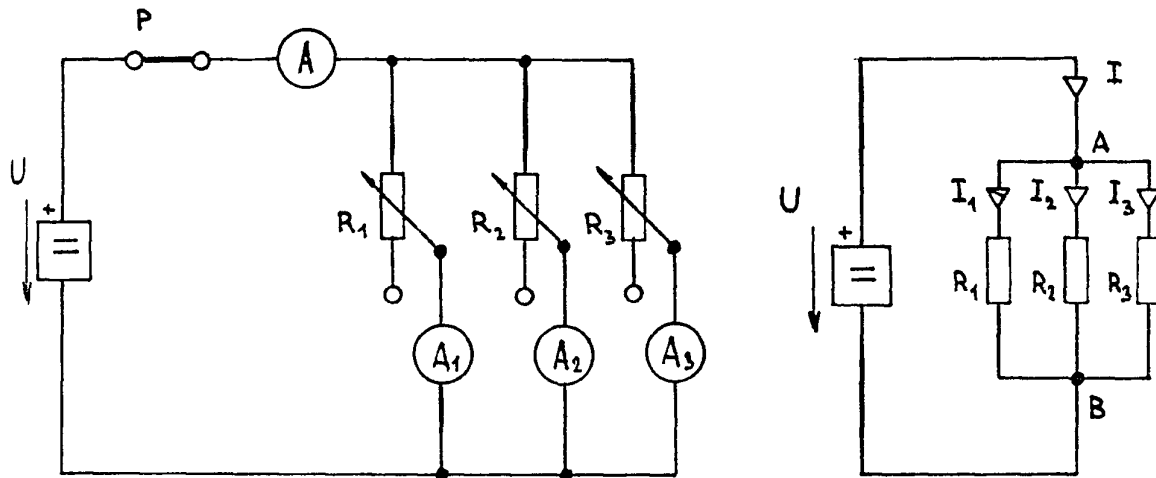
Algebraický súčet prúdov vzťahujúcich sa na daný uzol sa rovná nule; pritom prúdy pritekajúce do uzla sa označujú kladným znamienkom, odtekajúce záporným.

Obr. 13

I. Kirchhoffov zákon

a) Demonštračný pokus - schéma
zapojenia obvodu

b) Definícia zákona



Zdôvodnenie platnosti I. Kirchhoffovho zákona

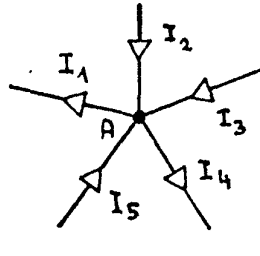
Učiteľ vysvetlí: Ak zákon neplatí, tak sú 2 možnosti. Buď by odchádzalo z uzla viac nosičov náboja (elektrónov) ako ich prichádza za ten istý čas; to by bolo možné iba vtedy, keby uzol sám bol zdrojom elektrónov. Alebo by z uzla odchádzalo menej elektrónov ako ich tam prichádza; to by znamenalo, že elektróny sa začínajú v uzle zhromažďovať a objavil by sa tam el. náboj Q . Ani jeden z týchto javov sa však nepozoruje - teda I. Kirchhoffov zákon platí.

Učiteľ môže použiť aj analógiu: prúdenie kvapaliny - el. prúd.

Príklad 1: Napíšte rovnicu podľa I. Kirchhoffovho zákona pre prúdy vzťahujúce na uzol A v zložitom el. obvode podľa obr. 14.

Obr. 14

Uzol v el. obvode



$$\text{Výsledok: } I_2 + I_3 + I_5 = I_1 + I_4$$

$$\text{alebo } -I_1 + I_2 + I_3 - I_4 + I_5 = 0$$

d) II. Kirchhoffov zákon

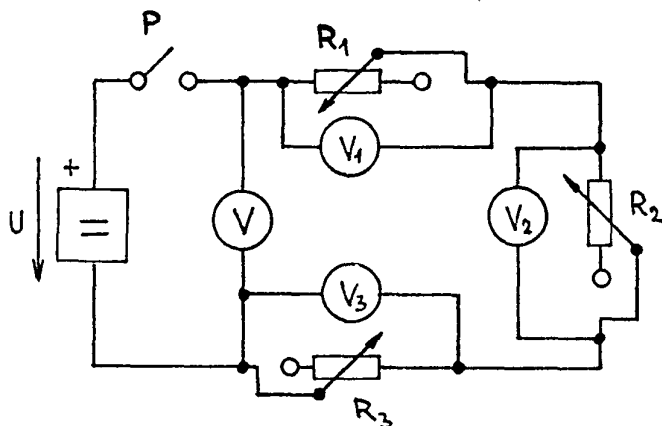
Učiteľ postupuje rovnako ako v predchádzajúcom prípade.

Demonštračný pokus. Pokus možno predviesť pomocou obvodu podľa obr. 15a. Namiesto štyroch ampérmetrov pri demonštrácii I. Kirchhoffovho zákona sú teraz potrebné 4 voltmetre. Žiaci pozorujú, že hodnota napätia U (svorkové napätie zdroja) sa rovná súčtu hodnôt U_1 , U_2 a U_3 (napätia na odporníkoch).

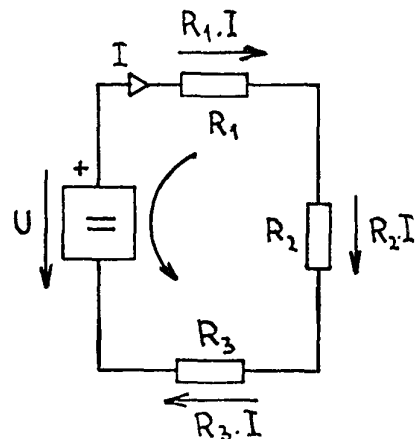
Obr. 15

II. Kirchhoffov zákon

a) Demonštračný pokus



b) Definícia zákona



Definícia II. Kirchhoffovho zákona:

Učiteľ zdôrazní, že II. Kirchhoffov zákon je tiež základným zákonom obvodu a hovorí o **napätiach na jednotlivých prvkoch (zdroje, odporníky) v uzavretej slučke obvodu.**

Pre jednoduchý obvod (je to v podstate slučka) na obr. 15 podľa II. Kirchhoffovho zákona platí:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad [^{-39}_{-}]$$

kde podľa Ohmovho zákona

$$U_1 = R_1 \cdot I \quad [^{-40}_{-}]$$

$$U_2 = R_2 \cdot I \quad [^{-41}_{-}]$$

$$U_3 = R_3 \cdot I \quad [^{-42}_{-}]$$

Po úprave rovnice (39) (na pravej strane je nula) dostávame:

$$U - U_1 - U_2 - U_3 = 0 \quad [^{-39a}_{-}]$$

Symbolicky

$$\sum U = 0$$

Definícia:

Súčet napätí zdrojov v slučke (alebo v jednoduchom el. obvode) sa rovná súčtu napätí na jednotlivých odporníkoch (odporoch). Alebo (pre rovnicu v anulovanom tvare):

Algebrický súčet napätí na prvkoch v slučke sa rovná nule. Pritom kladné smery napätí na zdrojoch sú od kladného po záporný pól a na odporoch podľa vyznačených smerov prúdov; napätia sa sčítavajú podľa zvoleného smeru obehu slučky.

Učiteľ vysvetlí definíciu II. Kirchhoffovho zákona v prípade anulovaného tvaru rovnice pre obvod na obr. 15. Najprv sa vyznačí polarita napätí na zdroji a na odporoch pomocou šípiek; potom sa zvolí smer obehu slučky (napr. proti pohybu hodiných ručičiek). Napíše sa rovnica v anulovanom tvare; hodnota napätia daného prvku má kladné znamienko vtedy, ak je smer obehu súhlasný s polaritou napätia prvku.

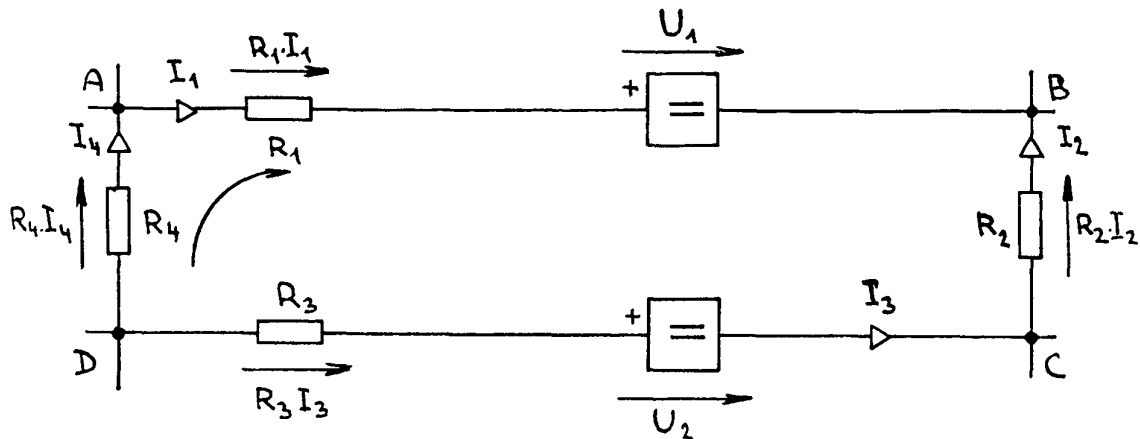
Zdôvodnenie platnosti II. Kirchhoffovho zákona

Učiteľ zdôvodní platnosť zákona napr. pre nulový tvar rovnice. Vysvetlí, že po sčítaní napätí podľa vyznačeného obehu slučky sa vrátíme do východzieho bodu. El. potenciál nadobúda v jednotlivých bodoch slučky rôzne hodnoty; celková zmena potenciálu (rozdiel potenciálov, t.j. napätie) však po návrate do východzieho bodu musí byť rovná nule.

Príklad 2: Napíšte rovnicu podľa II. Kirchhoffovho zákona pre slučku v zložitom el. obvode podľa obr. 16.

Obr. 16

Slučka v zložitom el. obvode



$$\text{Výsledok: } R_1 I_1 + U_1 - R_2 I_2 - R_3 I_3 - U_2 + R_4 I_4 = 0$$

Príklad 3: Urobte analýzu obvodu a napíšte rovnicu podľa I. a II. Kirchhoffovho zákona pre Wheatstoneov mostík, obr. 17a.

Riešenie: a) analýza obvodu

uzly: 4 (zároveň počet rovníc podľa I. Kirchhoffovho zákona)

vetvy: 6 (zároveň počet prúdov v obvode)

slučky: 7 (zároveň počet rovníc podľa II. Kirchhoffovho zákona)

b) rovnice podľa I. Kirchhoffovho zákona napr.

$$\text{pre uzol A: } I - I_1 - I_2 = 0$$

c) rovnice podľa II.

Kirchhoffovho zákona

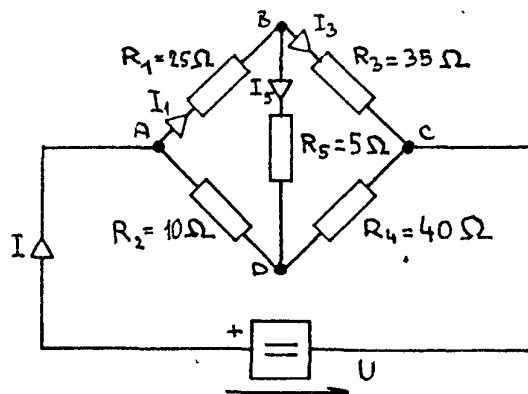
napr. pre slučku A - B - D - A:

$$25I_1 + 5I_5 - 10I_2 = 0$$

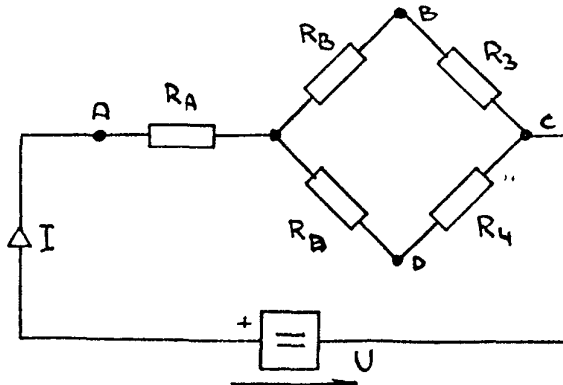
Obr. 17

Wheatstoneov mostík

a) Schéma zapojenia mostíka



b) Mostík po transfigurácii
 spojenia odporov do trojuhol-
 níka na hviezdu



2. Spájanie rezistorov

a) Sériové spojenie odporov

Učiteľ postupuje nasledovne:

- uvedie el. obvod s odpormi spojenými do série a vzťah na výpočet výsledného odporu
- metódou problémového výkladu alebo rozhovoru so žiakmi dokáže vzťah na výpočet výsledného odporu
- žiaci vypočítajú jednoduchý príklad.

Vzťah pre výpočet výsledného odporu R

Pre výsledný odpor R sériového spojenia odporov R_1 , R_2 a R_3 , podľa obr. 18 platí:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad [43]$$

Obecne pre výsledný odpor R pre rezistory s odpormi R_1 , R_2 , ..., R_n spojené do série platí:

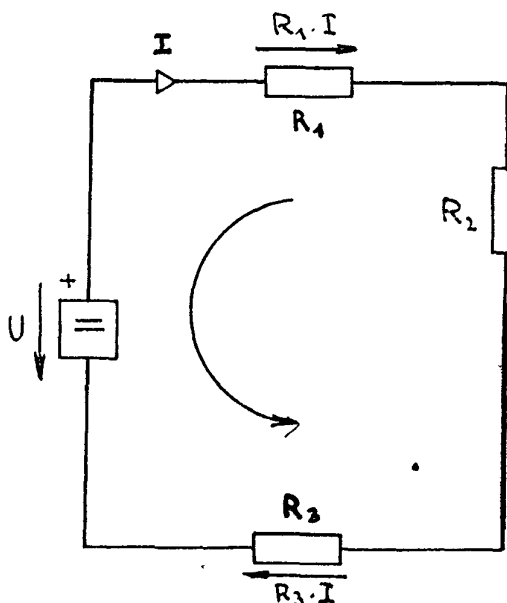
$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad [44]$$

Slovami: Pri sériovom spojení rezistorov je výsledný odpor rovný súčtu hodnôt odporov jednotlivých rezistorov.

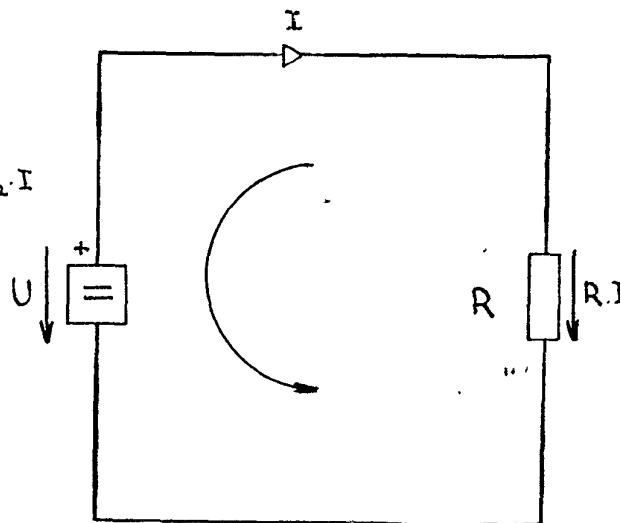
Obr. 18

Sériové spojenie odporov

a) Schéma zapojenia s odpormi do série



b) Schéma zapojenia s výsledným odporom



Dôkaz vzťahu (43):

Učiteľ zdôrazní, že vzťah (43) vyplýva z platnosti základného zákona obvodu - II. Kirchhoffovho zákona. Na výpočet napätí na odporoch sa použije Ohmov zákon.

Pri použití metódy rozhovoru, rovnice pre obidva obvody na obr. 18 vyslovia žiaci (predtým sa musia označiť polaritu napätí na zdroji a odporoch a tie zvoliť smer obehu slučky).

Pre obvod na obr. 18a:

$$U - U_3 - U_2 - U_1 = 0 \quad \text{[45]}$$

Pre obvod na obr. 18b:

$$U - U_R = 0 \quad \text{[46]}$$

Po úprave:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad \text{[45a]}$$

$$U = U_R \quad \text{[46a]}$$

Porovnaním vzťahov [45a] a [46a] vyplýva, že súčet napätí na odporoch v sérii musí byť rovný napätiu na výslednom odpore:

$$U_R = U_1 + U_2 + U_3 \quad \text{[47]}$$

Pre napätia na odporoch platí Ohmov zákon - matematické vzťahy vyslovia žiaci:

$$U_1 = R_1 \cdot I \quad \text{[48]}$$

$$U_2 = R_2 \cdot I \quad \text{[49]}$$

$$U_3 = R_3 \cdot I \quad \text{[50]}$$

$$U_R = R \cdot I \quad \text{[51]}$$

Po dosadení vzťahov [47], [48], [49] a [50] do vzťahu [46] dostávame:

$$R \cdot I = R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_3 I_3 \quad \text{a z toho}$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad \text{[43]}$$

Príklad 1: Tri odpory s hodnotami 10Ω , 20Ω a 30Ω . spojíme do série. Aký je výsledný odpor?

Výsledok: 60.0Ω .

b) Paralelné spojenie rezistorov

Učiteľ použije rovnaké vyučovacie metódy a metodický postup ako v prípade učiva o sériovom spojení odporov.

Vzťah na výpočet výsledného odporu

Pre výsledný odpor R paralelného spojenia odporov R_1 , R_2 a R_3 , podľa obr. 19 platí:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad [52]$$

alebo

$$G = G_1 + G_2 + G_3 \quad [53]$$

obecne:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad [54]$$

alebo

$$G = G_1 + G_2 + \dots + G_n \quad [55]$$

Slovami: Pri paralelnom spojení rezistorov prevrátená hodnota výsledného odporu je rovná súčtu prevrátených odporov jednotlivých rezistorov.

Alebo: Hodnota výslednej vodivosti je rovná súčtu hodnôt vodivostí jednotlivých rezistorov.

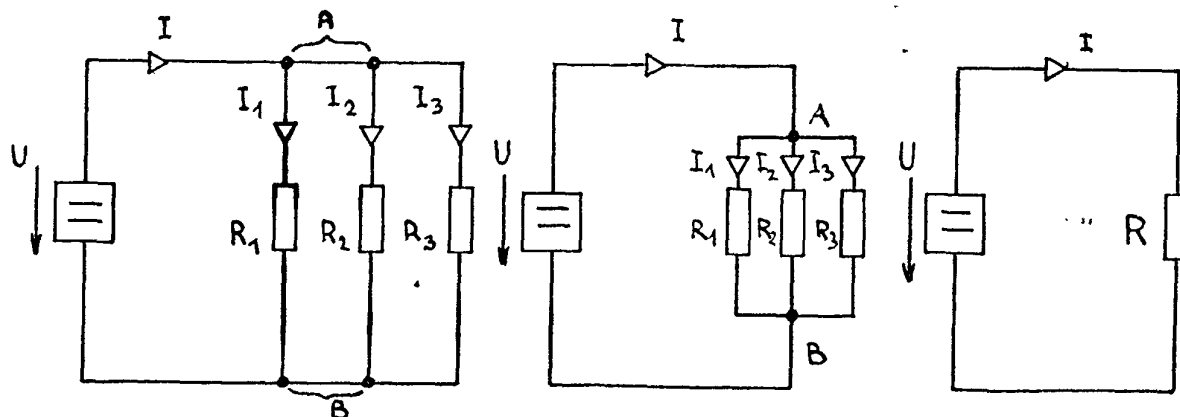
Obr. 19

Paralelné spojenie rezistorov

a) Schéma zapojenia obvodu

b) Schéma zapojenia obvodu (po pre-kreslení)

c) Schéma zapojenia s výsledným odporom



Poznámka: Učiteľ učí žiakov kresliť schémy zapojenia zložitých el. obvodov. Zdôrazní, že schémy zapojenia na obr. 19a a na obr. 19b predstavujú ten istý obvod.

Dôkaz vzťahu(52):

Učiteľ opäť zdôrazní, že vzťah (52) **vyplýva z platnosti základných zákonov obvodu** - I. a II. Kirchhoffovho zákona. Na výpočet napätí na odporoch sa použije Ohmov zákon. Rovnicu podľa I. Kirchhoffovho zákona pre obvod na obr. 19a vyslovia žiaci.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad \text{[56]}$$

Žiaci uvedú aj vzťahy pre výpočet napätia na odporoch podľa Ohmovho zákona:

$$I_1 = \frac{U_{AB}}{R_1} \quad \text{[57]} \qquad I_2 = \frac{U_{AB}}{R_2} \quad \text{[58]}$$

$$I_3 = \frac{U_{AB}}{R_3} \quad \text{[59]} \qquad I = \frac{U_R}{R} \quad \text{[60]}$$

Podľa II. Kirchhoffovho zákona platí:

pre obvod na obr. 19a

pre obvod na obr. 19c

$$U = U_{AB} \quad \text{[61]} \qquad U_R = U \quad \text{[62]}$$

Porovnaním vzťahov [61] a [62] dostávame:

$$U_{AB} = U_R = U \quad \text{[63]}$$

Po dosadení vzťahov [57], [58], [59] a [60] do [56] a s prihliadnutím na vzťah [63] dostávame:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

a z toho

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \text{[52]}$$

alebo

$$G = G_1 + G_2 + G_3 \quad \text{[53]}$$

Príklad 2: Tri odpory s hodnotami 40Ω , 100Ω , 200Ω spojíme paralelne. Aký je výsledný odpor?

Výsledok: $R = 25\Omega$

Príklad 3: Odvoďte vzťah na výpočet výsledného odporu

a) dvoch odporov spojených paralelne

b) n rovnakých odporov R_1 spojených paralelne

Výsledok: a) $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ b) $R = \frac{R_1}{n}$

c) Sériovoparalelné spojenie rezistorov

Učiteľ vysvetlí, že najprv sa vypočítajú výsledné odpory paralelných skupín odporov; tým sa obvod zjednoduší na sériové spojenie odporov v obvode.

Príklad 4: Vypočítajte výsledný odpor sériovoparalelného spojenia odporov, ak s paralelne spojenými $R_1 = 6\Omega$ a $R_2 = 4\Omega$ je do série spojený $R_3 = 10\Omega$.

Výsledok: $R = 12,4\Omega$

d) Spájanie zdrojov

Ak spotrebič vyžaduje väčší prúd ako môže poskytnúť jeden zdroj (článok), alebo ak potrebný prúd v obvode má byť väčší než je prúdové zaťaženie jedného zdroja, potom sa spájajú viaceré zdroje, čím vzniká tzv. **batéria**. Zdroje možno spájať:

- do série
- paralelne
- sériovoparalelne
- v protispojení.

Sériové spojenie zdrojov sa používa, ak spotrebič **vyžaduje väčší prúd** ako môže poskytnúť jeden zdroj. Podmienkou podstatného

zvýšenia prúdu v obvode však je, aby vnútorný odpor zdroja R_{i1} , bol menší ako odpor spotrebiča R ($R_{i1} < R$).

Paralelné spojenie zdrojov sa tiež používa na dosiahnutie **väčšieho prúdu cez spotrebič** ako môže poskytnúť jeden zdroj; podmienka je teraz $R_{i1} > R$. Paralelné spojenie zdroja sa však používa aj keď $R_{i1} < R$ vtedy, keď by bol **prúd pretekajúci spotrebičom väčší než je dovolené zaťaženie** jedného zdroja; prúd pretekajúci spotrebičom sa rozdelí medzi vetvy s paralelne spojenými zdrojmi.

Učivo o spájaní zdrojov je uvedené v učebnici Franko, Hajach "Základy elektrotechniky". Učiteľ pri uvádzaní príslušných matematických vzťahov opäť zdôrazní, že tieto vzťahy **vyplývajú z I. a II. Kirchhoffovho zákona**.

Pre n zdrojov (článkov) s rovnakými vnútornými napätiami a vnútornými odpormi platí:

$$U_{01} = U_{02} = \dots = U_{0n} \quad [64]$$

$$R_{i1} = R_{i2} = \dots = R_{in} \quad [65]$$

Pri spojení n rovnakých zdrojov **do série** je vnútorné napätie U_0 a vnútorný odpor R_i batérie:

$$U_0 = n \cdot U_{01} \quad [66]$$

$$R_i = n \cdot R_{i1} \quad [67]$$

Pri spojení n rovnakých zdrojov **paralelne** platí:

$$U_0 = U_{01} \quad [68]$$

$$R_i = \frac{R_{i1}}{n} \quad [69]$$

Učiteľ spolu so žiakmi odvodí napr. vzťah (69). Podľa I. Kirchhoffovho zákona pre obvod na obr. 20a platí:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

70

alebo po úprave platí:

$$I = n \cdot I_1 \quad (70a)$$

pretože pri paralelnom spojení rovnakých zdrojov pretekajú zdrojmi rovnaké prúdy. Ak totiž aplikujeme II. Kirchhoffov zákon, napr. na slučku $U_{o1} - R_{i1} - R_{i2} - U_{o2}$, potom dostávame:

$$U_{o1} - R_{i1}I_1 + R_{i2}I_2 - U_{o2} = 0 \quad \text{[71]}$$

a keďže $U_{o1} = U_{o2}$ a $R_{i1} = R_{i2}$, potom musí platiť vzťah [70a]

Ďalej podľa II. Kirchhoffovho zákona pre svorkové napätie U batérie platí:

pre schému na obr. 20a

pre schému na obr. 20b

$$U = U_{o1} - I_1 R_{i1} \quad \text{[72]}$$

$$U = U_o - I R_i \quad \text{[73]}$$

Porovnaním vzťahov [72] a [73] s použitím vzťahu [68] vyplýva:

$$I_1 R_{i1} = I R_i \quad \text{[74]}$$

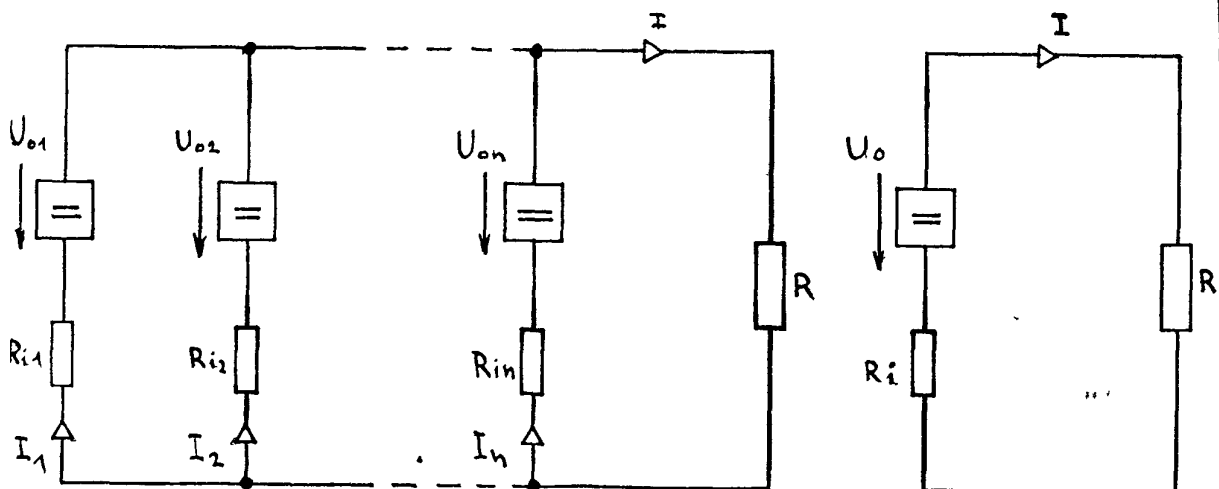
Po dosadení vzťahu [70a] do [74] a úprave dostaneme vzťah [69].

Obr. 20

Paralelné spojenie zdrojov

a) n zdrojov spojených paralelne

b) náhradná schéma zapojenia



Príklad 5: Vypočítajte prúd I cez spotrebič a svorkové napätie U zdroja, ak spotrebič s hodnotou odporu $R = 10\Omega$ je pripojený na

a) jeden zdroj ($U_{o1} = 2,5 \text{ V}$ a $R_{i1} = 1\Omega$)

b) osem rovnakých zdrojov spojených do série.

Výsledok: a) $I = 0,23 \text{ A}$
 $U = 2,27 \text{ V}$

b) $I = 1,11 \text{ A}$
 $U = 11,12 \text{ V}$

Príklad 6: Vypočítajte prúd I cez spotrebič a svorkové napätie U zdroja, ak spotrebič s hodnotou odporu $R = 0,2\Omega$ je pripojený na

a) jeden zdroj ($U_{o1} = 2,5 \text{ V}$ a $R_{i1} = 1\Omega$)

b) osem rovnakých zdrojov spojených paralelne.

Výsledok: a) $I = 2,08 \text{ A}$
 $U = 0,42 \text{ V}$

b) $I = 7,69 \text{ A}$
 $U = 1,54 \text{ V}$

3. Transfigurácia spojenia odporov

Učiteľ použije čiastkovo-zisťovaciu problémovú metódu. Uvedie el. obvod -zapojenie rezistorov do Wheatstoneovho mostíka, obr. 17a a stanoví prvý čiastkový problém: "Ako sa vypočíta výsledný odpor zapojenia odporov do Wheatstoneovho mostíka?" Žiaci navrhujú nesprávne spôsoby riešenia (napr. ako sériovoparalelné spojenie), až sa dopracujú k správnej odpovedi: "Zapojenie nepredstavuje doteraz žiadnu známu kombináciu odporov a preto výsledný odpor nie je možné vypočítať vzťahmi pre sériové a paralelné spojenie odporov".

Učiteľ vysvetlí, že v obvode sa môže vyskytnúť situácia, keď sú tri odpory zapojené do tzv. **odporového trojuholníka**. V tom prípade treba zapojenie do trojuholníka nahradiť rovnocenným zapojením odporov do tzv. **odporovej hviezdy**. Premena zapojenia odporov do trojuholníka na hviezdu (resp. naopak), sa nazýva **transfigurácia odporov**.

Transfiguráciou sa nesmú zmeniť pomery v el. obvode, t.j. potenciály bodov A, B, a C, obr. 21, musia byť rovnaké pred i po transfigurácii.

Učiteľ stanoví ďalší čiastkový problém: "Uved'te základné predpoklady pre transfiguráciu odporov!". Žiaci dávajú rôzne

návrhy až vyslovia správne predpoklady, z ktorých je možné odvodiť transfiguračné vzťahy:

$$R_{AB} \lambda = R_{AB} \Delta \quad [75]$$

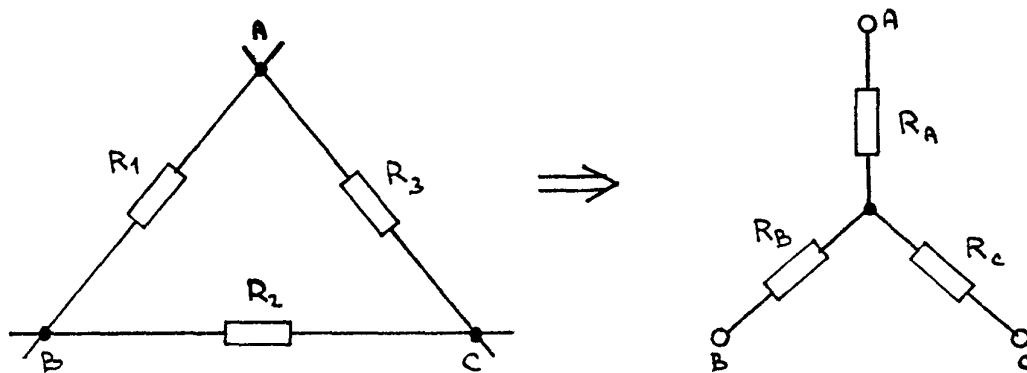
$$R_{BC} \lambda = R_{BC} \Delta \quad [76]$$

$$R_{AC} \lambda = R_{AC} \Delta \quad [77]$$

Slovami: Výsledné odpory medzi bodmi A-B, B-C, A-C pri spojení odporov do trojuholníka sa musia rovnať výsledným odporom medzi tými istými bodmi po premene do hviezdy.

Obr. 21

Transfigurácia odporov

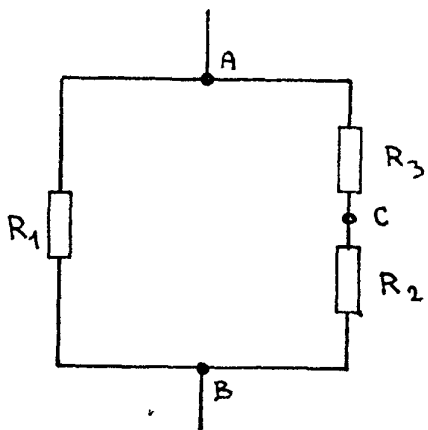


Stanoví sa ďalšia úloha: "Odvoďte transfiguračné vzťahy!". Žiaci za pomoci učiteľa určia najprv odpory $R_{AB} \Delta$ a $R_{AB} \lambda$. Uvedú: "Odpor $R_{AB} \Delta$ je výsledným odporom paralelného spojenia odporov R_1 a $R_2 + R_3$. Odpor $R_{AB} \lambda$ je výsledným odporom sériového spojenia odporov R_A a R_B , obr. 22.

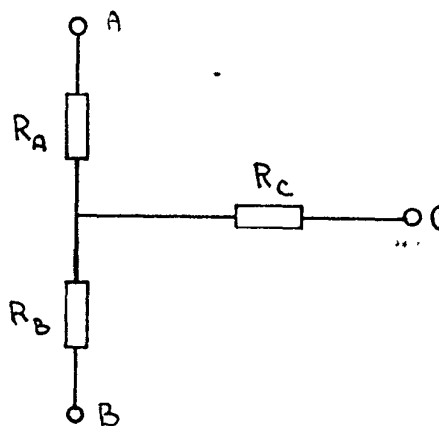
Obr. 22

Odvodenie transfiguračných vzorcov

a) výsledný odpor R_{AB}



b) výsledný odpor R_{AB}



Platí:

$$R_{AB\Delta} = \frac{R_1 \cdot (R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \quad [78]$$

$$R_{AB\Delta} = R_A + R_B \quad [79]$$

Po dosadení vzťahov [78] a [79] do [75] bude:

$$R_A + R_B = \frac{R_1 \cdot (R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \quad [75a]$$

Rovnakým postupom sa určia výsledné odpory medzi bodmi B - C a A - C a po dosadení do [76] a [77] bude:

$$R_A + R_C = \frac{R_3 \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3} \quad [76a]$$

$$R_B + R_C = \frac{R_2 \cdot (R_1 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \quad [77a]$$

Rovnice [75a], [76a] a [77a] predstavujú sústavu rovníc s 3-mi neznámymi hodnotami R_1 , R_2 , R_3 .

Učiteľ stanoví poslednú úlohu: "Vypočítajte odpory hviezd R_A , R_B a R_C !"
 Žiaci vidia, že ide už iba o matematickú úlohu. Na riešenie uvedenej sústavy rovníc je výhodné použiť sčítaciu metódu - od súčtu rovníc [75a] a [76a] odčítame rovnicu [77a] a podelíme dvomi, čím získame R_A :

$$R_A = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad [80]$$

Rovnakým postupom dostaneme R_B a R_C :

$$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \quad [81]$$

$$R_C = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad [82]$$

Všeobecná definícia výpočtu odporov hviezdy zo známych odporov trojuholníka je: Odpor hviezdy vypočítame tak, že súčin hodnôt k nemu príľahlých odporov trojuholníka vydelíme súčtom hodnôt všetkých troch odporov trojuholníka.

Na záver učiteľ zdôrazní, že transfiguračné vzorce sme odvodili na základe vzťahov pre sériové a paralelné spojenie odporov, ktoré vyplývajú z I. a II. Kirchhoffovho zákona.

Príklad 1: Wheatstoneov mostík podľa obr. 17 má tieto hodnoty odporov:

$R_1 = 25\Omega$, $R_2 = 10\Omega$, $R_3 = 40\Omega$, $R_4 = 35\Omega$, $R_5 = 5\Omega$. Aký bude celkový odpor R mostíka?

Riešenie: $R_A = 6,25\Omega$
 $R_B = 3,125\Omega$
 $R_D = 1,15\Omega$
 $R_{EC} = 19,62\Omega$
 $R = R_A + R_{EC} = 25,87\Omega$

4. Riešenie obvodov jednosmerného prúdu

a) Riešenie jednoduchého obvodu s jedným zdrojom

Učiteľ zdôrazní, že obvody jednosmerného prúdu sa riešia na základe platnosti **základných zákonov el. obvodu - I. a II. Kirch. zákona**. Na výpočet napätí na odporoch platí Ohmov zákon.

Pod **riešením jednoduchého obvodu** s jedným zdrojom rozumieme najčastejšie výpočet prúdu v obvode pri známych hodnotách napätia zdroja a odporov. Učiteľ vysvetlí postup riešenia použitím metódy rozhovoru.

Pre obvod na obr. 23 podľa II. Kirchhoffovho zákona platí (rovniciu vyslovia žiaci, predtým vyznačia šípkami kladné smery napätí na zdroji a odporoch a vyznačia smer obehu slučky):

$$U_0 - U_1 - U_{V2} - U_R - U_{V1} = 0$$

a po úprave

$$U_0 = U_i + U_{V1} + U_{V2} + U_R \quad \text{[83]}$$

$$U_i = R_i \cdot I \quad \text{[84]}$$

Podľa Ohmovho zákona platí:

$$U_V = U_{V1} + U_{V2} = (R_{V1} + R_{V2}) \cdot I = R_V \cdot I \quad \text{[85]}$$

$$U_R = R \cdot I \quad \text{[86]}$$

Po dosadení vzťahov [84], [85], [86] do [83] a po úprave dostávame:

$$U_0 = (R_i + R_V + R) \cdot I$$

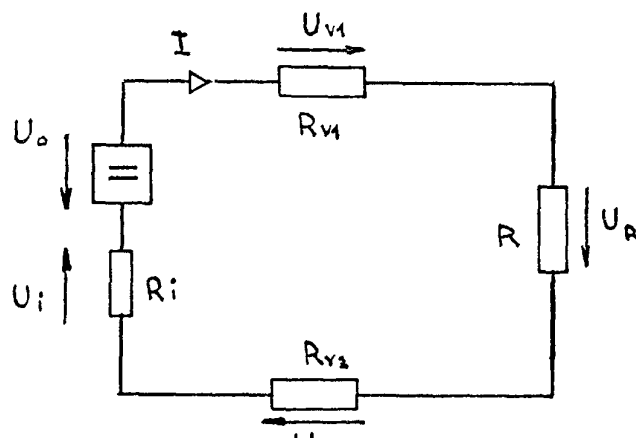
a z toho

$$I = \frac{U_0}{R_0} \quad \text{[87]}$$

kde $R_0 = R + R_V + R_i$ je celkový (výsledný) odpor jednoduchého obvodu.

Obr. 23

Riešenie jednoduchého el. obvodu



Príklad 1: Vnútročné napätie dynama $U_0 = 120 \text{ V}$, vnútorný odpor $R_i = 0,5 \Omega$, odpor spotrebiča $R = 20 \Omega$. Dvojvodičové Cu vedenie má dĺžku 100 m, prierez 2 mm^2 a teplota je 20°C . Vypočítajte prúd I , svorkové napätie U dynama a aký prúd I_k by tiekol pri stave nakrátko!

Výsledok: Najprv sa nakreslí schéma zapojenia a potom sa obvod vyrieši.

a) $R_0 = 22,28 \Omega$

b) $U = 117,37 \text{ V}$

$I = 5,26 \text{ A}$

c) $I_k = 240 \text{ A}$

b) Riešenie zložitého obvodu s jedným zdrojom

Obvod sa rieši rovnicami podľa I. a II. Kirchhoffovho zákona. V prípade zložitého obvodu s **jedným zdrojom** však **vystačíme so vzťahmi pre výpočet výsledných odporov pri sériovom a paralelnom spojení odporov a s transfigurovanými vzorcami**. Učiteľ vysvetlí postup riešenia na konkrétnom príklade, použije čiastkovo-zisťovaciu problémovú metódu.

Príklad 2: Vypočítajte prúdy I_1 , I_2 , I_3 v obvode znázornenom na obr.

24a. Napätie zdroja $U = 12 \text{ V}$, hodnoty odporov $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $R_3 = 3 \Omega$.

Postup riešenia: Učiteľ stanoví prvú úlohu: "Vypočítajte výsledný odpor daného spojenia odporov".

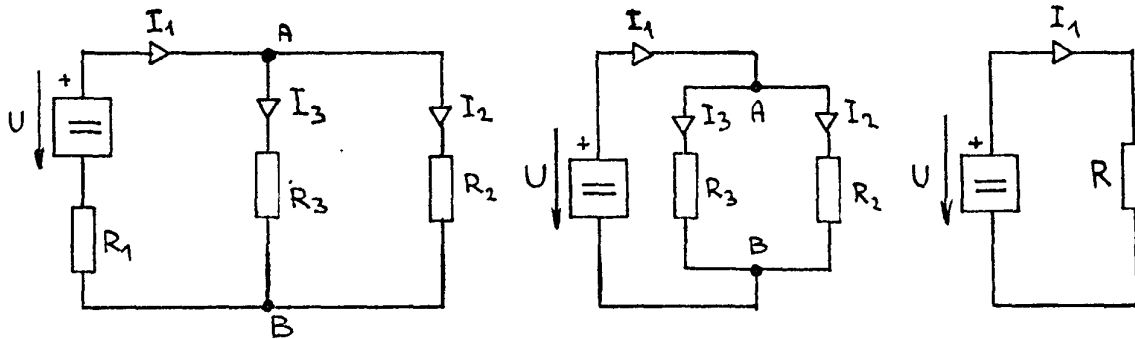
Obr. 24

Zložitý obvod s jedným zdrojom

a)

b)

c)



Úlohu žiaci riešia samostatne. Po konštatovaní, že ide o paralelné spojenie odporov, vypočítajú najprv výsledný odpor paralelného spojenia odporov R_{ab} , obr. 24b a potom celkový výsledný odpor R , obr. 24c.

$$R_{AB} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \quad [88]$$

$$R = R_{AB} + R_1 \quad [89]$$

Stanoví sa druhá úloha: "Odvoďte vzťah na výpočet prúdu I , pretekajúceho vetvou, v ktorej sa nachádza zdroj L ".

Žiaci postupujú samostatne, pretože riešenie jednoduchého obvodu už ovládajú. Na základe II. Kirchhoffovho zákona pre schému zapojenia na obr. 24c platí:

$$U - U_R = 0 \quad [90]$$

Pre napätie na výslednom odpore R podľa Ohmovho zákona

$$U_R = I \cdot R \quad [91]$$

Po dosadení vzťahu (91) do (90) a úprave dostávame:

$$I_1 = \frac{U}{R} \quad [92]$$

Stanoví sa tretia úloha: "Vypočítajte napätie U_{AB} !" Pre obvod na obr. 24b podľa II. Kirchhoffovho zákona platí:

$$U - R_1 I_1 - U_{AB} = 0 \quad [93]$$

a z toho $U_{AB} = U - R_1 I_1$

Stanoví sa štvrtá úloha: "Vypočítajte prúdy I_2 a I_3 !" Prúdy vypočítajú žiaci na základe Ohmovho zákona:

$$I_2 = \frac{U_{AB}}{R_2} \quad [94] \quad I_3 = \frac{U_{AB}}{R_3} \quad [95]$$

Vypočítané hodnoty:

$$\begin{array}{lll} R_{AB} = 1,2 \, \Omega & I_1 = 1,93 \, \text{A} & I_2 = 1,16 \, \text{A} \\ R = 6,2 \, \Omega & U_{AB} = 2,32 \, \text{V} & I_3 = 0,77 \, \text{A} \end{array}$$

Skúška správnosti. Podľa I. Kirchhoffovho zákona musí platiť:

$$I_1 = I_2 + I_3$$

po dosadení:

$$1,93 = 1,16 + 0,77$$

c) Riešenie zložitého el. obvodu s viacerými zdrojmi

Učiteľ zdôrazní, že obecné **každý zložitý (i jednoduchý) el. obvod** jednosmerného prúdu možno vyriešiť základnou metódou

riešenia - **metóda riešenia rovnicami I. a II. Kirchhoffovho zákona**. Učiteľ vysvetlí postup riešenia na konkrétnom príklade; použije opäť čiastkovo-zisťovaciu problémovú metódu (alebo metódu rozhovoru).

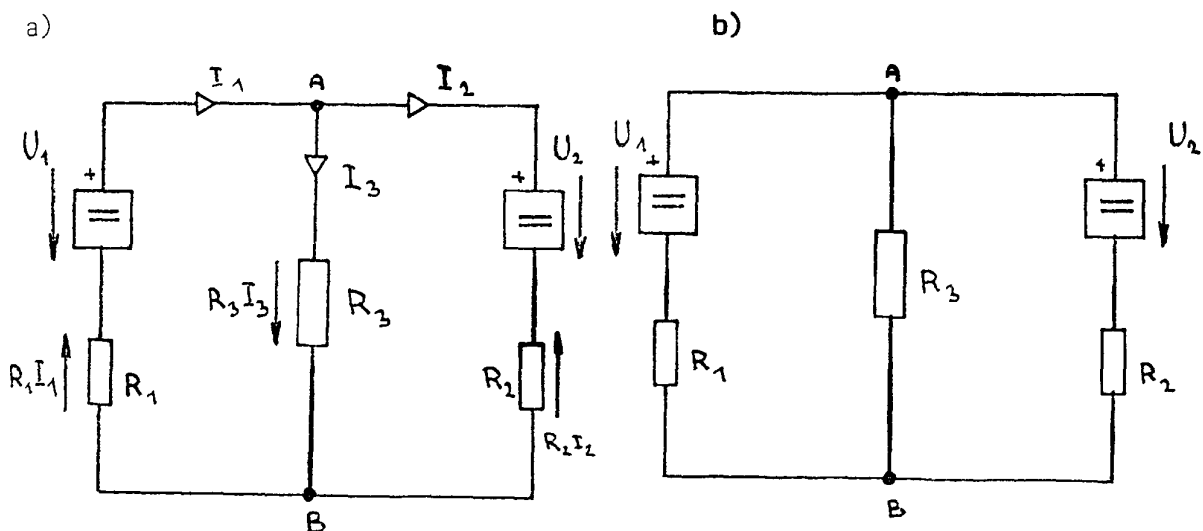
Zároveň učiteľ vysvetlí, že existuje **obecný postup (algoritmus) riešenia obvodu** rovnicami podľa I. a II. Kirchhoffovho zákona (pozri kapitolu 2.3. "Zručnosti a návyky v elektrotechnike"). Tento postup treba vždy dodržať pri riešení obvodu uvedenou metódou riešenia.

Neznáme hodnoty, ktoré treba vypočítať, bývajú zvyčajne hodnoty prúdov vo vetvách obvodu. Neznáme však môžu byť aj hodnoty iných veličín, napr. v danej vetve je známa hodnota napätia zdroja a hodnota prúdu a neznáma je hodnota odporu.

Príklad 3: Riešte obvod znázornený na obr. 25. Napätia zdrojov majú hodnoty $U_1 = 12 \text{ V}$, $U_2 = 12 \text{ V}$ a hodnoty odporov sú $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $R_3 = 3 \Omega$.

Obr. 25

Zložitý obvod s viacerými zdrojmi



Učiteľ stanoví prvú úlohu: "Urobte analýzu obvodu a stanovte hodnoty, ktorých veličiny treba vypočítať!" Žiaci vykonajú analýzu obvodu:

uzly: 2

vetvy: 4

slučky: 3

Odpovedajú, že treba vypočítať hodnoty troch prúdov. Keďže nepoznáme skutočné smery, zvolia sa pre prúdy ľubovoľné smery pomocou šípiek, obr. 25b. Na vyriešenie obvodu sú potrebné 3 rovnice o troch neznámych.

Stanoví sa druhá úloha: "Napíšte potrebné rovnice podľa I. a II. Kirch. zákona pre daný obvod." Žiaci napíšu rovnicu podľa Kirch. zákona pre uzol A:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad [96]$$

Zistia, že ďalšiu rovnicu podľa I. Kirch. zákona (pre uzol B) nemožno použiť; v uzle B sa totiž stretávajú tie isté prúdy I_1 , I_2 , I_3 ako v uzle A.

Ďalšie rovnice sa napíšu na základe II. Kirch. zákona. Vyznačia sa šípkami polaritu napätí na odporoch (podľa smeru prúdov) a na zdrojoch sa zvolí smer obehu sčítania napätí vo zvolených slučkách. Pre slučku A - zdroj U_1 - B - A:

$$U_1 - I_1 R_1 - I_3 R_3 = 0$$

[~97~]

Pre slučku A - B - zdroj U2 - A:

$$I_3 R_3 - I_2 R_2 - U_2 = 0$$

[-98_7

Ďalšia úloha: "Vypočítajte hodnoty prúdov I_1 , I_2 , I_3 !". Použije sa napr. metóda riešenia rovníc pomocou determinantov. Po dosadení číselných hodnôt a úprave rovníc dostávame:

$$\begin{array}{rrcr} I_1 & - I_2 & - I_3 & = 0 \\ -5I_1 & & -3I_3 & = -12 \\ & -2I_2 & +3I_3 & = 12 \end{array}$$

Pomocou kalkulačky sa určia hodnoty determinantov D , D_1 , D_2 a D_3 , a vypočítajú sa hodnoty prúdov:

$$I_1 = \frac{D_1}{D} = \frac{-24}{-31} = 0,77 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{D_2}{D} = \frac{60}{-31} = -1,93 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{D_3}{D} = \frac{-84}{-31} = 2,7 \text{ A}$$

Hodnota prúdu I_2 vyšla so záporným znamienkom. Znamená to, že skutočný smer I_2 je opačný ako bol zvolený smer.

Skúška správnosti:

Po dosadni do rovnice I. Kirchhoffovho zákona (96) :

$$0,77 - (-1,93) = 2,7$$

$$2,7 = 2,7$$

Okrem doteraz prebratého základného učiva osvojujú si žiaci aj ďalšie **rozvíjajúce (vedľajšie) vedomosti** o riešení obvodov jednosmerného prúdu. Tam možno zaradiť:

- **ďalšie metódy riešenia obvodov jednosmerného prúdu.** V učebnici Franko, Hajach "Základy elektrotechniky" je uvedená napr. metóda slučkových prúdov. V podstate táto metóda vychádza opäť zo základných zákonov obvodu - z I. a II. Kirchhoffovho zákona. Použitie tejto metódy je však veľmi výhodné, pretože umožní riešiť el. obvod s najmenším počtom rovníc. Napr. v prípade Wheatstoneovho mostíka je pri riešení metódou rovníc podľa I. a II. Kirchh. zákona potrebných 6 rovníc (v obvode je 6 vetví), pri metóde slučkových prúdov postačia iba 3 rovnice.
- **zmena meracieho rozsahu ampérmetra a voltmetra.** Učebné osnovy elektrotechniky predpisujú vysvetliť žiakom odvodenia vzťahu na výpočet odporu bočného R_b , pri danom odpore systému R_s (zmena rozsahu ampérmetra) a tiež vzťah na výpočet odporu predraníka R_p (zmena rozsahu voltmetra). V oboch prípadoch ide opäť o praktické kombinácie I. a II. Kirchhoffovho zákona.

5. Preverovanie vedomostí

a) Písomná skúška - riešenie príkladov

Skupina A

Príklad 1: Na konci vedenia z Fe drôtu dĺžky 25 km a priemeru 3 mm je zapojené relé s odporom $R_r = 350\Omega$. Odpor

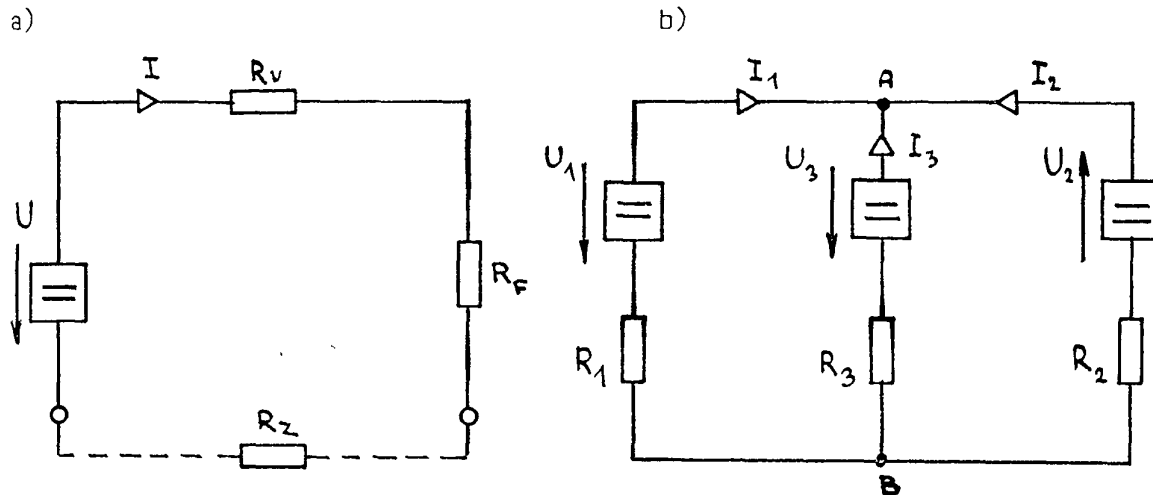
uzemnenia odhadneme na $R_Z = 50\Omega$. Aké musí byť vnútorné napätie U batérie na začiatku vedenia, keď relé potrebuje prúd $I = 5 \text{ mA}$. Vnútorný odpor batérie má zanedbateľnú hodnotu ($R_i = 0\Omega$), pozri obr. 26a.

$$\text{Výsledok: } R_C = 709\Omega$$

$$U = 3,5 \text{ V}$$

Obr. 26

Obvody jednosmerného prúdu



Príklad 2: Riešte obvod znázornený na obr. 26b. Napätie zdrojov majú hodnoty $U_1 = 20 \text{ V}$, $U_2 = 10 \text{ V}$, $U_3 = 20 \text{ V}$ a odpory $R_1 = 7\Omega$, $R_2 = 5\Omega$, $R_3 = 3\Omega$.

$$\text{Výsledok: } I_1 = \frac{D_1}{D} = \frac{90}{71} = 1,26 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{D_2}{D} = \frac{-300}{71} = -4,22 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{D_3}{D} = \frac{210}{71} = 2,96 \text{ A}$$

Skupina B

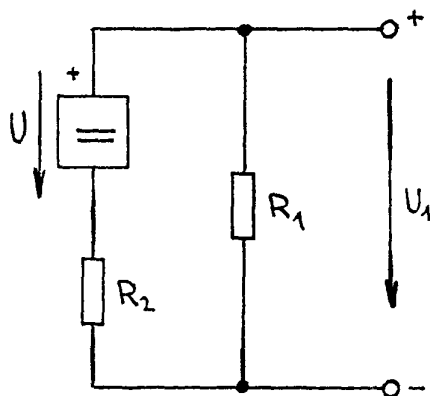
Príklad 1: Vypočítajte počet paralelne spojených zdrojov, aby obvodom tiekol prúd minimálnej hodnoty 5 A. Vnútorne napätie každého článku je $U_1 = 2,5 \text{ V}$ a vnútorný odpor $R_{i1} = 2 \Omega$. Vonkajší odpor $R = 0,3 \Omega$.

Výsledok: 5 článkov.

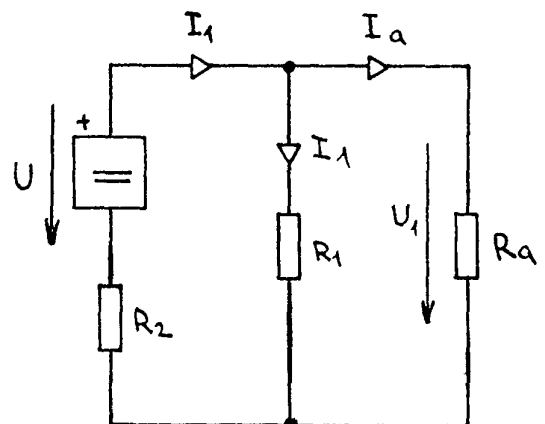
Obr. 27

Obvody jednosmerného prúdu

a)



b)



Príklad 2: Jednosmerná sieť $U = 120 \text{ V}$ dodáva anódový prúd rádioprijímaču. Potrebne nižšie anódové napätie U_1 berieme z potenciometra, ktorý má celkový odpor $R = 10\,000 \Omega$; napätie U_1 sa odoberá z hodnoty $R_1 = 8\,000 \Omega$ ($R_1 + R_2$). Vypočítajte anódové napätie U_1 , keď:
a) neodoberá sa prúd, obr. 27a
b) odoberá sa prúd $I_a = 0,02 \text{ A}$, obr. 27b.

Výsledok: a) $U_1 = 96 \text{ V}$

b) $U_1 = 64 \text{ V}$ (obvod sa rieši rovnicami podľa I. a II. Kirchhoffovho zákona, neznáme veličiny sú I , I_1 , R_a ,
 $R_a = 3\,200 \Omega$, $I = 0,028 \text{ A}$, $I_1 = 0,008 \text{ A}$.)

V. V. tematický celok: ZÁKLADY ELEKTROCHÉMIE

1. Prúdové pole v elektrolytoch

a) Miesto v systéme základných vedomostí

V tomto tematickom celku si žiaci osvoja základné pojmy a zákony (I. a II. Faradayov zákon), charakterizujúce prechod **ustáleného jednosmerného prúdu kvapalným vodičom**; tiež sa oboznámia s **elektrochemickými zdrojmi el. prúdu**.

Pri osvojovaní základných vedomostí o **prúdovom poli v elektrolytoch** môže učiteľ postupovať nasledovne:

- predvedie pokus, ktorým demonštruje prechod el. prúdu elektrolytom
- použitím metódy výkladu a rozhovoru vysvetlí základné pojmy (elektrolyt, disociácia molekúl, elektrolýzy a pod.)
- použitím metódy výkladu alebo problémového výkladu vysvetlí podstatu prechodu prúdu elektrolytom
- uvedie príklad elektrolýzy (napr. vodného roztoku kyseliny sírovej)
- použitím čiastkovo-zisťovacej problémovej metódy vysvetlí I. a II. Faradayov zákon
- žiaci vypočítajú konkrétne príklady
- vysvetlí použitie elektrolýzy v praxi.

b) Demonštračný pokus

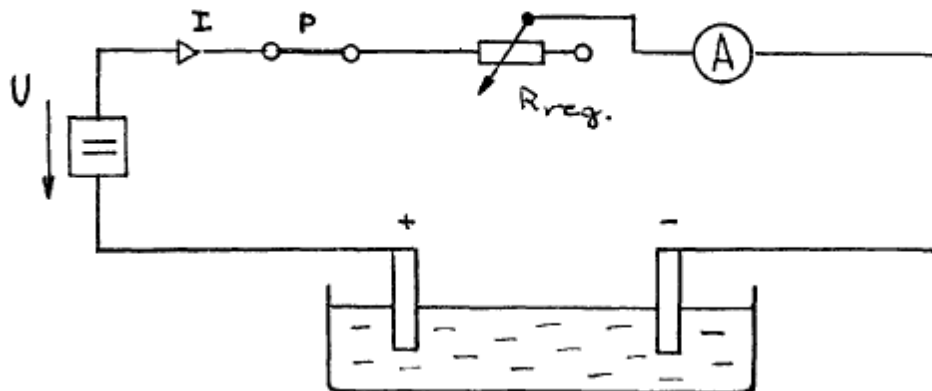
Namiesto pokusu možno premietnuť film. Pri predvedení pokusu laboratórnym spôsobom v učebni sa použijú nasledovné objekty a prístroje: zdroj jednosmerného prúdu (napr. akumulátor), magnetoelektrický ampérmeter, regulačný rezistor 18Ω ; 2,5 A, nádobu zo skla (alebo z inej kyselinám vzdorujúcej hmoty) s vhodnými elektródami, elektrolyt (napr. vodný roztok H_2SO_4 alebo $CuSO_4$), spínač a spojovacie vodiče.

Postup pri meraní:

Učiteľ zostaví el. obvod podľa schémy zapojenia na obr. 28. Stručne oboznámi žiakov s prvkami obvodu a ich funkciami. Keď sa el. obvod uzavrie, ampérmeter ukáže výchylku, t.j. obvodom preteká prúd. To je dôkaz, že **jednosmerný prúd prechádza elektrolytom**. Žiaci tiež pozorujú, že na elektródach sa vytvárajú bublinky plynov, ktoré vystupujú nad hladinu roztoku. Elektrolyt sa prechodom jednosmerného prúdu rozkladá - jav sa nazýva **elektrolýza**.

Obr. 28

Prechod elektrického prúdu elektrolytom



c) Základné pojmy

Učiteľ pri vysvetľovaní použije okrem výkladu aj metódu rozhovoru, pretože niektoré pojmy si žiaci už osvojili v iných

predmetoch alebo na predchádzajúcich hodinách elektrotechniky.

Sú to pojmy:

- kladné a záporné ióny (katióny a anióny)
- kladná a záporná elektróda (anóda a katóda)
- **elektrolyt** (kvapalný vodič) - je roztok (alebo tavenina) rozpustnej látky a rozpúšťadla. Napr. vodné roztoky kyselín, zásad alebo solí
- **disociácia** - molekuly rozpustnej látky sa v rozpúšťadle rozštiepia na ióny (napr. molekula H_2SO_4 , na dva katióny H^{+1} a anión $(\text{SO}_4)^{-2}$, molekula CuSO_4 , na Cu^{+2} a $(\text{SO}_4)^{-2}$).

d) Vysvetlenie podstaty prechodu prúdu elektrolytom

Učiteľ použije metódu výkladu alebo problémového výkladu (pri vysvetľovaní si kladie otázky - problémy a sám ich rieši).

Po uzavretí obvodu sa stane jedna elektróda kladnou - anóda (pripojená na kladnú svorku zdroja) a druhá zápornou - katóda. Medzi elektródami v prostredí elektrolytu sa objaví **elektrické pole**.

Pôsobením el. poľa sa katióny začnú pohybovať ku katóde (t.j. kladné ióny k zápornej elektróde) a anióny k anóde. Keď katión dosiahne katódu, tak prijme od nej jeden alebo viac elektrónov (podľa mecenstva katiónu). Napr. $\text{H}^{+1} + \text{e}^{-} \rightarrow \text{H}$ alebo $\text{Cu}^{+2} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Cu}$. Takto sa realizuje prechod elektrónov z katódy do elektrolytu.

K anóde prichádzajú anióny; keď dosiahnu anódu, tak je odovzdajú nadbytočné elektróny. Napr. $(\text{SO}_4)^{-2} - 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{SO}_4$. Takto sa realizuje prechod elektrónov z elektrolytu na anódu. Uvedeným spôsobom prechádza el. prúd kvapalným vodičom. Prechod el. nábojov cez elektrolyt teda sprostredkujú ióny - **iónová vodivosť**.

Keď katióny prijímú od katódy elektróny alebo anióny ich odovzdajú anóde, stanú sa z nich neutrálne atómy alebo molekuly. Tie sa buď usadzujú na elektródach alebo unikajú do okolia elektródy alebo chemicky reagujú s elektrolytom, prípadne s

elektrodou (sú to tzv. sekundárne chemické reakcie a v okolí elektródy sa potom vylučuje produkt tejto reakcie).

Prechodom jednosmerného el. prúdu cez elektrolyt nastávajú teda chemické premeny v elektrolyte - **elektrolýza**; na rozdiel od prechodu prúdu kovovým vodičom, ktorého chemické zloženie a vlastnosti sa nemenia.

Príklad 1: Elektrolýza vodného roztoku kyseliny sírovej. K dispozícii sú platinové elektródy /nerozpustné, chemicky nereagujú).

Riešenie:

1. disociácia



Po pripojení na jednosmerné napätie nastane prechod prúdu nasledovným spôsobom:

2. na anóde

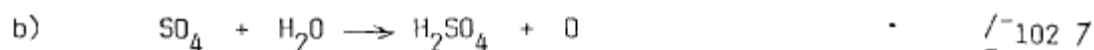


Vzťah (100) popisuje prechod prúdu z elektrolytu na katódu. Molekuly H_2 unikajú do okolia katódy.

3. na anóde



Vzťah (101) popisuje prechod prúdu z anódy do elektrolytu.



Dva atómy O sa zlúčia na molekulu O_2 , ktorá uniká do okolia anódy. Pri prechode jednosmerného prúdu vodným roztokom kyseliny

sírovej sa teda mení koncentrácia roztoku, pretože nastáva elektrochemický rozklad vody:



Uvedeným spôsobom je možné tiež vysvetliť polaritu jednosmerného zdroja - okolo záporného pólu sa tvorí viac bubliniek.

e) I. Faradayov zákon

Učiteľ vysvetlí, že množstvo vylúčenej látky na elektróde sa vypočíta na základe I. a II. Faradayovho zákona.

Vysvetľuje metódou výkladu alebo použitím čiastkovo-zisťovacej problémovej metódy nasledovným spôsobom.

Stanoví sa prvá úloha: "Čomu je úmerné množstvo vylúčenej látky na elektróde?". Žiaci si musia uvedomiť, že množstvo vylúčenej látky súvisí s prechodom el. nábojov cez elektrolyt. Vyslovia správnu odpoveď: "Množstvo látky vylúčenej napr. na katóde je úmerné množstvu elektrónov, ktoré prijali katióny od katódy, t.j. je úmerné el. množstvu, ktoré prešlo z elektrolytu na katódu."

Definícia I. Faradayovho zákona:

Hmotnosť látky m vylúčenej na elektróde je priamoúmerná el. množstvu Q , ktoré prejde elektrolytom.

Matematicky:

$$m = A \cdot Q \quad \left[\text{kg}; \text{kgC}^{-1}, \text{C} \right] \quad \text{[104]}$$

alebo

$$m = A \cdot I \cdot t \quad \left[\text{kg}; \text{kgC}^{-1}, \text{A}, \text{s} \right] \quad \text{[104a]}$$

Elektrochemický ekvivalent A (konštanta úmernosti) - číselne je rovný hmotnosti látky, ktorá sa vylúči na elektróde prechodom el. náboja 1 C.

Príklad 2: Koľko kg Cu sa vylúči z roztoku CuSO₄ prúdom $I = 50 \text{ A}$ za čas $t = 2 \text{ h}$. Elektrochemický ekvivalent dvojmocnej medi je $A = 0,3295 \cdot 10^{-6} \text{ kgc}^{-1}$ (z tabuliek).

Výsledok: $m = 0,1186 \text{ kg}$.

f) II. Faradayov zákon

Charakterizuje z atomárneho pohľadu proces vylučovania látky na elektróde pri prechode el. prúdu elektrolytom.

Učiteľ najprv použije metódu rozhovoru na zopakovanie základných pojmov, ktoré si žiaci osvojili v chémii:

- **chemická ekvivalencia** - chemicky ekvivalentné sú tie hmotnosti rôznych látok (prvkov alebo zlúčenín), ktoré v chemických reakciách (a tiež pri vylučovaní látok na elektródach) sa navzájom viažu bez zvyšku, t.j. môžu sa chemicky zastupovať. Chemická ekvivalencia súvisí jednak s látkovým množstvom (t.j. počtom atómov, resp. molekúl látky) a tiež s elektrovalenciou (mocnosťou) atómov, resp. molekúl látky;
- **látkové množstvo n** (jednotka je mól) - je to základná veličina sústavy SI a vyjadruje určitý počet atómov, resp. molekúl. Definícia jednotky: 1 mól (označenie 1 mol) je látkové množstvo sústavy, ktorá obsahuje práve toľko elementárnych jedincov (napr. atómov alebo molekúl), koľko je atómov v 0,012 kg uhlíka 12.

Poznámka: Počet častíc v 1 mole látky udáva Avogadrova konštanta

$$N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}.$$

- **mólová hmotnosť M_m** - je odvodená veličina, ktorá vyjadruje súvislosť medzi hmotnosťou m a látkovým množstvom n látky. M_m je číselne rovná hmotnosti 1 mólu chemicky čistej homogénnej látky:

$$M_m = \frac{m}{n}, \quad \left[\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}; \text{kg}, \text{mol} \right] \quad \text{[105]}$$

Číselne M_m je tiež rovná relatívnej atómovej, resp. molekulovej hmotnosti násobenej 10^{-3} , ktorá pre jednotlivé prvky sa zvyčajne uvádza v Mendelejevovej periodickej sústave chemických prvkov. Napr. $M_{m\text{Cu}} = 0,06354 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$.

– **elektrovalencia** z (iónové mecenstvo) - je to číslo udávajúce počet elementárnych nábojov pripadajúcich na ión;

– **valové množstvo** n_v - je to odvodená veličina a platí:

$$n_v = \frac{n}{z} \quad \left[\text{mol}; \text{mol}, 0 \right] \quad \text{[106]}$$

– **valová hmotnosť** M_v (chemický kilogramekvivalent) – je to odvodená veličina a platí:

$$M_v = \frac{M_m}{z} \quad \left[\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}, 0 \right] \quad \text{[107]}$$

$$\text{Např. } M_{v\text{Cu}+1} = 0,06354 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$M_{v\text{Cu}+2} = 0,03177 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Poznámka: V učebniciach elektrotechniky sa valová hmotnosť M_v nazýva chemický kilogramekvivalent.

Učiteľ zdôrazní, že **chemicky ekvivalentné sú valové hmotnosti látok** (t. j. chemické kilogramekvivalenty).

Stanoví sa úloha: "Akými el. nábojmi sa na elektródach vylúčia chemicky ekvivalentné hmotnosti látok a prečo?" Správnu odpoveď vyslovia žiaci: "Na vylúčenie chemicky ekvivalentnej hmotnosti,

napr. valovej hmotnosti látky, je potrebný vždy rovnaký náboj. Ak sa totiž na elektróde vylúčila jedna valová hmotnosť, potom počet iónov bol $6,023 \cdot 10^{23}$, ak boli jednomocné alebo $3,0115 \cdot 10^{23}$, ak boli dvojmocné, atď. Tieto počty iónov

predstavujú určitý rovnaký el. náboj a jeho hodnota sa zrejme určí ako súčin elementárneho náboja $1,602 \cdot 10^{-19}$ C a Avogadrovej konštanty $6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$."

Žiaci hodnotu tohoto náboja vypočítajú a učiteľ konštatuje, že je to tzv. Faradayov náboj Q_F :

$$Q_F = 96\,487 \text{ C mol}^{-1}$$

Definícia II. Faradayovho zákona:

Hmotnosti látok vylúčených z rôznych elektrolytov rovnakým nábojom sú chemicky ekvivalentné. Na vylúčenie 1 valovej hmotnosti (kilogramekvivalentu) ktorejkoľvek látky je potrebný rovnako veľký el. náboj $Q_F = 96\,494 \text{ C}$.

Matematicky:

$$M_V = A \cdot Q_F \quad \left[\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{C}^{-1}, \text{C mol}^{-1} \right] \quad \text{[-108_7]}$$

Príklad 3: Vypočítajte prúd I potrebný na vylúčenie 1 kg Cu za 8 hodín z vodného roztoku CuSO_4 . Elektrochemický ekvivalent A dvojmocnej Cu určite na základe II. Faradayovho zákona (valovú hmotnosť M_V určite z tabuliek).

Riešenie:

$$A = \frac{M_V}{Q_F} = \frac{31,77 \cdot 10^{-3}}{96\,494} = 0,329 \cdot 10^{-6} \text{ kg C}^{-1}$$

$$I = \frac{m}{A \cdot t} = \frac{1}{0,329 \cdot 10^{-6} \cdot 8,3,6 \cdot 10^3} = 105,6 \text{ A}$$

g) Využitie elektrolýzy v praxi

Ióny elektrolytu sa na elektródach vylúčia ako elektricky neutrálne atómy alebo molekuly látky; tie sa buď usadzujú na elektróde alebo chemicky reagujú s elektrolytom alebo s elektródou alebo zostávajú v roztoku alebo unikajú ako plyny do okolia elektródy a pod.

Elektrolýza sa uskutočňuje v zariadeniach, ktoré sa nazývajú **elektrolýzéry**. Učiteľ uvedie niekoľko príkladov praktického využitia elektrolýzy:

- **galvanické pokovovanie** - na vodivých predmetoch sa vytvára vrstva nejakého (zvyčajne vzácnejšieho) kovu. Pokovovaný predmet sa vloží do elektrolytu ako katóda. Napríklad, kovové kryty usmerňovacích diód KY 701-705 sa najprv galvanicky pomedujú a potom sa ešte galvanicky nanesie vrstva kadmia;
- **galvanoplastika** - je zhotovenie odliatkov rozličných predmetov galvanickým spôsobom; v podstate sa postupuje ako pri galvanickom pokovovaní. Ide však o pokovovanie nevodivých objektov (sú to negatívne odťahy predmetov zhotovené z vosku, sadry a pod.) a preto sa najskôr pokrývajú grafitovým práškom;
- **elektrorefinácia kovov (elektrometalurgia)** - je výroba čistých kovov elektrolýzou. Napríklad, výroba čistej elektrolytickej medi z vodného roztoku CuSO_4 (anóda je z nečistej medi) alebo výroba hliníka z taveniny bauxitu a kryolitu;
- **iontoforéza** - využíva sa napr. v lekárstve na dopravu potrebných látok (jódu, vápnika a pod.) do ľudského tela, elektrolytom sú telesné tekutiny.

2. Elektrochemické zdroje

a) Rozdelenie zdrojov

Elektrochemické zdroje jednosmerného prúdu využívajú **premenu chemickej energie na elektrickú energiu**; opäť platí základný zákon prírody - zákon premeny a zachovania energie. Delia sa na:

- galvanické články
- akumulátory
- palivové články.

b) Galvanické články

Učiteľ vysvetľuje použitím metódy výkladu. Galvanický článok možno považovať za zásobník elektrickej energie, ktorej množstvo je dané zásobou chemických látok (kovových elektród, elektrolytu). Vybíjanie (strata napätia) galvanického článku je dej nevratný, pretože po nabití nemožno ho uviesť do pôvodného stavu.

Galvanický článok sa skladá z elektród, ktoré sú ponorené do elektrolytu. Ponorením kovovej elektródy do elektrolytu môžu vzniknúť dva javy:

- **rozpúšťanie** kladné ióny elektródy prechádzajú do elektrolytu (je to prirodzená vlastnosť materiálu) a elektróda sa nabíja voči elektrolytu záporne. Napr. zo Zn elektródy ponorenej do roztoku H_2SO_4 odchádzajú katióny Zn^{+2} , rovnako z Cu elektródy katióny Cu^{+2} ;
- **osmoza** - kladné ióny prechádzajú z elektrolytu na elektródu a elektróda sa nabíja voči elektrolytu kladne. Napr. na Ag elektródu ponorenú do roztoku AgNO_3 prechádzajú z tohto elektrolytu katióny Ag^{+1} .

Na porovnanie oboch javov sa uvádza tzv. **elektrochemický rad potenciálov elektród** (Voltov rad):

..., Na ⁺¹ ,	Zn ⁺² ,	Fe ⁺² ,	..., Pt(II),	..., Cu ⁺² ,	Ag ⁺¹ ,	Au ⁺¹ ...
-2,71	-0,76	-0,44	0,0	+0,34	+0,8	+1,5

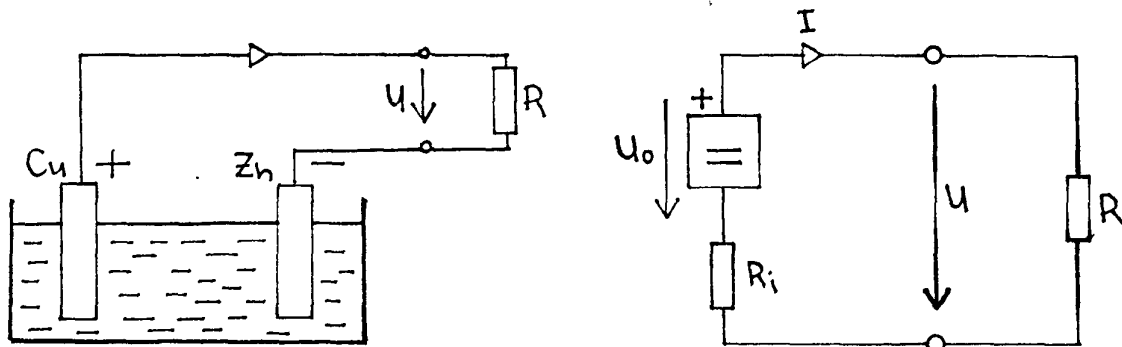
Uvedené hodnoty značia napätie kovovej elektródy oproti platinovej elektróde nasiaknutej vodíkom (na tú nepôsobí ani rozpúšťací ani osmotický tlak a voči každému roztoku má potenciál 0,0 V). Elektróda a vzťažná Pt elektróda sú ponorené do roztoku soli danej kovovej elektródy s jednotkovou koncentráciou. Napr. z elektrochemického radu potenciálov vyplýva, že ak sa ponorí do roztoku ZnSO₄, jednotkovej koncentrácie zinková elektróda a Pt elektróda, nabije sa Zn elektróda voči roztoku na napätie -0,77 V (pôsobí rozpúšťací tlak). Keďže Pt elektróda si udrží potenciál 0,0 V voči roztoku, vznikne galvanický článok s napätím 0,77 V, kde kladným pólom zdroja je Pt elektróda a záporným Zn elektróda.

Učiteľ použije názorné pomôcky - uvedie niektoré galvanické články a vysvetlí ich konštrukciu a vlastnosti.

Voltov článok. V roztoku H₂SO₄ pôsobí na dve rôzne elektródy rozpúšťací tlak, na Zn elektródu viac (približne -1,35 V) ako na Cu elektródu (-0,3 V). Obe elektródy sa teda nabijú voči elektrolytu záporne; kladnou elektródou je medená, zápornou zinková, pozri obr. 29a. Vnútna napätie článku U je približne 1 V; v schéme zapojenia na obr. 29b je Voltov článok uvedený ako zdroj v obvode jednosmerného prúdu.

Obr. 29

Voltov článok



Leclancheov článok. V súčasnosti sa tento článok najviac vyrába a používa. Jeho konštrukcia:

- **záporná elektróda:** zinková nádobka
- **kladná elektróda:** uhlíková nádobka
- **elektrolyt:** roztok chloridu amónneho zahusteného vhodnou prísadou (aby sa nerozlial)
- **depolarizátor:** zmes kysličníka manganičitého a koksu (v sáčku okolo uhlíkovej elektródy).

Depolarizátor - zabráňuje vzniku tzv. polarizačného napätia, ktoré pri prechode el. prúdu článkom v uzavretom obvode by zmenšovalo vnútorné napätie článku. V Leclancheovom článku sa na uhlíkovej elektróde vylučuje vodík, ktorý po jej pokrytí by mal polarizačné účinky. Depolarizátor však spôsobí reakciu vodíka s kyslíkom za vzniku vody.

c) Akumulátory

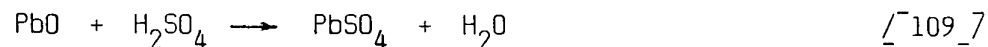
Vybíjanie akumulátora je dej vratný, pretože nabíjaním ho možno priviesť do pôvodného stavu. Pri vybíjaní (akumulátor je zásobníkom energie rovnako ako galvanický článok) nastáva

premena chemickej energie akumulátora na elektrickú; naopak pri nabíjaní sa premieňa elektrická energia na chemickú.

Učiteľ metódou výkladu vysvetlí podstatu elektrochemických dejov v akumulátore; tiež predvedie ukážky niektorých typov. Používajú sa najmä akumulátory:

- olovené
- alkalické (oceľoniklové, nikelkadmiové a pod.)
- striebrozinokové.

Olovený akumulátor. Je najrozšírenejší akumulátor, ktorý pozostáva z dvoch olovených platní pokrytých na vzduchu vrstvou PbO. Po ponorení do vodného roztoku H₂SO₄ sa na dvoch platniach vytvorí chemickou reakciou vrstva PbSO₄, podľa rovnice:



Keďže obe elektródy sa pokryli vrstvou rovnakej látky, potom v dôsledku rozpúšťacieho a osmotického tlaku sa tiež nabijú na rovnaký potenciál voči elektrolytu (rozdiel potenciálov oboch elektród je rovný nule).

Učiteľ má pri výklade používať názorné obrázky, kde sú vrstvy na elektródach nakreslené farebne.

Nabíjanie akumulátora - ide o premenu elektrickej energie na chemickú a v jeho priebehu sa elektródy pokrývajú vrstvami rozdielnych látok. Akumulátor sa zapojí do obvodu jednosmerného prúdu ako spotrebič a po uzavretí obvodu preteká ním prúd (tzv. nabíjací). Prebieha elektrolyza roztoku H₂SO₄ s elektródami pokrytými vrstvou PbSO₄; vrstva PbSO₄ sa odstraňuje a na jednej elektróde sa vylučuje čisté olovo (Pb) a na druhej strane vrstva kyslíčnika olovičitého (PbO₂). Po nabití akumulátora (obe vrstvy sa pokryli uvedenými vrstvami) začne ďalším prechodom prúdu z

nabíjacieho zdroja elektrochemický rozklad vody; pri elektródach unikajú bublinky vodíka a kyslíka, t.j. akumulátor "vrie".

Pôsobením rozpúšťacieho a osmotického tlaku (ako v galvanickom článku) sa elektródy nabijú na rozdielne hodnoty potenciálov voči elektrolytu. Zápornou elektródou je elektróda s vrstvou čistého Pb; napätie nabitého oloveného akumulátora (jedného článku) má hodnotu 2,75 V. Pri vybíjaní však poklesne napätie ihneď približne na hodnotu 2 V.

Vybíjanie akumulátora - ide o premenu chemickej energie na elektrickú a v jeho priebehu sa elektródy pokrývajú vrstvou rovnakej látky.

Akumulátor je teraz zdrojom v obvode jednosmerného prúdu. Prechod prúdu obvodom spôsobí vznik chemických reakcií na elektródach akumulátora. Obe elektródy sa začnú pokrývať vrstvou PbSO_4 . Napätie akumulátorového článku nesmie klesnúť pod hodnotu 1,83 V.

d) Palivové články

Galvanický článok i akumulátor sú zásobníky energie; obsahujú určité množstvo chemickej energie, ktorá sa premieňa na elektrickú energiu.

Naproti tomu, palivový článok vo svojich elektródach neobsahuje zásobu chemickej energie; reakčné chemické látky sa do článku privádzajú z vonkajška. Palivový článok teda slúži na priame premieňanie chemickej energie dodávaných látok na elektrickú energiu.

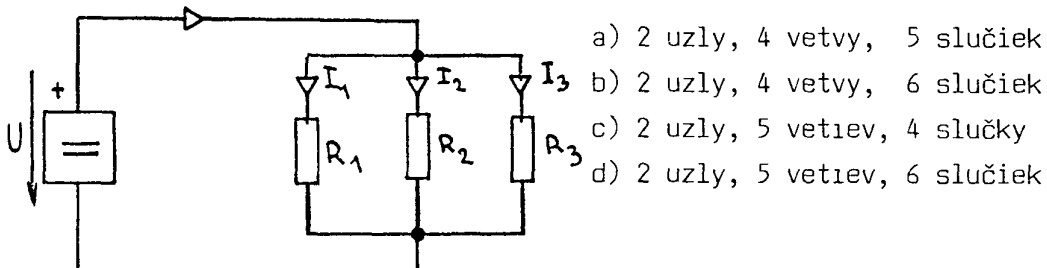
3. Preverovanie vedomostí

Test

1. Schéma zapojenia obvodu na obr. 30 obsahuje:

Obr. 30

Elektrický obvod



2. I. Kirchhoffov zákon pre uzol A z predchádzajúcej schémy zapojenia možno vyjadriť rovnicou:

- a) $U - I_1 R_1 = 0$
- b) $I - I_1 - I_2 - I_3 = 0$
- c) $I + I_1 + I_2 + I_3 = 0$
- d) $U - I_1 R_1 - I_2 R_2 - I_3 R_3 = 0$

3. Kirchhoffov zákon sa vzťahuje na:

- a) slučku
- b) uzol
- c) vetvu
- d) uzol a vetvy k nemu sa vzťahujúce

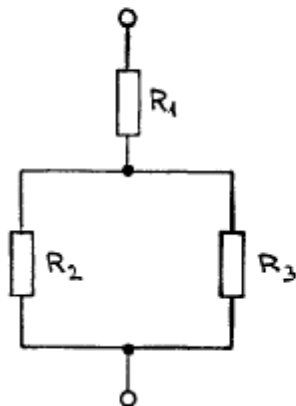
4. Rovnica podľa II. Kirchhoffovho zákona pre slučku A - odpor R_3 - B - zdroj U- A v obvode na obr. 30 má tvar:

- a) $I - I_1 - I_2 - I_3 = 0$
- b) $U - R_1 I_1 - R_2 I_2 - R_3 I_3 = 0$
- c) $U + R_3 I_3 = 0$
- d) $U - R_3 I_3 = 0$

5. Výsledný odpor R obvodu uvedeného na obr. 31 je:

Obr. 31

Elektrický obvod



$$a) R = R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

$$b) R = R_1 + \frac{R_2 + R_3}{R_2 R_3}$$

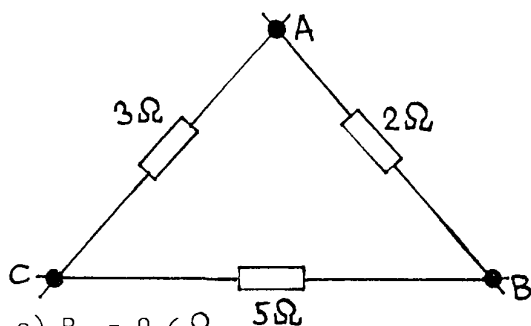
$$c) R = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

$$d) R = R_1 \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

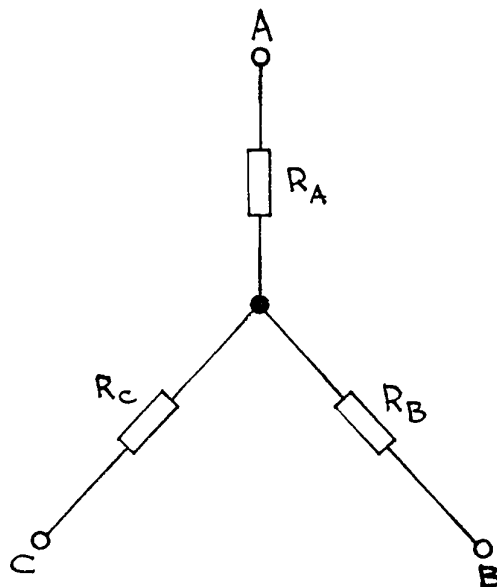
6. Odpor R_A po transfigurácii zapojenia odporov do trojuholníka na zapojenie do hviezdy podľa obr. 32 bude:

Obr. 32

Transfigurácia schémy



- a) $R_A = 0,6\Omega$
- b) $R_A = 1\Omega$
- c) $R_A = 1,5\Omega$
- d) $R_A = 2\Omega$



7. Disociácia látky je:

- a) štiepenie atómov rozpustnej látky v rozpúšťadle na kationy a anióny
- b) rozpúšťanie elektródy v elektrolyte
- c) štiepenie molekúl rozpustnej látky v rozpúšťadle na kationy a anióny
- d) prechod iónov z elektrolytu na elektródu (osmóza).

8. Faradayove zákony určujú:

- a) veľkosť energie premenenej na elektrickú
- b) množstvo disociovaných iónov v elektrolyte
- c) hodnoty elektrochemického radu potenciálov elektród
- d) hmotnosť vylúčenej látky na elektróde pri elektrolýze.

9. Elektrochemický ekvivalent látky je:

- a) hmotnosť látky vylúčenej 1 A za 1 s
- b) veľkosť chemickej energie premenenej na elektrickú
- c) hmotnosť látky vylúčenej Faradayovým nábojom $Q_E = 96494 \text{ C mol}^{-1}$
- d) pomer molovej hmotnosti a mocenstva atómov látky.

10. Galvanický článok vznikne:

- a) elektródy z rôznych materiálov sa ponoria do elektrolytu a nabijú sa pripojením na zdroj jednosmerného prúdu
- b) elektródy z rovnakého materiálu sa ponoria do elektrolytu
- c) elektródy z rôznych materiálov sa ponoria do elektrolytu
- d) elektródy z rovnakého materiálu sa ponoria do elektrolytu a nabijú sa pripojením na zdroj jednosmerného prúdu.

VI. tematický celok: ELEKTROSTATICKÉ POLE

1. Základné pojmy

a) Vlastnosti elektrostatického poľa

Učiteľ metódou rozhovoru so žiakmi zopakuje základné vedomosti o **elektrostatickom poli**.

Elektrostatické pole patrí medzi **polovú formu hmoty** rovnako, ako látka aj pole existuje **objektívne** (t.j. nezávisle na ľudskom vedomí). Z hľadiska prostredia, v ktorom sa rozprestiera, sa elektrické pole delí na:

- **elektrické pole vo vodivom prostredí** (elektrické prúdové pole) - je to pole, v ktorom sa nachádza elektricky vodivá látka. Ak je pole nemenné (statické prúdové pole), potom preteká látkou jednosmerný prúd; ak sa pole mení, potom preteká striedavý prúd.
- **elektrické pole v nevodivom prostredí** (v nevodivej látke alebo vákuu). Ak sa veľkosť elektrického poľa v nevodivom prostredí **nemení**, potom hovoríme o **elektrostatickom poli**.

Každé elektrické pole (teda aj elektrostatické) možno znázorniť pomocou **siločiar**. Elektrické siločiarly umožňujú získať predstavu o veľkosti a smere silového pôsobenia poľa. Siločiarly elektrostatického poľa vychádzajú z kladného náboja Q (alebo z nekonečna) a vchádzajú do záporného náboja Q (alebo do nekonečna). Z tohoto hľadiska sa elektrostatické polia delia na:

- **homogénne** - siločiarly sú navzájom rovnobežné. Silové pôsobenie poľa na jednotkový náboj (intenzita E) je v každom bode poľa rovnaké čo do veľkosti i smeru, napr. pole medzi elektródami nabitého rovinného kondenzátora
- **nehomogénne** - sú všetky ostatné polia, ktoré nie sú homogénne, napr. pole v okolí osamoteného náboja Q a pod.

Elektrostatické pole patrí medzi polia **nevírové** (potenciálové), t.j. schopnosť poľa konať prácu možno charakterizovať veličinou el. potenciál V (je definovaný pre každý bod elektrostatického poľa).

Elektrostatické pole je tiež **nežriedlové**, t.j. elektrické siločiar prechádzajú spojitými všetkými bodmi poľa (mimo bodov, kde sú el. náboje a z ktorých teda vychádzajú alebo vchádzajú siločiar).

b) Miesto v systéme vedomostí

Učiteľ vysvetlí, že v nasledujúcich témach sa bude postupne prehĺbovať pojem elektrické pole v smere vertikálnych spojov medzi vedomosťami žiakov (pozri tabuľku 6 "Systém základných a špecifických veličín elektrického poľa"). **Základné merateľné vlastnosti** elektrostatického poľa (rovnako ako elektrického prúdového poľa) je silové pôsobenie póla na časticu alebo teleso s el. nábojom - charakterizuje sa veličinou **intenzita el. poľa E** a schopnosť poľa konať mechanickú prácu pri premiestňovaní hmotného objektu s el. nábojom - charakterizuje sa veličinou **el. napätie U** (el. potenciál V).

Medzi **špecifické merateľné vlastnosti** elektrostatického poľa patrí pôsobenie poľa na nevodivú látku (polarizácia dielektrika) a pôsobenie poľa na vodič vložený do elektrostatického poľa (elektrostatická indukcia). Podľa navrhnutého systému veličín elektrického poľa sú špecifickými veličinami elektrostatického poľa **elektrický indukčný tok Φ** (vyjadruje indukčnú schopnosť poľa) a **kapacita C** (charakterizuje kondenzátor ako prvok v obvodoch elektrostatického poľa). Z týchto veličín možno odvodiť veličiny, ktoré bližšie charakterizujú látky v elektrostatickom poli, a to sú **elektrická indukcia D** (t.j. hustota el. indukčného toku) a **permitivita ϵ** nevodivého prostredia.

Kým základné veličiny elektrostatického poľa (E a V) **charakterizujú vlastnosti samotného poľa** (silu a prácu poľa), špecifické veličiny sú potrebné k tomu, aby sa z makroskopického

pohľadu popísalo **správanie hmotných telies v elektrickom prúdovom, resp. v elektrostatickom poli**. Treba poznamenať, že látky sú sústavy zložené z veľkého počtu atómov a preto je možné vplyv elektrického poľa na ne vysvetliť tiež skúmaním atómovej štruktúry látok (teda z pohľadu mikrosveta) a vtedy by tieto špecifické makroskopické veličiny nebolo potrebné definovať.

Učiteľ pri vysvetľovaní základných vedomostí má dôsledne uplatňovať **analógiu** medzi veličinami a zákonmi elektrického prúdového a elektrostatického poľa. V prvom rade si žiaci zaznamenajú do pracovných zošitov tabuľku 6 "Systém základných a špecifických veličín elektrického poľa".

2. Základné veličiny elektrostatického poľa

a) Intenzita elektrického poľa E

Učiteľ použije metódu rozhovoru so žiakmi (alebo problémového výkladu). Najprv zopakuje so žiakmi význam a definíciu intenzity E (pozri tému "Základné veličiny elektrického poľa").

Je to vektorová veličina a definuje sa pre každý bod elektrostatického poľa. Charakterizuje **silové účinky** elektrostatického poľa (t.j. elektrostatické pole pôsobí silou F na každý el. náboj Q , ktorý sa v tomto poli nachádza).

Definícia:

Intenzita elektrostatického poľa E v danom bode poľa je číselne rovná sile, ktorou pole pôsobí na jednotkový náboj (1 C) umiestnený v tomto bode.

Matematicky, napr. v bode 1 poľa:

$$E_1 = \frac{F_1}{Q_s} \quad \left[\text{Vm}^{-1}; \text{N, C} \right] \quad \text{[110]}$$

kde Q_s ... el. náboj vložený do bodu 1 elektrostatického poľa

F_1 ... sila, ktorou pole na náboj Q_s pôsobí

Učiteľ vysvetlí, že definičný vzťah (110) možno upraviť do vzťahu (111) na výpočet **intenzity E homogénneho elektrostatického poľa**, napr. poľa medzi elektródami nabitého rovinného kondenzátora, obr. 33a. V každom bode poľa má intenzita **E rovnakú veľkosť a smer.**

Pre intenzitu E homogénneho poľa platí (v každom bode poľa):

$$E = \frac{U_{12}}{\ell_{12}} \quad \left[Vm^{-1}; V, m \right] \quad [111]$$

kde U_{12} ... napätie medzi ľubovoľnými dvomi bodmi elektrickej siločiar, napr. medzi bodmi 1 a 2

ℓ_{12} ... vzdialenosť medzi bodmi 1 a 2 siločiar.

Dôkaz:

Učiteľ použije metódu rozhovoru, vzťahy (112) a (113) vyslovia žiaci:

$$A_{12} = F \cdot \ell_{12} \quad [112]$$

$$A_{12} = U_{12} Q_s \quad [113]$$

Porovnaním vzťahov (112) a (113) dostávame:

$$F = \frac{U_{12} \cdot Q_s}{\ell_{12}} \quad [114]$$

Po dosadení vzťahu (114) do (110) a úprave dostaneme vzťah (111). Zo vzťahu (111) priamo vyplýva používaná jednotka intenzity E (Vm^{-1})

V prípade rovinného kondenzátora sa intenzita E homogénneho poľa počíta najčastejšie vzťahom:

$$E = \frac{U}{l} \quad \left[\text{Vm}^{-1}; \text{V}, \text{m} \right] \quad \text{[111a]}$$

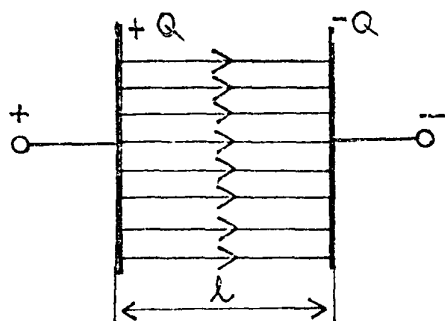
kde U ... napätie medzi elektródami kondenzátora

l ... dĺžka celej siločiar, t.j. vzdialenosť medzi elektródami kondenzátora

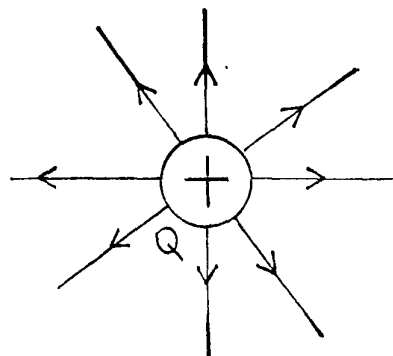
Obr. 33

Elektrostatické pole

a) homogénne pole



b) nehomogénne pole v okolí osamoteného náboja Q



Poznámka: Vzťah (111) sa používa aj na výpočet intenzity E (gradientu napätia) v elektrickom prúdovom poli, ak je elektrické pole vo vodiči homogénne.

Príklad 1: Vypočítajte silu F , ktorou pole pôsobí na náboj $Q_s = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ v hociktorom bode homogénneho poľa rovinného kondenzátora, ak napätie medzi platňami $U = 5000 \text{ V}$ a $l = 5 \text{ mm}$.

Výsledok: $E = 10^6 \text{ Vm}^{-1}$

$F = 2 \text{ N}$.

Definičný vzťah (110) možno tiež upraviť do vzťahu (115) na výpočet **intenzity E nehomogénneho** elektrostatického poľa v okolí osamoteného el. náboja Q, pozri obr. 33b.

Platí (v bode 1 poľa):

$$E_1 = \frac{Q}{4 \pi \epsilon r_1^2} \quad \left[Vm^{-1}; C, Fm^{-1}, m \right] \quad [115]$$

kde ϵ ... permitivita nevodivého prostredia v elektrostatickom poli

r_1 ... vzdialenosť bodu 1 poľa od náboja Q.

Poznámka: Osamotený el. náboj Q môže byť bodový alebo sa nachádza na guľovej ploche - vzdialenosť k danému bodu poľa sa potom určí od stredu guľovej plochy.

Dôkaz:

Učiteľ použije metódu rozhovoru a vzťah (116), t.j. Coulombov zákon vyslovia žiaci:

$$F = \frac{Q \cdot Q_s}{4 \pi \epsilon r_1^2} \quad [116]$$

Po dosadení vzťahu(116) do definičného vzťahu (110) a úprave, dostaneme vzťah (115).

Jednotka permitivity je farad na meter (Fm^{-1}), pozri tému "Kapacita C kondenzátora".

Zo vzťahu (115) tiež vyplýva, že intenzita elektrostatického poľa E v danom bode závisí okrem zdroja poľa (náboja Q) aj od vlastností prostredia, v ktorom sa pole nachádza. Prakticky to znamená, že napr. v nabitom kondenzátore s niekoľkými vrstvami

dielektriká uloženými za sebou bude v každej vrstve iná hodnota intenzity E .

Príklad 2: Vypočítajte hodnotu intenzity E_1 vo vzdialenosti $r_1 = 5$ cm od stredu osamoteného guľového náboja $Q = 5 \cdot 10^{-6}$ C. Prostredie je vákuum

$$(\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}).$$

Riešenie:

$$E_1 = \frac{Q}{4 \pi \epsilon_0 r_1^2} = \frac{5 \cdot 10^{-6}}{12,56 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 25 \cdot 10^{-4}} = 1,78 \cdot 10^7 \text{ Vm}^{-1}$$

b) Elektrické napätie U (elektrický potenciál V)

Učiteľ metódou rozhovoru so žiakmi zopakuje základné učivo a potom si žiaci prehľadia vedomosti o používaní týchto veličín pri popise elektrostatického poľa.

El. potenciál V je skalárna veličina a definuje sa pre každý bod elektrostatického poľa. Charakterizuje schopnosť tohoto poľa konať prácu A prostredníctvom náboja Q_s , ktorý sa v dôsledku silového pôsobenia v poli premiestňuje.

Pomocou učiteľa si žiaci zopakujú **definíciu:** El. potenciál V v danom bode poľa je číselne rovný práci, ktorú vykoná kladný jednotkový náboj ($+1$ C) pri premiestnení z miesta s nulovými účinkami poľa do daného bodu poľa. Matematicky (napr. pre potenciál V_1 v bode 1 poľa):

$$V_1 = \frac{A_1}{Q_s} \quad \left[\text{V; J, C} \right] \quad [117]$$

Miesta s rovnými potenciálmi v elektrostatickom poli sa nazývajú ekvipotenciálne plochy.

El. napätie U vyjadruje veľkosť práce A , ktorá sa vykoná pri premiestnení náboja Q_s z jedného do druhého miesta

elektrostatického poľa. **Definíciu** vyslovia žiaci: El. napätie U_{12} medzi bodmi 1 a 2 elektrostatického poľa je číselne rovné mechanickej práci, ktorá sa vykoná pri premiestnení nosiča jednotkového náboja (1 C) z bodu 2 do bodu 1 poľa.

Matematicky:

$$U_{12} = \frac{A_{12}}{Q_s} \quad \left[V; J, C \right] \quad [118]$$

kde A_{12} ... mechanická práca, ktorú vykoná teleso (častica) s el. nábojom Q_s pri premiestnení z bodu 2 do bodu 1 poľa.

Napätie U_{12} možno definovať aj pomocou potenciálov v daných bodoch poľa: Napätie U_{12} je rovné rozdielu potenciálov V_1 a V_2 t.j. práci, ktorá sa vykoná pri premiestnení kladného jednotkového náboja (+1 C) z miesta s nižším potenciálom V_2 do miesta s vyšším potenciálom V_1 .

Matematicky:

$$U_{12} = V_1 - V_2 \quad \left[V; V, V \right] \quad [119]$$

Najprv učiteľ objasní význam napätia U (resp. potenciálu V) na výpočet práce A v prípade **homogénneho** elektrostatického poľa, pozri obr. 34a. Na riešenie konkrétneho príkladu sa používajú vzťahy (118) a (119)

Príklad 3: Vypočítajte hodnotu práce A_{12} , ktorú vykoná kladný náboj $Q_s = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ pri premiestnení z miesta s potenciálom $V_2 = 30 \text{ V}$ do miesta s $V_3 = 80 \text{ V}$ elektrost. poľa doskového kondenzátora, obr. 34a.

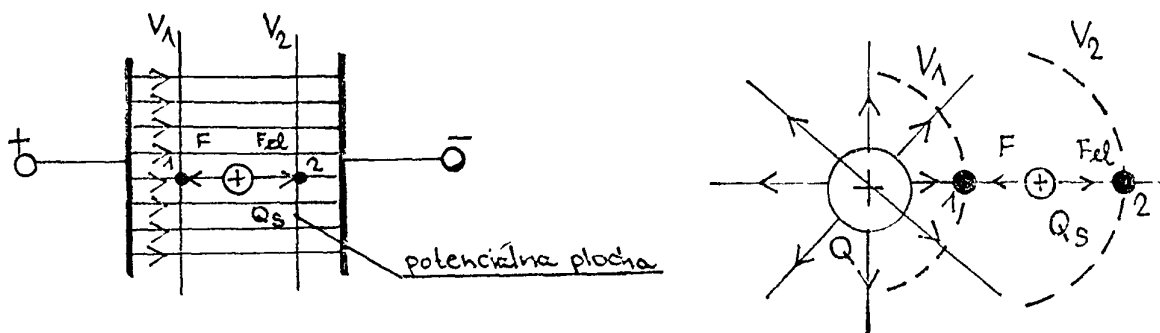
Riešenie: $U_{12} = V_1 - V_2 = 80 - 30 = 50 \text{ V}$
 $A_{12} = U_{12} Q_s = 50 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 10^{-4} \text{ J}$

Obr. 34

El. napätie (el. potenciál) elektrostatického poľa

a) homogénne pole

b) nehomogénne pole v okolí osamoteného náboja Q



Učiteľ metódou výkladu odvodí vzťah na výpočet napätia U a potenciálu V **nehomogénneho** elektrost. poľa v okolí osamoteného náboja Q . Pre potenciál V_1 v bode 1 na obr. 34b platí:

$$V_1 = \frac{Q}{4\pi\epsilon r_1} \quad \left[V; C, Fm^{-1}, m \right] \quad \text{[120]}$$

kde r_1 ...vzdialenosť bodu 1 od stredu guľového (bodového) náboja Q .

Napätie U_{12} vyjadríme ako rozdiel potenciálov

$$U_{12} = \frac{Q}{4\pi\epsilon r_1} - \frac{Q}{4\pi\epsilon r_2} \quad \text{[121]}$$

Dôkaz:

Učiteľ vysvetlí, že v prípade nehomogénneho poľa v okolí osamoteného náboja Q možno použiť vzťah (IIa), ak za E dosadíme

tzv. strednú hodnotu intenzity E_s , pozri obr. 34b. Intenzita E v tomto prípade klesá s druhou mocninou vzdialenosti od náboja Q a preto platí:

$$U_{12} = E_s \cdot (r_2 - r_1) \quad [122]$$

$$E_1 > E_s > E_2 \quad [123]$$

$$E_s = \frac{Q}{4 \pi \epsilon r_s^2} \quad [124]$$

$$r_s = \sqrt{r_1 \cdot r_2} \quad [125]$$

kde E_s ... hodnota intenzity v mieste S

r_s ... vzdialenosť bodu S od náboja Q (geometrický priemer vzdialeností r_1 a r_2)

$r_2 - r_1$... vzdialenosť medzi bodmi 1 a 2.

Po dosadení vzťahov (125) a (124) do (123) a po úprave dostaneme vzťah (122).

Učiteľ vedie žiakov k tomu, aby uvedené vzťahy chápali dôsledne z **fyzikálneho a matematického hľadiska**.

Napríklad, analýza vzťahu na výpočet potenciálu V v okolí osamoteného náboja Q , t.j. vzťahu (120), vedie k ďalším dôležitým poznatkom. Rovnako, ako intenzita E , aj potenciál V závisí **od zdroja poľa** (náboja Q) a **od prostredia** (permitivity E).

Zo vzťahu (120) ďalej vyplýva, že miesto s nulovým potenciálom (nulovými účinkami poľa) v okolí osamoteného náboja Q sa nachádza v nekonečnu (ak $r_1 =$ nekonečno potom $V_1 = 0$).

Podobne zo vzťahu (121), t.j. vzťahu na výpočet napätia U_{12} v okolí osamoteného náboja Q vyplýva, čo je spoločné a čo rozdielne medzi napätím U a potenciálom V . Obe veličiny vyjadrujú rovnakú vlastnosť elektrostatického poľa a to schopnosť poľa konať prácu

prostredníctvom náboja Q (potenciál V sa však vzťahuje na jedno miesto poľa, napätie U na dve miesta). Ak však $r_2 = \infty$ a teda $V_2 = 0$, potom $U_{12} = V_1$; to znamená, že napätie medzi daným bodom poľa a nekonečnom je rovné potenciálu v danom bode poľa.

Príklad 4: Vypočítajte napätie U_{12} a prácu A_{12} , ktorú vykoná náboj $Q_s = 5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ v elektrostatickom poli osamoteného náboja $Q = 5 \cdot 10^{-7} \text{ C}$, ak $r_2 = 6 \text{ cm}$, $r_1 = 3 \text{ cm}$ a prostredie je vákuum ($\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$).

$$\begin{aligned} \text{Výsledok: } V_1 &= 150 \cdot 10^3 \text{ V} & U_{12} &= 75 \cdot 10^3 \text{ V} \\ V_2 &= 75 \cdot 10^3 \text{ V} & A_{12} &= 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ J} \end{aligned}$$

c) Súvislosť medzi el. napätím U a intenzitou E el. poľa

Učiteľ zdôrazní, že vzťah (111) na výpočet intenzity E homogénneho poľa vyjadruje zároveň **súvislosť medzi dvomi základnými veličinami** elektrického poľa, t.j. medzi napätím U a intenzitou E . Pre homogénne pole platí:

$$U_{21} = E \cdot l_{21} \quad E = \text{konšt.} \quad \left[\text{V; Vm}^{-1}, \text{ m} \right] \quad [111]$$

kde: l_{21} ... vzdialenosť medzi bodmi 1 a 2 na elektrickej siločiare

U_{21} ... napätie medzi bodmi 1 a 2 el. poľa.

Poznámka: Žiaci už vedia, že napätie U nám umožňuje vypočítať mechanickú prácu A , ktorú vykoná hmotný nosič náboja Q_s a tiež, že intenzita E súvisí so silou F , ktorou pole na náboj Q_s pôsobí. Učiteľ preto upozorní na analógiu (podobnosť) vzťahu (121) so vzťahom (126), pre výpočet mechanickej práce A , ktorú koná hmotný objekt (teleso, častica), ak sa pôsobením konštantnej sily F premiestňuje. Vtedy platí (pre gravitačné i elektrické pole):

$$A_{12} = F \cdot \ell_{12} \quad F = \text{konšt.} \quad \left[\text{J; N, m} \right] \quad \text{[-126]}$$

d) Výpočet sily F elektrostatického poľa

Učiteľ konštatuje, že doteraz prebrané poznatky na výpočet intenzity E obsahujú tiež vzťahy na výpočet sily F elektrostatického poľa. Matematické vzťahy na výpočet sily F uvedú a ich fyzikálny význam preto vysvetlia žiaci.

V prvom rade je to **definičný vzťah intenzity E el. poľa** (pozri vzťah (110) v tejto téme). Z daného vzťahu pre silu F_1 v bode 1 poľa vyplýva:

$$E_1 = E_1 \cdot Q_s \quad \left[\text{N; Vm}^{-1}, \text{C} \right] \quad \text{[-110]}$$

Žiaci s pomocou učiteľa vysvetlia fyzikálny význam vzťahu (110). Tento vzťah určuje veľkosť sily F_1 ktorou elektrostatické pole o intenzite E_1 pôsobí na náboj Q_s nachádzajúci sa v bode 1 poľa. Učiteľ doplní, že v podstate ide vždy o silové pôsobenie dvoch el. nábojov prostredníctvom ich el. polí (v tomto prípade ide o pole s intenzitou E a pole v okolí náboja Q_s).

Ďalší vzťah na výpočet sily F je **Coulombov zákon** (pozri vzťah (116) v tejto téme). Aj tento zákon si už žiaci osvojili a sami ho vyslovia:

$$F = \frac{Q \cdot Q_s}{4 \pi \epsilon r_1^2} \quad \left[\text{N; C, C, Fm}^{-1}, \text{m} \right] \quad \text{[-116]}$$

Žiaci vysvetlia, že vzťah (116) vyplýva zo vzťahu (110), ak za intenzitu E_1 dosadíme vzťah na výpočet E v okolí osamoteného bodového náboja Q . Z fyzikálneho hľadiska ide o vzájomné silové pôsobenie dvoch bodových nábojov Q a Q_s prostredníctvom svojich el. polí. Učiteľ doplní, že tak ako náboj Q pôsobí silou F na náboj

Q_s , tiež Q_s pôsobí na Q rovnakou silou F . Oba vzťahy sa ozrejmia riešením konkrétnych príkladov.

3. Špecifické veličiny elektrostatického poľa

a) Vplyv elektrostatického poľa na látku

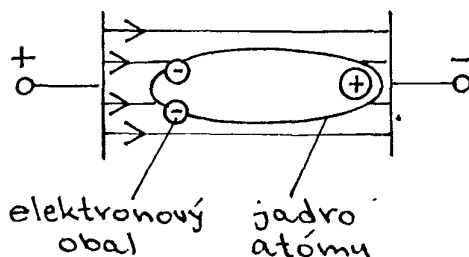
Učiteľ vysvetlí učivo metódou výkladu a názornými učebnými pomôckami. **Vplyv elektrostatického poľa na nevodič.** Elektrostatické pole sa rozprestiera vo vákuu alebo nevodivej látke (dielektriku); pole spôsobí **polarizáciu dielektrika**.

Učiteľ názorne vysvetlí jav polarizácie izolantu, pozri obr. 35. Pôsobením elektrostatického poľa nevznikne v dielektriku elektrický prúd (nosiče náboja nie sú voľné), ale v doteraz elektricky neutrálnych atómoch (resp. molekulách) sa záporne nabitý elektronový obal posunú voči kladne nabitým jadrám, čím vzniknú tzv. dipóly. Zároveň sa dipóly usporiadajú v smere elektrických siločiar tak, že svojou zápornou stranou sa pootočia smerom ku kladnej elektróde a kladnou stranou smerom k zápornej elektróde.

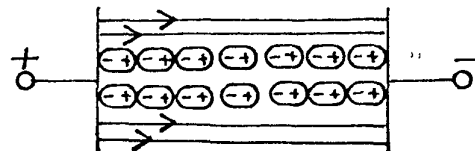
Obr. 35

Polarizácia dielektrika

a) polarizovaný atóm



b) polarizovaný nevodič



Vplyv elektrostatického poľa na vodič. Žiaci už vedia, že elektrické prúdové pole spôsobí vo vodiči pohyb voľných nosičov el. náboja (v uzavretom vodivom obvode preteká el. prúd).

Ak vložíme do elektrostatického poľa (t.j. do nevodivého prostredia) vodič, napr. kovovú platničku, síce nevznikne prúdový obvod, avšak pôsobením poľa sa voľné elektróny nahromadia na jednej strane platničky (vznikne indukovaný záporný náboj Q_-) a na druhej strane platničky sa potom objaví rovnako veľký indukovaný kladný náboj Q_+ , pozri obr. 36a. Tento jav nazývame **elektrostatická indukcia** (vodič sa v elektrostatickom poli zelektrizuje indukciou). Učiteľ upozorní, že silové pôsobenie elektrostatického poľa je jeho prvou základnou vlastnosťou (charakterizuje ju veličina intenzita E) a indukčné pôsobenie elektrostatického poľa je jeho prvou špecifickou vlastnosťou (charakterizuje ju veličina indukcia elektrostatického poľa D).

b) Elektrický indukčný tok (dielektrický tok) Φ_X

Prvú skupinu špecifických veličín elektrostatického poľa tvoria veličina el. indukčný tok Φ a k nej vertikálne priradená elektrická indukcia D (hustota el. indukčného toku). **Analogické veličiny** elektrického prúdového poľa sú el. prúd I a hustota el. prúdu J .

Špecifické veličiny charakterizujú z makroskopického pohľadu správanie látok v elektrickom poli. Učiteľ vysvetlí, že na objasnenie vplyvu elektrostatického poľa na prostredie (napr. javu elektrostatickej indukcie, polarizácie dielektrika a pod.) sa musela zaviesť veličina el. indukčný tok Φ .

Predstavujeme si, že z kladného el. náboja Q vychádza do okolitého nevodivého prostredia (alebo do záporného náboja Q_- vchádza) elektrostatické pole vo forme **elektrického indukčného toku Φ** ; zobrazujeme ho pomocou **elektrických indukčných čiar** (na rozdiel od siločiar el. poľa, ktoré znázorňujú silové pôsobenie poľa), pozri obr. 36. Pre veľkosť elektrického indukčného toku platí:

$$\Psi = 0 \quad \left[\text{C}; \text{C} \right] \quad \sim \quad [127]$$

kde Q ... elektrický náboj vytvárajúci pole

I ... indukčný tok vychádzajúci z náboja Q

Poznámka: El. indukčný tok nazývame aj dielektrickým tokom, čo naznačuje, že ide o tok cez nevodivé prostredie.

Učiteľ vysvetlí, že vzťah (121) je zároveň matematickým vyjadrením dôležitého zákona elektrostatického poľa tzv. **Gaussovej vety**: El. indukčný tok prechádzajúci ľubovoľne uzavretou plochou sa rovná algebrickému súčtu nábojov, ktoré sa nachádzajú v priestore uzavretom touto plochou.

Matematicky:

$$\Psi = \sum Q \quad \sim \quad [128]$$

Učiteľ sa opäť vráti k **analógii** medzi elektrickým prúdovým a elektrostatickým poľom. Z tohto hľadiska sú analogické jednak veličiny (el. prúd I a dielektrický tok Y) a tiež zákony (I. Kirchh. zákon pre prúdové pole a Gaussova veta pre elektrostatické pole). II. Kirchh. zákon platí rovnako pre elektrické prúdovú i pre elektrostatické pole.

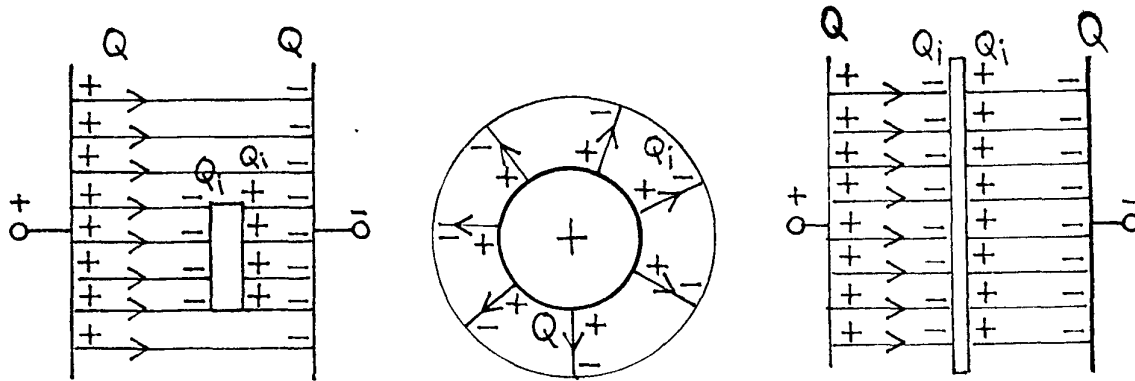
Obr. 36

Dielektrický tok – jav elektrostatickej indukcie

a) homogénne pole
 ($Q_i < Q$)

b) nehomogénne pole
 v okolí osamote-
 ného náboja Q
 ($Q_i = Q$)

c) homogénne pole



Z Gaussovej vety vyplýva ďalší dôležitý poznatok. Ak skúšobný vodič zachytáva svojou plochou iba časť toku Ψ (psí), pozri obr. 36a, potom platí:

$$Q_i < Q$$

$$\left[C; C \right]$$

[129]

Ak vodič zachytáva svojou plochou celý tok Ψ , ako napr. na obr. 36b a 36c, potom všetky siločiarly vychádzajúce z náboja Q , končia vo vodiči a indukujú náboj Q_i , pre ktorý platí:

$$Q_i = \Psi = Q$$

$$\left[C; C, C \right]$$

[130]

kde Q_i ... indukovaný el. náboj na jednej strane plochy zachytávajúcej tok Ψ

Učiteľ uvedie aj ďalší poznatok, ktorý vyplýva z definície dielektrického toku Ψ . Zo vzťahu (127) vyplýva, že veľkosť toku

závisí iba od veľkosti zdroja poľa, t.j. od náboja Q a **nezávisí od prostredia** (permitivita E sa vo vzťahu nevyskytuje).

Tento poznatok možno konkretizovať napríklad pre homogénne elektrostatické pole rovinného kondenzátora s viacerými dielektrikami uloženými za sebou. El. indukčné čiary prechádzajú z kladnej elektródy spojitú cez všetky vrstvy do zápornej elektródy; to znamená, že indukčné pôsobenie poľa je vo všetkých vrstvách rovnaké. Naproti tomu elektrické siločiar, ktoré zobrazujú silové pôsobenie poľa, majú v každej vrstve inú hustotu čiar; to znamená, že silové pôsobenie poľa je v každej vrstve iné.

c) Elektrická hustota (hustota el. indukčného toku) D

Učiteľ použije nasledujúci metodický postup osvojovania si vedomostí:

- uvedie definíciu veličiny D
- metódou výkladu a názorného vyučovania vysvetlí vzťahy na výpočet D homogénneho poľa
- odvodí vzťah na výpočet D nehomogénneho poľa osamoteného náboja Q .

Definícia elektrickej indukcie D :

Indukcia D , rovnako ako intenzita E , je vektorová veličina a definuje sa pre každý bod elektrostatického poľa. Charakterizuje indukčné účinky elektrostatického poľa.

Definícia:

Indukcia D je veličina, ktorá sa číselne rovná el. indukčnému toku prechádzajúcemu jednotkovou plochou (1m^2) kolmou na smer toku.

Pre veľkosť indukcie D (napr. v bode l poľa) platí:

kde S_1 ... plocha s bodom l v strede a kolmá na smer indukčných čiar

psí ... indukčný tok prechádzajúci plochou S_1 .

Jednotka indukcie D je Cm^{-2}

Poznámka: Vzťah (131) platí iba v prípade, ak indukčné čiary prechádzajú kolmo bodmi plochy S . Plocha S musí byť ekvipotenciálnou plochou (alebo jej časťou); ekvipotenciálne plochy v homogénnom poli doskového kondenzátora majú tvar rovinných plôch, v okolí osamoteného náboja Q tvar guľových plôch.

Indukcia D **definuje** na základe **javu elektrostatickej indukcie**, t.j. pomocou indikátora (skúšobného vodiča). Ak vložíme napr. do elektrostatického poľa rovinného kondenzátora kovovú platničku, pozri obr. 36a, potom platí:

$$D = \frac{Q_i}{S_i} \quad \left[\text{Cm}^{-2}; \text{C}, \text{m}^2 \right] \quad [132]$$

kde S ... plocha vodiča, ktorý zachytáva indukčný tok Q_i
 ... indukovaný náboj na ploche S_i

Slovami: Indukcia D sa číselne rovná náboju indukovanému na jednotkovej ploche vodiča vloženého do elektrostatického poľa.

Na základe vzťahu (132) je veľkosť i jednotka indukcie D totožná s **hustotou indukovaného náboja** Γ_i na vodiči. Medzi oboma veličinami je však rozdiel; indukcia D je veličina el. poľa, kým veličina Γ_i charakterizuje indukovaný náboj vo vodiči.

Príklad 1: Na kovovej platničke vlozenej do homogénneho elektrostatického poľa sa indukoval náboj $Q_i = 5 \cdot 10^{-10} \text{ C}$, obr. 36a. Veľkosť plochy platničky zachytávajúcej časť

toku V je $S_i = 25 \text{ cm}^2$ Vypočítajte indukciu D v danom mieste poľa!

Riešenie:

$$D = \oint_i = \frac{Q_i}{S_i} = \frac{5 \cdot 10^{-10}}{25 \cdot 10^{-4}} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Cm}^{-2}.$$

Výpočet elektrickej indukcie D homogénneho poľa. Indukcia D má v každom bode homogénneho poľa rovnakú veľkosť (i smer). Učiteľ vysvetlí, že pre indukciu D poľa rovinného kondenzátora platí definičný vzťah (131), ktorý však možno nahradiť vzťahom (133). Pre každý bod homogénneho poľa rovinného kondenzátora platí:

$$D = \frac{Q}{S} \quad \left[\text{Cm}^{-2}; \text{C, m}^2 \right] \quad \text{[133]}$$

kde Q ... el. náboj na elektróde nabitého kondenzátora (je zdrojom poľa)

S ... plocha dosky kondenzátora, z ktorej vychádza tok psí.

Dôkaz: Možno postupovať dvomi spôsobmi:

a) Vychádzame z definičného vzťahu (131) indukcie D . Po dosadení vzťahu (127), t.j. Gaussovej vety do definičného vzťahu (131), dostávame (133).

b) Vychádzame z definičného vzťahu (132) indukcie D . Do elektrostatického kondenzátora (plocha dosky S) sa vloží skúšobný vodič takej veľkosti a tvaru, že svojou plochou S_i zachytáva všetky indukčné čiary poľa, pozri obr. 36c. Na základe Gaussovej vety musí byť indukovaný náboj Q_i na vodiči rovný el. náboju Q na doske kondenzátora (ktorý je zdrojom toku Y).

Teda platí:

$$ak: S_i = S \quad (134)$$

potom: $Q_i = Q$ (135)

Po dosadení vzťahov (134) a (135) do definičného vzťahu (132) dostaneme (133).

Učiteľ vysvetlí, že zo vzťahu (133) tiež vyplýva, že indukcia D homogénneho poľa zároveň vyjadruje **hustotu náboja** Γ na elektróde kondenzátora (t. j. hustotu náboja Q , ktorý je zdrojom poľa).

Príklad 2: Vypočítajte indukciu D v ľubovoľnom bode homogénneho poľa rovinného kondenzátora, ak el. náboj na platni kondenzátora $Q = 2 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ a plocha platne $S = 100 \text{ cm}^2$.

Výsledok: $D = \Gamma = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Cm}^{-2}$

Výpočet indukcie D nehomogénneho póla v okolí osamoteného (alebo bodového) náboja Q . Pre indukciu D_1 v bode 1 poľa platí:

$$D_1 = \frac{Q}{4 \pi r_1^2} \quad \left[\text{Cm}^{-2}; \text{C} \cdot \text{Fm}^{-1}, \text{m} \right] \quad [136]$$

Dôkaz:

Na základe Gaussovej vety a podľa obr. 36b platí:

$$\Psi = Q \quad [127]$$

$$S_1 = 4 \pi r_1^2 \quad [137]$$

Po dosadení vzťahov (127) a (137) do definičného vzťahu (131) dostaneme (136).

Príklad 3: Vypočítajte hustotu indukovaného náboja (Γ_{il} , na guľovom vodiči vo vzdialenosti $r_1 = 5 \text{ cm}$ od náboja $Q = 5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, pozri obr. 36b.

Výsledok: $\Gamma_{il} = D1 = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{C}$.

Učiteľ ešte zdôrazní, že rovnako ako dielektrický tok Ψ , aj **indukcia D závisí od dielektrických vlastností prostredia**; vyplýva to napríklad zo vzťahu (136). Vo viacvrstvovom dielektriku kondenzátora (vrstvy za sebou) má preto indukcia D v každej vrstve rovnakú hodnotu.

Z hľadiska **analógie** medzi elektrostatickým poľom a statickým el. prúdovým poľom je v systéme veličín elektrická indukcia D analogická s hustotou el. prúdu J .

4. Vzťah medzi indukciou D a intenzitou E elektrostatického póla

Učiteľ použije metódy výkladu a rozhovoru so žiakmi spojené s demonštračným pokusom. Použije nasledujúci postup:

- vykoná pokus
- metódou rozhovoru a výkladu odvodí matematické vzťahy
- žiaci vypočítajú konkrétny príklad.

a) Demonštračný pokus

Pokus možno vykonať v odbornej učebni alebo v laboratóriu. Použijú sa nasledovné meracie prístroje a objekty: zdroj jednosmerného vysokého napätia s možnosťou regulácie, magnetoelektrický voltmeter, balistický galvanometer, platňový kondenzátor, niekoľko dielektrík rôznej hrúbky rovnakého materiálu (napr. zo sľudy), prepínača spojovacie vodiče.

Postup pri meraní:

Učiteľ zostaví el. obvod podľa schémy zapojenia na obr. 37a. Stručne oboznámi žiakov s prvkami obvodu a ich funkciami. Použijú sa dve dielektriká - najprv vákuum (vzduch) a potom napr. sľuda. Keď je prepínač v polohe 1, nabijú sa platne na napätie U a objaví sa na každej z nich el. náboj Q . Po prepnutí do polohy 2 sa kondenzátor

vybije, t.j. el. náboj Q (elektróny) zo zápornej platne sa premiestni cez merací prístroj na kladnú platňu. Napätie sa meria voltmetrom, el. náboj balistickým galvanometrom. Vykoná sa niekoľko meraní s oboma dielektrikami. Žiaci uvedú vzťahy na výpočet intenzity E a indukcie D :

$$E = \frac{U}{\ell}$$

a

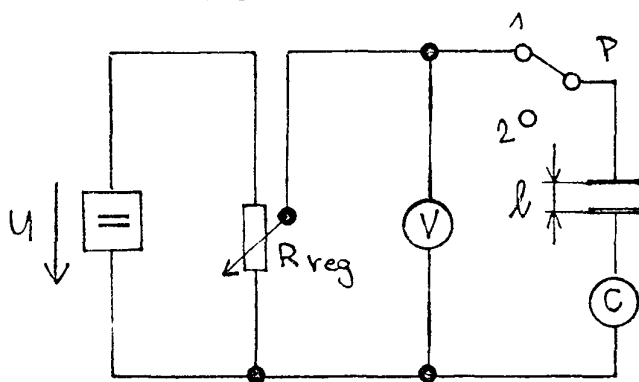
$$D = \frac{Q}{S}$$

Výsledky merania sú na obr. 37b. Závislosť D od E pri oboch dielektrikách je lineárna. Smernica každej priamky sa rovná permitivite ϵ použitého dielektrika. Pokus ukázal, že permitivita sľudy je väčšia (6-krát) ako permitivita vzduchu (vákua).

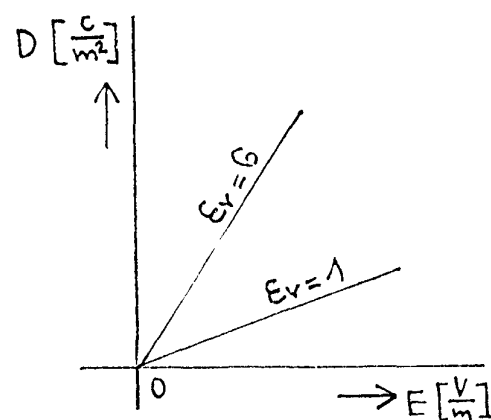
Obr. 37

Vzťah medzi E a D

a) Schéma zapojenia obvodu



b) Výsledky merania



b) Matematický vzťah závislosti D od E

Na základe výsledkov pokusu pre jednotlivé body poľa s určitým dielektrikom platí:

$$D = \epsilon \cdot E \quad \left[\text{Cm}^{-2}; \text{Vm}^{-1}, \text{Vm}^{-1} \right] \quad [138]$$

$$\xi = \xi_r \cdot \xi_0 \quad \left[Fm^{-1}; 0, Fm^{-1} \right] \quad \text{[138]}$$

$$\xi_r \geq 1 \quad (\text{je rovné 1 pre vákuum}) \quad \text{[140]}$$

kde ξ ... permitivita

ξ_0 ... permitivita vákua ($\xi_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} Fm^{-1}$)

ξ_r ... pomerná (relatívna) permitivita izolantu.

Pomerná permitivita je pomer permitivity daného dielektrika k permitivite vákua.

Ak učiteľ nemá možnosť vykonať pokus, môže vzťah (138) odvodiť matematicky. Podelením vzťahov pre indukciu D a intenzitu E elektrostatického poľa osamoteného guľového náboja dostaneme (vzťahy uvádzajú žiaci):

$$\frac{D}{E} = \frac{\frac{1}{4\pi} \frac{Q}{r^2}}{\frac{1}{4\pi\xi} \frac{Q}{r^2}} = \xi \quad \text{[141]}$$

Učiteľ **opäť** porovná analogické veličiny (aj ich jednotky) a vzťahy medzi el. prúdovým a elektrostatickým poľom. Sú to veličiny indukcia D (hustota dielektrického toku) a hustota prúdu J vo vodiči; vzťah $D = \epsilon \cdot E$ pre elektrostatické pole a vzťah $J = \gamma \cdot E$ pre prúdové pole. Analogické sú potom zrejme aj permitivita ϵ izolantu a merná vodivosť γ vodiča (pozri aj tému "Kapacita C kondenzátora").

Príklad 1: Vypočítajte intenzitu E , indukciu D elektrost. poľa a náboj Q na platni nabitého doskového kondenzátora. Napätie na kondenzátore $U = 4000V$, vzdialenosť medzi

platňami $l = 5 \text{ mm}$, plocha dosky $S = 200 \text{ cm}^2$,
 dielektrikum je vzduch.

Riešenie:

$$E = \frac{U}{l} = \frac{4000}{5 \cdot 10^{-3}} = 8 \cdot 10^5 \text{ VM}^{-1}$$

$$D = \epsilon_0 \cdot E = 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 8 \cdot 10^5 = 70,8 \cdot 10^{-7} \text{ Cm}^{-2}$$

$$Q = D \cdot S = 70,8 \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot 10^{-4} = 1,4 \cdot 10^{-7} \text{ C}$$

5. Elektrostatické obvody. Kapacita C kondenzátora

a) Elektrostatické obvody

Učiteľ ďalej rozvíja **analógiu** medzi el. prúdovým a elektrostatickým poľom. Základné prvky jednosmerného prúdového obvodu sú zdroj jednosmerného napätia, vedenie a spotrebič (odporník) charakterizovaný veličinou el. odpor R (el. vodivosť G); analogicky za základné prvky elektrostatického obvodu môžeme považovať zdroj jednosmerného napätia, vedenie a kondenzátor, charakterizovaný veličinou dielektrický odpor R (dielektrická vodivosť G_d - sa nazýva kapacita C), pozri obr. 38a.

Poznámka: V nasledujúcom tematickom celku "Magnetické pole" sa žiaci oboznámia s analogickými veličinami a zákonmi magnetického a elektrického poľa a tiež s analógiou magnetických obvodov a elektrických obvodov prúdového, resp. elektrostatického poľa.

Kapacita C je ďalšia špecifická veličina elektrostatického poľa a k nej v systéme veličín je vertikálne priradená permitivita ϵ . Učiteľ postupne prehľbuje pojem kapacita kondenzátora v smere vertikálnych spojov medzi vedomosťami :

- definícia kapacity C kondenzátora
- výpočet kapacity C z geometrických rozmerov kondenzátora
- spájanie kondenzátorov
- prierezná pevnosť dielektriká kondenzátora
- význam kapacity v praxi.

b) Definícia kapacity C , Ohmov zákon pre elektrostatické pole

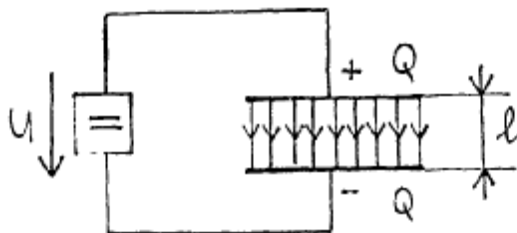
Učiteľ vysvetlí pojem **kondenzátor** - je to zariadenie, v ktorom po pripojení na zdroj napätia (jednosmerného alebo striedavého) sa objaví elektrické pole el. náboja Q nahromadeného v kondenzátore; elektrické pole kondenzátora obsahuje energiu A_S . Technický kondenzátor pozostáva z dvoch vodivých elektród (napr. platní), ktoré sú od seba oddelené dielektrikom (izolantom).

V tomto tematickom celku sa popisujú vlastnosti **elektrostatických obvodov**, t.j. kondenzátorov pripojených na zdroj jednosmerného napätia, pozri obr. 38.

Obr. 38

Kapacita C kondenzátora

a) nabitý rovinný kondenzátor



b) elektrická značka kondenzátora



Na vysvetlenie ďalších základných poznatkov použije učiteľ čiastkovo-zisťovaciu problémovú metódu (alebo metódu problémového výkladu). Stanoví sa prvá úloha: "Na základe doteraz osvojených vzťahov pre veličiny elektrostatického poľa odvodte

vzťah medzi el. nábojom Q na platniach rovinného kondenzátora a napätím U medzi jeho platňami." Úlohu riešia žiaci.

Vychádza sa zo vzťahov:

$$D = \frac{Q}{S} \quad [^{-142}_{-}] \qquad D = \epsilon \cdot E \quad [^{-143}_{-}]$$

$$E = \frac{U}{\ell} \quad [^{-144}_{-}]$$

Platí:

$$Q = D \cdot S = \epsilon \cdot E \cdot S = \epsilon \cdot \frac{S}{\ell} \cdot U \quad [^{-145}_{-}]$$

Keďže ϵ , S , ℓ sú veličiny dané iba tvarom a zložením kondenzátora potom vzťah (145) možno písať v tvare:

$$Q = C \cdot U \quad \left[C; F, V \right] \quad [^{-146}_{-}]$$

kde C ... kapacita kondenzátora

Vzťah (146) je **definičným vzťahom kapacity C** a tiež sa nazýva **Ohmov zákon pre elektrostatické pole** (zdôvodnenie je v nasledovných riadkoch).

Zo vzťahu (146) vyplýva, že pri určitom napätí U medzi platňami kondenzátora je nahromadený náboj Q na oboch platniach tým väčší, čím je väčšia kapacita C kondenzátora.

Jednotka kapacity má pomenovanie farad (1 F). Tiež platí:

$$1 \text{ F} = \frac{[Q]}{[U]} = 1 \frac{\text{As}}{\text{V}}$$

V praxi sa používajú menšie jednotky:

$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$$

$$1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$$

$$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

Príklad 1: Odvoďte rozmer jednotky 1 F v základných jednotkách sústavy SI.

$$\text{Výsledok: } 1 \text{ F} = \text{A}^2 \cdot \text{s}^4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

c) Výpočet kapacity C rovinného kondenzátora z jeho geometrických rozmerov

Žiaci konštatujú, že na základe vzťahu (146) pre rovinný kondenzátor platí:

$$C = \epsilon \frac{S}{l} \quad \left[\text{F}; \text{Fm}^{-1}, \text{m}^2, \text{m} \right] \quad [147]$$

kde ϵ ... permitivita dielektrika

S ... plocha dosky kondenzátora

l ... vzdialenosť medzi doskami

Učiteľ zdôrazní, že vzťah (147) je svojou formou podobný vzťahu na výpočet elektrickej vodivosti G vodiča v elektrickom prúdovom poli. **Analogické** veličiny sú kapacita C a el. vodivosť G a tiež permitivita ϵ a merná vodivosť

Príklad 2: Vypočítajte kapacitu C a el. náboj Q rovinného kondenzátora, ak je pripojený na $U = 400 \text{ V}$, $\ell = 0,5 \text{ mm}$, $S = 200 \text{ cm}^2$ a $\epsilon_r = 1$.

Riešenie:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{\ell} = \frac{8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 200 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-3}} =$$

$$= 354 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 354 \text{ pF}$$

$$Q = C \cdot U = 354 \cdot 10^{-12} \cdot 400 = 14,16 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$

Učiteľ stanoví ďalšiu úlohu: "Definičný vzťah (146) pre kapacitu C nazývame aj Ohmov zákon pre elektrostatické pole a potom kapacita C je tzv. dielektrická vodivosť G_m . Zdôvodnite to!"

Úlohu riešia žiaci, pričom vychádzajú z predtým osvojených vedomostí: Ohmov zákon pre el. prúdový obvod je:

$$I = G \cdot U \quad \left[\begin{matrix} \text{A}; \text{S}, \text{V} \end{matrix} \right] \quad [148]$$

Dielektrický tok Y je veličina analogická s el. prúdom I ; podľa Gaussovej vety tok Y vychádza z náboja Q a je mu rovný:

$$\Psi = Q \quad [149]$$

Po dosadení vzťahu (149) do (146) dostávame:

$$\Psi = C \cdot U$$

/~150_7

Ak kapacitu C nazveme **dielektrickou vodivosťou** G_m nevodivého prostredia ($C = G_d$) potom dostávame:

$$\Psi = G_d \cdot U \quad \left[C; F, V \right] \quad [151]$$

Prevrátená hodnota G je tzv. **dielektrický odpor** R_m :

$$R_m = \frac{1}{G_m} \quad \left[F^{-1}; F \right] \quad [152]$$

Žiaci konštatujú, že vzťah (146), resp. (151) sa preto nazýva Ohmov zákon pre elektrostatické pole a je analogický so vzťahom (148), t.j. Ohmovým zákonom pre prúdové pole.

Medzi rozvíjajúce učivo patria poznatky o rovinnom kondenzátore s **viacvrstvom dielektrikom**.

Učiteľ okrem matematického popisu podľa učebnice vysvetlí aj fyzikálny význam príslušných vzťahov. Je vhodné použiť pri zobrazovaní polí analógiu medzi statickým el. prúdovým poľom a elektrostatickým poľom.

Ak porovnávame veľkosti intenzít E a indukcií D v 2 vrstvách rôznych izolantov **elektrostatického obvodu** na obr. 39a, potom platí:

$$D_1 = D_2 = \frac{\Psi}{S} = D \quad [153]$$

$$E_1 = \frac{D}{\epsilon_0 \epsilon_1} \quad [154] \quad E_2 = \frac{D}{\epsilon_0 \epsilon_2} \quad [155]$$

Učiteľ zdôrazní, že el. indukčný tok Ψ preteká spojitě cez obe vrstvy, pozri indukčné čiary na obr. 39b. Na základe tohto zobrazenia a tiež zo vzťahu (153) vyplýva, že hustota indukčného toku (t.j. el. indukcia D) má v oboch vrstvách rovnakú veľkosť. Intenzita E poľa však závisí od vlastností nevodivého prostredia, čo

vyjadrujú jednak vzťahy (154) a (155) a tiež je to znázornené pomocou elektrických siločiar na obr. 39c.

Obr. 39

Analógia v zobrazovaní elektrických polí

a) elektrický odpor

b) el. indukčné čiary

c) el. siločiar

d) el. obvod jednosmer. prúdu s 2–mi odpormi R_1 a R_2

e) el. prúdové čiary

f) el. siločiar

V el. prúdovom poli na obr. 39d možno vplyv poľa na vodivú látku znázorniť pomocou el. prúdových čiar. Prúdové čiary prechádzajú spojitě cez oba odporníky a teda nezávisle od vlastností prostredia, pozri obr. 39e; hustota prúdu v odporníkoch má rovnakú veľkosť, t.j. $J_1 = J_2$. Silové pôsobenie sa rovnako ako v elektrostatickom poli znázorňuje pomocou siločiar a závisí od veľkostí odporov R_1 a R_2 pozri obr. 39f.

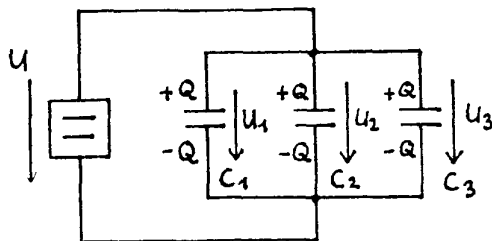
d) Spájanie kondenzátorov

Paralelné spojenie kondenzátorov. Učiteľ uvedenie schému zapojenia niekoľkých (napr. troch) kondenzátorov spojených paralelne (vedľa seba) a pripojených na zdroj jednosmerného napätia, pozri obr. 40.

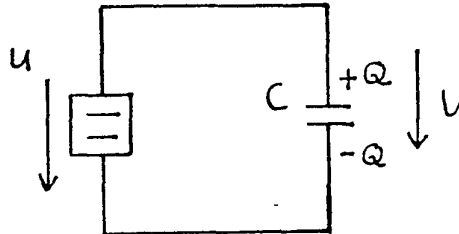
Obr. 40

Paralelné spojenie kondenzátorov

a) obvod s 3-mi kapacitami
 spojenými paralelne



b) obvod s výslednou kapacitou



Pre výslednú kapacitu troch paralelne spojených kondenzátorov platí:

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

[156]

Obečne pre n kondenzátorov paralelne spojených s kapacitami $C_1, C_2, \dots, C_n$ platí:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

[157]

Slovami: Výsledná kapacita sa rovná súčtu kapacít jednotlivých kondenzátorov spojených paralelne.

Vzťah (156) učiteľ dokáže použitím metódy rozhovoru so žiakmi alebo metódy problémového výkladu (učiteľ si pri vysvetľovaní kladie úlohy, resp. otázky a sám ich rieši, resp. na ne odpovedá).

Dôkaz:

Na obr. 40a sú 3 kondenzátory spojené paralelne a pripojené na zdroj jednosmerného napätia U a na obr. 40b sú kapacity C_1, C_2, C_3 nahradené kapacitou C . Na jednotlivých kondenzátoroch sú nahromadené náboje Q_1, Q_2 , a Q_3 ; žiaci odpovedajú, že pri paralelnom spojení sa výsledný náboj Q rovná súčtu jednotlivých nábojov:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad \dots \quad [158]$$

Náboje na kondenzátoroch sa vypočítajú na základe Ohmovho zákona pre elektrostatické pole (opäť odpovedajú žiaci):

$$Q_3 = C_3 \cdot U \quad [161] \quad Q = C \cdot U \quad [162]$$

$$Q_1 = C_1 \cdot U \quad [159] \quad Q_2 = C_2 \cdot U \quad [160]$$

pretože podľa II. Kirchhoffovho zákona:

$$U = U_{AB} = U_C \quad [163]$$

Po dosadení vzťahov [159] až [162] do [158] a úprave, dostávame vzťah [156].

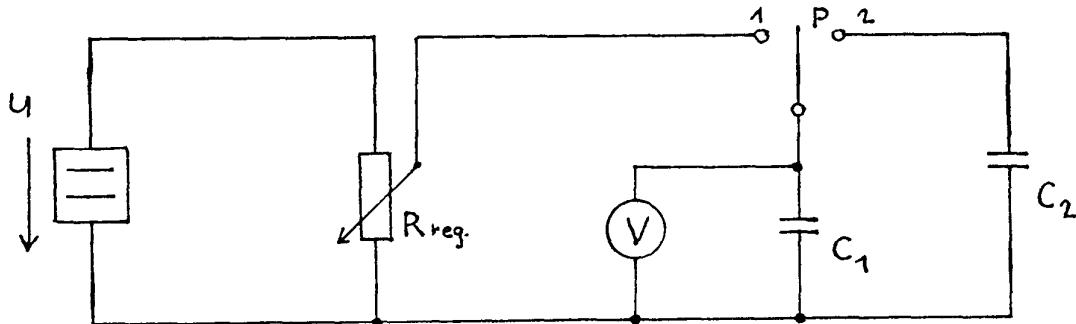
Príklad 3: Vypočítajte výslednú kapacitu paralelného spojenia troch kondenzátorov, $C_1 = 2 \text{ } \mu\text{F}$, $C_2 = 500 \text{ nF}$, $C_3 = 100 \text{ } 000 \text{ pF}$.

Výsledok: $C = 2,6 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 2,6 \text{ } \mu\text{F}$.

Vhodný je demonštračný pokus s elektrostatickým obvodom s dvomi paralelne spojenými kondenzátormi, pozri obr. 41; možno ním jednak overiť platnosť zákona $Q = C \cdot U$ a tiež dokázať, že 2 kondenzátory s kapacitami C_1 a C_2 spojené paralelne sa v obvode javia ako kondenzátor s kapacitou $C = C_1 + C_2$.

Obr. 41

Paralelné spojenie kondenzátorov - demonštračný pokus



Sériové spojenie kondenzátorov. Učiteľ postupuje podobne ako v predchádzajúcom prípade. Matematické vzťahy vysvetľuje metódou rozhovoru alebo problémového výkladu.

Ak spojíme do série n kondenzátorov s kapacitami $C_1, C_2, \dots, C_n$ a pripojíme ich na zdroj jednosmerného napätia, potom pre výslednú kapacitu C platí:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad [164]$$

Slovami: Prevrátená hodnota výslednej kapacity sa rovná súčtu prevrátených hodnôt kapacít jednotlivých kondenzátorov spojených sériové.

Dôkaz:

Učiteľ dokáže vzťah (164), napr. pre 3 kondenzátory spojené do série. Na jednotlivých kondenzátoroch v sérii musia byť rovnaké náboje (napr. kladný náboj Q , a záporný náboj Q_2 vznikli prechodom elektrónov z platne kondenzátora C_1 na platňu kondenzátora C_2). Pre 3 kondenzátory v sérii podľa obr. 42 platí:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q \quad [165]$$

Pre napätia v elektrostatickom obvode platí II. Kirchhoffov zákon; vzťah vyslovia žiaci:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad [166]$$

Žiaci konštatujú, že jednotlivé napätia sa vypočítajú Ohmovým zákonom pre elektrostatické pole:

$$U_1 = \frac{Q}{C_1} \quad [167] \quad U_2 = \frac{Q}{C_2} \quad [168]$$

$$U_3 = \frac{Q}{C_3} \quad [169] \quad U = \frac{Q}{C} \quad [170]$$

Po dosadení vzťahov (167) až (170) do (166) a úprave, dostávame:

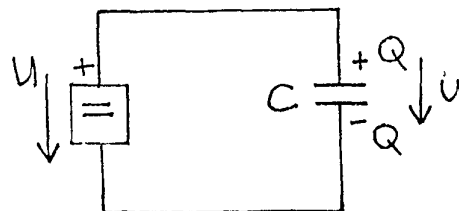
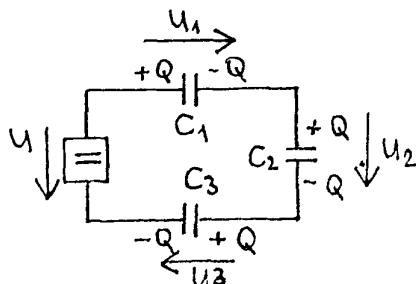
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad [171]$$

Obr. 41

Sériové spojenie kondenzátorov

a) obvod s 3-mi kondenzátormi v sérii

b) obvod s výslednom kapacitou



Príklad 4: Tri kondenzátory s kapacitami 20 nF, 40 nF a 60 nF sú zapojené v sérii. Vypočítajte výslednú kapacitu!

Výsledok: $C = 10,9 \text{ nF}$.

Z hľadiska vytvárania systému vedomostí po osvojení vedomostí o spájaní kondenzátorov vznikne horizontálny spoj s vedomosťami o spájaní rezistorov.

e) Elektrická pevnosť dielektriká kondenzátora

Učiteľ použije metódu výkladu a rozhovoru. Prieraznú pevnosť izolantov môže demonštrovať použitím panelu "Elektrická pevnosť dielektrika".

Učiteľ vysvetlí, že mierou elektrickej pevnosti kondenzátora je tzv. **prierazná intenzita elektrostatického poľa E_p** . Ak sa postupne zvyšuje intenzita poľa E nabitého kondenzátora (napr. zvyšovaním napätia), potom pri určitej hodnote E_p nastane prieraz, t.j. elektrický náboj prejde z jednej na druhú elektródu cez dielektrikum. Pri prieraze dielektrikum stráca svoju izolačnú schopnosť a zároveň kondenzátor schopnosť hromadiť el. náboj. Pre prieraznú intenzitu rovinného kondenzátora platí známy vzťah (vyslovia ho žiaci):

$$E_p = \frac{U_p}{l} \quad \left[\text{Vm}^{-1}; \text{V}, \text{m} \right] \quad \text{[172]}$$

kde U_p ... prierazné napätie dielektriká

l.. vzdialenosť medzi elektródami kondenzátora

Hodnota E_p každého izolanta závisí predovšetkým od jeho hrúbky, teploty, tvaru elektród, trvania namáhania a pod. Najlepšie izolanty z hľadiska elektrickej pevnosti sú plyny. Prierazná intenzita E vzduchu pri vrstvách tenších ako 4 mm sa blíži k hodnote 171 kVcm^{-1} , pri vrstvách niekoľko decimetrových k hodnote $24,7 \text{ kVcm}^{-1}$

Príklad 5: Vypočítajte hodnotu prierného napätia vzduchového rovinného kondenzátora, ak:

a) $l_1 = 2 \text{ mm}$

b) $l_2 = 50 \text{ cm}$

Výsledok: a) $U_{p1} = 34,2 \text{ kV}$

b) $U_{p2} = 1 \text{ 235 kV.}$

f) Význam kondenzátorov v praxi

V tematickom celku "Elektrostatické pole" sa charakterizoval kondenzátor po pripojení na zdroj jednosmerného napätia; v tematickom celku "Obvody striedavého prúdu" sa žiaci oboznámia s vlastnosťami kondenzátora v obvode striedavého prúdu.

Učiteľ predvedie ukážky kondenzátorov a popíše jednotlivé typy (ide o rozvíjajúce učivo, pretože s vlastnosťami a zložením kondenzátorov sa žiaci oboznámia v elektrotechnológii).

Najjednoduchšími kondenzátormi sú Franklinova doska a Leydenská fľaša (sklo oblepené zvnútra i zvonka staniolom). Pre technickú prax sa vyrábajú kondenzátory pre jednosmerné a striedavé napätie:

- so stálou kapacitou, napr. zvitkové (fóliové), keramické, elektrolytické (na jednosmerné napätie a kapacity rádové mikrofary)
- **s možnosťou meniť kapacitu**, napr. otočné kondenzátory so vzduchovým dielektrikom, ktoré pozostávajú z dvoch sústav dosiek - pevnej a otočnej.

Poznámka:

Medzi rozvíjajúce učivo patrí aj praktické využitie poznatkov z elektrostatického poľa.

6. Energia elektrostatického póla

Učiteľ postupuje nasledovne:

- vysvetlí pojem energia elektrostatického poľa
- uvedie matematický vzťah na výpočet energie elektrostatického poľa a metódou rozhovoru so žiakmi odvodí ďalšie vzťahy
- metódou problémového výkladu (alebo rozhovoru) odvodí základný vzťah na výpočet energie elektrostatického poľa
- žiaci vypočítajú konkrétny príklad.

a) Energia elektrostatického poľa

Učiteľ vysvetlí, že doteraz sme uvažovali prácu A_{12} , ktorú vykoná el. náboj Q_S pri premiestnení z miesta 1 do miesta 2 v elektrickom prúdovom alebo elektrostatickom poli (pozri definíciu napätia U_{12}). Napríklad, pri premiestnení náboja Q_S z jednej na druhú platňu nabitého kondenzátora s napätím U , v dôsledku silového pôsobenia poľa, resp. vonkajšej sily F na náboj Q_S vykoná sa práca:

$$A = U \cdot Q_S \quad \left[J; V, C \right] \quad \text{[173]}$$

Učiteľ zdôrazní, že elektrické pole preto obsahuje určitú energiu. Energia elektrostatického poľa A_S je nahromadená v priestore, kde sa pole nachádza (napríklad medzi elektródami nabitého kondenzátora). Ak sa v elektrostatickom poli nachádza dielektrikum, potom v dôsledku existencie energie elektrostatického poľa vzniká polarizácia dielektrika.

b) Matematické vzťahy na výpočet A_S :

Pre energiu A_S nabitého kondenzátora platí:

$$A_S = \frac{U \cdot Q}{2} \quad \left[J; V, C \right] \quad \text{[174]}$$

kde U ... napätie medzi elektródami kondenzátora

Q ... el. náboj na elektróde kondenzátora

Vzťah (174) možno použitím žiakov už známych vzťahov (175), (176) a (177) upraviť.

Platí:

$$Q = C \cdot U \quad [^{-175}_{-}]$$

$$Q = D \cdot S \quad [^{-176}_{-}]$$

$$U = E \cdot \ell \quad [^{-177}_{-}]$$

Úpravu vykonajú žiaci:

$$A_S = \frac{C \cdot U^2}{2} \quad [^{-178}_{-}]$$

alebo

$$A_S = \frac{D \cdot E \cdot V}{2} \quad [^{-179}_{-}]$$

kde $V = S \ell$... objem dielektrika

Dôkaz vzťahu (174):

Vyplýva z predpokladu, že energia elektrostatického poľa A_S je daná prácou, ktorá sa musí vynaložiť na umiestnenie náboja Q , ktorý je zdrojom poľa (náboja Q na elektróde kondenzátora). Dôkaz vzťahu (174) je uvedený v učebnici Franko, Hajach "Základy elektrotechniky".

Príklad 1: Vypočítajte energiu elektrostatického poľa nabitého kondenzátora, ak

$$U = 250 \text{ V a } C = 32 \text{ ,uF.}$$

$$\text{Výsledok: } A_S = 1\text{J.}$$

7. Preverovanie vedomostí

Test

1. Siločiarly elektrostatického poľa tvarom sú:

- a) uzavreté čiary
- b) začínajú v kladnom a končia v zápornom el. náboji
- c) začínajú v zápornom a končia v kladnom el. náboji
- d) sú kolmé na smer sily elektrostatického poľa

2. Základné veličiny elektrostatického poľa sú:

- a) E a D
- b) E a U
- c) U a D
- d) U a C

3. Definícia veličiny E je:

$$a) E = \frac{Q}{4\pi\epsilon r^2}$$

$$b) E = \frac{U}{l}$$

$$c) E = \frac{F}{Q_s}$$

$$d) E = \frac{D}{\epsilon}$$

4. Vzájomný vzťah medzi indukciou a intenzitou elektrostatického poľa je:

$$a) E = \epsilon \cdot D$$

$$b) \Psi = \epsilon \cdot E$$

$$c) D = \epsilon \cdot U$$

$$d) D = \epsilon \cdot E$$

5. Jednotka indukcie D je:

$$a) \text{Vm}^{-3}$$

$$b) \text{Cm}^{-2}$$

$$c) \text{Fm}^{-1}$$

$$d) \text{C}$$

6. Analogická veličina el. prúdového poľa k indukcii D je:

a) hustota el. prúdu J

b) el. prúd I

c) merná vodivosť γ

d) el. vodivosť G

7. Jedna z uvedených veličín je skalárna:

a) intenzita el. poľa

b) indukcia el. poľa

c) kapacita kondenzátora

d) sila el. poľa

8. 1 pF je:

a) 10^{-9} F

b) 10^9 F

c) 10^{-12} F

d) 10^{12} F

9. Výsledná kapacita sériovoparalelného spojenia podľa obr. 43 je rovná:

a) C

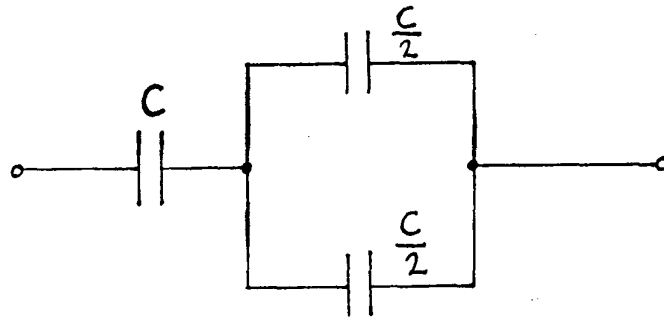
b) $\frac{C}{2}$

c) $\frac{C}{4}$

d) 2 C

Obr. 43

Spojenie kondenzátorov



10. Ohmov zákon pre elektrostatické pole je:

a) $C = \epsilon \frac{S}{\ell}$

b) $\Psi = Q$

c) $D = \epsilon \cdot E$

d) $Q = C \cdot U$