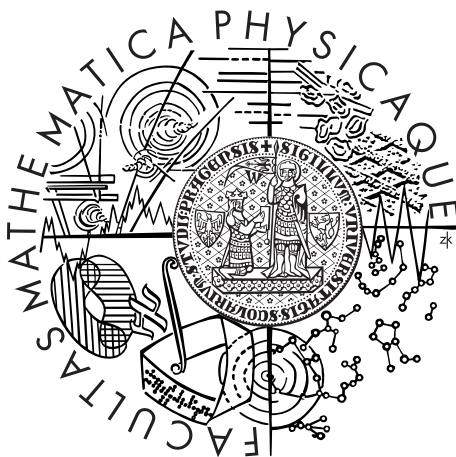


Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Lukáš Vejmelka

Praktická elektrotechnika ve výuce fyziky

Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Peter Žilavý, Ph.D.

Studijní program: Fyzika

Studijní obor: FMUZV

Praha 2015

Chtěl bych poděkovat RNDr. Peteru Žilavému, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, cenné rady a odborný dohled. Děkuji také doc. RNDr. Františku Lustigovi, CSc. za inspiraci zajímavými nápady a za zapůjčení literatury.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V dne

Podpis autora

Název práce: Praktická elektrotechnika ve výuce fyziky

Autor: Lukáš Vejmelka

Katedra: 104. Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Peter Žilavý, Ph.D., Katedra didaktiky fyziky

Abstrakt: Ve výuce fyziky na střední škole se studenti setkávají s řadou fyzikálních jevů a zákonitostí z oblasti elektřiny a magnetismu. V mnoha případech si však nedokáží tyto mnohdy jednoduché poznatky propojit s jejich výskytem v praxi. Přitom jejich důkladnější znalost a schopnost užití v běžném životě může znamenat úsporu času, energie či předejití vzniku škod. Výsledkem této práce je materiál, který na tyto věci upozorňuje pomocí jednoduchých experimentů, výpočtů, příkladů a rozбором naměřených dat. Studium textu s jeho demonstracemi z běžné elektrotechnické praxe každodenního života by mělo vést k lepšímu zakotvení vybraných teoretických znalostí elektřiny a magnetismu.

Klíčová slova: Praktická elektrotechnika, výuka fyziky, aplikace elektrotechniky v praxi.

Title: Practical electrotechnics in physics teaching

Author: Lukáš Vejmelka

Department: 104. Department of Physics Education

Supervisor: RNDr. Peter Žilavý, Ph.D., Katedra didaktiky fyziky

Abstract: In the process of high school physics education students solve lots of physical tasks and issues concerning the electricity and magnetism. In many cases they are not able to connect learned theory with its practical application. Actually a deeper comprehension of basic theorems and ability to use this theoretical skills in real life could lead to time efficiency, energy saving and avoiding damages. Particular result of this work should be a handbook involving some basic experiments, calculations, tasks and analysis of measured data. Studying of the text with its demonstrations from our daily electrotechnic life should cause better consolidation of the electricity and magnetism theoretical knowledge.

Keywords: Practical electrotechnics, physics teaching, electrotechnics applications in practice.

Obsah

Úvod	3
1 Praktická elektrotechnika v literatuře a v pomůckách	5
1.1 Učebnice	5
1.1.1 Učebnice pro ZŠ	5
1.1.2 Učebnice pro SŠ	7
1.2 Doplnková elektrotechnická literatura	8
1.3 Zdroje informací na Internetu	14
1.4 Pomůcky k výuce elektrotechniky	15
1.4.1 Modely sítí TN-C, TN-S; proudový chránič	15
1.4.2 Demonstrace třífázové soustavy	17
1.4.3 Vzorkovnice elektromateriálu	18
1.4.4 Elektronické stavebnice	19
1.4.5 Ostatní pomůcky	19
2 Praktická elektrotechnika v experimentech	21
2.1 Zdroje, napětí a proud	21
2.1.1 Maximální, střední a efektivní hodnota napětí	23
2.1.2 Elektrická zásuvka jako zdroj	26
2.1.3 Zkoumání zdrojů napětí	28
2.2 Elektrický odpor	33
2.2.1 Přechodové a průběžné odpory	33
2.2.2 Prodlužovací přívod	36
2.2.3 Odpor vlákna žárovky	47
Závěr	53
Seznam použité literatury	55
Přílohy	61

Úvod

Vznik této práce byl motivován předmětem *Kurz praktické elektroniky*, vyučovaným na KDF MFF UK¹ v Praze, který upevňuje a rozšiřuje znalosti posluchačů učitelského studia, a to jak v oblasti elektroniky, tak elektrotechniky.

V samotném názvu je elektrotechnika s přízviskem *praktická*. Možno ji tedy chápat buď jako elektrotechniku každodenní *praxe* běžného člověka, nebo ve smyslu jejího užití ve *výrobních procesech*. Tuto dvojakost práce neodstraňuje, naopak dle potřeby oba přístupy různě kombinuje.

V rámci rešerše bylo zkoumáno, jakým způsobem jsou poznatky praktické elektrotechniky předkládány v učebnicích fyziky na základních i středních školách. V počáteční kapitole jsou uvedeny zajímavé pomůcky pro výukové účely a také dostupná literatura vhodná pro studenty a učitele k čerpání informací v různých úrovních i oblastech elektrotechniky. V síti Internet bylo provedeno hledání pomocí klíčových slov *praktická elektrotechnika*. Výsledky se však až na výjimky týkaly zejména praktické elektroniky, která nebyla středem zájmu.

Hlavní část práce s názvem *Praktická elektrotechnika v experimentech* se v kapitole *Zdroje, napětí a proud* soustředí na důkladnější porozumění maximálním, středním a efektivním hodnotám elektrických veličin a na bádání nad charakteristikami nejrozumnějších zdrojů napětí, včetně elektrické zásuvky. Druhá kapitola *Elektrický odpor* pátrá po původech přechodových odporů, věnuje se problematickým aspektům prodlužovacích přívodů a zkoumá zvláštnosti obyčejné žárovky.

Proč byly vybrány právě tyto oblasti? Základním pojmem v elektřině je jednoduchý obvod, to jest zdroj – vodič – spotřebič. Chceme-li se přesunout do oblasti praktické elektrotechniky a současně zůstat ve „známé vodě“ elektřiny, pak musíme od schematických značek zdrojů, linií ideálních vodičů a symbolů spotřebičů pokročit k reálným zdrojům a jejich chování, vlastnostem přírodních šňůr a k jednoduchým spotřebičům, např. k žárovce.

Text je primárně určen pro středoškolského čtenáře s nenulovým zájmem o elektrotechniku, může být ale přínosným zdrojem inspirace i učitelům fyziky či širší veřejnosti s podobnými zájmy.

Není záměrem podat exaktní a terminologicky vytříbený výklad. Snahou je představit látku živě, pomocí intuitivních pojmů (prodlužovák) a situací (zdroji dochází dech). Podobně výsledky měření nejsou pro stručnost a přehlednost zpracovány a vyobrazeny s „protokolní“ pečlivostí, neboť v nastaveném pojetí práce to není pro chápání a propojování fyzikálních principů nutné.

Jednotlivé tematické celky obsahují jak úlohy k ověření porozumění příslušné problematice, tak motivační podněty k dalšímu zkoumání. Zajímavé nebo náročnějších úlohy odkazují do online sbírky úloh *Fyzikální úlohy* [1], kde jsou příklady se strukturovanými nápovědami řešené.

Jestliže čtenáře bytí malá část této práce v leccem poučí nebo inspiruje, bude její smysl naplněn.

¹Katedra didaktiky fyziky Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy.

1. Praktická elektrotechnika v literatuře a v pomůckách

V této části zalistujeme učebnicemi zahrnujícími elektřinu a magnetismus, které jsou běžně používány na základních a střední školách a zjistíme, jakým způsobem a v jaké míře jsou poznatky z praxe uváděny.

Poté představíme výběr z dalších zdrojů souvisejících s elektrotechnikou, které mohou být přínosem jak samotným zájemcům z řad studentů a veřejnosti, tak učitelům k vyhledávání elektrotechnických informací, např. pro zařazení do výuky fyziky. Budeme sledovat, pro jakou cílovou skupinu je text primárně určen, do jaké hloubky tituly zacházejí a jaký typ informací nabízejí.

V závěrečné části se krátce zmíníme o některých pomůckách vhodných k výuce elektrotechniky v rámci hodin fyziky.

1.1 Učebnice

1.1.1 Učebnice pro ZŠ

Zabývejme se nejprve sadou učebnic pro základní školy a příslušné ročníky víceletých gymnázií z nakladatelství Fraus [2], [3] a [4].

V šesté třídě se v nich žáci seznamují s jevy elektrickými a magnetickými a dále s jednoduchými elektrickými obvody. Představme některé zajímavosti. V části věnované zdrojům nalezneme zdařilý obrázkový přehled běžně používaných článků a baterií. Kromě oloveného akumulátoru je vyobrazen také akumulátor z notebooku nebo z mobilního telefonu. V jiné kapitole pro změnu nalezneme vyjma elektrické zásuvky na 230 V i zmínku o tzv. třífázových zásuvkách, viz obrázek 1.1(a) na straně 6.

V osmé třídě učebnice pokračuje výkladem o elektrickém proudu. Ten je opět ilustrován velkým množstvím obrázků, žákům je předložen generátor v elektrárně, alternátor v automobilu, multimetr v akci, pacienti na vyšetření EKG i EEG či tahové potenciometry na mixážním pultu. Na okrajích jsou k dispozici rozšiřující zajímavosti – pro příklad v části věnované regulaci proudů je letmě představen tyristor a triak. Důležitost bezchybné elektrické instalace je demonstrována velmi názorně, posuďte podle obrázku 1.1(b) na straně 6.

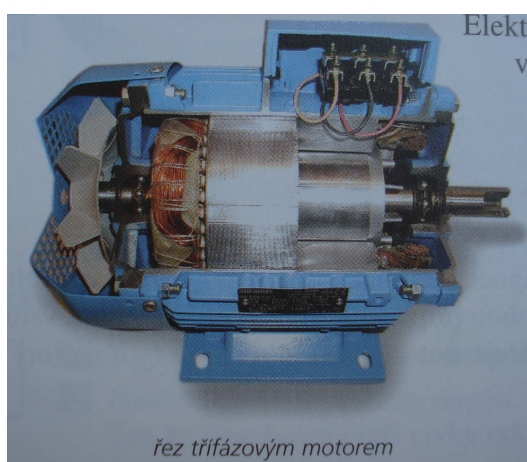
Devátá třída toto téma završuje elektrodynamikou a partií o polovodičích. Je potěšující, že elektrodynamika nekončí hýbáním tyčových magnetů okolo cívek ze školní demonstrační sady, ale opravdu aplikací, tj. u motorů a jejich uplatnění – tramvaj, soustruh, vysavač atd., viz obrázek 1.1(c) na straně 6.

Některé vyobrazené předměty „z praxe“ jsou již i přes mladost učebnic zastaralé. Bylo by jistě zajímavé zjistit, kolik dětí dnes vidělo na jízdním kole klasické dynamo nebo kolik z nich někdy používalo kazetový walkman. Stejně tak vysvětlujme, jak že vlastně vypadala ta televize, která obsahovala vychylovací cívky zobrazené v učebnici. Tak snad alespoň ta cirkulárka ještě chvilku setrvá.



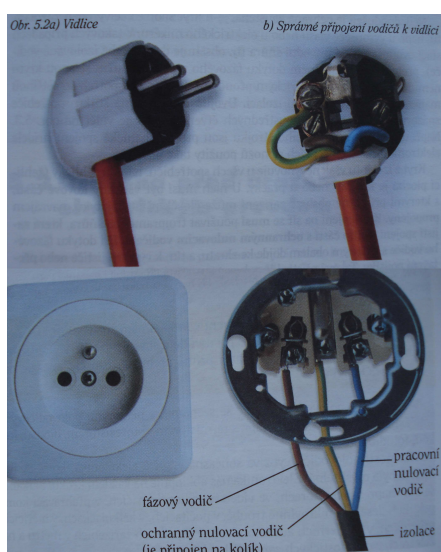
(a) Elektrické zásuvky (str. 89 [2])

(b) Důsledek zkratu (str. 110 [3])



(c) Třífázový motor (str. 32 [4])

Obrázek 1.1: Ukázky z učebnic pro základní školy nakladatelství Fraus.



Obrázek 1.2: Správné zapojení vidlice a elektrické zásuvky. (str. 78,79 [5])

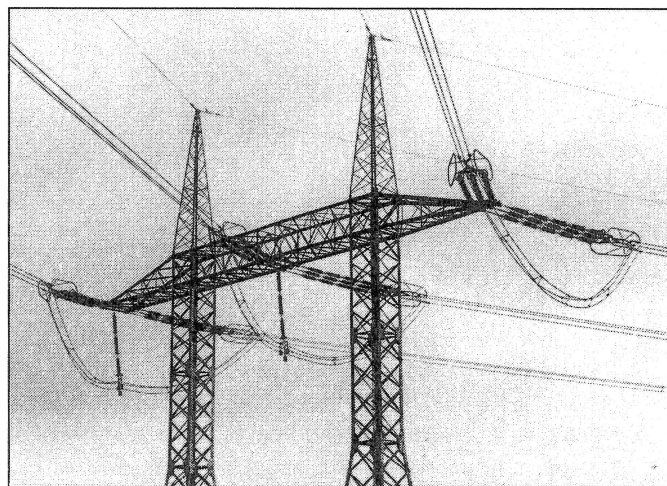
Ne všechny učebnice pro základní školy nabízejí takové množství obrázků z elektrotechnické praxe, jako právě představená sada, nicméně ve všech lze vždy v určité míře „praktické“ informace naléznout. Pro příklad na obrázku 1.2 na straně 6 vidíme správné zapojení vidlice pohyblivého přívodu a elektrické zásuvky z učebnice Fyzika pro 9. třídu základní školy nakladatelství Prometheus [5].

Sbírky úloh pro základní školu obsahují příklady, které jsou příslušně omezené absencí pokročilého matematického aparátu. Sbírky tak předkládají různé jednoduché kvalitativní nebo kvantitativní příklady procvičující základní fyzikální principy a vztahy.

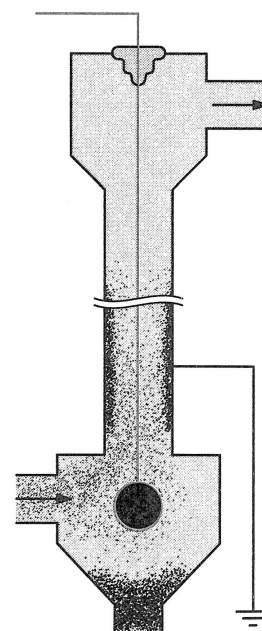
1.1.2 Učebnice pro SŠ

Na střední škole se již zřejmě předpokládá dobré povědomí o praktických aplikacích elektrotechniky ze základní školy, kde se učebnice tímto hojně zabývají.

Oproti situaci na základní škole je v učebnicích střední školy celkem přirozeně kladen důraz na teoretičtější rozbor a popis jednotlivých jevů, matematizaci, zobecnění a formulaci fyzikálních zákonů. Z těchto důvodů jsou již informace z bezprostřední elektrotechnické „praxe“ méně časté. Obrázek 1.3, který představuje aplikace poznatků elektrostatiky, pochází z hojně používané *Fyziky pro gymnázia: Elektřina a Magnetismus* nakladatelství Prometheus [6].



1-29 Vedení velmi vysokého napětí je provedeno svazkovými vodiči, aby se zmenšily ztráty sršením náboje



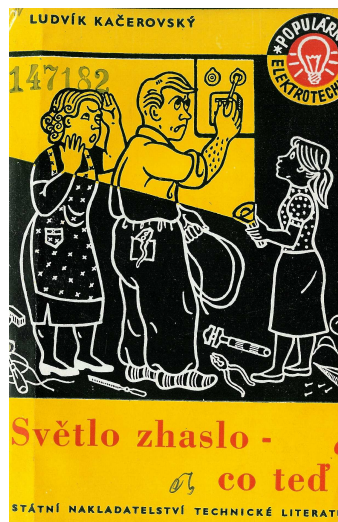
1-30 Elektrostatický filtr kouřových plynů

Obrázek 1.3: Situace z praxe ve středoškolské učebnici. (str. 34 [6])

1.2 Doplnková elektrotechnická literatura

Naši plavbu ve vodách zajímavé literatury vážící se k elektrotechnice začneme populárně naučnou „knížечkou“ s příznačným názvem *Světlo zhaslo – co teď?* [8], která je určena všem uživatelům elektřiny v domácnosti. Již na přebalu se dočteme, že se jedná o knížku o pojistkách, jističích a chráničích, o pohyblivých přívodech a opravách šňůr, o zásuvkách, domovních spínačích a objímkách.

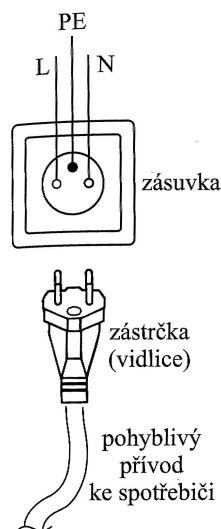
V začátku jsme svědky výpadku elektřiny v bytě pana Boroka, lze říci „všeznála“, který rozbitou pojistku „opraví“ hřebíkem, což nakonec způsobí kolaps elektřiny v celém domě. Domovní opatrovník, který věc řeší, je čistou náhodou zaměstnanec energetických rozvodných podniků s ochotou „edukovat“. V několika větčerech s dobrou kávou pak panu Borokovi vysvětlí např. smysl a funkci pojistek, jističů, odborně mu ukáže opravu pohyblivého přívodu.



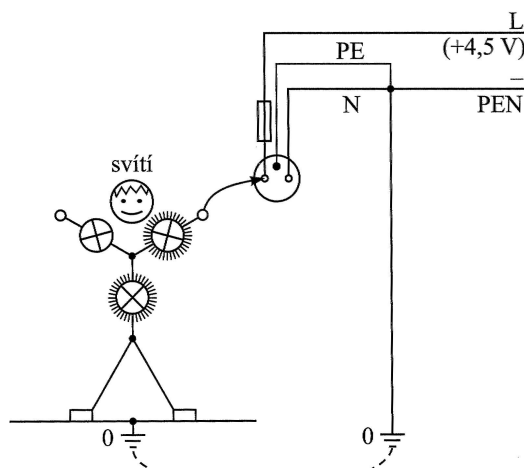
Obrázek 1.4: Ukázka z knihy *Světlo zhaslo – co teď?* (str. 140 [8])

Nutno podotknout, že kniha pochází z roku 1958 a přínosnost některých výkladů pro současnost je značně omezená. Nicméně čtenář je konfrontován se zajímavými skutečnostmi, např. že ještě před „nedávnem“ stačila jedna 6 A pojistka na celý byt. Pro seznámení se s přívodem energie do domácnosti, rozvodnou deskou, domovními rozvody a „prvopočátky“ ochrany je ale kniha velmi dobrým pomocníkem – domovní rozvodná deska je v této době jednoduchá. Autor představil i první pomoc při zásahu elektrickým proudem a provedl čtenáře „Desaterem pro elektrická zařízení v bytech“. Knihu bych vzhledem k neaktuálnosti doporučil spíše zájemcům. Vydání aktualizované verze pro současnou dobu by byl jistě dobrý počín, pokud by ovšem nereflektovala trend současné doby: *Něco zhaslo – koupí se nové!*

Navážeme učebnicí *Elektrotechnika kolem nás* [9] z ucelené řady učebnic pro výuku praktických činností na základních školách. Učebnice má velký tematický záběr. Autor velmi přehledně a srozumitelně představuje základy elektrotechniky, viz obrázek 1.5, ukazuje v praxi používané elektronické obvody, zabývá se elektrickou instalací a spotřebiči v domácnostech. Učebnice je sice určena pro základní školy, nicméně můžeme vyslovit přání – kéž by alespoň částí těchto „základoškolských“ znalostí oplýval absolvent běžné střední, eventuálně vysoké školy. Učebnice žáky systematicky vede k rozvíjení řady praktických znalostí z elektrotechniky. Může být výborným zdrojem inspirace pro učitele na základních i středních školách ke zpestření výuky praktickými aplikacemi.



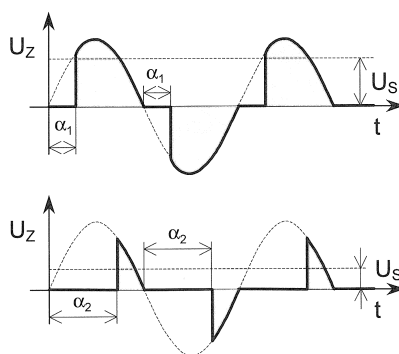
Obr. 88



Obr. 89

Obrázek 1.5: Ukázka z učebnice *Elektrotechnika kolem nás* pro ZŠ. ([9], str. 67)

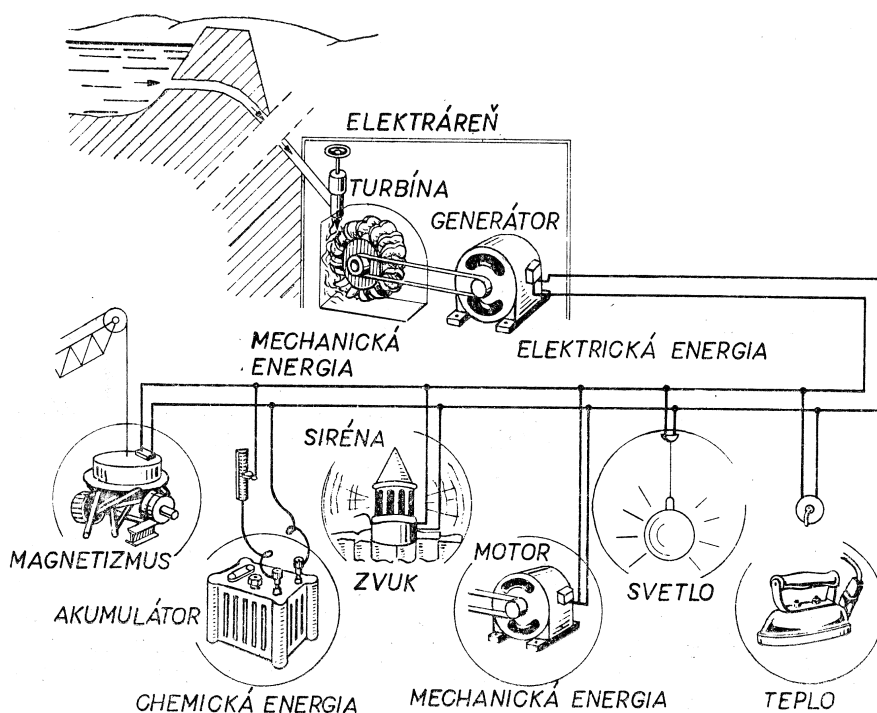
Z nabídky učebnic nakladatelství technické literatury BEN zmíníme titul *Elektronika II – přenosová technika* [10], který tvoří společně z dalšími díly týkajícími se analogové a číslicové techniky základní studijní materiál pro střední odborné školy technické a odborná učiliště. Díky směřování výkladu středoškolákům je text blízký i méně elektrotechnicky zdatným zájemcům o uvedenou problematiku. Čtenář je seznamován s principy základních obvodů, elektroakustickými měniči, modulací a demodulací signálu a šířením vlny. Autor se komplexně zabývá rozhlasovým i televizním přenosovým řetězcem. Vše je doplněno blokovými schématy a názornými obrázky. Vzhledem k tomu, že součásti přenosové techniky nás obklopují 24 hodin denně, bylo by škoda neukazovat aplikace zákonů elektřiny a magnetismu v hodinách fyziky právě v této oblasti.



Obr. 2.17 Dvoucestné řízení výkonu – napětí na zátěži

Obrázek 1.6: Ukázka z učebnice přenosové techniky pro SŠ. ([10], str. 24)

Nyní představme slovenskou učebnici základů elektrotechniky se jménem *Elektrotechnika – učebnica pre základné odborné školy* [11]. Mohlo by se zdát, že publikace z roku 1949 by mohla být překonána. Opak je pravdou. Kniha důkladně prochází základy elektřiny a průběžně předkládá příklady aplikací z praxe. Názorné obrázky, přehledná schémata a velké množství příkladů ze „života“ přispívá ke



Obrázek 1.7: Ukázka z knihy *Praktická elektrotechnika* ([13], str. 6)

snadnému porozumění textu. Ojedinělostí je obsáhlý seznam „vzorečků“ v zadní části učebnice, který kromě tradičních názvů veličin a jejich jednotek obsahuje i odkazy na úlohy, ve kterých jsou příslušné vzorce použity. Autor se nebojí studenty vést k intuitivnímu „vodnímu modelu“ elektrických obvodů, kdy zdroj napětí je představován čerpadlem, který vodu vyčerpává vzhůru, aby pak mohla získanou potenciální energii přeměnit na práci ve spotřebiči. Nezbyvá než knihu doporučit, minimálně z ní lze čerpat velmi povedené příklady.

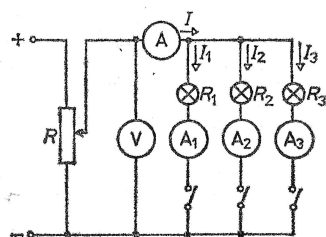
Navážeme učebnicí ze stejné doby pro III. ročník průmyslových škol elektrotechnických *Elektrotechnologie* [12]. Kolektiv autorů podrobně zpracoval vodivé materiály, polovodiče, izolanty, materiály pro magnetické obvody a vodiče, kabely a instalační trubky. Každé z témat je zpracováno velmi podrobně. Jak napovídá název učebnice, velký důraz je kladen na technické aplikace a technologické postupy. Uvedme příklad – kromě výpisu možných keramických izolantů je uvedena i technologie jejich výroby pomocí hrncířského kruhu, sádrových forem, či soustružením, litím nebo lisováním. Vše je doplněné schematickými nákresey vyhotovení produktů nebo fotografiemi reálných strojů (hydraulický lis, impregnační zařízení, papírenské mlýny). Po knize lze sáhnout v případě, že nás zajímá technologie výroby některé z elektrotechnických surovin. Vzhledem ke stáří však třeba ověřit, je-li to možné, zda není příslušný technologický postup zastaralý a není již překonán.

Obsáhlejší kniha *Praktická elektrotechnika* [13], která je slovenským překladem polského *Zarys elektrotechniki*, vysvětluje principy a použití v praxi velmi důležitých elektrických zařízení. Po stručném, ale precizním výkladu základních teoretických poznatků se především zabývá praktickými příklady, ukázkami po-

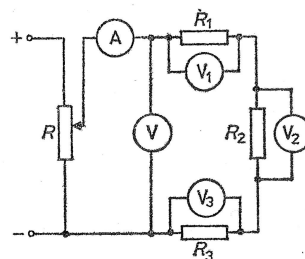
užití a předkládá k řešení zajímavé příklady. Základní teorie je předložena tak, aby jí porozuměl i člověk méně matematicky znalý, neboť je kniha určena i obsluhovačům a údržbářům elektrických zařízení, kde je jistě požadavek chápání funkce stroje vyzdvížen nad matematicko-fyzikálním formalismem popisu jejich principu. A tak se zde k určení orientace magnetických indukčních čar v nákresech u přímého vodiče nebo cívky protékané proudem objevuje snadno zapamatovatelná (pravotočivá) vývrtka, namísto běžného Ampérova pravidla pravé ruky. Dále například sinusový průběh není přímo definován goniometrickou funkcí, ale je zaveden „fyzikálně“ pomocí obrázku, kdy je kolmý průmět rovnoměrně pohybujícího se bodu po kružnici vynášen do grafu $y(t)$. Početní úlohy jsou z praxe, například znalost Ohmova zákona je testována na úloze „ze života“, kde se počítají proudy ve větvích v domácí síti paralelně zapojených žárovek, žehličky a vaříče udaných příkonů. Kniha ukazuje, že elektřina je téměř všude, viz obr. 1.7.

Ucelený výklad týkající se konstrukce a funkce elektrických měřicích přístrojů, transformátorů, různých typů motorů, alternátorů, dynam a sdělovacích zařízení nabízí učebnice *Elektrotechnika II* [14], určená pro učební obory elektrotechnické. Nutno vyzdvihnout sympaticky věcná schémata a obrázky vedoucí k snadnému porozumění. Přínosné je i velké množství kontrolních otázek na konci každé kapitoly. Měřicí technika od roku 1962 značně pokročila, a tak není třeba věnovat pozornost částem knihy věnovaným popisům konkrétních, již přežitých, modelů měřicích přístrojů.

Ke slovu se nyní dostává publikace mnohem mladší, jedná se o *Elektrotechniku – přehled středoškolského učiva* [15], která jak píše autor „nechce být a není klasickou učebnicí“, ale dává si za cíl poskytnout všeobecný přehled nad elektrotechnikou. Kniha má sloužit jako pomocník například při přípravě studentů, kteří se hlásí na vysoké školy elektrotechnického zaměření. Výklad předpokládá čtenáře s jistou znalostí elektrotechnické problematiky. Na druhou stranu jistá stručnost a „přehledovost“ popisů může být přínosná při použití ve výuce obecné fyziky, kde není čas na „zacházení do hloubky“, které nabízejí běžné elektrotechnické učebnice.



Obr. 3.13. Principiální zapojení přístrojů a objektů měření při ověřování platnosti I. Kirchhoffova zákona



Obr. 3.14. Principiální zapojení přístrojů a objektů měření při ověřování platnosti II. Kirchhoffova zákona

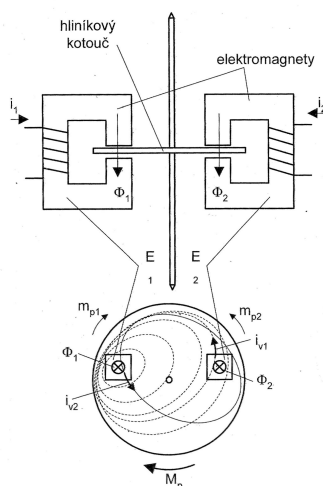
Obrázek 1.8: Ukázka z učebnice elektrotechniky pro gymnázia. ([16], str. 57)

Většina z představených titulů souvisejících s elektrotechnikou je určena pro střední školy s odborným zaměřením. Mohlo by se tak zdát, že elektrotechnika ja-

ko taková nemá na školách všeobecnějšího charakteru své místo. Proto je na čase vytáhnout trumf s názvem *Elektrotechnika pro 3. ročník gymnázií* [16]. Učebnice pochází z roku 1988 a rozebírá základy stejnosměrných obvodů, elektrostatiky, magnetismu a střídavých obvodů. Určena je, jak je obsaženo v názvu, přímo pro třetí ročník gymnázií! Tématický záběr knihy je ve srovnání se současně běžně používanými učebnicemi na gymnáziích širší a zabývá se věcmi hlouběji, čímž se blíží podobám elektrotechnických knih pro odborné školy. Nicméně „gymnaziální“ přístup ve smyslu stylu výkladu je zachován. Každá z kapitol obsahuje sérii „na míru šitých“ kontrolních otázek. Teoretické části jsou doplněny náměty a návody k laboratorním cvičením, které příslušné zákony demonstrují, objasňují či ověřují. Knihu, či její části, si lze bez problému představit v „terénu“, tj. lze z ní čerpat v současné výuce fyziky, a to nejen na gymnáziích.

Zcela z jiné kategorie pochází obsáhlá příručka *Elektrotechnická měření* [17] technického nakladatelství BEN. Čtenář je nejprve obeznámen s elektrickými veličinami a jejich etalony, se základy vyhodnocování výsledků měření, dále je veden k porozumění velkému množství analogových měřících přístrojů a nakonec jsou mu představeny nejpoužívanější metody měření elektrického napětí, proudu, odporu, impedance, kapacity, indukčnosti, kmitočtu, fázového posunu, výkonu a práce elektrického proudu. Pozornost je věnována i galvanometrům a magnetickému měření. Po knize je dobré sáhnout v případě, kdy chceme ukázat, jakým způsobem se daná fyzikální veličina v praxi měří. Podrobnější znalost principů měřících přístrojů může navíc zabránit chybné interpretaci naměřených veličin, která by například spočívala v záměně středních a efektivních hodnot.

Obr. 4.51
Princip indukčního
ústrojí s kotoučovým
rotozem.



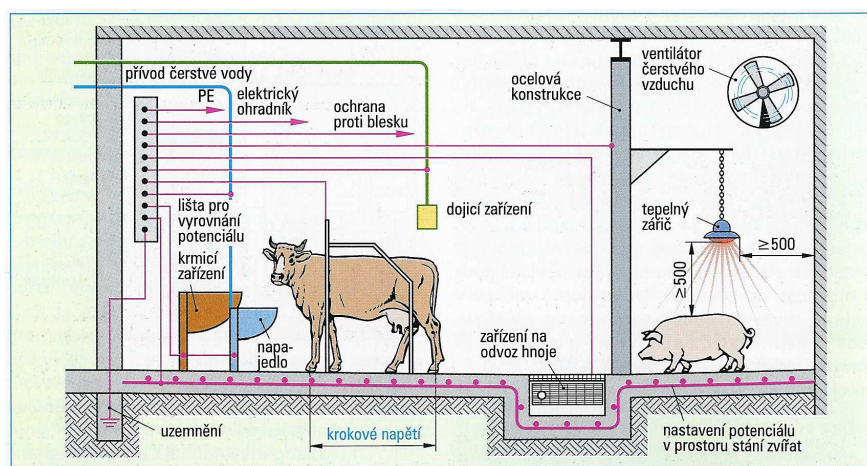
Obrázek 1.9: Ukázka z příručky *Elektrotechnická měření*. ([17], str. 74)

Od obecných elektrotechnických knih „popojedeme“ k jisté specializaci – *Elektrotechnice motorových vozidel* [18]. Jisté povědomí o elektřině v automobilech, například kde nalezneme akumulátor, získá člověk obvykle při absolvování kurzu autoškoly. Má-li pak ale řešit situaci, kdy potřebuje rychle automobil použít a z nějakých důvodů automobil nestartuje, nemusí být schopen s chladnou hlavou identifikovat příčinu a problém vyřešit. Přitom akumulátor, který byl přes noc vybit zapomenutým spotřebičem, může stačit „oživit“ připojením na nabíječku.

Zmíněná kniha je však mnohem obsáhlejší. Čtenář je seznámen s prvky silnoproudých okruhů, elektrickou instalací (okruhy, jištění), slaboproudými spotřebiči (stěrače, ukazatele směru), osvětlením vozidla, přístroji (rychloměr, otáčkoměr, aj.), či zapalováním. Automobil jako takový lze chápat jako „encyklopedii“ aplikací elektrotechniky – v nevelké „plechové krabici“ je skryta celá řada zařízení a principů související s elektřinou a magnetismem. Výsadní postavení automobilů v běžném životě nám nahrává tomu, abychom při výuce ukazovali aplikace fyzikálních principů právě na jejich „těle“. Studenty se vřelejším vztahem k motorismu zmíněním použití Hallova jevu jako sond v motorech automobilů pravděpodobně oslovíme. Ti s méně vřelým vztahem k motorismu či elektrotechnice si alespoň mohou zapamatovat, že Hallův jev má své místo mimo stran učebnice i v praxi, třeba ve voze, který je do školy dovezl.

Knihu možno přímo doporučit nadšeným studentům, lze z ní snadno čerpat informace k ukazování aplikací elektrotechniky ve výuce fyziky.

Vlajkovou lodí doplňkové literatury tohoto tématu je *Praktická elektrotechnika* [19], která je překladem německé *Praxis Elektrotechnik*. Téměř třísetstránková kniha pojednává o všech významných okruzích problémů elektrických zařízení a energetiky, přičemž klade důraz na v praxi důležité odborné informace. K pochopení látky pomáhají stovky obrázků, schémat, diagramů a tabulek. Jako příklad uveďme obrázek 1.10. Autoři dbali na zahrnutí platných evropských a DIN norem, závazná a důležitá pravidla jsou zvýrazňována v rámečcích. Tematický záběr knihy je velmi široký, od bezpečnosti, přes instalaci kabelů či satelitů a typy stykačů, ke schématu mikrovlnné trouby či automatické pračky. Publikaci lze doporučit, lze z ní pro její „barevnost“ čerpat i pro výuku fyziky.



Obr.: Vyrovnání a nastavení potenciálu v prostoru stání užitečných zvířat

Obrázek 1.10: Ukázka z knihy *Praktická elektrotechnika* ([19], str. 140)

Do mozaiky elektrotechnické literatury zapadá sada publikací *Elektro v praxi* nakladatelství Solid Team Olomouc, sloužící především pro přípravu na zkoušky elektrotechniků a následné použití v praxi. Studium, resp. uvážlivé prolistování vybraných titulů sady, zejména *Elektro v praxi: Právní předpisy, základní normy, silnoproud* [20] a *Elektro v praxi: Elektrické nářadí a spotřebiče* [21] však může být přínosné i pro vyučující fyziky – učební texty stručně a přesně poskytují

informace o právních i technických normách. Snadnější orientaci v problematice napomáhají schematické obrázky.

1.3 Zdroje informací na Internetu

Zabývejme se nyní internetovými zdroji.

Významným místem k čerpání informací je portál *www.elektrika.cz* [22], který poskytuje různé články z oblasti elektrotechniky, informuje o novinkách v této oblasti a dokonce provozuje diskuzní fórum. Na fóru působí mimo jiné i odborníci, lidé z praxe. Portál obsahuje i rubriku *Hrobař varuje*, ve které nalezneme dostatek odstrašujících materiálů, které mohou odradit před neodbornými zásahy do elektroinstalace, případně poukázat na absurditu „negramotných elektrických instalací“. Je možné psát různé vzorce, ale obrázek 1.11 seškvařeného bagru, který se dotkl vedení vysokého napětí a byl se zemí propojen nohou vystupujícího řidiče, dává stručný a jasný náhled.

Co skrývá elektrická zásuvka? [23] nám prozrazuje článek na FyzWebu, portálu provozovaném při Katedře didaktiky fyziky MFF UK. Autor zde vysvětluje typy zapojení rozvodných sítí a velmi přirozenou cestou se od zapojení z počátků elektrických instalací postupným vylepšováním jejich nedostatků dostává až k síti TN-S. Vše je doplněno obrázky a srozumitelným komentářem. Text napomáhá porozumět základnímu zapojení rozvodné sítě a je stavebním kamenem pro další studium problematiky rozvodů.

Některé náměty ze *Sborníku nápadů učitelů fyziky* [24] v části elektřina a magnetismus souvisejí s praktickou elektrotechnikou a jsou dobrým zdrojem inspirace k ozvláštnění výuky fyziky.



(a) „Ještěrka“ se dotkla elektrického vedení



(b) Řidič se stal vodičem nemalého proudu

Obrázek 1.11: Manipulační stroj se dotkl vedení vysokého napětí. (Zdroj [25])

1.4 Pomůcky k výuce elektrotechniky

Představíme některé stavebnice, vzorkovníky a přístroje, které je možné využít ve výuce fyziky k lepšímu pochopení elektrotechnických témat.

Školská fyzika problematice elektrických rozvodů a jejich ochran obvykle čas nevěnuje, nicméně představení „život ohrožujících“ situací na stolním modelu elektrické domovní sítě může žáky nadchnout.

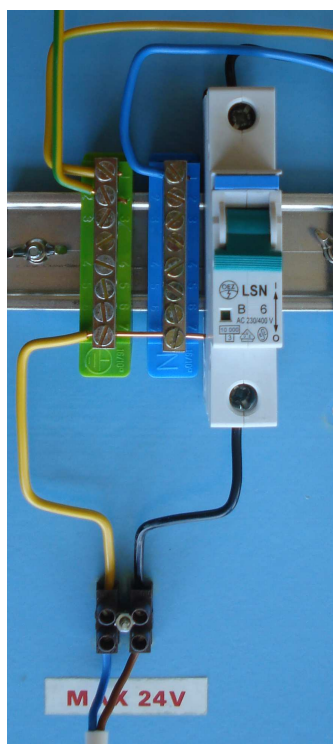
Na konec uvedeme stručný přehled důležitých nebo zajímavých pomůcek.



Obrázek 1.12: Elektromontážní souprava.

1.4.1 Modely sítí TN-C, TN-S; proudový chránič

Na obrázku 1.13 je víko z původní školní *Elektromontážní soupravy*. Ta umožňovala porozumět zapojení pojistek, světel, vypínačů, zásuvek a zvonků.



Obrázek 1.13: Rozdělení PEN vodiče na PE a N.

Původně bylo bezpečné napětí 12 V na desku přivedeno přes pojistku a nulovací svorkovnici. Sady je však možné dle potřeby modernizovat a instalovat aktuálně používané jističe, proudové chrániče apod.

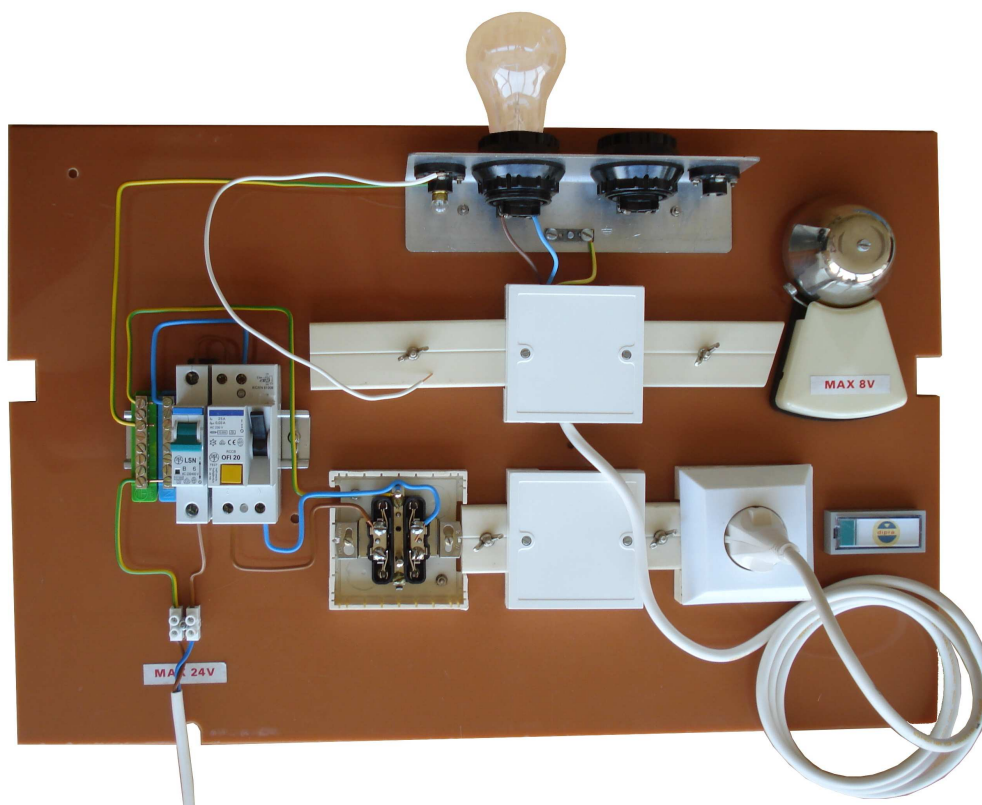
Pomocí této sady můžeme názorně demonstrovat vlastnosti různých typů elektrických instalací, zejména co se týče zkratu a nebezpečného dotyku. Lze ukazovat například soustavy TN-C a TN-S. Speciálně lze předvést činnost proudového chrániče.

Nebezpečné dotyky jsou simulovány malou žárovíčkou (člověk), která je spojena s ochranným vodičem (člověk stojí na zemi) a druhý její konec se dotýká fázového vodiče (nebezpečný dotyk). Žárovka je indikátorem stupně ochrany při nebezpečném dotyku. Jestliže svítí – člověk se „peče“, a to není dobře.

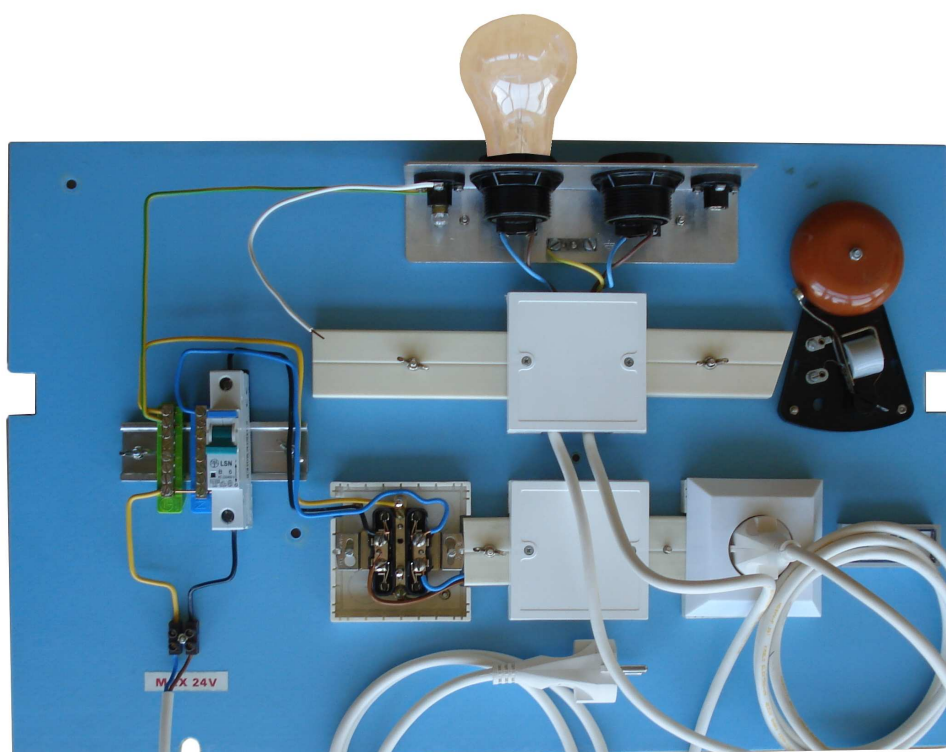
Obrázky 1.16(f) a 1.14(b) na straně 18 zachycují konfiguraci pro demonstraci funkce proudového chrániče a sítě TN-S.

Na DIN lištu¹ lze umístit velké množství přístrojů, takže je možné stavebnici dle libosti rozšiřovat.

¹Lišta standardizovaných rozměrů pro upevňování různých přístrojů.



(a) Demonstrace funkce proudového chrániče

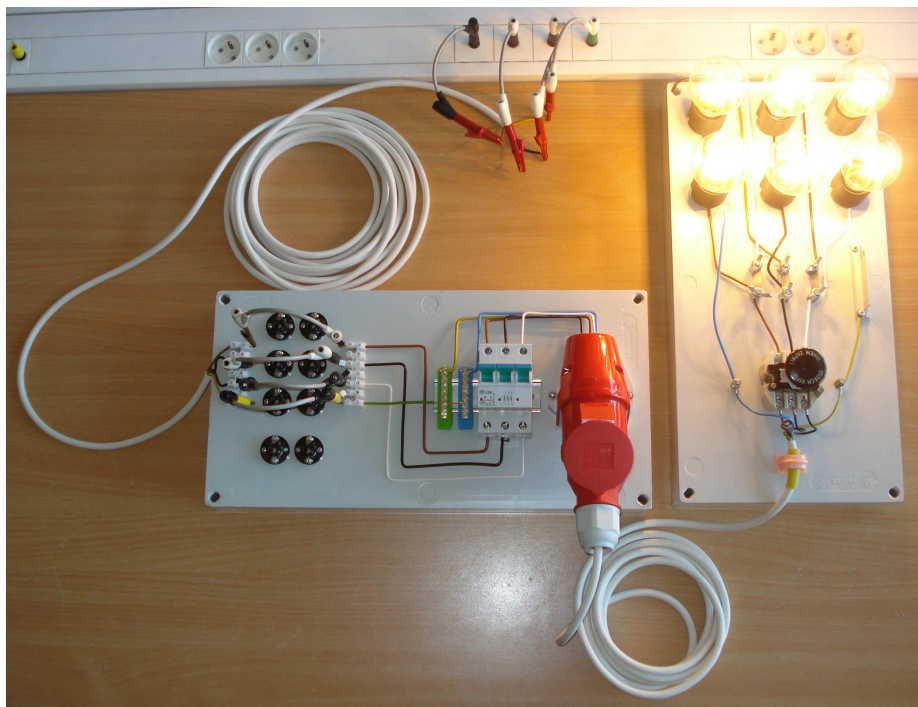


(b) Demonstrace chování soustavy TN-S

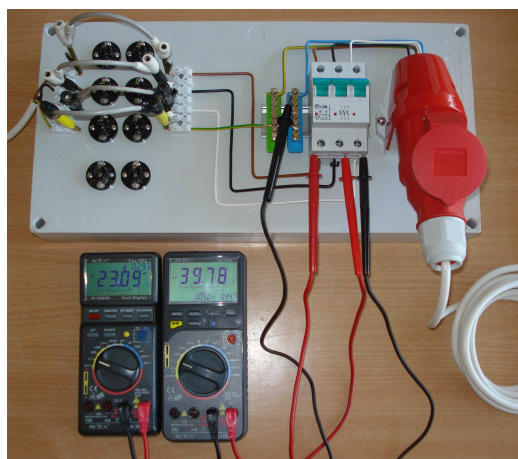
Obrázek 1.14: Příklady demonstračních konfigurací z *Elektromontážní soupravy*.

1.4.2 Demonstrace třífázové soustavy

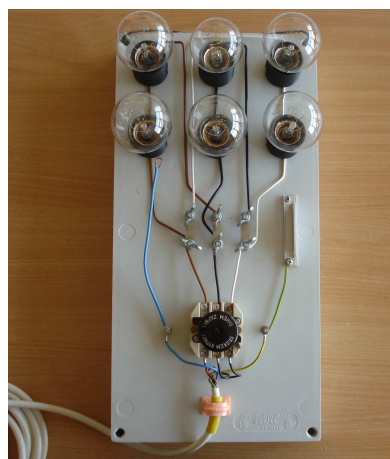
Mnoho z nás má své obydlí připojeno „třífázově“. Jednotlivé okruhy spotřebičů pak bývají do těchto třech fází vhodně rozmístěny. Někteří přítomnost tří fází v domě však poznají explicitně, neboť například v dílně využívají třífázovou zásuvku. Samotné zapojení a fungování třífázové soustavy je však očím téměř skryto.



(a) Celkový pohled na zapojené demonstrační desky třífázové sítě



(b) Rozvodná deska a zásuvka



(c) Třífázový spotřebič

Obrázek 1.15: Model třífázové sítě a její zapojení ve školní laboratoři.

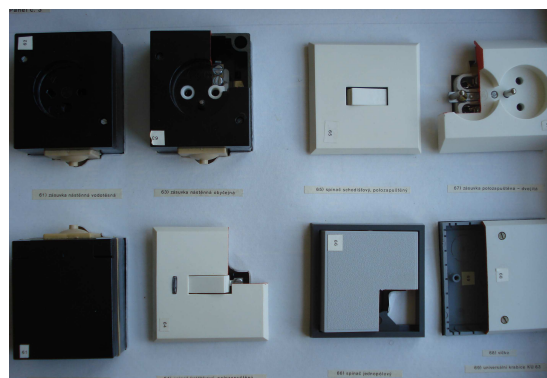
Proto lze pro účely bádání reálné komponenty (třífázová zásuvka, jistič atd.) namontovat na instalační desky. Máme-li ve školní laboratoři nízkonapěťový výstup z třífázového transformátoru, pak lze s těmito deskami bezpečně naživo demonstrovat funkci třífázové soustavy.

1.4.3 Vzorkovnice elektromateriálu

Ministerstvem školství byla v roce 1981 schválena jako učební pomůcka pro ZŠ *Vzorkovnice elektromateriálu*, která obsahovala čtyři panely, viz obrázky 1.16.



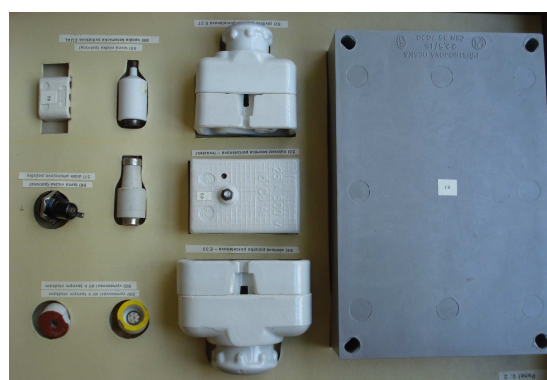
(a) Vidlice, vypínače, trubky



(b) Zásuvky, spínače, krabice



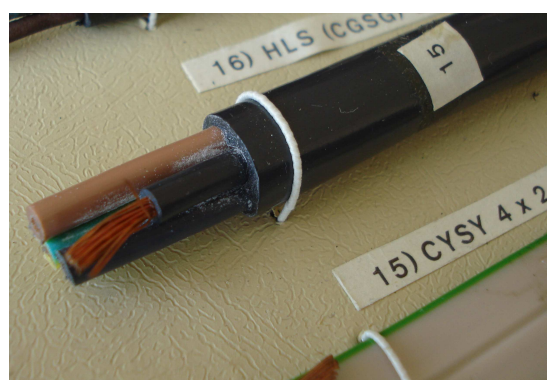
(c) Kabely a vodiče



(d) Pojistky, svorkovnice, instalační deska



(e) Detail spínače



(f) Detail kabelu

Obrázek 1.16: Vzorkovnice elektromateriálu z roku 1981 jako pomůcka pro ZŠ.

K sadě byla dodávána krátká příručka s popisem exponátů a obecnějšími informacemi ohledně technického zařízení budov.

Mohlo by být výzvou takovou pomůcku aktualizovat elektromateriálem současnosti, pokud bychom byli schopni nalézt typické reprezentanty z obrovského množství produktů na trhu.

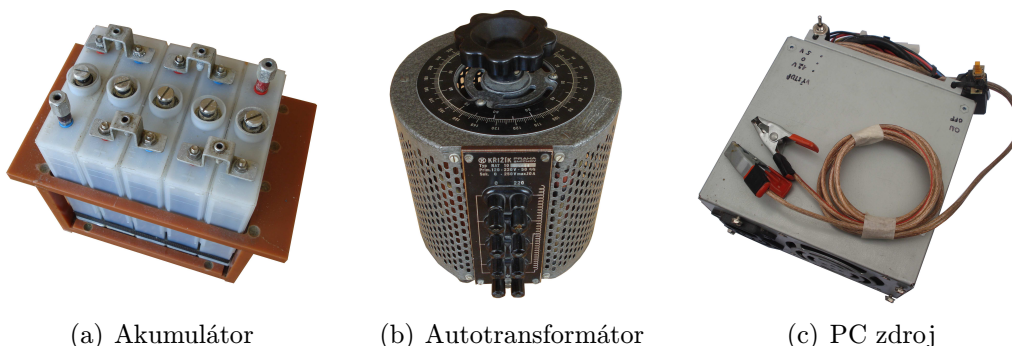
1.4.4 Elektronické stavebnice

Paralelně s touto prací vzniká při Katedře didaktiky fyziky MFF UK Praha diplomová práce Bc. Michala Hnyka s názvem *Elektronické stavebnice ve výuce fyziky* [7].

Výsledkem by měl být přehled typů elektronických stavebnic používaných ve výuce a prototyp nové stavebnice pro gymnaziální výuku včetně její dokumentace a elektronické podpory.

1.4.5 Ostatní pomůcky

Při praktickém experimentování s reálnými součástmi obvykle potřebujeme i zdroje, které jsou schopny dodat větší proudy. Na obrázku 1.17 máme akumulátor, autotransfornátor a PC zdroj.



(a) Akumulátor

(b) Autotransfornátor

(c) PC zdroj

Obrázek 1.17: Zdroje používané při praktickém experimentování.

Autotransfornátor 1.17(b) lze připojit ke školnímu rozvodu 12 V a získat tak regulovatelný střídavý zdroj, který může dávat proud až 10 A.

PC zdroj 1.17(c) si lze dle potřeb upravit, např. přivázat nepotřebné plandající větve, napojit napájecí vodiče se svorkami, či zařadit přepínač mezi 5 V a 12 V. Jeho výhodou je, že je schopný dodávat poměrně vysoké proudy. U novějších zdrojů je třeba zdroj zapnout spojením příslušné dvojice kontaktů v konektoru, který je běžně zapojen do základní desky.

K měření elektrických veličin zřejmě sáhneme po multimetrech.

Je dobré měřit jak s lepšími s funkcí True RMS, tak s jednoduchými hobby přístroji a ukázat, v jakých případech ukazuje obyčejný měřicí přístroj špatné hodnoty.

Příklady různých multimetrů jsou na obrázku 1.18.



Obrázek 1.18: Multimetry.

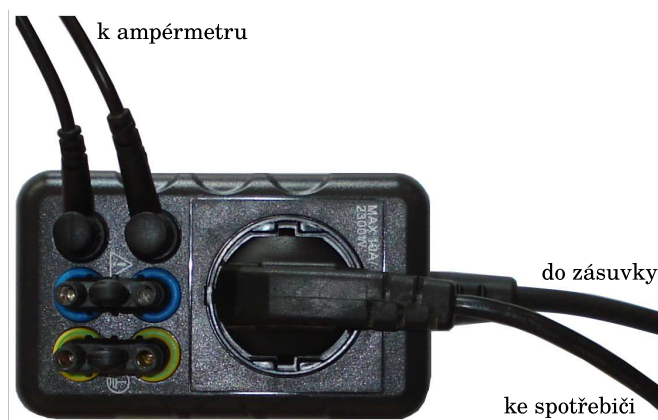
Potřebujeme-li ukázat elektrické poměry v reálném obvodu s napětím 230 V, např. jaký proud teče do stolní lampičky, stojíme před problémem, jak jednoduše a především bezpečně vřadit ampérmetr do síťového obvodu. Naštěstí existuje bezpečné oficiální řešení – tzv. *Mess adapter SMA-10* viz obrázek 1.19, který není nic jiného, než zásuvka s možností rozpojitelného banánkového přístupu k fázovému, střednímu a ochrannému vodiči.



Obrázek 1.19: *Mess-adapter* – šikovný pomocník při měření reálných spotřebičů.

Díky této pomůcce lze snadno měřit tekoucí proud, napětí na spotřebiči. Dále lze zapojit wattmetr nebo měřit proud ochranným vodičem, izolační odpor spotřebiče, či průchodnost vodičů.

Pro jistotu poznamenejme, že slovo *mess* v názvu adaptéru samozřejmě neznamená nepořádek, i když ten při měření může nastat také, ale jde o zkratku slova *measurement*, tedy měření.



Obrázek 1.20: *Mess-adapter* – zapojení při měření proudu k lampičce.

2. Praktická elektrotechnika v experimentech

2.1 Zdroje, napětí a proud

V životě hrají svou nezastupitelnou roli zdroje. Málokdo by se asi obešel bez zdroje vody, či finančního zdroje, někteří další si nedokáží představit žít bez Prazdroje. Jaké zdroje jsou ale ty nejdůležitější? Pokud si spolu s notebookem nevezmete napájecí zdroj, je vaše činnost značně omezená výdrží baterie a může se stát, že fakturu za vodu prostě zaplatit nestihnete, finanční transakce neprovedete a na setkání v osvěžovně se s kamarády na „chatu“ nedomluvíte.

Úvodní bádání

1. Představte si svůj běžný den, pokud by došlo ke globální odstávce elektřiny. Co všechno by nefungovalo? Dalo by se takto delší dobu žít?
2. Jak chápete pojem zdroj elektrické energie?
3. Porozhlédněte se kolem sebe v místnosti, městě, republice a jmenujte různé elektrické zdroje a jejich umístění a funkce.
4. Vyhledejte ve vhodném atlase České republiky mapu s energetickými zdroji. Zaměřte se na elektrárny a sledujte zastoupení jednotlivých typů a jejich podíl na „výrobě“ elektrické energie.

Zdroji elektrické energie obvykle označujeme zařízení, která přeměňují nějaký jiný druh energie v energii elektrickou. Tak například v tepelných a jaderných elektrárnách je energie rotujících turbín přeměňována v elektrickou energii alternátorem.

Setkáváme se ale i se zdroji, které pracují pouze se samotnou elektrickou energií. Například laboratorní zdroj či zdroj k notebooku nebo tiskárně zapojíme do elektrické zásuvky a na jeho výstupu dostáváme „elektřinu vhodných parametrů“ pro příslušná zařízení.

Můžeme tak obecně říci, že elektrický zdroj odněkud čerpá energii nějaké formy a tu přeměňuje na energii elektrickou příslušných parametrů. Elektrárny čerpají energii ze hmoty (spalování uhlí, jaderná přeměna, polohová energie vody) a přeměňují ji v energii elektrickou.

Elektrárna je zdrojem pro příslušné transformační stanice, které upravují parametry vyrobené elektřiny tak, aby se efektivně transportovala ke vzdáleným sídlům. Zde se potom nacházejí další transformační stanice, které parametry elektřiny opět vhodně upravují, aby byl koncový spotřebitel společně se svými spotřebiči spokojen.



Obrázek 2.1: Transformátorová stanice v ženevském CERNu.

V rámci domácnosti se pak mohou nacházet další zdroje, které elektřinu ze zásuvek přizpůsobují požadavkům konkrétních přístrojů, např. napájecí zdroje notebooku, elektrického zvonku, autodráhy, nabíječka mobilního telefonu atd.

Předchozí odstavce mlžily a stále používaly poněkud vágní termín „parametry elektřiny“. Zřejmě tušíme, že tímto důležitým parametrem je **napětí**. Každá elektrická součástka nebo spotřebič pracuje správně v určitém rozmezí napájecího napětí. Asi cítíme, že pokud bychom připojili autodráhu k přenosovému vedení vysokého napětí (experiment provádějme pouze myšlenkově), zřejmě by autíčka nejezdila způsobem obvyklým...

Běžné elektrické spotřebiče v domácnosti připojujeme do zásuvky s efektivním napětím 230 V, např. varnou konvici. Některé spotřebiče nebo jejich komponenty mohou pro svou funkci vyžadovat napětí nižší (např. řídicí obvody kotle, zesilovač v hi-fi věži) nebo vyšší (např. mikrovlnná trouba, CRT monitor), případně napětí více „umravené“ (usměrněné, stabilizované atp.). Součástí takových zařízení jsou pak zdroje, které potřebná napětí příslušným obvodům dodávají.

Úkoly

1. Nalezněte přístrojové štítky na elektrických spotřebičích v domácnosti nebo ve škole (lampička, pračka, trouba, lednice, počítačový zdroj, fén). Jaká jsou jejich napájecí napětí?
2. Vyhledejte údaje o velikosti a typu vstupních a výstupních napětí na štítcích napájecích zdrojů k notebookům, telefonům, tiskárnám, klávesám atd. Jde o transformaci nahoru nebo dolů? Určete transformační poměr. Jaké další informace na štítku nalezneme?
3. Vyhledejte, co znamenají v elektronice zkratky AC a DC?

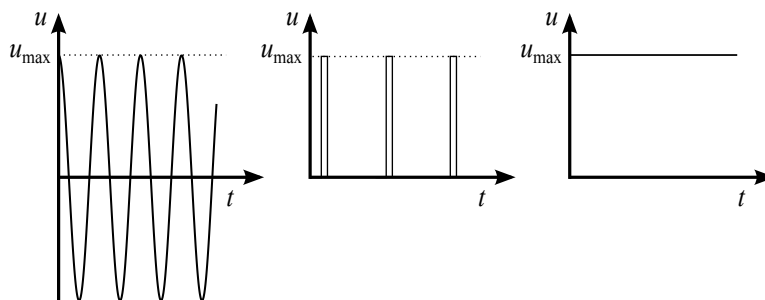
Elektrické napětí příslušného zdroje může s časem měnit velikost i polaritu. Je-li polarita stále stejná, hovoříme o stejnosměrném zdroji (napětí), pokud se s časem mění, jde o zdroj střídavý. Speciálním případem stejnosměrného napětí je napětí s časem neměnné, konstantní. Pozor, usměrněné napětí není automaticky konstantní – průběh může být různě „kopečkovatý“. Až dalšími obvody lze průběh dle potřeby vyhladit.

Průběhy veličin můžeme charakterizovat jejich maximální, střední nebo efektivní hodnotou. Jednotlivé pojmy důkladněji připomeneme na případu napětí v následující části.

2.1.1 Maximální, střední a efektivní hodnota napětí

Napětí zdrojů se může s časem měnit. Dále uvažujme, že se mění přibližně periodicky. Otázkou je, jakou hodnotou napětí daný průběh $u = u(t)$ charakterizovat.

První z možností je podívat se na maximální dosahovanou velikost napětí, tj. **maximální hodnotu** napětí $u_{\max}$. Byť tuto hodnotu snadno odečteme z osciloskopu, o celkovém průběhu však mnoho neříká – zdroj může dávat napětí $u_{\max}$ po většinu periody nebo pouze na malý okamžik a po zbytek periody může být i nulové. Srovnajte průběhy napětí na obrázku 2.2.



Obrázek 2.2: Zcela odlišné průběhy napětí mající stejné $u_{\max}$.

Od maximální hodnoty bychom tedy chtěli přejít k nějaké hodnotě, která bude zohledňovat i dobu setrvávání na příslušných hodnotách napětí. To můžeme udělat středováním napětí přes čas

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt,$$

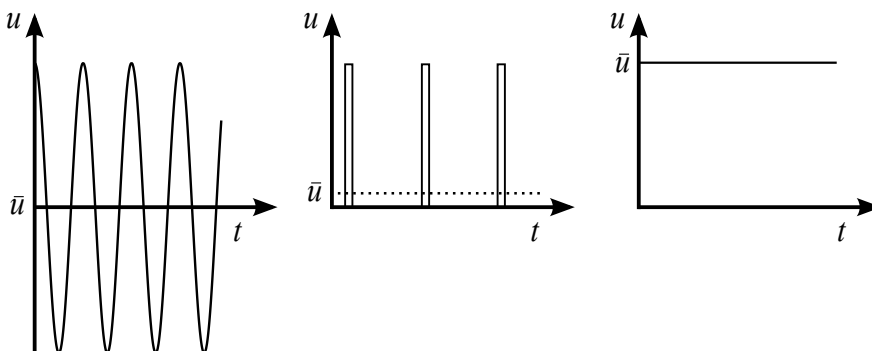
kde integrujeme přes celé násobky period. Hodnota $\bar{u}$ je **střední hodnota napětí**, kterou registrují ústrojí magnetoelektrických měřících přístrojů, tj. přístrojů tvořených otočnou cívkou v poli permanentních magnetů.

Budeme-li například měřit stejnosměrným magnetoelektrickým přístrojem harmonické napětí síťové frekvence, nebude ručička vědět na kterou stranu jít dříve a zůstane uprostřed – střední hodnota je nulová.

Naopak přístroje pro měření střídavých veličin průběh nejprve usměrní, ústrojí pak registruje střední hodnotu absolutní hodnoty průběhu. V případě jednodušších přístrojů se předpokládá harmoničnost průběhů a stupnice přístroje je kalibrována v efektivních hodnotách. Pokud měříme neharmonické průběhy, přístroj neukazuje správnou hodnotu, neboť vztah mezi střední a efektivní hodnotou je jiný. Přístroje, které určí efektivní hodnotu správně i u neharmonických průběhů bývají označeny *True RMS* z anglického *Root Mean Square*.

Střední hodnoty vybraných průběhů jsou zakresleny v obrázku 2.3 na straně 24.

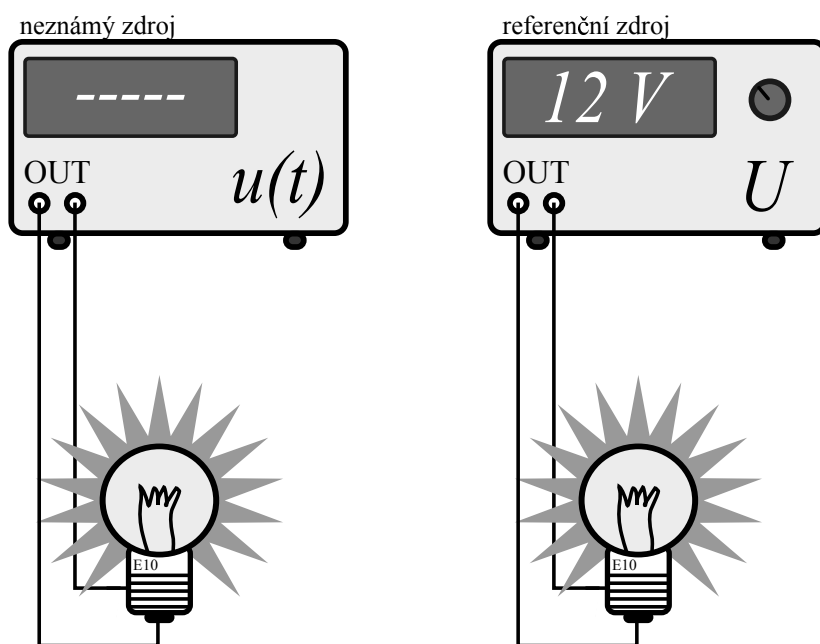
U konstantního i přerušovaného průběhu střední hodnota odpovídá „aktivitě“ zdroje – pokud je zapnutý jen po část periody, je charakterizován této části úměrnou hodnotou. Nepříjemné je, že střední hodnota harmonického průběhu je nulová, přestože takový zdroj může být schopný „nenulové činnosti“.



Obrázek 2.3: Střední hodnoty $\bar{u}$ pro různé typy průběhů $u = u(t)$.

Pro popisování průběhů tedy není z tohoto hlediska střední hodnota zcela ideální. Chtěli bychom dospět k nějaké hodnotě, která by reflektovala jakousi „pracovitost“, dokonce můžeme říci „efektivitu“ průběhu. Mějme neznámý zdroj napětí periodického průběhu $u(t)$. Co takhle posuzovat jeho efektivitu podle toho, jak dobře je schopen rozsvítit žárovku¹?

Nalevo v obrázku 2.4 máme zdroj neznámého nekonstantního (střídavého, pulsujícího) napětí, který napájí žárovku. Perioda průběhu napětí je dostatečně malá, takže nepozorujeme žádné změny v intenzitě světla žárovky. Vedle této žárovky jsme umístili žárovku stejných parametrů, kterou tentokrát napájíme zdrojem konstantního napětí, jehož velikost U lze regulovat.

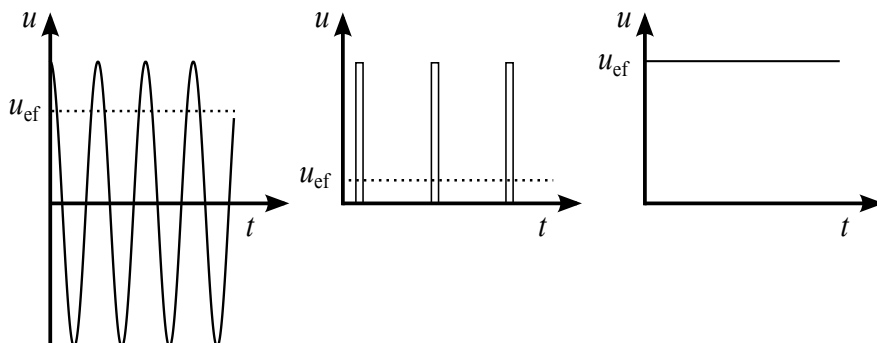


Obrázek 2.4: Demonstrace efektivní hodnoty zdroje neznámého průběhu.

Jestliže na stejnosměrném zdroji nastavíme takové napětí U , že obě žárovky svítí stejně intenzivně, pak tuto hodnotu přiřadíme zdroji s neznámým průběhem $u(t)$ jako jeho **efektivní hodnotu** napětí a označíme U_{ef} .

¹V intenzitě svitu žárovky se promítne to, jak velká napětí a jak dlouho jsou v průběhu periody na zdroji.

Namísto žárovky bychom mohli ke zdrojům zapojit stejné rezistory R a srovnat Jouleova tepla, která předají okolí za daný čas, tedy výkony. Rezistoru je jedno, zda-li chvilku teče proud jedním směrem, poté opačným – bude předávat teplo okolí podobně jako ten, který je protékán konstantním proudem.



Obrázek 2.5: Efektivní hodnoty u_{ef} pro různé typy průběhů $u = u(t)$.

Efektivní hodnoty pro námi sledované průběhy jsou na obrázku 2.5. Odvoďme nyní vztah pro výpočet této efektivní hodnoty.

Máme zdroj napětí periodického průběhu $u(t)$ s periodou T . K němu připojíme odporovou zátěž R . Okamžitý výkon obvodu je

$$p(t) = u(t)i(t) = \frac{u^2(t)}{R}.$$

Střední výkon je tedy

$$\bar{p} = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{u^2(t)}{R} dt = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}{R}. \quad (2.1)$$

Zdroj s konstantním průběhem napětí U má na stejné odporové zátěži výkon

$$P = UI = \frac{U^2}{R},$$

kteří dosáhne přesně středního výkonu v rovnici (2.1), jestliže je jeho napětí

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \equiv U_{\text{ef}}. \quad (2.2)$$

Toto napětí je ono kýžené U_{ef} , které přiřadíme zkoumanému průběhu $u(t)$.

Vztah 2.2 říká, že efektivní hodnota napětí je odmocnina ze střední hodnoty kvadrátu jeho průběhu.

Podobně efektivní hodnota proudu je odmocnina ze střední hodnoty kvadrátu jeho průběhu. Odvození bychom provedli podobně, pro úplnost jej bez komentáře provedme

$$\bar{p} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T Ri^2(t) dt = R \overbrace{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}^{I_{\text{ef}}^2} \equiv RI_{\text{ef}}^2 = P,$$

kde jsme příslušnou část označili I_{ef} , čímž vznikl na pravé straně vztah pro výkon P při konstantním proudu.

Právě efektivní hodnoty veličin jsou uvedeny na zdrojích střídavého napětí, stejně tak měřicí přístroje ve střídavých rozsazích obvykle ukazují efektivní hodnoty napětí a proudu. Stejně tak známá hodnota napětí v síti 230 V je hodnotou efektivní, průběh napětí má špičky o velikosti přibližně 325 V.

Kontrola. Jak velké napětí by muselo být v zásuvce, pokud by mělo mít konstantní průběh a současně bychom požadovali, aby žárovky svítily a spirály topily stejně jako při klasickém střídavém průběhu?

Máte pravdu, muselo by mít velikost právě efektivní hodnoty, tj. 230 V!

2.1.2 Elektrická zásuvka jako zdroj

Funkční elektrickou zásuvku lze chápat jako zdroj napětí pro různé spotřebiče.

Napětí takového zdroje je střídavé, jeho efektivní hodnota je u nás 230 V, není tomu tak ale všude, v některých zemích se lze setkat s napětím například 120 V.

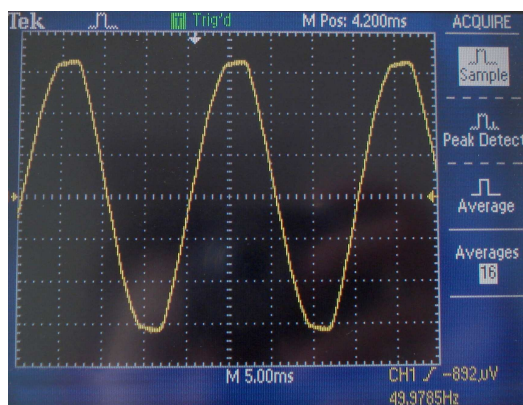
Reálně může být efektivní hodnota napětí v síti o něco nižší nebo vyšší. To může souviset se vzdáleností od trafostanice, ale i s aktuálním zatížením sítě.

Průběh napětí $u(t)$ v elektrické zásuvce by měl být v ideálním případě harmonický, u nás s frekvencí 50 Hz. Tj. lze psát

$$u(t) = 230\sqrt{2} \sin(100\pi\{t\}) \text{ V},$$

kde maximální hodnota harmonického průběhu je $U_{\text{ef}} \cdot \sqrt{2}$.

Elektrická síť je však zatížena i spotřebiči, které způsobují deformaci tohoto harmonického průběhu. Viz obrázek 2.6, který zachycuje skutečný průběh napětí v zásuvce v praxi na Katedře didaktiky fyziky v pražských Holešovičkách dne 16. března 2015 ve 12:15.



Obrázek 2.6: Průběh napětí v zásuvce zobrazený na osciloskopu.

Řešené úlohy

Úlohy uvedené v této části včetně jejich řešení lze nalézt pod odpovídajícím ID číslem v online sbírce fyzikálních úloh [1].

Efektivní hodnoty harmonických průběhů

Na rezistor R je přivedeno harmonické napětí

$$u(t) = U_0 \sin \omega t.$$

- (a) Určete jeho efektivní hodnotu U_{ef} a dále efektivní hodnotu I_{ef} rezistorem protékajícího proudu.
- (b) Nechť průběh $u(t)$ představuje napětí v elektrické zásuvce a rezistorem je topné těleso spotřebiče. Jaká je maximální hodnota napětí na spotřebiči? Jaká je maximální hodnota proudu v přívodní šňůře, jestliže jsme multimetrem naměřili proud 4,3 A?

ID 1629

Jaké teplo spirála předala?

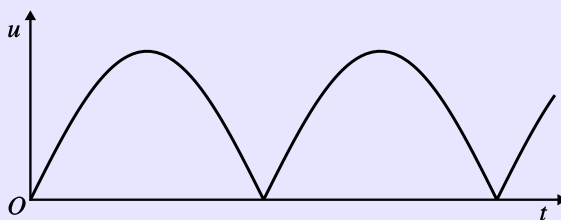
Laborantka Eva ohřívala vodu v kalorimetru topnou spirálou, kterou napájela stejnosměrným zdrojem. Chtěla zjistit, jaké teplo spirála vodě dodá za čas t , proto multimetry měřila napětí U na spirále a proud I jí tekoucí.

Hodnoty pak bez rozmyslu dosadila do vzorečku

$$Q = UIt.$$

S tímto teplem pak dále počítala a zjistila, že například pro měrnou tepelnou kapacitu vody jí nevychází správná hodnota.

Dokázali byste její výsledky zkorigovat, víte-li, že stejnosměrný zdroj nedával napětí konstantní, ale jednalo se o dvoucestně usměrněný harmonický průběh?



Určete kolikrát více nebo méně tepla spirála vodě předala!

ID 1665

2.1.3 Zkoumání zdrojů napětí

Dalším parametrem zdroje je jeho tvrdost, která vyjadřuje, jak moc klesá svorkové napětí zdroje, bude-li se zvyšovat z něj odebíraný proud. Běžná elektrická zásuvka ve vyhovující instalaci je poměrně tvrdým zdrojem – zapojujeme-li do ní další spotřebiče rozumných příkonů, napětí klesá velmi málo. Oproti tomu plochá baterie je zdroj měkký, velmi znatelně, je-li již starší. Přidáváme-li totiž k baterii paralelně další a další žárovky, svítí méně a méně – napětí baterie se zvyšující zátěží klesá.

Proměřte zatěžovací charakteristiky čerstvé a starší baterie 4,5 V, olověného (nebo jiného) akumulátoru a školního transformátorového zdroje (bez i s usměrňovačem).

Charakteristiky porovnejte a diskutujte tvrdost zdrojů, případně určete jejich vnitřní odpor a elektromotorické napětí.



Obrázek 2.7: Vybrané zdroje.

Provedení:

Ze zdroje budeme změnou zátěže odebírat různě velké proudy I a budeme sledovat, jak se mění svorkové napětí U .

Schéma zapojení je na obrázku 2.8(a) na straně 29. Reostatem² R regulujeme proud v obvodu, rezistor $R_1 \approx 1\Omega$ zabraňuje překročení maximálního proudu ampérmetrem. Proud voltmetrem je zanedbatelný, ampérmetrem tedy měříme celkový proud tekoucí zdrojem.

Reálné uspořádání pro plochou baterii je na obrázku 2.8(b) na straně 29. Proudový okruh je veden červenými vodiči, proud měří červený multimetr. Černý multimetr připojený zelenými vodiči měří svorkové napětí zdroje.

V případě baterií a akumulátorů nastavíme stejnosměrné rozsahy měřících přístrojů. U střídavého napětí přístroje přepneme k měření střídavých průběhů, měřené hodnoty pak budou efektivní hodnoty proudu a napětí³.

Charakteristikou zdroje je závislost svorkového napětí na odebíraném proudu $U = U(I)$. Závislost očekáváme v případě stejnosměrného obvodu⁴ lineární

$$U = U_e - IR_i, \quad (2.3)$$

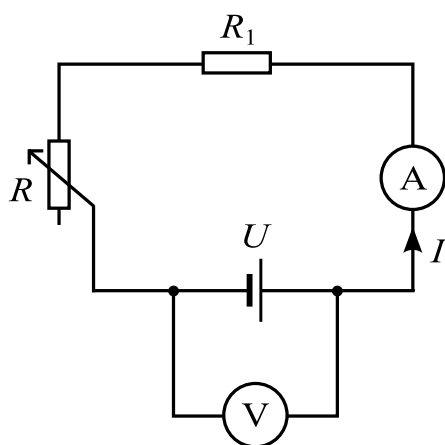
kde U je svorkové napětí, U_e elektromotorické napětí, I proud odebíraný ze zdroje a R_i vnitřní odpor zdroje.

²Volba reostatu souvisí s tím, od jak malých proudů chceme charakteristiku měřit. Dále nutno dávat pozor na jeho maximální povolené proudové zatížení.

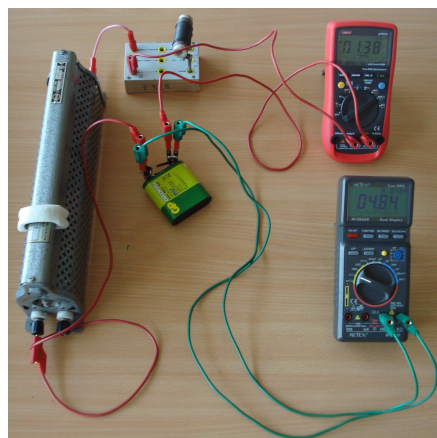
³Jestliže průběhy nejsou přesně harmonické, je měřená hodnota správnou efektivní hodnotou, jestliže je přístroj označen zkratkou RMS.

⁴Nebo střídavého obvodu s rezistancí – pak veličiny značí příslušné efektivní hodnoty.

Svorky voltmetru je třeba zapojit co nejbližže zdroji – v případě, že bychom je zapojili až do proudových banánek, měřili bychom kromě svorkového napětí i úbytky napětí na přechodových odporech.



(a) Schéma zapojení

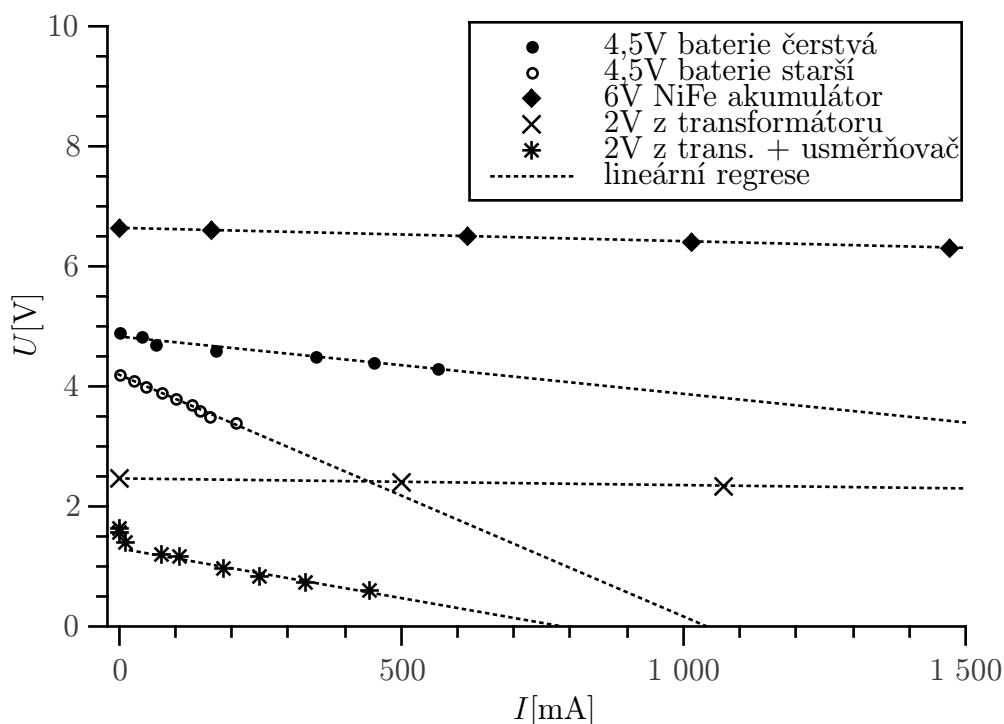


(b) Reálné uspořádání

Obrázek 2.8: Měření zatěžovací charakteristiky 4,5 V baterie.

Měřili jsme zatěžovací charakteristiku čerstvé a starší ploché baterie, dále školního NiFe akumulátoru 6 V a transformátorového zdroje⁵, kde jsme použili výstup označený 2 V. Výstup transformátoru jsme usměrnili zabudovaným usměrňovačem a opět změřili charakteristiku. Naměřená data jsou v grafu 2.9.

Zatěžovací charakteristiky vybraných zdrojů



Graf 2.9: Naměřené zatěžovací charakteristiky vybraných zdrojů.

⁵Přenosný zdroj napětí PZN – 336 VA s usměrňovačem, 0 – 42 V, ~ max 8 A, = max 7 A.

Provedeme lineární regresi⁶ naměřených závislostí $U = U(I)$, prokládáme lineární funkce dle vztahu (2.3). Regresní koeficienty závislostí v grafu 2.9 ze strany 29 jsou v tabulce 2.1. Uvedeny jsou střední kvadratické chyby, tj. hledané hodnoty leží v uvedených intervalech s pravděpodobností 68,3 %.

Tabulka 2.1: Elektromotorické napětí a vnitřní odpor zdrojů z lineární regrese.

Zdroj	elektromotorické napětí $U_0[\text{V}]$	vnitřní odpor $R_i[\Omega]$
4,5 V čerstvá baterie	$4,83 \pm 0,10$	$0,97 \pm 0,31$
4,5 V starší baterie	$4,20 \pm 0,05$	$4,03 \pm 0,39$
6 V NiFe akumulátor	$6,64 \pm 0,01$	$0,23 \pm 0,01$
2 V z transformátoru	$2,47 \pm 0,03$	$0,13 \pm 0,02$
2 V z trans. usměrněné	$1,46 \pm 0,15^{(7)}$	$2,18 \pm 0,71$

Z grafu 2.9 a tabulky 2.1 je patrné, že u čerstvých nebo dobře nabitých baterií a u transformátoru jsou elektromotorická napětí vyšší než deklarovaná. V případě školního transformátoru se při výrobě zřejmě počítalo s poklesem napětí s odebraným proudem, navíc zdroj vznikl v době, kdy bylo v síti efektivní napětí nižší, tj. 220 V. Se zvýšením napětí na primárním vinutí na 230 V se zvýšilo i napětí na sekundárních vinutích, popisky u výstupních svorek však zůstaly stejné.

Při zapojení vestavěného usměrňovače transformátorového školního zdroje došlo ke znatelnému snížení napětí, pro malé zátěže $\approx 10 \text{ mA}$ je charakteristika velmi nelineární, pro větší zátěž je již lineární.

V grafu navíc vidíme, že různým zdrojům při zatěžování „dochází dech“ různě rychle. To, jak rychle svorkové napětí klesá, je dáno velikostí směrnice, která je dle (2.3) vnitřním odporem zdroje R_i . Ty jsou v tabulce 2.1.

Zdrojům, jejichž charakteristika $U = U(I)$ klesá mírně (R_i je přibližně do 1Ω), říkáme **tvrdé**, zdroje s větším vnitřním odporem považujeme za **měkké**. Z tabulky 2.1, případně grafu 2.9 vyčteme, že z měřených zdrojů je nejtvrdší školní transformátor, následuje akumulátor, plochá baterie čerstvá, transformátor s usměrňovačem a nejměkčím je pak starší plochá baterie.

Závěry:

- elektromotorické napětí závisí na stáří baterie, u školního transformátoru není rovno napětí deklarovanému,
- tvrdost zdroje lze charakterizovat jeho vnitřním odporem R_i ,
- transformátor a akumulátor lze považovat za tvrdé zdroje,
- baterie vybíjením „měknou“, tj. jejich vnitřní odpor R_i roste,
- zapojení usměrňovače značně změní zatěžovací charakteristiku.

⁶Pro tyto účely je možné použít například tabulkový procesor Excel. Zde byl použit program pro zpracování dat měření a tvorbu grafů *QtiPlot*.

⁷Vzhledem k nelinearitě průběhu v případě zdroje se zapojeným usměrňovačem není tato hodnota elektromotorickým napětím, ale hodnotou na nulový proud extrapolovanou z lineární části průběhu.

Doplňují úlohy

1. Podívejte se osciloskopem na průběhy napětí akumulátoru a školního zdroje (bez i s usměrňovačem). Je usměrněné napětí skutečně konstantní?
2. Vyhledejte popisy nabízených „tužkových baterií“⁸ a zjistěte jaké napětí dávají články s různým chemickým složením.

Střípky z praxe

Následující mikropovídky jsou dobrým úkazem, že se hodí mít o charakteristikách zdrojů jisté povědomí.

- **Nenasytý dálkový ovladač.** Učitel fyziky byl na škole přivolán k ovladači projektoru, který během měsíce spotřeboval již několikátou knoflíkovou baterii. Po zběžné kontrole součástek obvodu ovladače nezjistil žádnou vadu. Připojením na stabilizovaný zdroj a snižováním napětí zjistil, že integrovaný obvod ovladače si při nižším napětí bere trvale nezanedbatelný proud a to i v klidovém stavu, který průběžně vybíjí baterii. Obvod byl napájen nižším napětím, neboť někdo do ovladače dával knoflíkové baterie sice stejných rozměrů, ale jiného typu, které měly větší vnitřní odpor.
- **Pepíčková diagnostika akumulátoru.** Pepíček chtěl diagnostikovat olouvený akumulátor, který ležel v garáži. Vzal proto voltmetr a změřil jeho napětí. Přístroj ukázal hodnotu 12 V. Pepíček plný radosti běžel tatínkovi oznámit, že akumulátor dává své plné napětí a že je možné ho používat. Tatínek si byl špatného stavu akumulátoru vědom, nenechal se zaskočit a připojil k akumulátoru žárovku z automobilu. Žárovka nesvítla a napětí akumulátoru pokleslo téměř k nule, podobně jako nálada Pepíčka.
- **Přetěžovaná žárovka?** Růženka začala pitvat kapesní svítilnu. Zjistila, že obsahuje plochou baterii 4,5 V a žárovku určenou na napětí pouze 3,8 V. Velmi se tomu podivila. My jsme však se zatěžovací charakteristikou již obeznámeni, takže se určitě nepodivíme. Uměli byste Růžence vysvětlit, proč tomu tak je?

Zkoušíme-li čerstvost baterií nebo stav akumulátorů, musíme měřit napětí při zátěži odpovídající běžnému provozu. Na autobaterii můžeme naměřit napětí naprázdno až 12 V i v případě, kdy je již za hranicí použitelnosti.

⁸Správně by se mělo říkat článek, neboť baterie je označení pro sériové spřažení dvou a více článků v jeden celek. Proto 1,5 V článek, ale 4,5 V baterie.

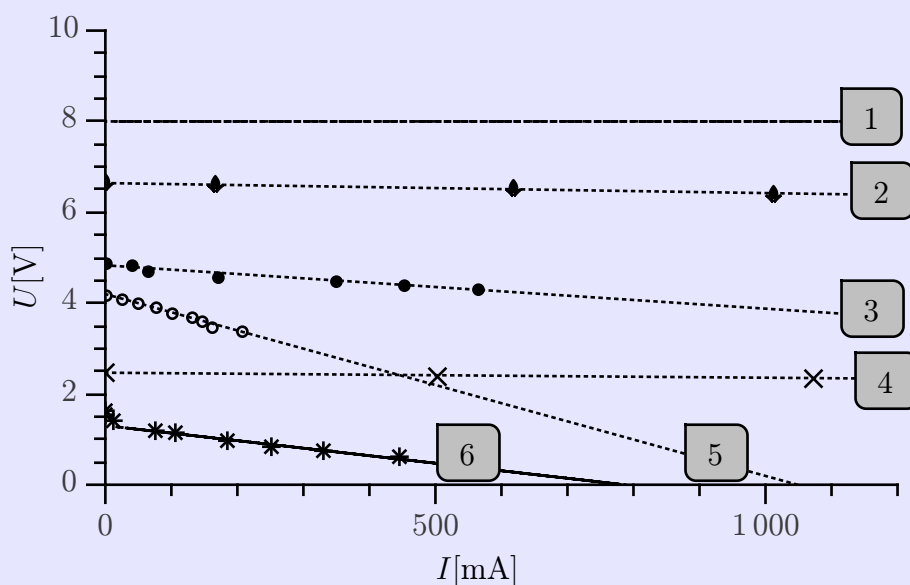
Řešené úlohy

Úlohy uvedené v této části včetně jejich řešení lze nalézt pod odpovídajícím ID číslem v online sbírce fyzikálních úloh [1].

Charakteristiky zdrojů

V následujícím grafu jsou zakresleny zatěžovací charakteristiky šesti zdrojů napětí, konkrétně

- (a) NiFe akumulátoru s napětím přibližně 6,6 V,
- (b) čerstvé ploché 4,5 V baterie
- (c) starší ploché 4,5 V baterie
- (d) výstupu ze školního transformátoru s označením 2 V
- (e) usměrněného výstupu z transformátoru s označením 2 V
- (f) ideálního zdroje napětí.



Při měření si laborant nepoznačil, která data odpovídají kterým zdrojům. Pomozte mu přiřadit průběhy 1 až 6 zdrojům a) až f).

ID 1633

2.2 Elektrický odpor

Kapitola nebude o odpůrcích elektrických zařízení ani o všeobecném povstání elektroniky proti lidstvu. Zůstaneme ve vodách fyzikálních veličin a podíváme se, kde všude se elektrický odpor hlásí o své slovo.

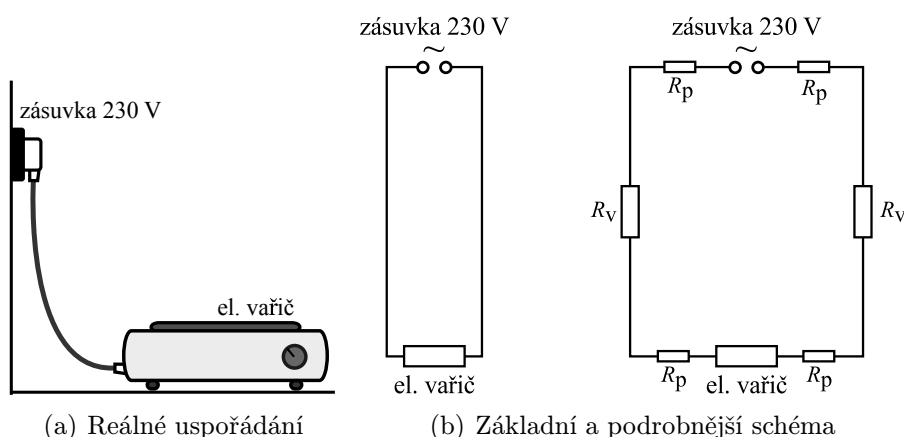
Ohmův zákon. Přestože jsme jej při odvozování v minulé kapitole již užívali, pro úplnost připomeňme, že vodič o odporu R , mezi jehož konci držíme stálé napětí U , je protékán proudem

$$I = \frac{U}{R}. \quad (2.4)$$

Je-li napětí proměnné, má například harmonický průběh, pak za předpokladu pouze ohmické zátěže⁹ platí stejný vztah 2.4, kde místo U a I lze psát efektivní hodnoty U_{ef} a I_{ef} , či hodnoty okamžité u a i .

2.2.1 Přechodové a průběžné odpory

Představme si elektrickou plotýnku (toustovač, či podobný spotřebič) zapojenou síťovou šňůrou do zásuvky. Zmíněnou situaci máme na obrázku 2.10(a).



Obrázek 2.10: Různé úrovně schematizace vaříče zapojeného do zásuvky.

Překresleme ji do obvodového schématu. Budeme postupovat jako obvykle, nakreslíme zdroj, pak spotřebič a propojíme je horizontálními a vertikálními liniemi, které mají funkci ideálního spojení. Nepředpokládá se, že změny poměry v obvodu, jejich funkcí je pouze propojit příslušné komponenty, viz levá část obrázku 2.10(b). Takový přístup je dobrým prvním přiblížením a je-li přívodní šňůra přizpůsobena příkonu spotřebiče a všechna napojení vodičů v kondici, není nutné ani žádné další.

Někdy je ale potřeba počítat s nezanedbatelným odporem vodičů v přívodní šňůře. V obvodovém schématu napravo v obrázku 2.10(b) je pak modelujeme rezistory R_v . Stejně tak může mít svůj význam přechodový odpor mezi zdířkami

⁹Obvod má pouze rezistanci, nikoli induktanci či kapacitanci. Pokud tato podmínka není splněna, lze psát obdobný vztah, kde na místě odporu R stojí impedance Z .

zásuvky a kolíky vidlice přívodu a přechodový odpor spojení mezi vidlicí a vodiči přívodní šňůry¹⁰. Obdobně na straně spotřebiče. Tyto přechodové odpory souhrnně modelujeme rezistory R_p ¹¹.

V praxi se snažíme vždy o minimalizaci odporů R_p , tj. vodiče musí být při instalaci do dutinek čisté, šroubky jsou dobře dotaženy, spoj nesmí být tepelně či mechanicky namáhán, vidlice přívodní šňůry má být čistá, zásuvka nesmí mít uvolněné zdířkové kontakty. Podobně pro zapojení přívodní šňůry do spotřebiče.

Ve schématech na obrázku 2.10 není oproti skutečnosti zakreslen tzv. ochranný vodič, který propojuje ochranný kolík v zásuvce s kostrou přístroje. I ten má své odpory R_p , R_v . Jeho bezchybný stav je klíčový a případné chyby mohou být bezpečnostním rizikem.

Vraťme se ale k situaci na obrázku 2.10(b) na straně 33. Vidíme, že samotný spotřebič je spolu s odpory R_p , R_v v sérii. Tedy napětí zdroje nenáleží v plnosti spotřebiči, ale rozkládá se i na jednotlivé sériové odpory. Úbytek napětí na příslušném průběžném nebo přechodovém odporu je úměrný velikosti tohoto odporu¹² a protékaného proudu.

Vysoký úbytek napětí na přívodní šňůře znamená nižší napětí na spotřebiči¹³ a také větší teplo, které se na šňůře vyvíjí. Můžeme tedy přibližně¹⁴ říci:



Obrázek 2.11: Ekvivalentní kabely pro přenesení proudu 13 000 A. Vlevo měď, napravo za speciálních podmínek supravodič. Podrobněji o odporu kabelů na straně 36.

Velikost průřezu vodičů elektrických kabelů stejného materiálu souvisí s přenášeným proudem. Vodiče přenášející větší proud jsou tlustší, vodiče pro malé proudy mohou mít průřez menší.

Bádání

1. Všimněte si tloušťky elektrických kabelů, kterými jsou k elektrické síti připojeny různé spotřebiče. Souvisí tloušťka kabelů s příkony spotřebičů?
2. Podívejte se, jak tlustý je drát vedení vysokého napětí. Co by se stalo, kdyby byl tento vodič v některém úseku nahrazen tenkým vodičem (např. zvonkovým drátem)?

¹⁰Častým problémem bývají povolené šroubky vodičů na kolících vidlice.

¹¹Velikosti jednotlivých odporů R_v a R_p jsou samozřejmě obecně různé.

¹²Který je, stydno připomínat, v případě průběžného vodiče nepřímo úměrný jeho průřezu.

¹³Což ale třeba topnému tělesu až tak nevádí, spirála bude, byť méně, stále hřát. Složitější spotřebiče však mohou být na podpětí citlivé a vykazovat nesprávné chování.

¹⁴Například střídavé proudy vysokých frekvencí se chovají komplikovaněji – vykazují tzv. *Skin efekt*, kdy proud teče pouze v určitých povrchových vrstvách vodiče.

Prozatím jsme aplikovali teorii – vodiče přívodních šňůr a jejich napojení na vidlice jsme v obvodových schématech nahradili rezistory a odhadli jsme chování takového obvodu. Nyní nějakou podobnou situaci nasimulujeme a proměříme.

Do elektrické zásuvky připojíme toustovač přes dlouhý prodlužovací přívod s připojenou vícenásobnou zásuvkou. Pokud má tato část vedení nezanedbatelný odpor, bude na něm odpovídající úbytek napětí a na jeho konci blíže spotřebiči naměříme nižší napětí, než na začátku. Zapojení je na obrázku 2.12(a), schéma 2.12(b).



Obrázek 2.12: Zkoumání úbytku napětí na prodlužovacích přívodech.

Nahřívajícím se toustovačem teče obvodem proud $I = 2,8 \text{ A}$. Tento proud působí dle očekávání úbytek napětí na přívodních vodičích, neboť na začátku sledovaného vedení (místo A), je napětí $U_A = 240,5 \text{ V}$, zatímco na konci (místo B) pouze $U_B = 238,5 \text{ V}$.

Úbytek napětí, který lze vyjádřit i procentuálně

$$\frac{U_A - U_B}{U_A} = \frac{240,5 \text{ V} - 238,5 \text{ V}}{240,5 \text{ V}} \cdot 100 \% \approx 1 \%,$$

je v tomto případě malý – použitý prodlužovací přívod má dostatečně velký průřez vodičů ($1,5 \text{ mm}^2$) vzhledem k protékanému proudu.

2.2.2 Prodlužovací přívod

V předchozí části jsme ověřili, že na přívodní a prodlužovací šňůry nutno nahlížet jako na rezistory, zapojené spolu se spotřebičem v sérii. Nyní se podrobněji podíváme, jak jejich odpor¹⁵ změřit.

Připomeňme, že odpor vodiče stálého průřezu S a délky l je

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (2.5)$$

kde ρ je měrný elektrický odpor – rezistivita závislá na materiálu vodiče.

Příklad: Uvažujme 40 m dlouhý prodlužovací přívod s měděnými vodiči o průřezech $1,5 \text{ mm}^2$. Měrný elektrický odpor mědi je $0,0178 \Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$. Odpor jedné žíly je tedy $R = 0,0178 \frac{40}{1,5} \Omega \doteq 0,47 \Omega$. Teče-li přívodem proud 5 A, činí úbytek napětí na vedení (tj. tam a zpět) $U = 2RI = 2 \cdot 0,47 \cdot 5 \text{ V} = 4,7 \text{ V}$.

Určíme-li odpor R a délku l , můžeme ze znalosti rezistivity vodiče určit jeho průřez S ze vztahu 2.5 a porovnat s výrobcí udávanou hodnotou. Bude-li se lišit, pak buď nebyl použit vodič deklarovaného průřezu nebo naměřený odpor zahrnuje nezanedbatelné přechodové odpory – někde je povolený šroubek, zaoxidovaný kontakt atp.

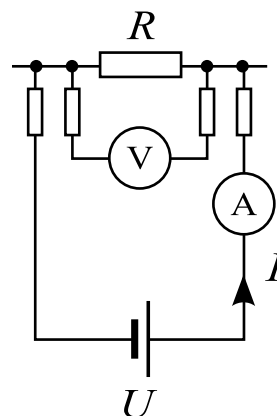
Jak změříme odpor R ? Odpor vodičů v prodlužovací šňůře očekáváme poměrně malý, v příkladu výše byl konkrétně $0,47 \Omega$. Nutno tedy sáhnout po metodě měření malých odporů.

Dobré výsledky dává tzv. **čtyřsvorková metoda**. Zkoumaným rezistorem necháme protékat proud I a budeme na něm měřit úbytek napětí U . Viz obrázek 2.13.

Důležité je, aby napěťové svorky byly co nejblíže k měřenému rezistoru, tj. předřazeny svorkám proudovým. Pokud by tomu tak nebylo, měřil by voltmetr i proudů úměrné úbytky napětí na příslušných částech přívodních vodičů a přechodových odporech.

Ve schématu 2.13 jsou zakresleny menší rezistory, které představují odpory měřících vodičů. Snadno si uvědomíme, že odpory v proudovém okruhu nám nijak nevadí – jsou v sérii, měřený proud to neovlivní. Dále úbytky napětí na odporech vodičů voltmetru jsou zanedbatelné, neboť proud tekoucí voltmetrem je díky jeho velkému vnitřnímu odporu zanedbatelný.

Při měření prodlužovacích přívodů se nám obvykle nepodaří umístit napěťové svorky zcela ideálně. Obvykle nastane situace, kdy do zdířky zásuvky přívodu zastrčíme nejprve napěťový a až do něj proudový banánek. Z předchozích úvah tak plyne, že se projeví přechodový odpor mezi napěťovým banánkem a zdířkou. Sice tím neměříme přesně odpor samotného vodiče, na druhou stranu zjistíme možné chování reálného prodlužovaku, tj. včetně běžných přechodových odporů v zapojení, a můžeme pak porovnáním s výpočtem soudit o jejich výši.

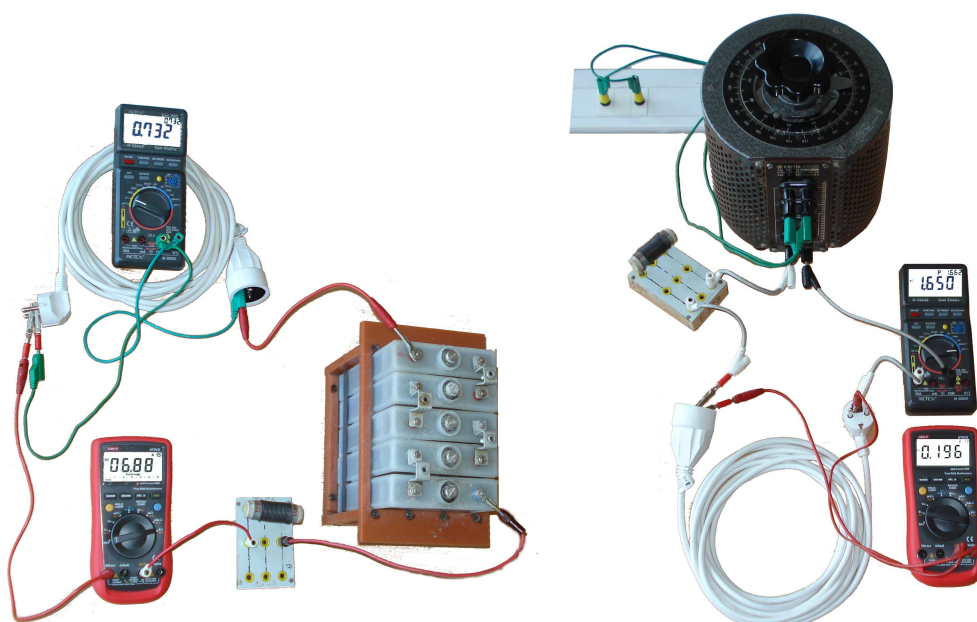


Obrázek 2.13: Čtyřsvorková metoda.

¹⁵Pro jednoduchost budeme předpokládat pouze odporovou zátěž v obvodu, tedy namísto impedance budeme hovořit o odporu.

Abychom dosáhli přesnějšího měření, budeme měřit úbytky napětí na vodičích šňůry při různých proudech. Jelikož předpokládáme, že se budou chovat jako rezistory, tj. budou mít lineární voltampérovou charakteristiku, bude přímo směrnicí závislosti $U = U(I)$ odporem R příslušného vodiče. Nyní máme dvě¹⁶ možnosti – nechat vodič protékat:

- konstantními proudy, např. z akumulátoru – ten je schopný poskytnout i vyšší proudy,
- střídavými proudy, např. z autotransformátoru – možnost jemné regulace a vyšších proudů.



(a) Stejnoseměrný proud (akumulátor) (b) Střídavý proud (autotransformátor)

Obrázek 2.14: Měření odporu vodiče v prodlužováku čtyřsvorkovou metodou.

Reálné zapojení pro měření je na obrázku 2.14. Obrázek 2.14(a) ukazuje případ, kdy je zdrojem akumulátor. Proud v obvodu je nastavován zapojením různého počtu článků akumulátoru. Obrázek 2.14(b) ukazuje měření, kde je zdrojem autotransformátor (variak) Křižík, který je místo 230 V napájen ze školního rozvodu 12 V.

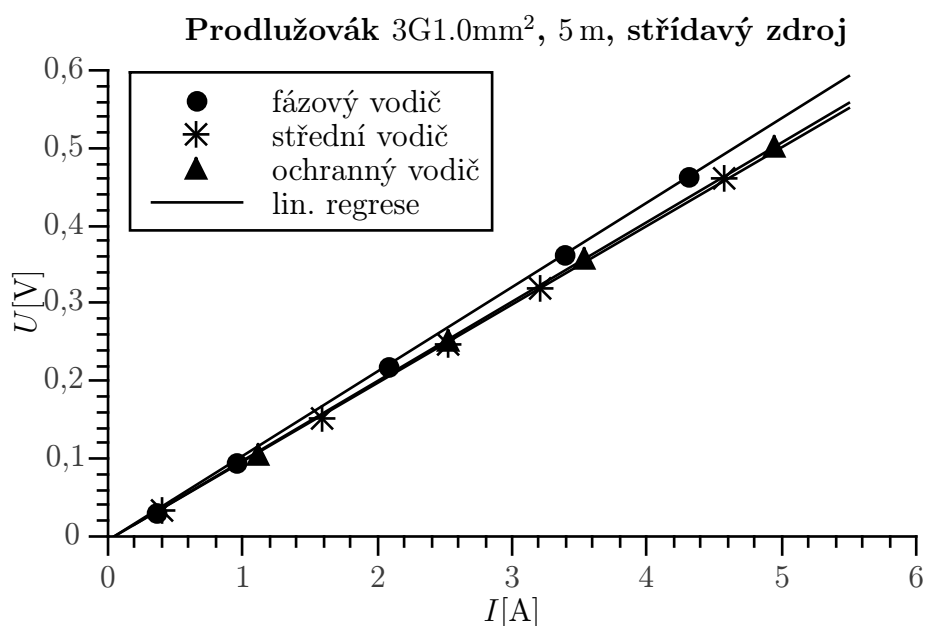
Úbytek napětí měří vždy přístroj, který je klubíčku prodlužovací šňůry blíže, tj. na obrázku 2.14(a) je to černý a na obrázku 2.14(b) červený multimetr. V případě střídavého obvodu jsou oba použité přístroje přepnuty na střídavé rozsahy a ve výpočtech pak uvažujeme efektivní hodnoty. Do obvodu je zařazen sériový ochranný rezistor.

¹⁶Každá z variant má své výhody i nevýhody. Příslušné přechodové „odpory“ se mohou někdy chovat, jak bylo při měření zjištěno, značně nevyzpytatelně. Například v případě styku různých kovů a zoxidovaných kontaktů můžeme naměřit různé hodnoty v závislosti na směru proudu. Při používání stejnosměrného zdroje je proto dobré provádět měření i s opačnou polaritou a výsledky průměrovat.

U prodlužovacích šňůr lze proměřit všechny tři vodiče a naměřená data porovnat. Lze tak odhalit například povolený šroubek, zaoxidované svorky, poškozený vodič atp.

Vlastní měření

Pomocí čtyřsvorkové metody, popsané v předchozí části, jsme nejprve naměřili odpory vodičů vybraného zánovního prodlužovaku EMOS KF-FY4-01 s parametry 5 m, 3G1.0mm², max 10 A. Charakteristiky jednotlivých žil jsou v grafu 2.15.



Graf 2.15: Závislost úbytku napětí na proudu ve vodičích prodlužovací šňůry.

Naměřené body lze velmi dobře proložit přímkami procházejícími nulou, tj. směrnice těchto přímek jsou přímo odpory příslušných vodičů.

Směrnice jsme získali z regresních koeficientů proložených přímek, určují následující odpory:

ochranný vodič $R = 0,10 \, \Omega$,

střední vodič $R = 0,10 \, \Omega$,

fázový vodič $R = 0,11 \, \Omega$.

Střední kvadratické chyby směrnic jsou malé, pod 1 %.

Výrobce šetří mědí?

Uvažme, že neznáme onen průřez $S_0 = 1,0 \, \text{mm}^2$ jednotlivých vodičů a vypočítejme jej z naměřené hodnoty odporu R a délky prodlužovaku l ze vztahu (2.5) na straně 36.

Vodiče jsou pravděpodobně měděné, v tabulkách vyhledáme rezistivitu mědi $\rho = 0,0178 \, \Omega \, \text{mm}^2 \, \text{m}^{-1}$. Rezistivita vyjádřená v těchto jednotkách je velmi šikovná, do vztahu (2.5) pak lze dosazovat přirozeně délku v metrech a průřez v milimetrech čtverečních.

Naměřenému odporu odpovídá průřez vodičů¹⁷

$$S = \rho \frac{l}{R} = 0,0178 \frac{5}{0,10} \text{ mm}^2 \doteq (0,89 \pm 0,02) \text{ mm}^2.$$

To je zvláštní, průřez vodičů by měl být dle výrobce větší, konkrétně 1 mm². Měříme špatně? To snad ne – měření jsme provedli více, s různými přístroji, průběhy napětí, proudy, či opakovaným přepojením banánků.

Že by to mohly mít na svědomí například přechody mezi vodiči šňůry a vlastními koncovkami? Vlastně neměříme odpor samotné „žíly“, ale i přechodové odpory jejího napojení na koncovky.

Snaha o rehabilitaci výrobce

Zkusme vypočítat, jaký odpor by těmto přechodovým odporům příslušel. Měděný vodič délky 5 m o průřezu 1 mm² by měl mít odpor

$$R_0 = \rho \frac{l}{S_0} = 0,0178 \frac{5}{1} \Omega = 0,089 \Omega.$$

Přechodové „odpory“ budou s vlastním vodičem v prodlužováku zřejmě v sérii, připadá proto na ně odpor přibližně

$$R - R_0 = (0,11 - 0,089) \Omega = 21 \text{ m}\Omega.$$

Prozatím nemáme představu, jak velký takový přechodový odpor může být, takže nemůžeme soudit, byla-li naše hypotéza správná. Takže výrobce třeba očistíme, až si nějaký takový přechodový kontakt reálně změříme.

Velikost těchto přechodových odporů zřejmě bude záviset i na stáří a opotřebení kontaktů, tlaku vzájemného styku a celé řadě dalších okolností.

Prozatím si tedy zapamatujme, že pokud nám vyjdou přechodové odpory řádově desítky miliohmů, bude to tak zřejmě správně.



Obrázek 2.16: Měřený prodlužovák.

Odpory vodičů reálně a teoreticky

Měření jsme prováděli pro prodlužovací šňůry různých délek, „tloušťek“ a stáří. Výsledky měření, včetně vypočítaných teoretických odporů ideálních vodičů a odpovídajících přechodových odporů, uvádíme v tabulce 2.2. Data jsou buďto pro konkrétní vodič; bylo-li měřeno více vodičů, pak je uvedena průměrná hodnota.

¹⁷Do chyby měření, kterou jsme odhadli na celkem 2 %, jsme zahrnuli chybu určení délky l a odporu R . Vzhledem k tomu, že měřený odpor R obsahuje i přechodové odpory a dosazujeme ho do vztahu pro samotný „slušný“ vodič, nebudeme chyby měření příliš řešit.

Tabulka 2.2: Odpory vodičů prodlužováků; teoretické hodnoty a rozdíly.

	délka l [m]	průřez S [mm ²]	teoretický R_0 [Ω]	naměřený R [Ω]	rozdíl $R - R_0$
S vícenásobnou zásuvkou (nová)	2	1	0,036	0,062	0,027
S vícenásobnou zásuvkou (stará)	4	1,5	0,047	0,098	0,051
Školní s vícenásobnou zásuvkou (stará)	7	1,5	0,083	0,105	0,022
Se zatavenými koncovkami (nová) I.	5	1	0,089	0,123	0,034
Se zatevenými koncovkami (nová) II.	10	1,5	0,119	0,158	0,039
Prodlužovačka sešlá (starší)	6	1,5	0,071	0,104	0,033
Napájecí kabel k PC (starší)	1,5	0,75	0,036	0,112	0,080
Dlouhá pogumovaná stavební	40	1,5	0,475	0,486	0,011

Z tabulky 2.2 je patrné, že rozdíly mezi naměřeným odporem a teoretickým odporem samotného vodiče jsou ve všech případech řádově desítky miliohmů.

Hodnota 21 mΩ pro prodlužovák v úvodní části tedy není ničím výjimečná.

Tabulka 2.3: Odpory přívodu a eliminace přechodových odporů.

	délka l [m]	průřez S [mm ²]	teoretický R_0 [Ω]	naměřený R [Ω]	rozdíl $R - R_0$
Měření skrz vidlici i zásuvku	4	1,5	0,047	0,098	0,051
Měření skrz vidlici bez zásuvky	4	1,5	0,047	0,059	0,012
Měření skrz zásuvku bez vidlice	4	1,5	0,047	0,060	0,013
Měření bez obou koncovek	4	1,5	0,047	0,054	0,007

Eliminace přechodových odporů

Jestliže chceme rozdílům reálných a teoretických odporů přisuzovat přechodový charakter, pak musí být nutně měřitelný menší úbytek napětí v případě, že se těmito přechody vyhneme. To jest když napěťové svorky umístíme přímo na vlastní vodič, ještě než je uchycen do koncovky.

Jelikož si nechceme nenávratně zničit prodlužovák se zatavenými koncovkami, musíme experimentovat se šňůrou, která přístup k vlastním vodičům umožňuje. Pro tyto účely jsme použili prodlužovák, který je v tabulce 2.2 pod pracovním

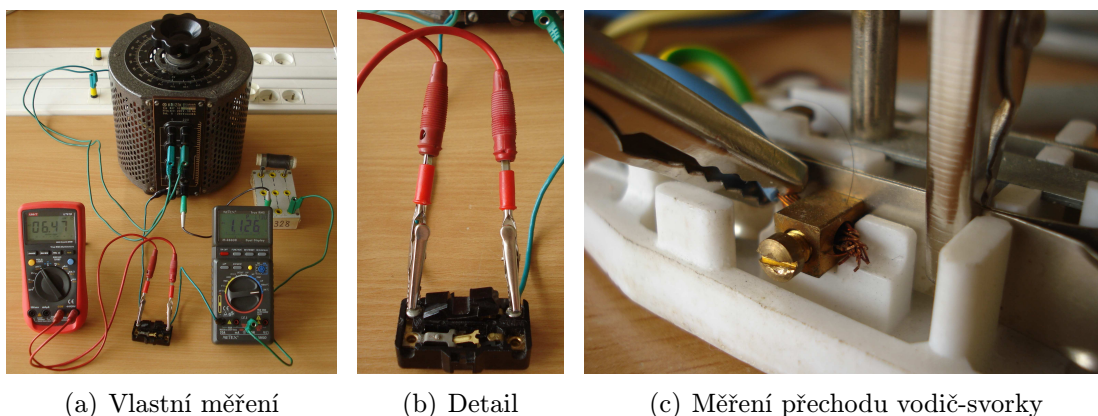
názvem *S vícenásobnou zásuvkou (stará)*. Naměřené hodnoty při postupném vyhýbání se přechodovým odporů vidíme v tabulce¹⁸ 2.3 na straně 40. Domněnka je potvrzena, rozdíl odporů s vyřazováním jednotlivých „přechodů“ klesá.

Malá nenulová hodnota v případě vyřazení obou koncovek může souviset s tím, že napěťové svorky nebyly přikládány přímo na měděná vlákna vodiče, ale na šroubky je uchycující do koncovky, aby nebylo nutné koncovky demontovat.

Měření odporů kontaktu a přechodu

Nastává rozhodující okamžik. Přistupme k naměření vlastního přechodového odporu, konkrétně odporu

- funkčního kontaktu ve starém spínači, viz obrázky měření 2.17(a) a detail spínače 2.17(b),
- přechodu mezi zděří vícenásobné zásuvky na prodlužováku a zapojeným vodičem, viz obr. 2.17(c), v různém stavu¹⁹.



Obrázek 2.17: Měření přechodových odporů kontaktu spínače a zapojení zásuvky.

Charakteristika prvního případu je v grafu 2.18 na straně 42, grafy pro druhý případ neuvádíme, neboť v obou případech dostáváme, alespoň v měřeném rozsahu proudů, „nezajímavé“ rezistorové – tj. lineární charakteristiky, kdy proložené přímky procházejí nulou. Jejich směrnice jsou proto přímo odpory:

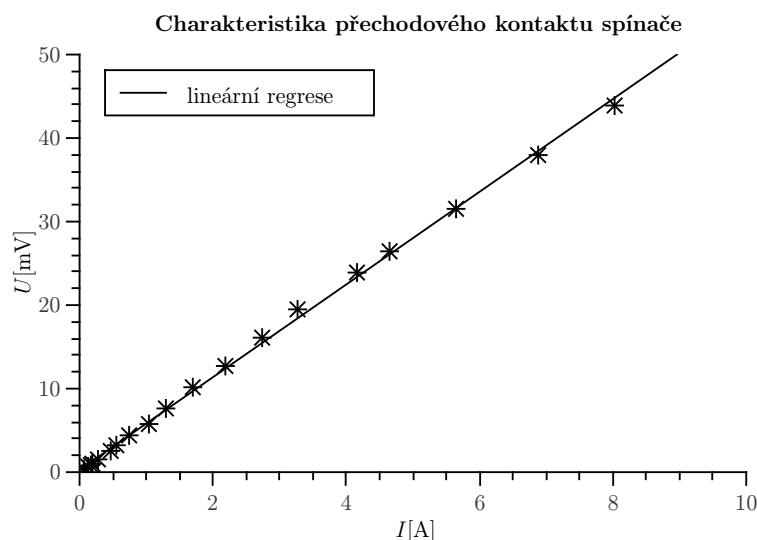
kontakt spínače	$R = 6 \text{ m}\Omega$,
přechod – prodlužovák v dobrém stavu	$R < 1 \text{ m}\Omega$,
přechod – prodlužovák v horším stavu	$R = 11 \text{ m}\Omega$,
přechod – prodlužovák ve špatném stavu	$R = 82 \text{ m}\Omega$.

Vidíme, že přechodové odpory²⁰ se pohybují v řádu jednotek až desítek miliohmů. Hodnoty v předchozích částech diskutované jsou tedy opodstatněné.

¹⁸Velký odpor byl způsoben uvolněným zanýťováním kolíku zásuvky, který tak při manipulaci změnil odpor. Z toho důvodu zcela nesedí součty odporů v posledním sloupci tabulky.

¹⁹Dobrý stav byl měřen na kvalitně provedeném ukotvení vodiče. Horší a špatný spoj byl naměřen na uvolněném ochranném kolíku

²⁰V naměřených hodnotách je samozřejmě zahrnut i odpor plíšků vedoucí ke kontaktům.



Graf 2.18: Charakteristika kontaktu z běžného nástěnného spínače.

Měříme-li kontakt ve výrazně špatném stavu, nemusí mít povahu rezistoru a charakteristika může být nelineární. Její konkrétní tvar může záviset i na tom, zda jdeme od nižších proudů k vyšším nebo naopak. V případě stejnosměrného zdroje může záležet i na polaritě.

Chování takových kontaktů je zkrátka nevyzpytatelné. V praxi se pak situace řeší obroušením styčných ploch, důkladným dotáhnutím spoje, použitím speciální přípravků (Kontaktol aj.), či dokonce úplnou výměnou takto poškozeného prvku.

Větší přechodové odpory si vymohou pozornost. V okamžiku, kdy obvodem protéká velký proud, je na nich velký úbytek napětí a tedy i nezanedbatelné tepelné ztráty, které mohou situaci ještě zhoršit.

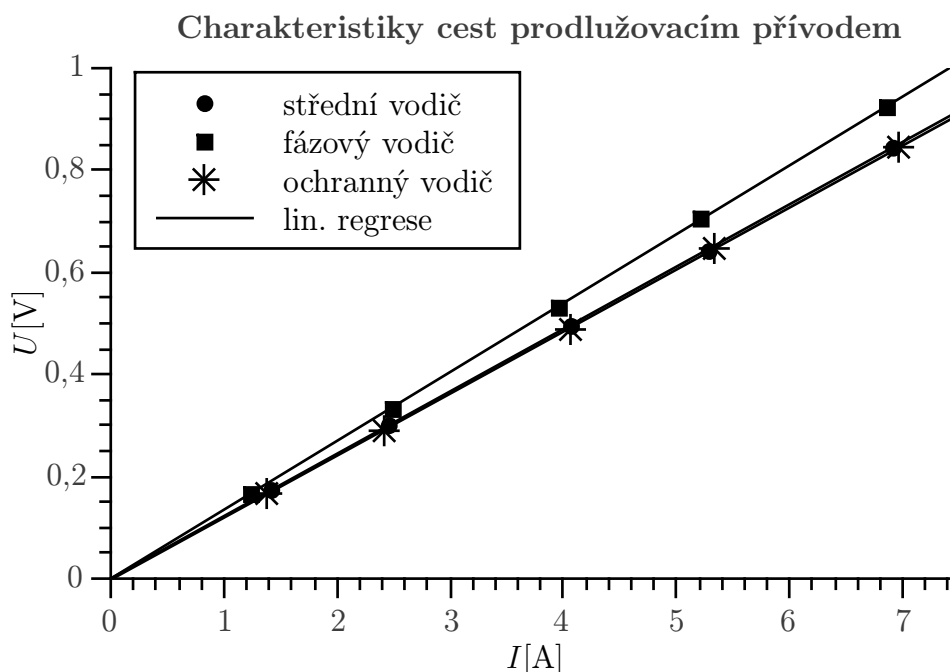
Střípky z praxe

- **Chyběl klíč.** Jednou za mnou přijel bratr s hrůzou v očích: „Když jsem za tebou vyjžděl z Prahy, téměř jsem nenastartoval. Na dálnici pak občas vyvádělo psí kusy. Jsem rád že už jsem tady. Je to divný, vždyť baterku jsem nedávno měnil!“ Podíval jsem se tedy na novou baterii a hle – šroubovací svorky byly na akumulátor pouze nasunuty, nebyly utaženy. Vytáhl jsem příslušný francouzský klíč, utáhl a bratr vesele jezdí dál.
- **Temná lampa.** Stojací lampa s halogenovou lineární žárovkou vykazovala podezřelé chování. Při delším používání byla cítit spálenina – že by uvězněný hmyz? Po nějakém čase žárovka praskla. Po instalaci nové však lampa nefungovala vůbec! Ukázalo se, že kontakt žárovky dosedá na bodec, který je nanýtován na přívodním plíšku. Mezi bodcem a plíškem byl značně velký přechodový odpor, který nezmizel ani po očištění a vybroušení kontaktu. Plíšek byl celý zčernalý, odkapaná izolace přívodního vodiče ukazovala na nemalé vyvíjené teplo.
- **Požár v dílně.** V truhlářské dílně začaly při hoblování hořet v jednom místě na zemi piliny. Ukázalo se, že tam ležel přívodní trojfázový kabel běžícího stroje, který byl neodborně opraven „Krutýho“²¹ spojem. Běžným šlapáním na kabel došlo k nárůstu přechodového odporu. Velký proudový odběr motoru znamenal velký úbytek napětí v místě spoje a příslušné vyvíjené teplo.

²¹Spoj dvou vodičů stočením odizolovaných konců do sebe a oblepením izolační páskou, pro nízké nároky na potřebný materiál oblíbený u velkého množství „odborníků“.

Rozdíly v rámci jedné síťové šňůry

Lze sledovat rozdíly odporů jednotlivých žil v rámci jedné síťové šňůry. Pro tyto účely naměříme charakteristiky jednotlivých vodičů. Výsledkem takového měření pro přívod EMOS KF-FY4-01 s parametry 5 m, 3G1.0mm², max 10 A je graf 2.19.



Graf 2.19: Charakteristiky jednotlivých žil v zánovním prodlužováku.

Vidíme, že fáze má oproti střednímu a ochrannému vodiči viditelně větší odpor. Ze směrníc, které určují odpory, zjišťujeme, že přibližně o 13 mΩ. Na první pohled znatelný rozdíl směrníc tedy skrývá poměrně malou hodnotu, která může být způsobena například o něco horším napojením koncovky na fázový vodič kabelu, či jeho poškozením v rámci šňůry.

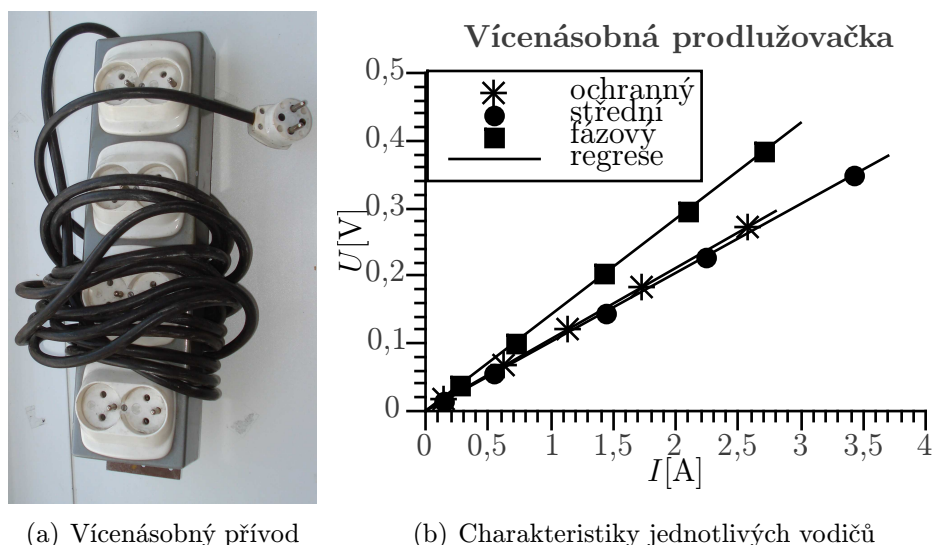
Prodlužovák ve špatné kondici?

Analýzou charakteristik vodičů ve školním vícenásobném příívodu, který je na obrázku 2.20 na straně 44, jsme zjistili, že fázový vodič má opět větší odpor. Porovnáním odporů získaných ze směrníc přímek zjišťujeme, že rozdíl činí až 40 mΩ.

Mohli bychom to bez váhání opět přisoudit špatně dotáhnutému šroubku, či zoxidovanému spoji. Pokud se ale pozorně podíváme na zásuvkovou krabici z boku, zjistíme, že je zde umístěn jistič. A nelze neočekávat, že jistič má také svůj vlastní odpor (resp. impedanci).

V tomto příívodu je instalován jistič staříckého typu. Pro novější jistič jsme zjistili, že největší odpor má jeho bimetalová část, a to za studena přibližně 11 mΩ. Pro starší typ tomu zřejmě bude podobně. I když by šel změřit odpor přímo jističe v prodlužováku, nebudeme s tím ztrácet čas, není to nyní středobodem našeho zájmu.

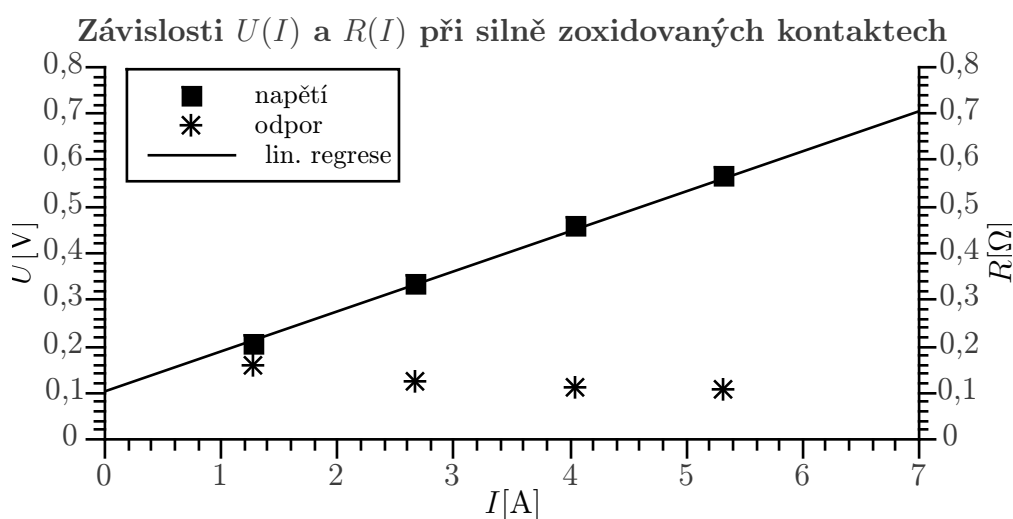
Při měření jsme také jako vedlejší produkt zjistili, že měřený prodlužovací přívod má prohozenou fázi a střední vodič. Na druhou stranu k tomuto zjištění by nám stačil obyčejný test průchodnosti „pípákem“²² multimetru.



Obrázek 2.20: Měření odporu vodičů ve „starém“ vícenásobném přívodu – proč má cesta fáze oproti zbývajícím větší odpor?

Silně zoxidované kontakty a špatný dotyk

Při měření starší prodlužovací šňůry se zoxidovanými kontakty a uvolněnými zděřeními se nám stalo, že naměřená charakteristika nebyla příliš lineární a navíc proložená přímka neprotínala nulu, tj. v extrapolaci na nulový proud vychází nenulový úbytek napětí. Viz graf 2.21.



Graf 2.21: Extrapolace na nulový proud charakteristiky dává nenulové napětí.

²²Režim multimetru, který testuje průchodnost obvodem. V případě průchodnosti vydává tón – odtud slangové označení.

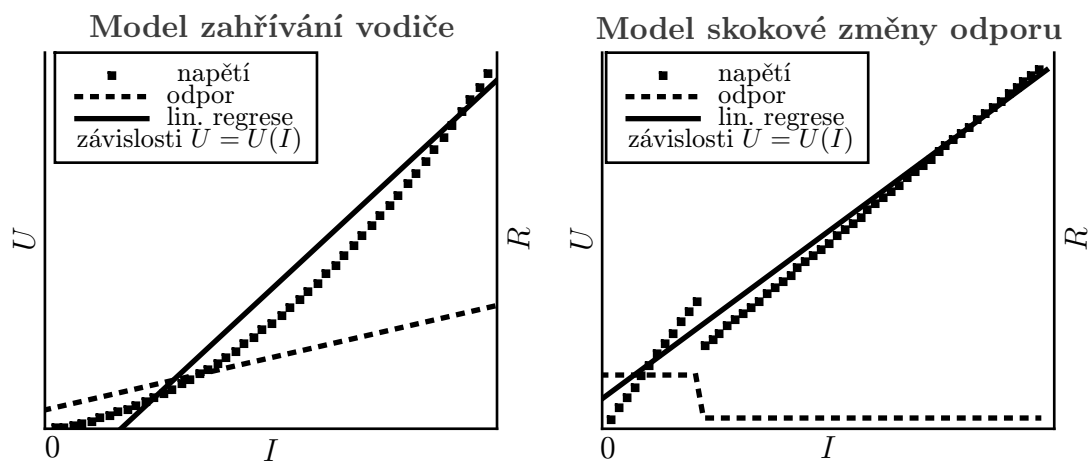
Je jasné, že v takovém případě rozhodně nelze určovat odpor ze směrnice proložené přímkou.

Pátrejme nyní po možných příčinách „nerezistorového“ chování. Je zřejmé, že kromě konstantního odporu vodiče v přívodu zde hraje roli nějaký další proudově závislý odpor. Může nás napadnout, že

- s rostoucím proudem se vodič zahřívá²³, čímž se jeho odpor zvětšuje a charakteristika pak není lineární. Tuto situaci znázorňuje modelový graf 2.22(a),
- přechodové kontakty ve špatném stavu přidávají k vlastnímu odporu vodiče další odpor, který s rostoucím proudem ubývá²⁴. V grafu 2.22(b) je zakreslen zjednodušený model, kdy tento „parazitní“ odpor je konstantní a při určité hodnotě proudu se ztratí²⁵.

Z grafu 2.22(a) vidíme, že varianta s oteplením vodičů by způsobila spíše záporný úsek na svislé ose, zatímco námi naměřený graf odpovídá úseku kladnému. Navíc již v grafu 2.21 na straně 2.21 vidíme, že odpor neroste, ale spíše klesá. Takže tímto to nevysvětlíme.

Druhá situace, viz graf 2.22(b), způsobuje úsek kladný, takže lze usuzovat na původ v přechodových kontaktech. Nutno podotknout, že v případě grafu 2.21 ubývá přechodový odpor s proudem zřejmě postupně, žádný skok v měřeném rozsahu není patrný.



(a) Odpor roste vlivem zahřívání s proudem.

(b) Odpor při určitém proudu klesne.

Graf 2.22: Pátrání po důvodu nenulového úseku naměřené charakteristiky.

Jaké si z této kapitoly vzít ponaučení? Snad alespoň to, že přechod vodičů z kabelu do koncovek není pouze technickým řešením spojení dvou komponent, ale komplikovanější záležitostí, právě z důvodů vzniklých přechodových odporů.

²³Při běžných (neporuchových) proudech není změna odporu oteplením výrazná. Výpočtem se můžeme přesvědčit, že krajním hodnotám odporů v grafu 2.21 na straně 44 odpovídá z lineární formule $R = R_{20}(1 + \alpha \Delta t)$ nereálný rozdíl teplot přibližně -130°C , který představuje naopak ochlazení vodiče (odpor poklesl).

²⁴Proud si přes nedobré zaoxidované kontakty postupně „prorazí cestu“, apod.

²⁵Nespojitost v grafu vypadá nepřírodně, na druhou stranu v případě takovýchto jevů možno nespojitý „průraz“ zoxidované vrstvy klidně očekávat.

V některých případech je situace naprosto bezproblémová, někdy může v těchto přechodech tkvět záhada všerůzných problémů.

Další věcí je, že „vzoreček“ $R = \rho \frac{l}{S}$ lze bez problémů použít v případě, kdy jde o vodiče v metráži. Aplikací na prodlužovací šňůry s koncovkami se můžeme, zvláště v případě krátkých přívodů s malým odporem, jak jsme viděli, dostat do problémů. Poté totiž mohou vycházet průřezy vodičů menší, než jsou ve skutečnosti – přechodové odpory v koncovkách nemusí být vzhledem k vlastním vodičům zanedbatelně malé.

Úkoly

1. Sežente nějakou podezřele levnou prodlužovací šňůru a změřte odpor jednotlivých vodičů. Na základě tohoto odporu, délky a rezistivity vypočítejte teoretický průřez a porovnejte s výrobcem udávanou hodnotou.
2. Při měření jsme jako voltmetry a ampérmetry používali multimetry. Nebylo by jednodušší multimetr nastavit jako ohmmetr a měřit odpory žil přímo?

Řešené úlohy

Úlohy uvedené v této části včetně jejich řešení lze nalézt pod odpovídajícím ID číslem v online sbírce fyzikálních úloh [1].

Úbytek napětí na prodlužováku

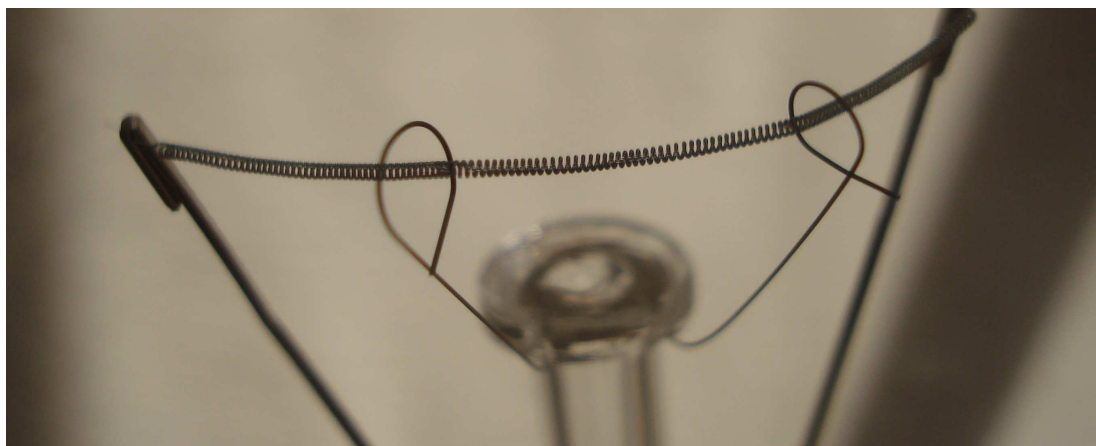
Z elektrické zásuvky 230 V má být odebírán proud 10 A přes prodlužovací přívod s parametry

- (a) 40 m, 1,5 mm², měď,
- (b) 10 m, 1,0 mm², měď,
- (c) 5 m, 0,75 mm², měď,
- (d) 2 m, 0,5 mm², měď.

Určete výsledné napětí na spotřebiči při použití jednotlivých přívodů.

ID 1648

2.2.3 Odpor vlákna žárovky



Žárovka na reklamaci?

Zabývejme se nyní klasickou žárovkou. Příkon takové žárovky je

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}, \quad (2.6)$$

kam dosazujeme efektivní hodnoty napětí U a proudu I .

Žárovku připojujeme k síťovému napětí, tj. $U = 230 \text{ V}$ a její odpor snadno změříme multimetrem, pro naši žárovku $R = 92 \Omega$. Dosazením dostaneme příkon

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(230 \text{ V})^2}{92 \Omega} = 575 \text{ W},$$

který je značně podezřelý, neboť jsme měřili „čtyřicítku“, tedy žárovku, která má mít při jmenovitém napětí 230 V příkon 40 W a ne „pětistovku“. Neměli bychom žárovku reklamovat, když jsme místo své „čtyřicítky“ dostali baňku na osvětlení teletníku? Nebo jsme něco hrubě opomenuli?

Při měření odporu žárovka nesvítla, možná se při provozu chová jinak. Změříme tedy napětí na žárovce a jí tekoucí proud. Pro námi vybranou žárovku jsme naměřili $U = 249 \text{ V}$ a $I = 0,174 \text{ A}$, dosazením dostáváme příkon

$$P = UI = 249 \text{ V} \cdot 0,174 \text{ A} \doteq 43 \text{ W}.$$

To už sedí mnohem lépe, takže reklamace možná nebude nutná. Máme podezření, že průchodem proudu se odpor vlákna zvětší a tedy je její příkon podle 2.6 nižší.

Ano, je tomu tak, protože odpor vlákna je v zahřátém stavu

$$R = \frac{U}{I} = \frac{249 \text{ V}}{0,174 \text{ A}} = 1431 \Omega,$$

což je asi 15,6 krát více než za studena, kdy jsme naměřili pouze 92Ω .

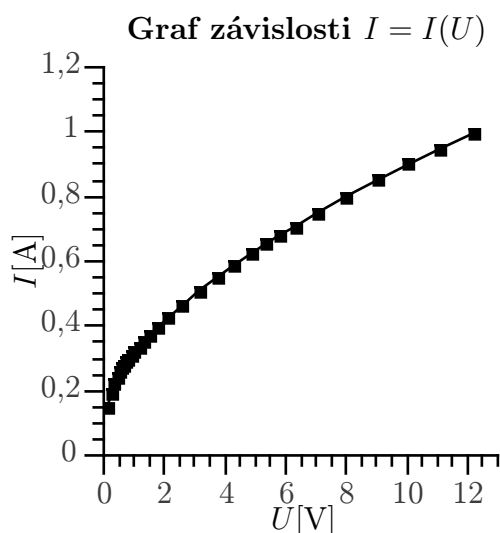
Autožárovka

Zkusme prozkoumat chování žárovky podrobněji. Pro tyto účely budeme pracovat se starší autožárovčkou se jmenovitými hodnotami 12 V, 15 W.

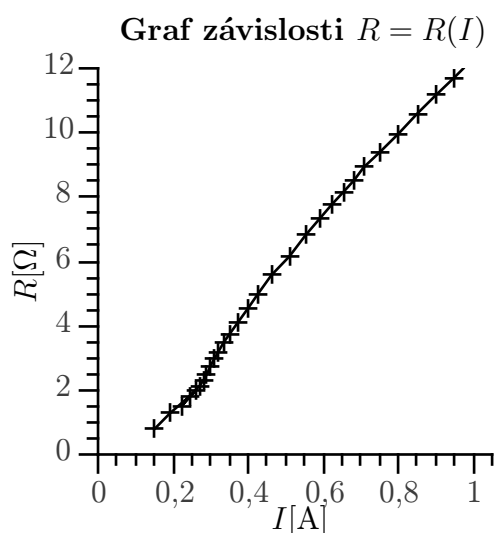


Obrázek 2.23: Měření voltampérové charakteristiky autožárovky „doma“.

Jak je to s odporem žárovky nejlépe vysledujeme z voltampérové charakteristiky. Pro její zjištění použijeme transformátor původně určený k napájení auto-
dráhy, umožňující regulaci výstupního usměrněného napětí v rozsahu 0 – 12 V, a dva multimetry²⁶. Reálné zapojení je na obrázku 2.23, naměřená voltampérová charakteristika pak v grafu 2.24.



Graf 2.24: VA charakteristika žárovky



Graf 2.25: Odpor žárovky

V grafu 2.25 je vykreslen vypočítaný odpor žárovky při jednotlivých proudech.

Než pokročíme dále, podíváme se ještě na jeden příklad z praxe – stojací halogenovou stmívací lampu.

²⁶Přístroj na stejnosměrném rozsahu v případě nekonstantních průběhů měří jejich střední hodnoty. Má-li napětí i proud co do tvaru stejný průběh (zde dvoucestně usměrněný harmonický průběh), pak i podíl jejich středních hodnot dává správně hledaný odpor žárovky.

Stmívatelná stojací lampička s halogenovou žárovkou

Podobně jako v předchozím případě budeme na halogenové žárovce stojací lampičky měřit napětí a proud. Vzhledem k práci se síťovým napětím toto může provádět pouze osoba příslušné kvalifikace. Měření je na obrázku 2.26.

Stojací lampička je stmívatelná, tj. lze plynule regulovat její svítivost, zřejmě tedy i její příkon.

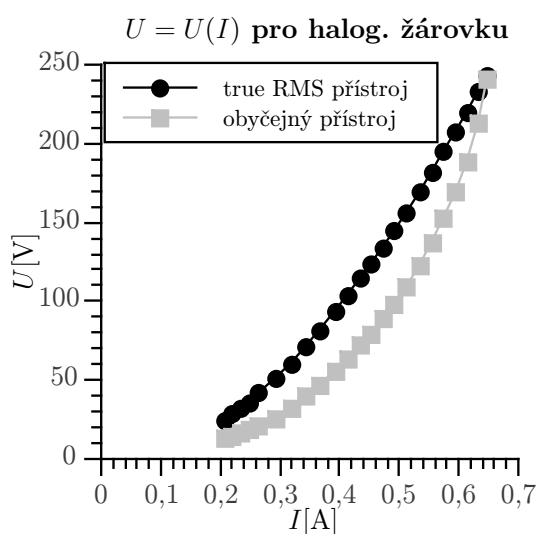
Zatím se nezabývejme, jakým způsobem toho stmívač docílí, ale spokojme se s tím, že s otáčením ovladače pro zvyšování svítivosti upravuje průběh síťového napětí tak, že se plynule zvětšuje jeho efektivní hodnota.

Důležité je, že jde o **efektivní hodnoty** průběhů, o jejichž tvaru zatím nic nevíme²⁷. Z toho plyne, že musíme sáhnout po lepších měřících přístrojích s označením *true RMS*²⁸.

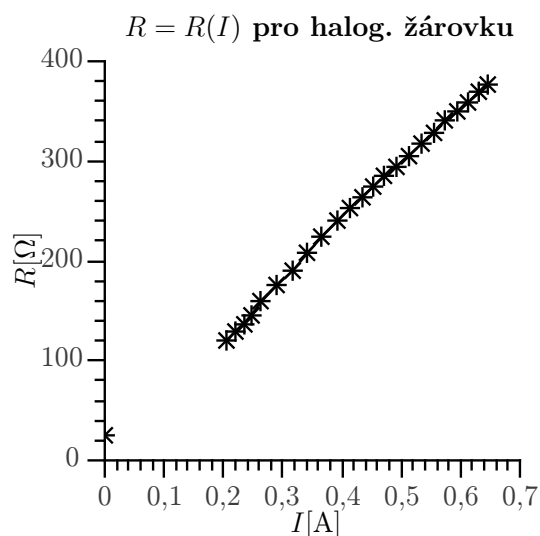
Při měření jsme pro zajímavost odečetali hodnoty napětí i na obyčejném multimetru bez funkce *true RMS*. Naměřená charakteristika je v grafu 2.27.



Obrázek 2.26: Měření charakteristiky halogenové žárovky.



Graf 2.27: Charakteristika žárovky



Graf 2.28: Odpor žárovky

Byla měřena **lineární halogenová žárovka EMOS 230 V / 300 W**. V grafu 2.28 vidíme závislost odporu žárovky na efektivní hodnotě proudu. Snadno odečteme, že odpor při plném rozsvícení je přibližně šestnáctinásobek hodnoty za studena.

²⁷Prozradíme předem – rozhodně nejsou, až na krajní případy, harmonické.

²⁸O problematice měření neharmonických veličin jsme se drobně zmínili v kapitole o zdrojích, napětí a proudu.

Praskání žárovek

O žárovkách jsme se již mnohé dozvěděli – tak vzhůru do neúprosné reality.

„To je vám zajímavé,“ říká Světlana sousedce, „vždycky když mi praskne žárovka, tak je to tehdy, když cvaknu na vypínač! Můj starej říkal, že jsem od narození nešikovná, že na co sáhnu, to rozbiju. No půjde z domu!“

? Nechme stranou diskuzi, zda-li půjde z domu manžel, či rozbitá žárovka. Dokázali bychom paní Světlanu uklidnit a vysvětlit jí, proč má žárovka k prasknutí větší tendenci právě při zapnutí?

Přístupme k tomu podrobněji. V našich dřívějších experimentech jsme zjistili, že odpor žárovky za studena je přibližně 15,6 krát menší než za provozu. Teplotní závislost odporu vlákna si dovolueme aproximovat lineární formulkou

$$R = R_{20}(1 + \alpha \Delta t), \quad (2.7)$$

odkud pro rozdíl teplot vlákna za studena a za provozu

$$\Delta t = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R}{R_0} - 1 \right) \doteq \frac{1}{4,5 \cdot 10^{-3}} (15,6 - 1) ^\circ\text{C} \doteq 3\,244 ^\circ\text{C},$$

kde $\alpha = 4,5 \cdot 10^{-3} ^\circ\text{C}^{-1}$ je teplotní součinitel elektrického odporu wolframu a podíl odporů, jak jsme určili dříve, přibližně 15,5. Byla-li pokojová teplota $20 ^\circ\text{C}$, pak vlákno mělo za provozu teplotu²⁹ přibližně $3\,264 ^\circ\text{C}$.

Vidíme, že teplota rozžhaveného vlákna je velmi vysoká. Nelze se tak divit, že dochází k sublimaci³⁰ materiálu vlákna a postupem času se na něm objeví místa ztenčení.

Vzhledem k malému odporu vlákna za studena jím teče při sepnutí mnohonásobně větší proud než v běžném provozu. Tento velký proud znamená velký úbytek napětí na částech vlákna s velkým odporem, tj. ve ztenčeních. V místech velkého úbytku napětí se vlákno zahřívá na vyšší teplotu než okolní části, což může vést až k porušení vlákna – prasknutí žárovky.

Tekoucí proud se však obvykle jen tak nevzdá – po přerušení vlákna se v mezírce vytvoří vodivý kanál a vznikne elektrický oblouk, pozorovaný obvykle ve formě modrého záblesku. Oblouk buďto sám zanikne nebo je vytažen až na „tykadla“, které vlákno napájí, což ale vzhledem k malému odporu oblouku znamená zkrat, který je v případě správné instalace zažehnán spadnutím jističe, či přepálením pojistky.

²⁹Vzhledem k použití lineární formule (2.7) a velkému teplotnímu rozdílu nutno k výsledku přihlížet s rezervou a chápat jej především jako řádový odhad. Na anglické Wikipedii [26] se dočteme, že teplota vlákna žárovky je asi $2000 - 3300 \text{ K}$, pohybujeme se tedy spíše v horní části intervalu. Naštěstí jsme nepřekročili teplotu 3695 K , která je na téže stránce uvedena jako teplota tání wolframu.

³⁰Poznamenejme, že je snaha toto minimalizovat. Žárovky jsou plněny inertními plyny, případně mají speciální konstrukci – halogenové žárovky.

V jedné malé vesničce děti zpívaly u rozsvíceného stroměčku na návsi. Jedna z běžících ratolestí však při produkci zakopla o stojan s halogenovým reflektorem, jehož žárovka samozřejmě praskla. Na zkratový proud oblouku v prasknuté žárovce zareagoval jistič. Jelikož vše bylo na jednom zásuvkovém okruhu, kromě zhasnutého stroměčku utichla i produkce, neboť jak se ukázalo, děti ze školky zpívaly na playback. Naštěstí svařák díky své velké měrné tepelné kapacitě výpadek napájení várnice bez problému ustál.

V některých instalacích se může v důsledku různých příčin stát, že efektivní síťové napětí je vyšší než jmenovité 230 V. Vyšší napětí na žárovce znamená větší proud a tedy i teplotu vlákna. Vyšší teplota vlákna může vést k ochotnější sublimaci a vzniku míst ztenčení. Současně vyšší napětí při sepnutí žárovky má za následek vyšší náběhový proud a tedy v delším časovém horizontu i vyšší „praskavost“ žárovek. Praskají-li žárovky hodně často, může být pachatelem právě nadpětí. Často se však stává, že tyto jepičí žárovky pocházejí z nepovedené várky a byly patrně koupeny ve větším množství právě kvůli své akční ceně.

Značného zvýšení životnosti žárovek lze dosáhnout instalací tzv. stmívačů. Při tomto způsobu spouštění není žárovka k síťovému napětí připojena nárazově, ale napájecí efektivní napětí je zvyšováno postupně. Díky tomu se vyhneme kritickému počátečnímu proudovému nárazu.

Řešené úlohy

Úlohy uvedené v této části včetně jejich řešení lze nalézt pod odpovídajícím ID číslem v online sbírce fyzikálních úloh [1].

Odběr žárovek v automobilu

Automobilový akumulátor s napětím 12 V napájí paralelně zapojené žárovky dvou potkávacích světel s odporem $R_1 = 2,5 \Omega$, dvou mlhových světel s odporem $R_2 = 4 \Omega$ a žárovku osvětlení SPZ $R_3 = 30 \Omega$. Určete celkový odpor zapojení a odebíraný proud, jestliže jsou společně s osvětlením SPZ zapnuta

- (a) pouze potkávací světla,
- (b) potkávací i mlhová světla.

V obou případech vypočítejte proudy odebírané jednotlivými žárovkami.

Odpory žárovek jsou uvedeny za tepla. Proud ostatními spotřebiči neuvážíte.

ID 1663

Závěr

V rámci bakalářské práce *Praktická elektrotechnika ve výuce fyziky* vznikl text mapující existující pomůcky a zařízení, které mohou být dobrým pomocníkem ve výuce témat elektřiny a magnetismu. Uvedme například *Mess-adapter*³¹, který zajišťuje snadné a bezpečné měření při práci se síťovým napětím. Část práce je dále věnována vybrané literatuře, po které lze sáhnout v případě zájmu o rozšíření nebo doplnění znalostí z různých oblastí elektrotechniky v návaznosti na školskou fyziku.

Stěžejními partiemi jsou kapitoly *Zdroje, napětí a proud* a *Elektrický odpor*, ve kterých jsou tyto pojmy a situace z běžného života s nimi související podrobně rozebírány. Konkrétně jsou diskutovány významy středních a efektivních hodnot průběhů elektrických veličin, jejichž nesprávná interpretace může vést k chybným výsledkům měření. Další část se zabývá tvrdostí běžně používaných zdrojů napětí (baterie, akumulátor, transformátor). Elektrický odpor je zkoumán na prodlužovacích šňůrách a o své slovo se přihlásí při demonstraci úbytku napětí na přívodu k toustovači a při měření přechodového odporu na kontaktu spínače.

Vlastní text je doplněn grafy z reálných měření (charakteristiky zdrojů, žárovek, prodlužovacích přívodů a přechodových kontaktů), které jsme provedli snadno dostupnými přístroji na běžných věcech z domácnosti (prodlužovací přívody, baterie, žárovky). Problematiku jsme ilustrovali příklady z praxe, historkami „z natáčení“, či motivačními úkoly k dalšímu zkoumání. K vybraným problémům (úbytek napětí na prodlužovacím přívodu, charakteristiky zdrojů) byly sestaveny úlohy, které příslušná témata dokreslují. Některé úlohy byly navíc opatřeny podrobným řešením, s nímž byly zveřejněny online ve sbírce řešených fyzikálních úloh [1].

V části věnované zdrojům a průběhům napětí je mimo jiné rozřešen následující, dle zkušeností vedoucího práce hojně se vyskytující, problém z praxe. Na školách bývá někdy topná spirála v kalorimetru napájena ze slaboproudého rozvodu dvoucestně usměrněného napětí a pro výpočet odevzdaného tepla se užívá vztah $Q = UIt$, kde se za napětí U a proud I dosazují hodnoty naměřené multimetry. Vše by bylo v pořádku, pokud by naměřené hodnoty napětí a proudu byly hodnotami efektivními. Multimetry však na stejnosměrných rozsazích neměří hodnoty efektivní (které vystupují ve zmíněném vztahu), ale hodnoty střední. V případě, kdy je na výstupu napájecího zdroje dvoucestně usměrněný harmonický průběh, je reálně odevzdané teplo přibližně o 23 % větší než teplo určené chybným dosazením středních hodnot! Čtenář se může k tomuto číslu řešením zařazené úlohy dostat zcela sám.

Text je primárně směřován středoškolskému čtenáři s nenulovým zájmem o elektrotechniku, nicméně může být přínosným zdrojem inspirace i učitelům fyziky či širší veřejnosti s podobnými zájmy.

V průběhu vlastního měření se objevilo mnoho zajímavých podnětů hodných dalšího zkoumání. Pro příklad poznamenejme, že právě „divoké“ voltampérové charakteristiky u jedné postarší prodlužovací šňůry vedly k důkladnějšímu proměření přechodových odporů kontaktů spínače.

Další zkoumání zasluhují záležitosti související například i s elektrickými sítě-

³¹ Adaptér je možné používat pouze s vidlicemi tzv. německého typu „Schuko“.

mi a jejich ochranou, s funkcí jističů a chráničů či se spotřebou elektrické energie a tarify. Je v úmyslu se těmito tématy zabývat v rámci diplomové práce, která by měla na tento text plynule navázat.

Seznam použité literatury

- [1] KDF MFF UK *Elektronická sbírka úloh z fyziky*. [online] (2. března 2015)
Dostupné z <http://www.fyzikalniulohy.cz>
- [2] RAUNER, Karel. *Fyzika 6, učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia*. 1. vydání. Nakladatelství Fraus, Plzeň, 2004. ISBN 80-7238-210-1.
- [3] RAUNER, Karel. *Fyzika 8, učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia*. 1. vydání. Nakladatelství Fraus, Plzeň, 2006. ISBN 80-7238-525-9.
- [4] RAUNER, Karel. *Fyzika 9, učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia*. 1. vydání. Nakladatelství Fraus, Plzeň, 2007. ISBN 978-80-7238-617-8.
- [5] KOLÁŘOVÁ, Růžena. *Fyzika pro 9. ročník základní školy* 1. vydání. Nakladatelství Prometheus, Praha, 2000. ISBN 80-7196-193-0.
- [6] LEPIL, Oldřich. *Fyzika pro gymnázia - Elektřina a magnetismus* 7. vydání. Nakladatelství Prometheus, Praha, 2010. ISBN 978-80-7196-385-1.
- [7] *Zadání diplomové práce: Elektronické stavebnice ve výuce fyziky*. [online] (27. března 2015)
Dostupné z https://is.cuni.cz/studium/dipl_st
- [8] KAČEROVSKÝ, Ludvík. *Světlo zhaslo – co teď?* 1. vydání. Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 1958.
- [9] JANDA, Otto. *Praktické činnosti: Elektrotechnika kolem nás*. 2. vydání. Nakladatelství Fortuna, Praha, 2008. ISBN 978-80-7373-031-4
- [10] KESL, Jan. *Elektronika II: přenosová technika*. 2. vydání. Nakladatelství BEN, Praha, 2007. ISBN 978-80-7300-206-0.
- [11] MELUZIN, Hubert. *Elektrotechnika: učebnica pre základné odb. školy (učňovské)*. 1. vydání. Štátne nakladateľstvo v Bratislave, Bratislava, 1949.
- [12] PEUKERT, Otokar. *Elektrotechnologie: Učebnice pro III. ročník průmyslových škol elektrotechnických*. 1. vydání. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 1957.
- [13] DRESZER, Jerzy. *Praktická elektrotechnika*. Překlad 14. vydání. Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry ALFA, Bratislava, 1975.
- [14] ŘEHOŘ, Miroslav. *Elektrotechnika II pro učební obory elektrotechnické*. 4. vydání. Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 1962.
- [15] UCHÁČ, Radim. *Elektrotechnika: Přehled středoškolského učiva*. 1. vydání. Nakladatelství a vydavatelství ORFEUS, Praha, 1992. ISBN 80-85522-38-1.
- [16] HAJACH, Tomáš. *Elektrotechnika pro 3. ročník gymnázií*. 1. vydání. Nakladatelství technické literatury, Praha, 1988.

- [17] KUBICA, Libor. *Elektrotechnická měření*. 1. vydání. Nakladatelství BEN, Praha, 2003. ISBN 80-7300-022-9.
- [18] ŠTĚRBA, Pavel. *Elektrotechnika motorových vozidel*. 1. vydání. Nakladatelství Computer Press, a.s., Brno, 2008. ISBN 978-80-251-2114-6.
- [19] BASTIAN, Peter. *Praktická elektrotechnika*. 1. vydání. Nakladatelství Europa-Sobotáles cz, Praha, 2004. ISBN 80-86706-07-9.
- [20] SOLID, Team. *Elektro v praxi: Právní předpisy, základní normy, silnoprůd*. 1. vydání. Solid Team, s.r.o., Olomouc, 2009.
- [21] SOLID, Team. *Elektro v praxi: Elektrické nářadí a spotřebiče*. 1. vydání. Solid Team, s.r.o., Olomouc, 2009.
- [22] *Portál o silnoprůdé elektrotechnice*. [online]. Dostupné z <http://www.elektrika.cz>
- [23] ŽILAVÝ, Peter. *Co skrývá elektrická zásuvka? Články Fyzwebu*. [online] (22. listopadu 2014) Dostupné z <http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=92>
- [24] *Témata z elektřiny a magnetismu. Souhrnný sborník Veletrhu nápadů učitelů fyziky*. [online] (22. listopadu 2014) Dostupné z [http://vnuf.cz/sbornik/temata/Elektrina_a_magnetismus_\(4\).html](http://vnuf.cz/sbornik/temata/Elektrina_a_magnetismus_(4).html)
- [25] *Hrobař varuje: Krokové napětí by se mělo vyučovat*. [online] (30. březen 2015). Dostupné z <http://elektrika.cz/data/clanky/hrobar-krokov-e-napeti-by-se-melo-vyucovat-na-vsech-skolach>
- [26] *Žárovka na anglické Wikipedii*. [online] (28. dubna 2015) Dostupné z http://en.wikipedia.org/wiki/Incandescent_light_bulb

Seznam tabulek

2.1	Elektromotorické napětí a vnitřní odpor zdrojů z lineární regrese.	30
2.2	Odpory vodičů prodlužováků; teoretické hodnoty a rozdíly.	40
2.3	Odpory přívodu a eliminace přechodových odporů.	40

Seznam obrázků

1.1	Ukázky z učebnic pro základní školy nakladatelství Fraus.	6
1.2	Správné zapojení vidlice a elektrické zásuvky. (str. 78,79 [5]) . . .	6
1.3	Situace z praxe ve středoškolské učebnici. (str. 34 [6])	7
1.4	Ukázka z knihy <i>Světlo zhaslo – co teď?</i> (str. 140 [8])	8
1.5	Ukázka z učebnice <i>Elektrotechnika kolem nás</i> pro ZŠ. ([9], str. 67)	9
1.6	Ukázka z učebnice přenosové techniky pro SŠ. ([10], str. 24) . . .	9
1.7	Ukázka z knihy <i>Praktická elektrotechnika</i> ([13], str. 6)	10
1.8	Ukázka z učebnice elektrotechniky pro gymnázia. ([16], str. 57) . .	11
1.9	Ukázka z příručky <i>Elektrotechnická měření</i> . ([17], str. 74)	12
1.10	Ukázka z knihy <i>Praktická elektrotechnika</i> ([19], str. 140)	13
1.11	Manipulační stroj se dotkl vedení vysokého napětí. (Zdroj [25]) . .	14
1.12	Elektromontážní souprava.	15
1.13	Rozdělení PEN vodiče na PE a N.	15
1.14	Příklady demonstračních konfigurací z <i>Elektromontážní soupravy</i> .	16
1.15	Model třífázové sítě a její zapojení ve školní laboratoři.	17
1.16	Vzorkovnice elektromateriálu z roku 1981 jako pomůcka pro ZŠ. .	18
1.17	Zdroje používané při praktickém experimentování.	19
1.18	Multimetry.	19
1.19	<i>Mess-adapter</i> – šikovní pomocník při měření reálných spotřebičů.	20
1.20	<i>Mess-adapter</i> – zapojení při měření proudu k lampičce.	20
2.1	Transformátorová stanice v ženevském CERNu.	22
2.2	Zcela odlišné průběhy napětí mající stejné $u_{\max}$	23
2.3	Střední hodnoty $\bar{u}$ pro různé typy průběhů $u = u(t)$	24
2.4	Demonstrace efektivní hodnoty zdroje neznámého průběhu.	24
2.5	Efektivní hodnoty u_{ef} pro různé typy průběhů $u = u(t)$	25
2.6	Průběh napětí v zásuvce zobrazený na osciloskopu.	26
2.7	Vybrané zdroje.	28
2.8	Měření zatěžovací charakteristiky 4,5 V baterie.	29
2.9	Naměřené zatěžovací charakteristiky vybraných zdrojů.	29
2.10	Různé úrovně schematizace vaříče zapojeného do zásuvky.	33
2.11	Ekvivalentní kabely pro přenesení proudu 13 000 A.	34
2.12	Zkoumání úbytku napětí na prodlužovacích přívodech.	35
2.13	Čtyřsvorková metoda.	36
2.14	Měření odporu vodiče v prodlužováku čtyřsvorkovou metodou. . .	37
2.15	Závislost úbytku napětí na proudu ve vodičích prodlužovací šňůry.	38
2.16	Měřený prodlužovák.	39
2.17	Měření přechodových odporů kontaktu spínače a zapojení zásuvky.	41
2.18	Charakteristika kontaktu z běžného nástěnného spínače.	42
2.19	Charakteristiky jednotlivých žil v zánovním prodlužováku.	43
2.20	Měření odporu vodičů ve „starém“ vícenásobném přívodu.	44
2.21	Extrapolace na nulový proud charakteristiky dává nenulové napětí.	44
2.22	Pátání po důvodu nenulového úseku naměřené charakteristiky. .	45
2.23	Měření voltampérové charakteristiky autožárovky „doma“.	48
2.24	VA charakteristika žárovky	48
2.25	Odpor žárovky	48

2.26	Měření charakteristiky halogenové žárovky.	49
2.27	Charakteristika žárovky	49
2.28	Odpor žárovky	49

Přílohy

Vytištěné příklady z online fyzikální sbírky řešených úloh [1], na které je odkazováno zadáními v textu.

1. (ID 1629) **Efektivní hodnoty harmonických průběhů**
<http://fyzikalniulohy.cz/uloha.php?uloha=1629>,
2. (ID 1665) **Jaké teplo spirála předala?**
<http://fyzikalniulohy.cz/uloha.php?uloha=1665>,
3. (ID 1633) **Charakteristiky zdrojů**
<http://fyzikalniulohy.cz/uloha.php?uloha=1633>,
4. (ID 1648) **Úbytek napětí na prodlužováku**
<http://fyzikalniulohy.cz/uloha.php?uloha=1648>,
5. (ID 1660) **Odběr žárovek v automobilu**
<http://fyzikalniulohy.cz/uloha.php?uloha=1663>.

