



STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA SDĚLOVACÍ TECHNIKY

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

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

Dlouhodobá maturitní práce z fyziky

Elektrotechnická stavebnice

Studijní obor: **78-42-M/001**
Technické lyceum

Třída: **4.L**

Školní rok: **2008/2009**

Eduard Binko a Jan Boháč

Anotace

Cílem této práce bylo rozšíření znalostí čtenářů v oblasti elektrotechniky. Práce popisuje základní pojmy a zákony v elektrotechnice, jejichž znalost je potřebná ke studiu na střední škole. K práci je přiložen také vlastnoručně vyrobený model zapojovacího pole. Na tomto modelu si čtenáři mohou ověřit platnost zákonů obsažených v této práci. Práce obsahuje základní principy funkce elektrotechnických součástek a jejich využití v praxi. V textu je také zařazeno několik jednoduchých vyřešených příkladů, které slouží k lepšímu pochopení daných problematik. Celá práce by měla sloužit jako doplňující prvek k výuce fyziky na střední škole.

Annotation

Purposes of these work was an extension of readers' knowledge in electrotechnics. The work describes basic terms and principles in electrotechnics, the knowledge of which is required for study at High school. The work contains also a self-made model of a contact field. On this model the readers can verify validity of principles included in this work. The work introduces principles of electrotechnic elements and their practical use. There are also several solved examples in this work, which serve for better understanding of defined problems. The whole work should be used as a supplementary component in physics study at High school.

1. Úvod

Právě jste otevřeli písemnou část naší Dlouhodobé maturitní práce. Ve třetím ročníku na SPŠST v Panské ulici jsme si měli zvolit nějaké téma na vypracování ročníkové práce. To, že jsme se rozhodli dělat tuto práci z fyziky, bylo z velké části způsobeno velice působivým a poutavým výkladem našeho vyučujícího Mgr. Jaroslava Reichla. Jelikož nás ze všech oborů fyziky nejvíce během studia zaujala elektřina a magnetismus, tak jsme si z nabízených témat ve třetím ročníku zvolili elektrotechnickou stavebnici. Tato tematika se nám zdála dost lákavá a vhodná i pro následné pokračování v podobě dlouhodobé maturitní práce. Rozhodli jsme se v této práci zaměřit na úplné základy, které si budete následně moci vlastnoručně vyzkoušet na námi vyrobeném zapojovacím poli. Budete seznámeni se základními fyzikálními parametry a vlastnostmi vybraných elektrotechnických součástek. V textu jsou také zařazeny další poznatky týkající se zejména RLC obvodů, jejichž technologická realizace je velmi složitá a je k ní potřeba velmi přesných výpočtů a minimálních ztrát v obvodech, kterým se na naší úrovni nedá zabránit, a proto je tato část naší práce zpracována pouze teoreticky v tomto textu. Do textu jsme zařadili také několik vzorových příkladů, které se dají vyřešit také reálně pomocí našeho zapojovacího pole.

Autoři

2. Struktura práce

Práce je rozdělena do několika tématických celků. V prvním z těchto okruhů se čtenářům pokusíme vysvětlit základní pojmy nutné pro pochopení dalších kapitol. Ke každé podkapitole jsme přiřadili důležité vzorce a vysvětlení jejich členů. V druhém okruhu seznámíme čtenáře se známými zákony elektrotechniky a nastíníme jim jak došlo k jejich formulaci. Ve třetím okruhu popíšeme elektrotechnické součástky, jejich funkci a konstrukci. Ve čtvrtém celku se navracíme k již známým zákonům elektrotechniky a názornými obvody dokazujeme jejich platnost. V páté části jsme přichystali několik vyřešených úloh pro lepší pochopení důležitých pravidel výpočtů. V šesté části je zdokumentován praktický model, který je přiložený k naší práci. Dále jsou v této kapitole zařazeny i vzory zapojení, která se dají vytvořit pomocí našeho zapojovacího pole.

3. Základní pojmy

3.1. Kapacita kondenzátoru

Charakteristickou veličinou popisující kondenzátor je jeho kapacita. Ta zjednodušeně představuje kolik elektrické energie je kondenzátor schopen uchovat pro pozdější využití. V některých typech obvodů kondenzátor představuje „dočasnou baterii“.

Vypočet kapacity se liší podle typu kondenzátoru. Pro libovolný vodič platí vztah $C = \frac{Q}{\varphi}$,

kde Q je elektrický náboj vodiče a φ jeho elektrický potenciál. Kapacita kulového kondenzátoru se vyjádří $C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r R$. V tomto vztahu R představuje poloměr kondenzátoru, ϵ_0 permitivitu vakua, která má konstantní hodnotu

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$. ϵ_r potom relativní permitivitu prostředí, ve vakuu je rovna 1. Ve vzduchu lze pro usnadnění výpočtů uvažovat také $\epsilon_r = 1$. Druhým typem kondenzátoru je

deskový, jeho kapacita se vypočítá pomocí vzorce $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$, kde ϵ_0 je opět permitivita

vakua $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$, S je plocha desky kondenzátoru a d zastupuje vzdálenost mezi oběma deskami. V RLC obvodech se u kondenzátoru zavádí pojem kapacitance X_C . Je podstatná, protože představuje „odpor“ kondenzátoru a využívá se k výpočtu veličiny zvané impedance.

Shrnutí:

$$C = \frac{Q}{\varphi} \quad C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r R \quad C = \frac{\epsilon_0 S}{d} \quad X_C = \frac{1}{\omega C}$$

C – kapacita kondenzátoru; $[C] = F$

Q – elektrický náboj na vodiči; $[Q] = C$

φ - elektrický potenciál vodiče; $[\varphi] = V$

ϵ_r - relativní permitivita ve vakuu (přibližně i ve vzduchu) $\epsilon_r = 1$

ϵ_0 - permitivita vakua $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$

R – poloměr kulového kondenzátoru; $[R] = \text{m}$

d – vzdálenost mezi deskami kondenzátoru; $[d] = \text{m}$

S – plocha deskového kondenzátoru; $[S] = \text{m}^2$

X_C – kapacitance; $[X_C] = \Omega$

ω - úhlová frekvence; $[\omega] = \text{s}^{-1}$

4. Používané zákony a definice

V této kapitole vám představíme důležité zákony elektrotechniky. Podrobně v tomto oddílu projdeme postupně zákon Ohmův, zákony Kirchhoffovy a Faradayův zákon elektromagnetické indukce. Budete také informováni o životě fyziků, kteří tyto zákony objevily a formulovaly jejich definice.

4.1. Ohmův zákon

Německý fyzik Georg Simon Ohm (obr. 3) se narodil 16. března 1787 v Erlargenu v Německu. Díky podpoře ze strany otce získal Ohm výborné znalosti v oblasti matematiky a fyziky. V roce 1805 nastoupil na univerzitu v Erlargenu. Studium však po roce přerušil kvůli nedostatku financí a odešel vyučovat matematiku do Švýcarska. Ve Švýcarsku strávil celkem 6 let. Po celou dobu se sám stále vzdělával v oblasti matematiky, aby se následně vrátil na univerzitu do rodného města, kde roku 1811 obdržel doktorát. Roku 1817 přichází zlom v jeho životě, nastupuje jako profesor na jezuitské gymnázium v Kolíně nad Rýnem. Právě zde se začíná zabývat zkoumáním elektrických obvodů. V roce 1827 vydal svojí práci, ve které zformuloval definici zákona, který dával do spojitosti elektrické napětí a procházející elektrický proud:

„Napětí mezi konci vodiče je přímo úměrné proudu procházejícímu vodičem.“

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

Ohm narazil zpočátku na nepochopení. Společnost fyziků neuznávala, že by vztah mezi napětím a proudem mohl být tak primitivní. Až roku 1841, když Ohma ocenila Královská společnost v Londýně za jeho objev, začal být v Německu uznávaným a známým fyzikem. V roce 1849 se mu splnilo velké přání a byl zaměstnán jako profesor na univerzitě v Mnichově. Georg Simon Ohm zemřel 7. července 1854 v Mnichově.



obr. 1. Georg Simon Ohm

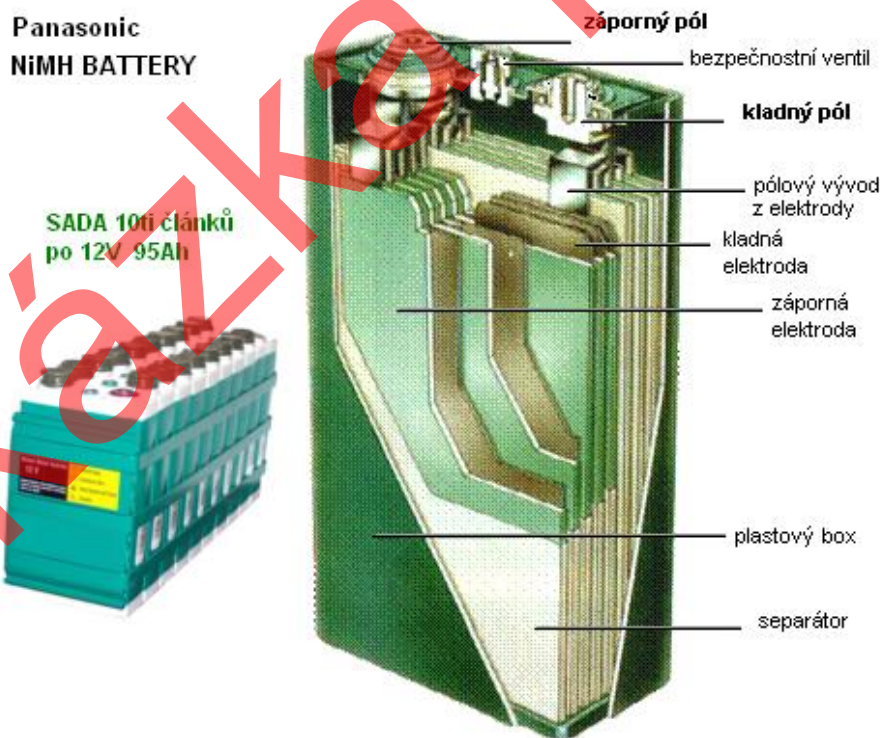
5. Součástky

V této kapitole vám popíšeme konstrukci a princip základních prvků elektrických součástek používaných v praxi. Několik těchto součástek je umístěno v našem zapojovacím poli.

5.1. Zdroj elektrického napětí

5.1.1. Stejnosměrné napětí

Jako zdroj stejnosměrného napětí se využívá většinou jako malý a přenosný zdroj elektrického napětí např. baterie (obr. 6.). A to od malých tužkových až po automobilové. Jeho princip je ve většině případů založen na chemické reakci zvané elektrolyza. Do určitého roztoku (elektrolyt) jsou ponořeny dvě elektrody (tyče, desky) z různých kovů (Pb, Cu, Ni, ...). Díky chemickým reakcím vzniká mezi elektrodami konstantní napětí U , které vydrží pouze časově omezenou dobu. Po uplynutí této doby (vybití baterie) musíme zdroj opět nabít, doplnit elektrolyt nebo nějak vhodně zničit (recyklovat).



obr. 2. Stejnosměrný zdroj el. napětí – baterie

5.2. Rezistor

Rezistor (obr. 13.) je součástka, která v obvodu klade velký odpor průchodu proudu. Při řešení teoretických nebo praktických úloh výpočtem se jakákoliv zátěž nebo ztráta elektrické energie pro usnadnění matematických operací považuje za rezistor. Cíleně vyráběná elektrotechnická součástka je složená z jádra, které má vysokou rezistivitu, a vinutí vodiče okolo tohoto jádra. Z vinutí jsou vyvedené kontakty pro připojení do elektrického obvodu. Rezistor je charakterizovaný samotným odporem a výkonem, který daný rezistor dokáže absorbovat. Důležité je, že se odpor rezistoru nemění tzn. je konstantní. Používá se jako „ochrana“ jiných součástek před příliš vysokým proudem.



obr. 3. rezistor

5.3. Kondenzátor

Kondenzátor (obr. 14.) se pro zjednodušení popisuje jako součástka tvořená dvěma deskami, mezi kterými je nevodivá mezera (u některých vyplněná dielektrikem), v praxi se používají kondenzátory, jejichž konstrukce je velmi odlišná, ale funkci mají stejnou jako kondenzátory deskové. Při zapojení do elektrického obvodu se desky začnou nabíjet opačnými náboji. Proto je po vypnutí zdroje možné na určitý časový okamžik kondenzátor považovat za zdroj napětí, které vzniká mezi deskami.



obr. 4. válcový kondenzátor

5.4. Cívka

Cívka (obr. 15.) je součástka tvořená vodičem navinutým na materiálu, který tak tvoří její jádro. Materiály jádra se dělí do tří skupin. Diamagnetické látky (zlato, rtuť, ...) magnetické pole zeslabují, mají relativní permeabilitu menší než jedna ($\mu_r < 1$), proto jsou pro výrobu cívek nevhodné. Látky paramagnetické (draslík, sodík, hliník, ...) mají relativní

permeabilitu větší než jedna ($\mu_r < 1$). Pro výrobu cívek se nejvíce využívá jader vyrobených z látek feromagnetických (železo, sloučeniny Fe_2O_3 , ...), které mají relativní permeabilitu výrazně větší než jedna ($\mu_r \gg 1$). Kombinace vodivého jádra a navinutého vodiče zesiluje magnetické pole vznikající v okolí vodiče, kterým prochází elektrický proud. Při pohybu magnetu v okolí cívky se mění velikost magnetického indukčního toku a na cívce se indukuje napětí, jehož velikost se vypočítá vzorcem odvozeným z Faradayova zákona elektromagnetické indukce $U_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.



obr. 5. cívka

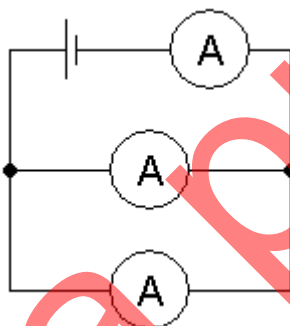
6. Obvody na ověření použitých zákonů

V této kapitole se navracíme k již známým zákonům elektrotechniky. Je zde napsán návod pro každý zákon, jakým obvodem se dá ověřit jeho platnost. Až na zákon Faradayův si všechny můžete ověřit na přiloženém zapojovacím poli.

6.1. Kirchhoffovy zákony

6.1.1. První Kirchhoffův zákon

Pravdivost prvního Kirchhoffova zákona zjistíme změřením všech proudů procházejících uzlem (obr. 19.).



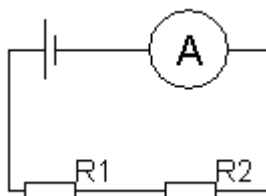
obr. 6. 1. Kirchhoffův zákon

První Kirchhoffův zákon platí, když se algebraický součet naměřených proudů v uzlu rovná nule. Pro uzel A tedy platí:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

6.1.2. Druhý Kirchhoffův zákon

Pro ověření druhého Kirchhoffova zákona budeme potřebovat zdroj stejnosměrného napětí, 2 rezistory a ampérmetr (obr. 20.).



obr. 7. 2. Kirchhoffův zákon

Pro výpočet si musíme vyjádřit napětí na rezistorech R_1 a R_2 . Z Ohmova zákona dostaneme:

$$U_1 = R_1 I \quad U_2 = R_2 I \quad U = U_1 + U_2$$

7. Úlohy

V této kapitole vám představíme několik jednoduchých úloh, které jsou vyřešené pro lepší pochopení použitých zákonitostí. Výsledky z podkapitoly s výpočty celkového odporu obvodů si budete moci ověřit praktickým sestavením a změřením daného zapojení pomocí našeho zapojovacího pole.

7.1. Výpočet celkové kapacity kondenzátorů

7.1.1. Paralelní zapojení

Zadání: Vypočítejte celkovou kapacitu kondenzátorů zapojených vedle sebe podle obr. 22.

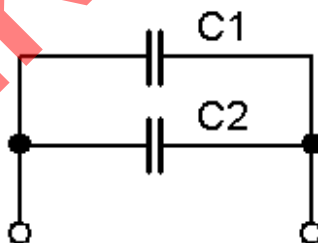
$$\begin{aligned}C_1 &= 1\text{mF} \\C_2 &= 250\mu\text{F} \\C &= ?\end{aligned}$$

Řešení:

$$C = C_1 + C_2$$

$$C = 1 \cdot 10^{-3} + 250 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

$$C = 1250 \mu\text{F}$$



obr. 8. paralelní spojení kondenzátorů

7.1.2. Závěrečný příklad

Zadání: Vypočítejte celkovou kapacitu kondenzátorů zapojených podle obr. 25.

$$\begin{aligned}C_1 &= 300\mu\text{F} \\C_2 &= 100\text{mF} \\C_3 &= 25\text{mF} \\C_4 &= 0,03\text{F} \\C_5 &= 250\mu\text{F} \\C_6 &= 50\text{mF} \\C_7 &= 500\mu\text{F} \\C &= ?\end{aligned}$$

Řešení:

$$C_{123} = C_1 + C_2 + C_3$$

$$C_{123} = 300 \cdot 10^{-6} + 100 \cdot 10^{-3} + 25 \cdot 10^{-3} \text{ F} = 125,3 \text{ mF}$$

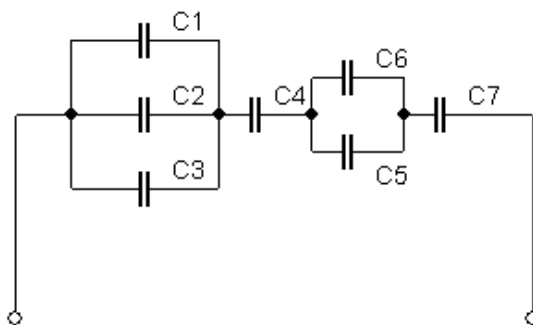
$$C_{1234} = \frac{C_{123} C_4}{C_{123} + C_4} = \frac{125,3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,03}{125,3 \cdot 10^{-3} + 0,03} \text{ F} = 24,2 \text{ mF}$$

$$C_{56} = C_5 + C_6$$

$$C_{56} = 250 \cdot 10^{-6} + 50 \cdot 10^{-3} \text{ F} = 50,25 \text{ mF}$$

$$C_{567} = \frac{C_{56} C_7}{C_{56} + C_7} = \frac{50,25 \cdot 10^{-3} \cdot 500 \cdot 10^{-6}}{50,25 \cdot 10^{-3} + 500 \cdot 10^{-6}} \text{ F} = 495 \mu\text{F}$$

$$C = \frac{C_{1234} C_{567}}{C_{1234} + C_{567}} = \frac{24,2 \cdot 10^{-3} \cdot 495 \cdot 10^{-6}}{24,2 \cdot 10^{-3} + 495 \cdot 10^{-6}} \text{ F} = 485 \mu\text{F}$$



obr. 9. složitější zapojení kondenzátorů

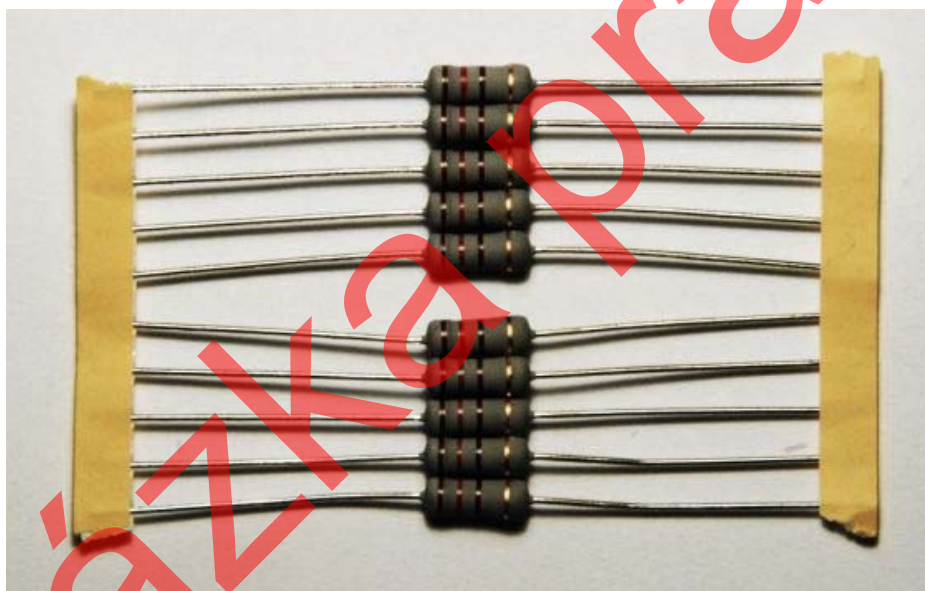
8. Praktický model

V této kapitole vám představíme námi použité součástky, které jsme použili při konstrukci zapojovacího pole. Dále zde naleznete i několik vzorových schémat, která se dají zkonstruovat pomocí našeho zapojovacího pole. V závěrečné podkapitole naleznete schéma zapojovacího pole a jeho fotografie.

8.1. Součástky

8.1.1. Rezistory

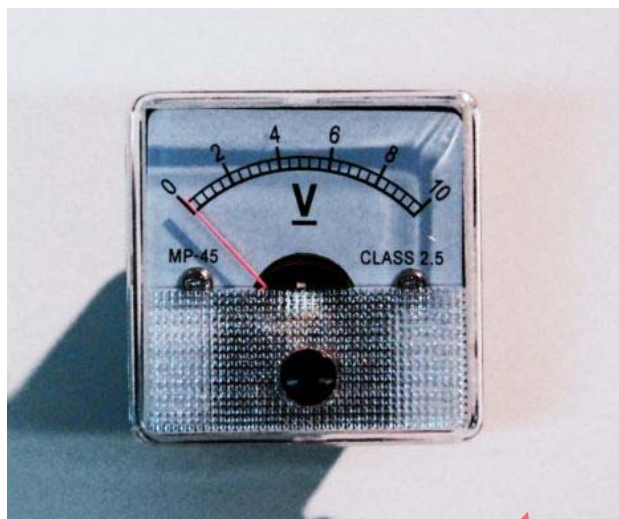
Při konstrukci našeho modelu jsme použili 10 rezistorů typu RR 2W 120R (obr. 29.) o odporu $R = 120\Omega$. Každý rezistor je konstruován na výkon $P = 2W$.



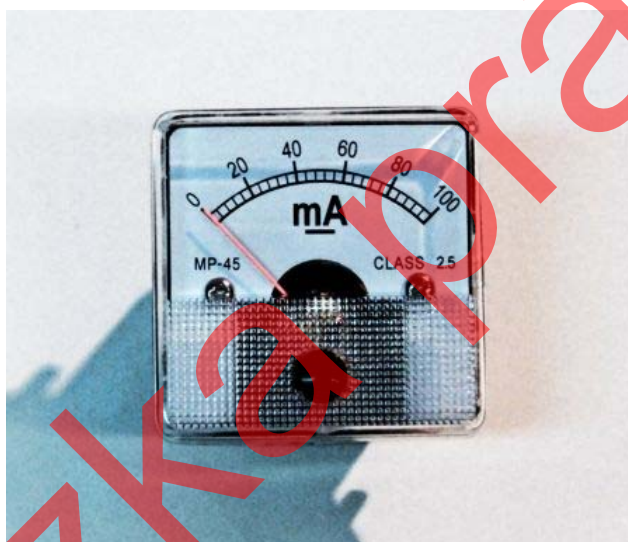
obr. 10. rezistory

8.1.2. Vestavěný ampérmetr a voltmetr

Na zapojovací pole jsme pro lepší orientaci umístili napevno namontovaný ampérmetr typu HD-028 100mA a voltmetr typu HD-024 10V.



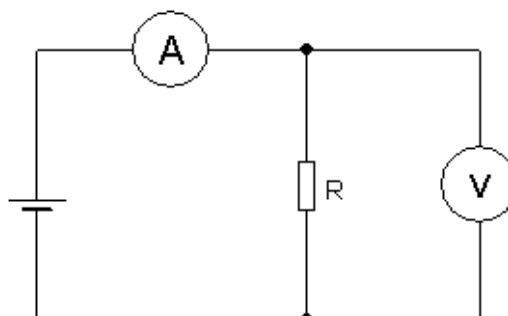
obr. 11. voltmetr



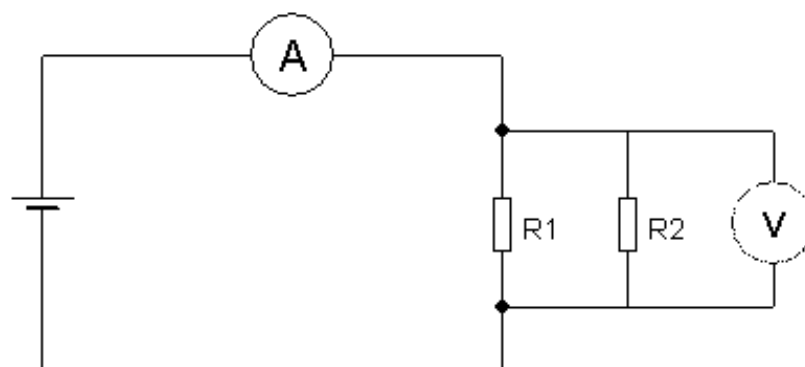
obr. 12. ampérmetr

8.2. Příklady zapojení

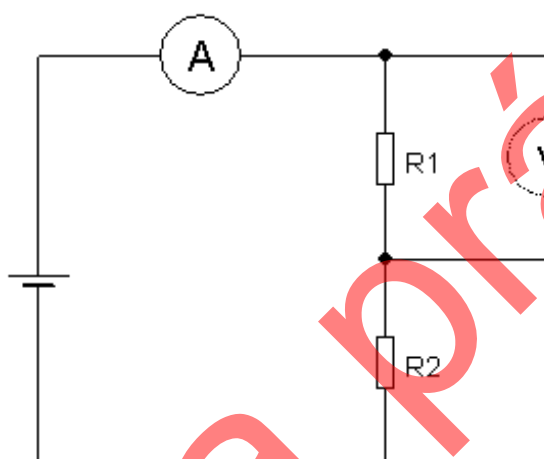
V této kapitole jsme pro vás připravili několik příkladů obvodů, které se dají sestavit pomocí našeho zapojovacího pole. Doufáme, že využijete i vlastní fantazii k vyčerpání všech možných variací zapojení.



obr. 13. zapojení samostatné zátěže



obr. 14. paralelní zapojení 2 rezistorů

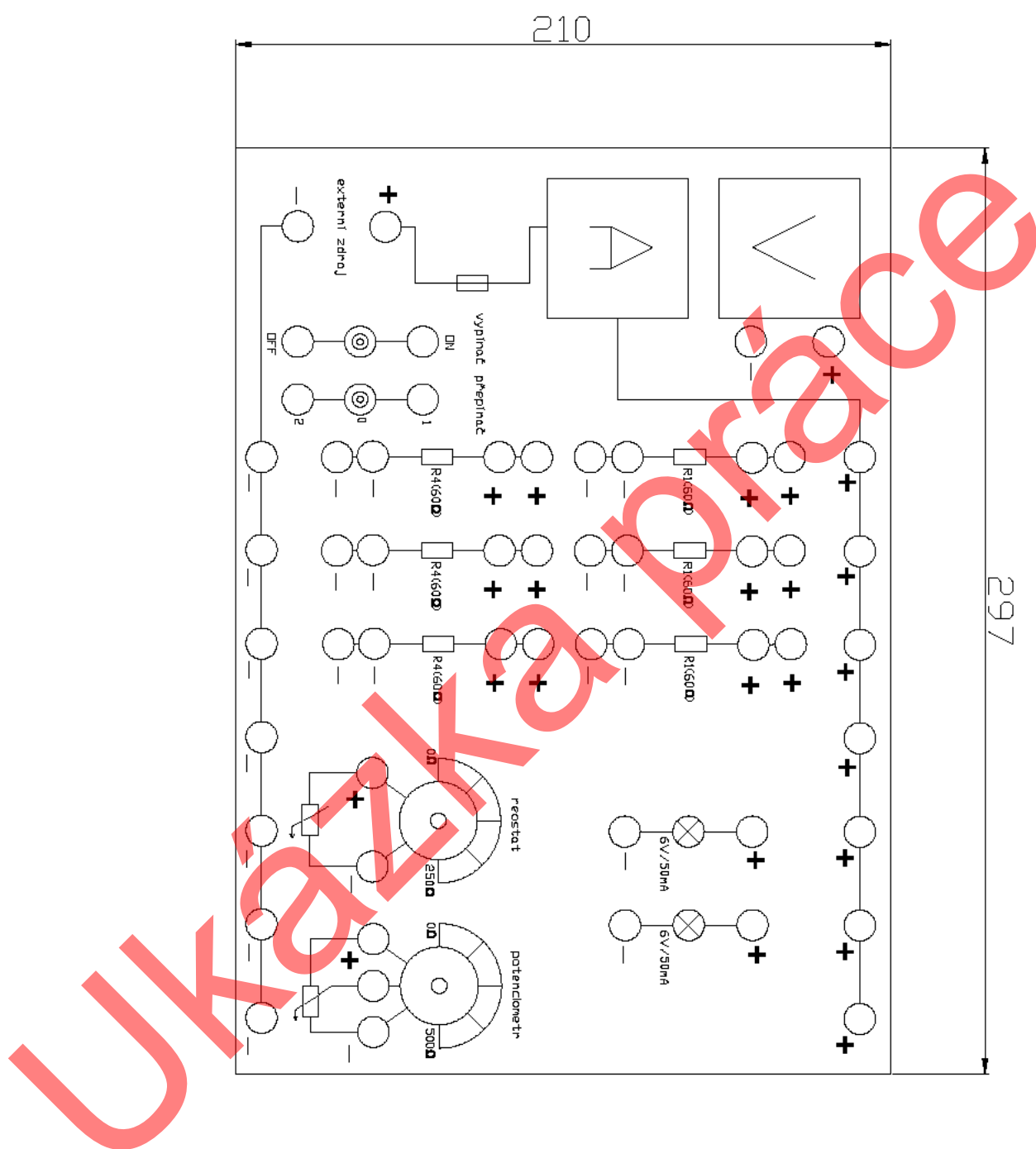


obr. 15. sériové spojení 2 rezistorů

8.3. Schéma a fotografie zapojovacího pole

Jako praktickou část naší dlouhodobé maturitní práce jsme zvolili konstrukci vlastního zapojovacího pole, na kterém si budete moci vyzkoušet sestavit základní typy obvodů. Po vzájemné konzultaci jsme se rozhodli pro průhlednou konstrukci z plastu. Do základní desky jsme vyvrtali otvory pro zdičky přesně podle rozvržení, které jsme přiložili do práce ve formě schématu. První naše myšlenka byla, že vrchní panel polepíme schematickými značkami, ale po zvážení jsme se rozhodli pro variantu bez polepení. Díky průhlednému materiálu je tak lépe vidět konstrukce pole. Při konstrukci pole jsme použili součástky, jejichž parametry jsou uvedeny v kapitole 9.1. Ke spojování obvodů budou použity standardní vodiče používané ve škole, které jsou zakončeny tzv. „banánkem“. Při zacházení s polem bychom vás rádi poprosili o zvýšenou opatrnost, aby nedocházelo k zbytečnému ničení součástek. Jako základní ochranu jsme na pole umístili pojistku.

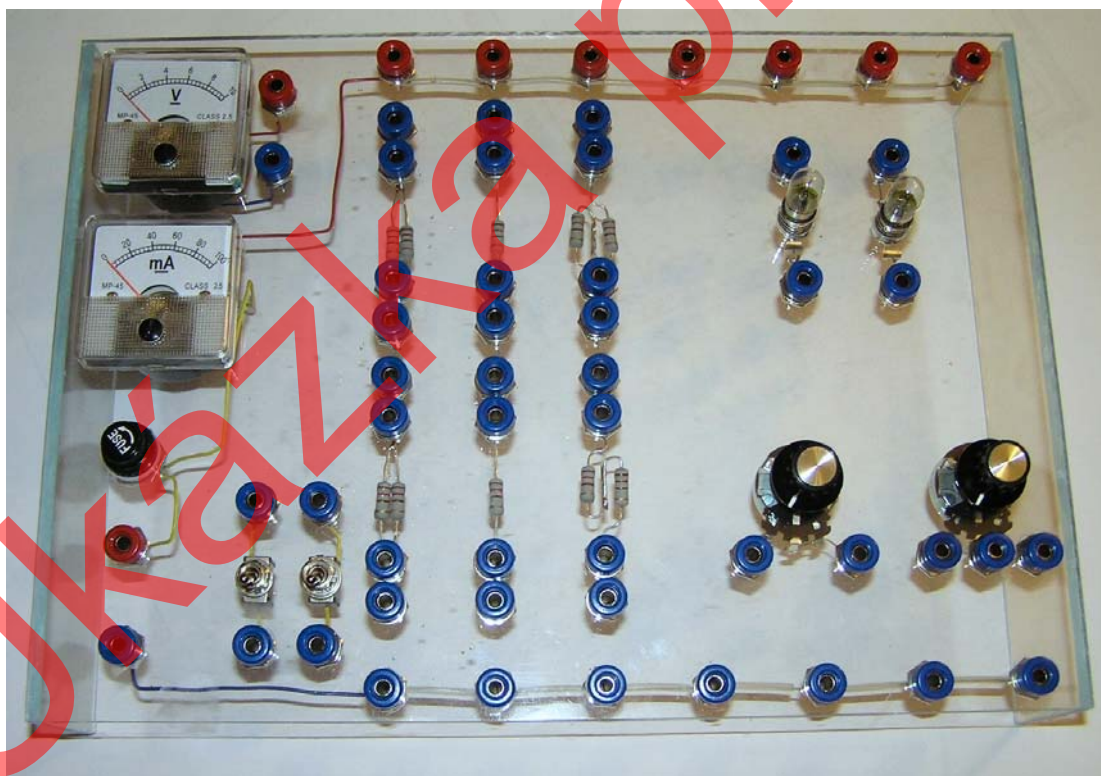
Na přiložených fotografiích je vidět postup konstrukce. Dále jsme vyfotili příklady zapojení, na kterých můžete vidět funkční ampérmetr a voltmetr. Doufáme, že budete respektovat základní pravidla používání elektrotechnických zařízení.



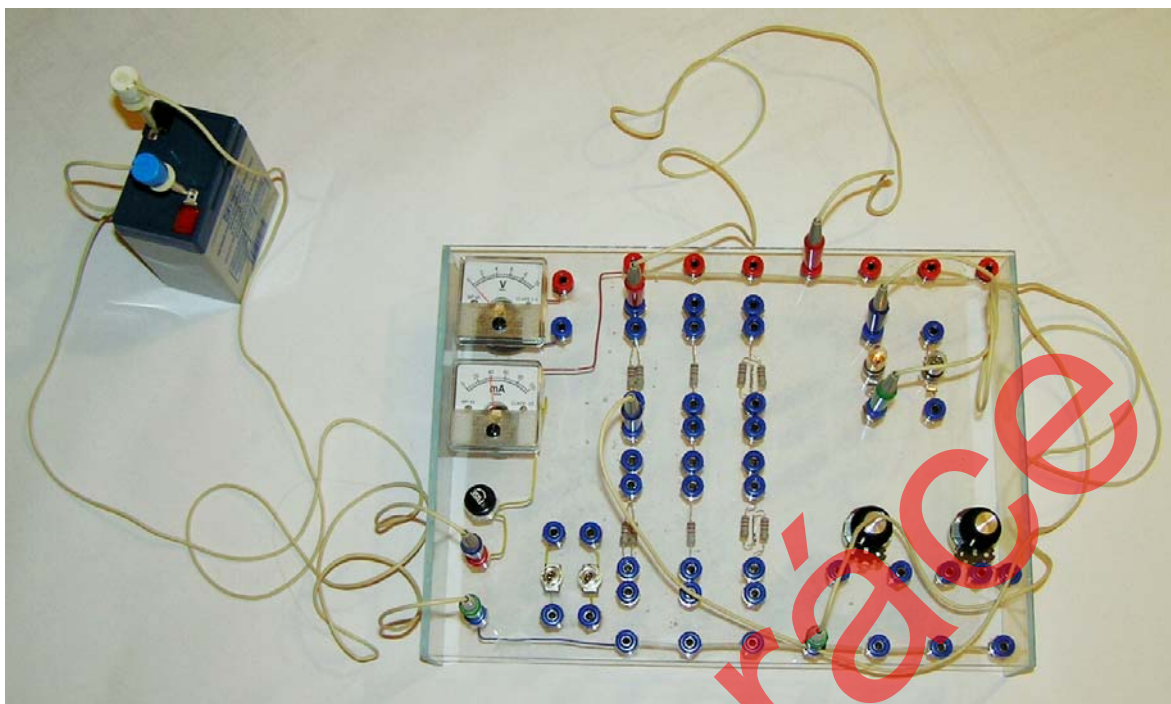
obr. 16. schéma zapojovacího pole



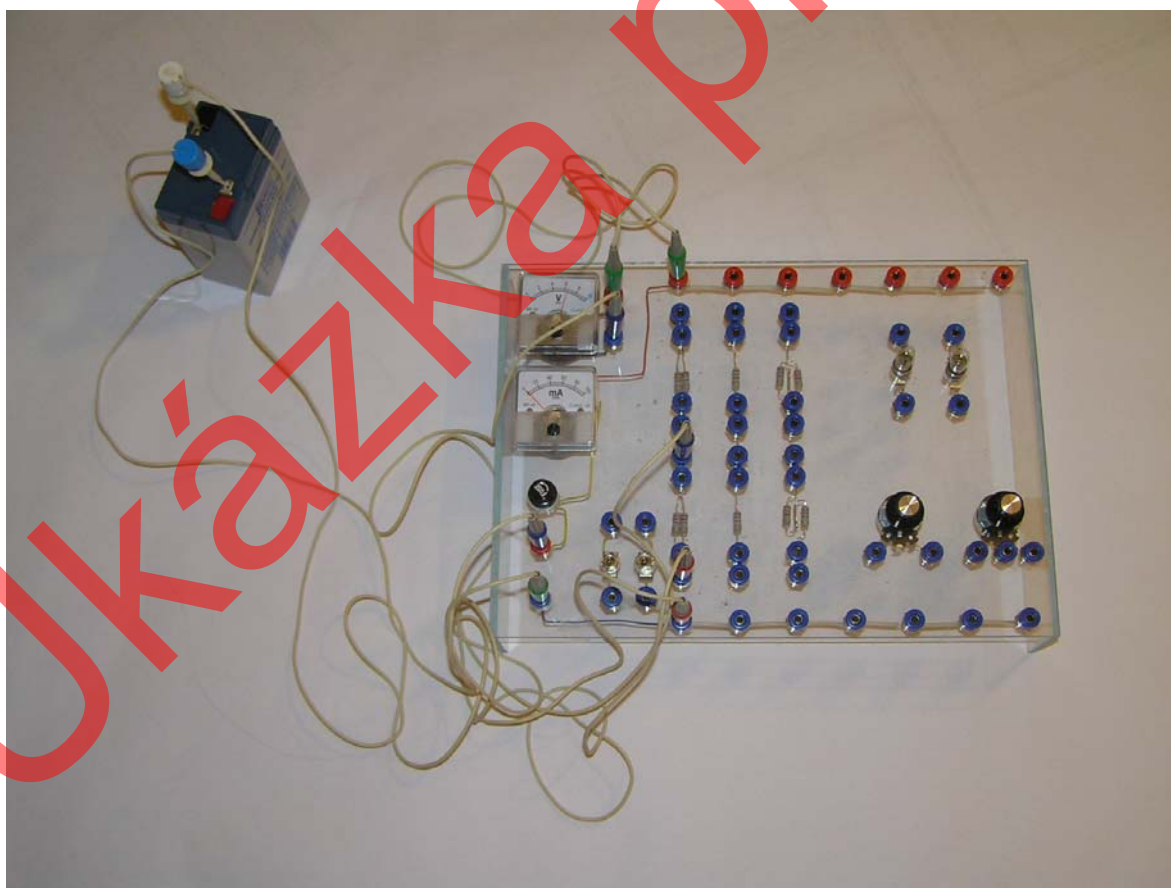
obr. 17. stavba zapojovacího pole



obr. 18. finální verze



obr. 19. ukázka funkce ampérmetru



obr. 20. ukázka zapojení s voltmetrem

9. Závěr

Právě jste se dostali do závěrečné kapitoly naší dlouhodobé maturitní práce. V této kapitole bychom vám rádi poděkovali za pozornost, kterou jste naší práci věnovali. Snažili jsme se vám osvětlit základní pravidla a zákonitosti elektrotechniky. V práci jsme popsali nejzákladnější fyzikální děje uvnitř používaných součástek i samotné chování součástek v různých druzích obvodů. Chtěli bychom se vám omluvit a vysvětlit několik nedostatků, které se v naší práci jednoznačně vyskytují. Text jsme psali tak, aby byl pokud možno nejlépe pochopitelný ve zvolené problematice. Právě kvůli důrazu na jednoduchost textu jsou některé formulace poznatků trochu odlišné od formulací používaných v odborných publikacích. Na druhou stranu texty v odborných publikacích nejsou někdy lehké na pochopení. Snažili jsme se proto zvolit jakousi střední cestu mezi správnou a jednoduchou formulací této problematiky. Samozřejmě, že se nám tato myšlenka ne vždy dařila plnit, i přesto věříme, že budete k naší práci shovívaví a pochopíte náš záměr. Také vás určitě na první pohled zarazí, že je v práci hodně prázdných míst. Opticky to nevypadá nejlépe, ale zvolili jsme tento styl psaní textu, aby byly kapitoly výrazněji odděleny a v práci se tak dalo lépe orientovat. Volné prostory můžete využít k vlastním postřehům k daným kapitolám. Jakékoliv připomínky a odhalené chyby jsou samozřejmě vítány.

Jako praktický model jsme k naší práci zkonstruovali zapojovací schéma. Po celou dobu pracování na této práci jsme řešili jak zkonstruovat pole, na kterém byste si mohli ověřit všechny teoretické znalosti získané z předchozích kapitol. Nakonec jsme byli donuceni ustoupit od záměru umístit na zapojovací pole kondenzátory a cívku, protože jsme nedokázali zabránit velkým ztrátám energie v těchto obvodech. Proto se dají obvody RLC a příklady na spojování kondenzátorů řešit pouze teoreticky. Naším cílem je samozřejmě do budoucna tyto obvody zkonstruovat abychom pomohli při jejich výuce. Přece jen člověk víc pochopí věc, když má možnost si jí vyzkoušet než, když čerpá pouze z teoretických poznatků.