



# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Metodika elektrotechnických měření pro učební obor  
elektrikář – silnoproud**

Methodology of elektrotechnical measurements for the field of study  
electrician-heavy current

## **STUDIJNÍ PROGRAM**

Specializace v pedagogice

## **STUDIJNÍ OBOR**

Učitelství praktického vyučování a odborného výcviku

## **VEDOUCÍ PRÁCE**

Prof. RNDr. Emanuel Svoboda, CSc.

**Robert  
Beckl**

**2018**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení:	Beckl	Jméno:	Robert	Osobní číslo:	441529
Fakulta/ústav:	Masarykův ústav vyšších studií (MÚVS)				
Zadávací katedra/ústav:	Oddělení pedagogických a psychologických studií				
Studijní program:	(B7507) Specializace v pedagogice				
Studijní obor:	(7507R056) Učitelství praktického vyučování a odborného výcviku				

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:	Metodika elektrotechnických měření pro učební obor elektrikář - silnoproud.		
Název bakalářské práce anglicky:	Methodology electrical measurements for the field of apprenticeship – Electrician for power applications.		
Pokyny pro vypracování:	<p>Cílem je didaktická analýza učiva, zvolení vhodných výukových metod a vytvoření metodické příručky pro předmět Elektrotechnická měření učebního oboru elektrikář - silnoproud. Zpracování bude odpovídat školnímu vzdělávacímu programu zvolené střední průmyslové školy. V příručce bude jednak podrobně popsána teoretická část zvoleného předmětu (pojetí, cíle, struktura a obsah učiva), jednak praktická část ve formě navržených a zdůvodněných měřicích úloh. Výsledná práce bude sloužit k výuce uvedeného předmětu.</p>		
Seznam doporučené literatury:	<p>[1] VITEJČEK, Emanuel a HOS, Vladimír. Elektrické měření pro učební obory elektrotechnické: Učební text. 7., nezm. vyd. Praha: SNTL, 1979. 210 s. [2] FIALA, Miloš a kol. Elektrotechnická měření 1: Učební text pro 3. roč. SPŠ 1. vyd. Praha: SNTL, 1981. 350 s. [3] VANĚČEK, David a kol. Didaktika technických odborných předmětů. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2016. 499 s. ISBN 978-80-01-05991-3.</p>		
Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:	Prof. RNDr. Emanuel Svoboda, CSc. oddělení pedagogických a psychologických studií MÚVS ČVUT		
Jméno a pracoviště konzultanta(ky) bakalářské práce:			
Datum zadání bakalářské práce:	20. 1. 2017	Termín odevzdání bakalářské práce:	5. 5. 2017
Platnost zadání bakalářské práce:	30. 9. 2018		
			
Podpis vedoucí(ho) práce	Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	Podpis děkana(ky)	

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

_____	_____
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

BECKL, Robert. Učební text pro praktické vyučování. Praha: ČVUT 2017. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Masarykův ústav vyšších studií.



**MASARYKŮV ÚSTAV  
VYŠŠÍCH STUDIÍ  
ČVUT V PRAZE**

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně. Dále prohlašuji, že jsem všechny použité zdroje správně a úplně citoval a uvádím je v příloženém seznamu použité literatury.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této závěrečné práce v souladu se zákonem č. 121/2000 sb., o právu autorském, právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Praze dne: 15. 2. 2018

Podpis:



## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval především vedoucímu mé bakalářské práce, Prof. RNDr. Emanuelu Svobodovi, CSc., za ochotu, vstřícnost a trpělivost při konzultacích, cenné rady a podporu.

Dále děkuji všem kolegům a přátelům, kteří mi pomáhali s tvorbou učebního textu a jeho typografickou úpravou.

## **Abstrakt**

Práce se zabývá tvorbou učebního textu pro vyučování předmětu Elektrotechnická měření pro obor elektrikář – silnoproud na Střední průmyslové škole Emila Kolbena v Rakovníku.

První část práce je zaměřena na teoretickou část zvoleného předmětu (pojetí, cíle, strukturu a obsah učiva).

Druhá část je pak věnována praktické části ve formě navržených a zdůvodněných měřicích úloh.

Výsledkem bakalářské práce je konkrétní učební text pro uvedený učební obor vhodný jak pro žáky, tak pro učitele.

## **Klíčová slova**

Elektrotechnická měření, učebnice, tvorba učebního textu, didaktický prostředek, učivo, didaktická analýza, specifické cíle, elektrotechnická měření, metody měření, úlohy.

## **Abstract**

The work deals with creating a learning text for teaching the subject Electrotechnical measurement for the educational field Electrician for power applications at the High Technical School of Emil Kolben in Rakovník.

The first part of the work focuses on the theoretical part of the chosen subject (conception, goals, structure and content of the curriculum)

The second part is dedicated to a practical part in the form of suggested and reasoned measuring tasks.

The result of the Bachelor thesis is a specific learning text for the mentioned field of study which is convenient for the pupils as well as for the teachers.

## **Keywords**

Electrotechnical measurement, textbook, creating a learning text, didactic means, curriculum, didactic analysis, specific goals, means of measurement, tasks

# Obsah

Obsah.....	5
Úvod.....	8
TEORETICKÁ ČÁST .....	9
1 Pojetí vyučovacího předmětu Elektrická měření.....	9
1.1 Obecné a specifické cíle .....	9
1.2 Charakteristika učiva .....	9
1.3 Pojetí výuky .....	10
1.4 Hodnocení výsledků žáků.....	10
2 Klíčové kompetence .....	11
2.1 Občanské kompetence a kulturní podvědomí.....	11
2.2 Komunikativní kompetence .....	11
2.3 Personální a sociální kompetence.....	12
2.4 Kompetence k řešení problémů .....	12
2.5 Kompetence směřující k využití prostředků informačních a komunikačních technologií a pracovat s informacemi .....	13
2.6 Matematické kompetence .....	13
2.7 Kompetence k učení.....	13
2.8 Kompetence k pracovnímu uplatnění a podnikatelským aktivitám ...	14
2.9 Odborné kompetence .....	14
3 Rozpis učiva a realizace kompetencí.....	16
4 Analýza dostupné literatury.....	19
PRAKTICKÁ ČÁST.....	20
5 Úvod do učiva předmětu Elektrická měření.....	20
5.1 Úvod do tématu.....	20
5.2 Měření veličin .....	20
5.3 Základní pojmy měření .....	21
6.1 Soustava SI.....	23
6.2 Etalony (normály) elektrických jednotek .....	23



6.2.1	Normál elektrického proudu .....	24
6.2.2	Normál elektrického napětí.....	25
6.2.3	Normály elektrického odporu .....	27
6.2.4	Normály elektrické kapacity .....	29
6.2.5	Normály vlastní indukčnosti.....	30
6.2.6	Normály vzájemné indukčnosti .....	31
6	Vyhodnocení výsledků měření .....	32
7.1	Přesnost měření.....	32
7.2	Chyby při měření analogovými přístroji.....	34
7.2.1	Absolutní chyba a relativní chyba měřené veličiny.....	34
7.2.2	Třída přesnosti měřicích přístrojů.....	35
7.2.3	Ověřování kvality měřicích přístrojů.....	36
7.3	Chyby digitálních měřicích přístrojů .....	37
7	Analogové měřicí přístroje .....	38
8.1	Princip funkce analogových měřidel .....	38
8.2	Dělení analogových měřicích přístrojů.....	39
8.3	Druhy ukazatelů u analogových měřicích přístrojů.....	40
8.4	Číselník a stupnice analogových měřicích přístrojů.....	43
8.5	Provedení analogových měřicích přístrojů .....	45
8.6	Konstanta a citlivost analogového přístroje.....	46
8.7	Vlastní spotřeba měřicího přístroje.....	47
8.8	Přetížitelnost měřicích přístrojů.....	48
8.9	Rušivé vlivy při měření.....	48
8.10	Magnetoelektrické měřicí přístroje .....	50
8.10.1	Princip, konstrukce, použití .....	50
8.10.2	Magnetoelektrické přístroje s usměrňovačem .....	53
8.10.3	Univerzální magnetoelektrické přístroje .....	54
8.11	Feromagnetické (elektromagnetické) měřicí přístroje.....	54
8.12	Ostatní měřicí přístroje .....	57
8.12.1	Elektrodynamické měřicí přístroje .....	57

8.12.2	Ferodynamické měřicí přístroje .....	58
8.12.3	Indukční měřicí přístroje.....	59
8.12.4	Rezonanční měřicí přístroje .....	59
8	Digitální měřicí přístroje.....	62
9.1	Princip funkce .....	62
9.2	Základní údaje o digitálních přístrojích .....	62
9	Měření elektrických veličin .....	65
10.1	Měření elektrického napětí .....	65
10.1.1	Měření stejnosměrného elektrického napětí .....	66
10.1.2	Měření střídavých elektrických napětí .....	67
10.1.3	Změna rozsahu voltmetru .....	68
10.2	Měření elektrického proudu.....	70
10.2.1	Měření stejnosměrného elektrického proudu .....	72
10.2.2	Měření střídavého elektrického proudu .....	72
10.2.3	Změna rozsahu ampérmetru.....	73
10.2.4	Klešťové ampérmetry .....	75
10.3	Měření elektrického odporu.....	76
10.3.1	Měření odporu Ohmovou metodou .....	77
10.3.2	Některé další výchylkové metody měření elektrického odporu ....	79
10.3.3	Můstkové metody měření odporu.....	81
10.3.4	Ohmmetry .....	83
10.3.5	Měření izolačního odporu elektrického zařízení .....	84
	Závěr.....	86
	Seznam použité literatury.....	87
	Seznam obrázků .....	89
	Seznam příloh.....	91
	Příloha 1: Značky na měřicích přístrojích .....	91
	Příloha 2: Příklad podrobných informací o digitálním měřicím přístroji RC EM890N .....	93
	Evidence výpůjček .....	94

# Úvod

Vzdělávání v učebním oboru elektrikář – silnoproud se dlouhodobě potýká s kritickým nedostatkem učebnic a odborných učebních textů vhodných pro výuku. Existuje sice řada odborných publikací s elektrotechnickou tematikou, ta ale nesplňuje patřičné didaktické požadavky kladené na tento učební obor. S tímto problémem se potýkám na Střední průmyslové škole Emila Kolbena v Rakovníku, kde pracuji jako učitel odborných předmětů.

Jako hlavní cíl práce jsem zvolil vytvoření Metodiky elektrotechnických měření pro učební obor elektrikář – silnoproud pro žáky 2. ročníku učebního oboru elektrikář – silnoproud na Střední průmyslové škole Emila Kolbena v Rakovníku.

Prvním cílem práce bude důkladná analýza dostupné odborné literatury. Druhým cílem bude navrhnout optimální obsah, formu a strukturu učebního textu. Třetím cílem bude vytvoření konkrétního učebního textu.

Učební text, uvedený v praktické části bakalářské práce, bude koncipován tak, aby žák získal přehled o základních analogových měřicích přístrojích a základních metodách měření elektrických veličin, především proudu, napětí a odporu. Žák by měl po probrání a upevnění probraného učiva umět definovat funkci a úlohu elektrotechnického měření, měl by znát nejčastěji používané elektrotechnické veličiny a být schopen samostatně zvolit vhodné měřicí prostředky pro danou měřicí úlohu.

Na reálnou výuku teoretické části předmětu bude navazovat část o měření základních parametrů běžných elektrotechnických součástek a praktická laboratorní cvičení, kde si žáci prakticky ověří získané vědomosti.

# TEORETICKÁ ČÁST

## 1 Pojetí vyučovacího předmětu Elektrická měření

### 1.1 Obecné a specifické cíle

Předmět **Elektrická měření** je jedním ze základních odborných předmětů celého studia, neboť je to jediný způsob v elektrotechnice, jak lze kvantifikovat jednotlivé elektrotechnické veličiny. V tomto předmětu se žáci naučí vybírat a používat správné a efektivní metody měření pro daný účel. Získané teoretické poznatky si pak prakticky ověří při laboratorních měřeních. Žáci získají kompetence pro využití v dalších navazujících předmětech, jako jsou Elektronika a Elektrické stroje a přístroje. Teoretické poznatky pak dovedou uplatnit také v odborné praxi.

#### Specifické cíle

Žák:

- zná základní pojmy (veličiny, objekty a děje) z oblasti elektrických měření, např. elektrický proud, elektrické napětí, elektrický odpor, elektrický zdroj, elektrické pole, rezistor, zákony pro elektrický proud
- chápe podstatu a princip měřicích přístrojů, např. voltmetru, ampérmetru, wattmetru
- dovede prakticky používat měřicí přístroje a dovede vybrat správnou a efektivní metodu měření elektrických veličin
- zná základní způsoby měření jednotlivých elektrotechnických a elektronických prvků a součástek
- správně diagnostikuje vadné součástky
- dovede vyhotovit protokol o provedeném měření a zpracovat výsledky měření v odpovídající formě
- orientuje se v problematice bezpečnosti práce a zná pravidla práce při měření na elektrických zařízeních

### 1.2 Charakteristika učiva

Předmět Elektrická měření připravuje žáky k tomu, aby byli schopni teoretické znalosti prakticky využít v dalších odborných předmětech i v praxi, např. při opravách a údržbě

elektrických a elektronických přístrojů a zařízení. V neposlední řadě, aby se u žáků vytvořily ucelené specifické návyky odborného charakteru nezbytné pro profesní uplatnění.

### **1.3 Pojetí výuky**

Stěžejní formou výuky je výklad a názorná ukázka probírané látky s použitím fotografií měřicí techniky a předvedení konkrétních měřících přístrojů s následným použitím v praktických laboratorních měření. Těžiště výuky spočívá v získání teoretických poznatků a jejich praktické ověření přímo při laboratorních měřeních nebo na pracovišti odborného výcviku. Ve výuce je kladen důraz na samostatné myšlení a logické uvažování při řešení jednoduchých aplikačních příkladů z praxe. V případě mnou vytvářeného textu to budou řešené úlohy na jednotlivé popisované činnosti s přístroji, např. změna rozsahu měřidel.

### **1.4 Hodnocení výsledků žáků**

Základem pro hodnocení je průběžná klasifikace. Důraz je kladen především na praktické logické uvažování a kombinační schopnosti při řešení demonstrativních úloh. Znalosti teoretické látky jsou ověřovány písemným a ústním přezkoušením s důrazem na souvislost a plynulost projevu včetně jeho obsahové správnosti. Praktické dovednosti obsahují hodnocení praktických dovedností, jako jsou např. bezpečnost a ochrana zdraví, volba vhodných měřících prostředků, organizace vlastní práce, pořádek na pracovišti, správnost zvolených pracovních postupů a hodnocení vypracovaných měřících protokolů.

## 2 Klíčové kompetence

V Rámcovém vzdělávacím programu (dále jen RVP) [13] pro střední odborné vzdělávání se uvádí, že klíčové kompetence představují souhrn vědomostí, dovedností, schopností, postojů a hodnot důležitých pro osobní rozvoj a pracovní uplatnění každého člena společnosti. Jsou univerzálně použitelné v různých životních situacích. Jsou předpokladem pro výkon žáka – absolventa ve vymezené činnosti.

Klíčové kompetence středního odborného vzdělávání navazují na klíčové kompetence RVP základního vzdělávání a dělí se na osm úrovní, jak jsou uvedeny a mnou charakterizovány pro potřeby této práce v následující části.

### 2.1 Občanské kompetence a kulturní podvědomí

Vzdělávání směřuje k tomu, aby žáci:

- dbali na dodržování zákonů a pravidel chování, respektovali práva a osobnost jiných lidí, vystupovali proti nesnášenlivosti, xenofobii a diskriminaci
- jednali v souladu s morálními principy, přispívali k uplatňování demokratických hodnot
- chápali význam životního prostředí pro člověka a jednali v duchu udržitelného rozvoje
- uvědomovali si odpovědnost za vlastní život při práci s měřením vysokých napětí a velkých proudů
- uměli myslet kriticky – tj. dokázali zkoumat věrohodnost informací, nenechávali se manipulovat, tvořili si vlastní úsudek a byli schopni o něm diskutovat s jinými lidmi

### 2.2 Komunikativní kompetence

Žák je schopen:

- vyjadřovat se přiměřeně účelu jednání a komunikační situaci
- formulovat své myšlenky srozumitelně a souvisle, v písemné podobě přehledně a jazykově

- správně zpracovávat v laboratoři naměřené hodnoty s uvážením tříd přesnosti používaných přístrojů, přitom dodržovat jazykové a stylistické normy i odbornou terminologii
- vyjadřovat se a vystupovat v souladu se zásadami kultury projevu a chování

### **2.3 Personální a sociální kompetence**

Žák je připraven:

- reálně posuzovat své duševní možnosti, odhadovat výsledky svého jednání a chování
- efektivně se učit a pracovat, vyhodnocovat dosažené výsledky a pokrok
- využívat ke svému učení zkušeností jiných lidí, učit se i na základě zprostředkovaných zkušeností přijímat hodnocení svých výsledků a způsobu jednání i ze strany jiných lidí, adekvátně na ně reagovat, přijímat radu i kritiku
- dále se vzdělávat

### **2.4 Kompetence k řešení problémů**

Žák dokáže:

- vnímat nejrůznější problémové situace ve škole i mimo ni, rozpozná a pochopí problém, přemýšlí o nesrovnalostech a jejich příčinách, promyslí a naplánuje způsob řešení problémů a využívá k tomu vlastního úsudku a zkušeností
- vyhledat informace vhodné k řešení problému, např. při dosahování dobré přesnosti měření s používanými přístroji, umět vybrat vhodná měřidla, využívat získané vědomosti a dovednosti k objevování různých variant řešení, např. optimálního zapojení elektrického obvodu s potřebnými měřidly, překonat případný nezdár a vytrvale hledat konečné řešení problému
- samostatně řešit problémy; volit vhodné způsoby řešení; užívat při řešení problémů logické, matematické a empirické postupy
- ověřovat prakticky správnost řešení problémů a osvědčené postupy aplikovat při řešení obdobných nebo nových problémových situací; sledovat vlastní pokrok při zdolávání problémů při měření za různých podmínek (např. s přístroji různých tříd přesnosti)

- kriticky myslet, činit uvážlivá rozhodnutí a obhájit je, uvědomovat si zodpovědnost za svá rozhodnutí a výsledky svých činů zhodnotit (např. při vyhodnocování měření v protokolech o měření apod.)

## **2.5 Kompetence směřující k využití prostředků informačních a komunikačních technologií a pracovat s informacemi**

Žák je schopen:

- pracovat s PC při zpracovávání výsledků měření a využívat možností moderních informačních technologií

## **2.6 Matematické kompetence**

Žák dovede:

- používat odpovídající matematické postupy a techniky, používat vhodné algoritmy, využívat a vytvářet různé formy grafického znázornění (tabulky, grafy, diagramy, schémata), správně používat a převádět jednotky a to jak všeobecné, tak i jednotky používané v odborné výuce

## **2.7 Kompetence k učení**

Žák je schopen:

- vybírat a využívat pro efektivní učení vhodné metody a strategie, plánovat a organizovat vlastní učení, projevovat ochotu věnovat se dalšímu studiu a celoživotnímu učení
- vyhledávat a třídit informace a na základě jejich pochopení, propojení a systematizace je efektivně využívat v procesu učení, tvůrčích činnostech a praktickém životě
- operovat s obecně užívanými termíny, znaky a symboly, uvádět věci do souvislostí, propojovat do širších celků poznatky z různých vzdělávacích oblastí a na základě toho si vytvářet komplexnější pohled na matematické, přírodní, společenské a kulturní jevy
- samostatně pozorovat a experimentovat, získané výsledky porovnávat, kriticky posuzovat a vyvozovat z nich závěry pro využití v budoucnosti



- poznávat smysl a cíl učení, mít pozitivní vztah k učení, posoudit vlastní pokrok a určit překážky či problémy bránící učení, naplánovat si, jakým způsobem by se mohl své učení zdokonalit
- kriticky zhodnotit výsledky svého učení a diskutovat o nich.

## **2.8 Kompetence k pracovnímu uplatnění a podnikatelským aktivitám**

Žák by měl:

- mít odpovědný postoj k vlastní profesní budoucnosti, a tedy i vzdělávání; uvědomovat si význam celoživotního učení a být připraven přizpůsobovat se měnícím se pracovním podmínkám
- mít přehled o možnostech uplatnění na trhu práce v daném oboru; cílevědomě a zodpovědně rozhodovat o své budoucí profesní a vzdělávací dráze
- mít reálnou představu o pracovních, platových a jiných podmínkách v oboru a o požadavcích zaměstnavatelů na pracovníky a umět je srovnávat se svými představami a předpoklady
- umět získávat a vyhodnocovat informace o pracovních i vzdělávacích příležitostech, využívat poradenských a zprostředkovatelských služeb jak z oblasti světa práce, tak ve vzdělávání
- vhodně komunikovat s potenciálními zaměstnavateli, prezentovat svůj odborný potenciál a své profesní cíle
- znát obecná práva a povinnosti zaměstnavatelů a pracovníků
- rozumět podstatě a principům podnikání, mít představu o právních, ekonomických, administrativních, osobnostních a etických aspektech soukromého podnikání
- dokázat vyhledávat a posuzovat podnikatelské příležitosti v souladu s realitou tržního prostředí, svými předpoklady a dalšími možnostmi

## **2.9 Odborné kompetence**

Žáci budou:

- mít schopnost uplatnit při řešení problémů základní poznatky z oblasti elektrotechniky
- aplikovat matematické postupy při řešení praktických úkolů a zejména využívat základní pojmy v elektrotechnice

- využívat a vytvářet různé formy grafického znázornění (tabulky, diagramy, schémata a grafy) při řešení zadaných problémů
- umět sestavit ucelené řešení praktického úkolu na základě dílčích výsledků

### 3 Rozpis učiva a realizace kompetencí

Na základě základních školských dokumentů, tj. RVP [13] a Školního vzdělávacího programu [1] uvádím v následující tabulce rozpis výsledků (cílů), kterých má být dosaženo výukou tématu Elektrická měření při probírání sedmi tematických celků.

Výsledky vzdělávání	Tematické celky
<b>Žák:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- definuje funkci a význam měření;</li> <li>- ovládá odbornou terminologii;</li> <li>- zná základní elektrotechnické jednotky a jejich etalony;</li> <li>- volí vhodnou měřicí metodu;</li> <li>- odečítá a vyhodnocuje údaje z měřících přístrojů, správně interpretuje naměřené výsledky;</li> <li>- dodržuje zásady správného měření na elektrotechnických zařízeních;</li> <li>- určuje rozměr chyby měření v závislosti na způsobu měření.</li> </ul>	<b>1. Základní pojmy v oblasti měření</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- definice měření;</li> <li>- základní pojmy;</li> <li>- jednotky a etalony;</li> <li>- chyby při měření;</li> <li>- přímá a nepřímá měřicí metoda;</li> <li>- odečítání hodnot z analogových měřících přístrojů, konstanta a citlivost;</li> <li>- odečítání hodnot z digitálních měřících přístrojů;</li> <li>- vlastní spotřeba měřicího přístroje a vliv na chybu měření.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- zaznamenává a vyhodnocuje výsledky elektrotechnických měření;</li> <li>- zpracovává výsledky měření do přehledných tabulek a grafů.</li> </ul>	<b>2. Zpracování naměřených hodnot</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- základní pojmy a metodické návody;</li> <li>- vizualizace výsledků, přehledné zobrazení.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- zná vlastnosti měřících přístrojů různých typů;</li> <li>- volí odpovídající měřicí přístroje v závislosti na metodě a charakteru měření;</li> <li>- odečítá a vyhodnocuje údaje z měřících přístrojů, správně interpretuje naměřené výsledky;</li> <li>- ovládá praktické zacházení s těmito</li> </ul>	<b>3. Rozdělení a principy měřících přístrojů</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- analogové měřicí přístroje <ul style="list-style-type: none"> <li>○ magnetoelektrická soustava</li> <li>○ feromagnetická soustava</li> <li>○ ostatní měřicí systémy</li> </ul> </li> <li>- digitální měřicí přístroje;</li> <li>- základní měření s těmito přístroji</li> </ul>

měřicími přístroji.	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- volí vhodnou měřicí metodu pro měření napětí, proudu a výkonu;</li> <li>- vypočítá hodnotu odporu předřadného rezistoru pro zvětšení napětového rozsahu voltmetru;</li> <li>- vypočítá odpor bočníku pro zvětšení proudového rozsahu ampérmetru.</li> </ul>	<b>4. Měření základních elektrických veličin</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- měření napětí;</li> <li>- měření proudu;</li> <li>- měření výkonu;</li> <li>- zvětšení napětového rozsahu;</li> <li>- zvětšení proudového rozsahu.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- volí vhodnou měřicí metodu pro měření odporu, kapacity a indukčnosti.</li> </ul>	<b>5. Základní metody měření v obvodu s RLC</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- metody měření odporu</li> <li>- metody měření kapacity;</li> <li>- metody měření indukčnosti.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- volí vhodnou měřicí metodu pro měření charakteristik diod;</li> <li>- volí vhodnou měřicí metodu pro měření charakteristik tranzistorů.</li> </ul>	<b>6. Měření základních parametrů běžných elektronických prvků</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- měření charakteristik diod;</li> <li>- měření charakteristik tranzistorů.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- prakticky změří napětí a proud;</li> <li>- prakticky změří výkon pomocí přímé i nepřímé metody;</li> <li>- prakticky změří odpor pomocí přímé i nepřímé metody;</li> <li>- prakticky změří kapacitu kondenzátoru;</li> <li>- prakticky změří indukčnost cívky;</li> <li>- prakticky změří základní parametry diody;</li> <li>- prakticky změří základní parametry tranzistoru.</li> </ul>	<b>7. Praktická měření</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ověření Ohmova zákona;</li> <li>- ověření Kirchhoffových zákonů;</li> <li>- měření elektrického výkonu přímou a nepřímou metodou;</li> <li>- měření odporu přímou a nepřímou metodou;</li> <li>- měření kapacity kondenzátoru;</li> <li>- měření indukčnosti;</li> <li>- měření V-A charakteristiky diody;</li> <li>- ověření funkce tranzistoru.</li> </ul>

Tento rozpis je východiskem pro následující praktickou část. Její podstatou je mnou vytvořený učební text, který bude koncipován tak, aby žák získal přehled o základních principech elektrického měření, o jednotkách pro elektrické veličiny a jejich etalonech,

měřicích přístrojích a metodách měření elektrických veličin, zejména elektrické napětí, elektrický proud, elektrický odpor a elektrický výkon.

## 4 Analýza dostupné literatury

Pro analýzu literatury jsem zvolil tři učebnice, které momentálně používám při výuce předmětu elektrotechnická měření - [2], [3], [8]. Učebnice [3] a [8] jsou již velmi zastaralé, je v nich použita zastaralá terminologie a vyobrazená technická zařízení neodpovídají dnešnímu stavu a možnostem. Některá témata se dají však po úpravě nadále používat. Nejvíce jsem se soustředil na [2]. Tuto publikaci považuji za momentálně nejpříjemnější, co se týče obsahu, formy a struktury textu.

Mnou vytvořený učební text bude vycházet zejména z výše uvedených publikací. Požaduji od něj:

- přehledný obsah
- přijatelnou formu a strukturu
- odbornou správnost
- správnou terminologii
- srozumitelnost
- přiměřenost probírané látky (s ohledem na žáky učebního oboru)
- názornost (názorná schémata, fotografie měřicích prostředků, ...)
- přiměřenou obsáhlost
- stručný přehled o typech moderní měřicí techniky

# PRAKTICKÁ ČÁST

## 5 Úvod do učiva předmětu Elektrická měření

### 5.1 Úvod do tématu

S měřením různých hodnot veličin se v běžném životě setkáváme na každém kroku. Zajímá nás například rychlost – jak rychle jedeme autem, objem – kolik jsem načerpal litrů benzínu, obsah – jak mám velkou zahradu, délka – jak daleko to mám do školy, hmotnost – kolik vážím, atd. Zajímají nás ale i elektrické veličiny, například jakou jsem měl spotřebu elektrické energie za rok a kolik za ni zaplatím. Nestartuje mi auto, pro elektrotechnika znalého elektrických měření nebude problémem změřit napětí, případně kapacitu (ve smyslu elektrického náboje) akumulátoru, stav alternátoru – zda nám dobíjí či ne a třeba i stav usměrňovacích diod. Z těchto a mnoha dalších důvodů považuji předmět elektrická měření jako přínosný nejen pro odbornou praxi, ale i pro běžný život.

### 5.2 Měření veličin

V technice i ve vědě se používají různé fyzikální a technické veličiny, které od sebe vzájemně odlišujeme jak po stránce kvantitativní, tak kvalitativní. Jsou to např. veličiny délka, objem, čas, elektrický proud, elektrické napětí, elektrický odpor, výkon, , magnetický tok, indukčnost atd. . Budeme se zabývat kvantitativní stránkou, kterou vyjadřujeme tzv. *hodnotou veličiny* (např. proud 15 A či elektrické napětí 100 V).

Hodnota veličiny se zjišťuje měřením. Její číselná hodnota je číslo, které vyjadřuje velikost zmíněné veličiny ve zvolených jednotkách. Např. naměříme proud v obvodu 15 A, 15 je číselná hodnota, A je jednotka.

Měření veličiny můžeme obecně charakterizovat jako *způsob získávání informací o našem okolí a o jevech či procesech*, které pozorujeme. K získávání těchto informací je člověk vybaven svými smysly. Pomocí nich však můžeme postihnout pouze malý počet jevů, např. že teplota vody je v nádobě je větší než teplota vody v jiné nádobě. Lidské smysly jsou velmi omezené (dokonce nás mohou klamat), zejména z hlediska kvantitativního posuzování pozorovaných jevů a procesů .

Abychom mohli pokud možno přesně posoudit námi pozorované jevy a procesy, potřebujeme k tomu určité **měřicí prostředky**. Ty můžeme charakterizovat jako soubor zařízení, přípravků a dalších pomůcek, které jsou určeny k provedení měření a zjištění kvantitativních vlastností pozorovaného děje, předmětů, procesů.

Budeme se zabývat **elektrotechnickým měřením** a odpovídající **měřicí technikou**. Toto dominující postavení elektrických a elektronických měření je dáno zejména tím, že:

- Neumíme zjišťovat hodnoty elektrických nebo magnetických veličin. Elektrický proud, obecně elektrický signál nebo impulz může být lehce zpracován (např. usměrněn či zesílen) ve velmi širokém rozsahu a jeho hodnota může být změřena s vysokou přesností.
- Informace o naměřených hodnotách ve formě elektrického signálu můžeme snadno zaznamenat nebo přenést na libovolnou vzdálenost (dokonce rychlostí světla). Např. v rozvodnách a velínech elektráren jsou přístroje měřící napětí a odebíraný proud ve vzdálenosti několika desítek i stovek metrů od vlastních transformátorů.
- Významný pokrok v měření elektrických nebo magnetických veličin přináší spojení číslicových měřicích přístrojů a počítačů. Současná technika pak umožňuje provést plnou automatizaci procesu měření včetně zpracování výsledků tohoto měření.
- Rozhodující také je, že moderní elektrické přístroje umožňují převádět i neelektrické veličiny na elektrický signál a potom lze i tato měření provádět se všemi výše uvedenými výhodami (např. měření tlaku, teploty, rychlosti či intenzity světla).

### 5.3 Základní pojmy měření (zpracováno podle [3])

- **Veličina** je taková vlastnost tělesa nebo jevu, kterou lze jak kvalitativně rozlišit od sebe uvažovaná tělesa (např. elektrický výkon různých žárovek nebo elektrický odpor různých vodičů), tak kvantitativně určit hodnotu (např. 500 W, 8,2  $\Omega$ ).
- **Měření** je pak soubor úkonů sloužících ke zjištění hodnoty veličiny pomocí měřicích prostředků.



- **Měřicí prostředky** jsou všechna zařízení určená k provedení příslušného měření
- **Měřicí přístroje** jsou ty měřicí prostředky, které slouží k převodu měřené veličiny na údaj poskytující informaci o hodnotě měřené veličiny (výchylka ručky na analogovém přístroji, číslo na displeji). Měřicí přístroje (např. ampérmetr, ohmmetr, wattmetr) jsou určeny pro přesná či orientační měření, pro zjištění časového průběhu veličiny (např. osciloskopy) nebo jako přístroje kombinované (univerzální multimetry) umožňující provádět různá měření různých veličin pomocí jednoho přístroje.
- Měřicí přístroje se vyrábějí jako *analogové* (obr. 5.1a), *digitální* (obr. 5.1b) a jako kombinované *analogově-digitální*, případně typy s analogovou stupnicí složenou z malých dílků – např. barograf (obr. 5.1c).
- **Měřicí převodník** je měřicí prostředek sloužící k převodu měřené veličiny na jinou veličinu či na jinou hodnotu téže veličiny (např. bočník, usměrňovač, měřicí transformátor, termoelektrický článek).
- **Analogový údaj** je údaj získaný výchytkou ukazovacího zařízení - nejčastěji ručky na stupnici analogového měřicího přístroje. Odečtenou výchytku pozorovatel převádí na číselnou hodnotu. Výchylka ruček analogových přístrojů se při spojitých změnách měřené veličiny mění spojitě - plynule, nikoliv po skocích.
- **Číslíkový údaj** získáme odečtením číselné hodnoty z displeje digitálního přístroje. Při spojitě změně měřené veličiny se údaj mění nespojitě - skokově.



a)

b)

c)

Obr. 5.1 Přenosné multimetry - a) analogový, b) digitální, c) digitální s bargrafem

(převzato z [21])

# Soustava jednotek veličin a etalony

## 6.1 Soustava SI

V současné době používáme mezinárodní soustava jednotek SI (Système International d'Unités), která byla přijata na 11. Generální konferenci pro míry a váhy v roce 1960.

Hlavní výhody soustavy SI jsou:

- soustava je mezinárodně přijata a je jednotná pro vědu i praxi na celém světě
- etalony (normály) pro měření veličin mohou být realizovány na základě dohodnutých definic

Základními jednotkami soustavy SI byly stanoveny (v závorce uvedeny jejich značky):

- metr (m)
- kilogram (kg)
- sekunda (s)
- ampér (A)
- kelvin (K)
- kandela (cd)
- mol (mol)

Jejich definice si nebudeme uvádět, protože je znáte z 1. ročníku z předmětu Základy elektrotechniky, kde jsme vypracovali kontrolní úlohu na téma Fyzikální veličiny a jednotky, resp. je naleznete v Matematických, fyzikálních a chemických tabulkách.

Všechny ostatní veličiny, které se zavádějí pro měření, tvoří tzv. *odvozené veličiny*. Z elektrotechnických veličin jsou to např. volt (V) pro napětí, farad (F) pro kapacitu, watt (W) pro výkon či příkon, joule (J) pro energii, ohm ( $\Omega$ ) pro elektrický odpor a další.

## 6.2 Etalony (normály) elektrických jednotek

Etalony (normály) elektrických veličin jsou přesné měřicí prostředky, které realizují základní elektrotechnické jednotky. Každý takový etalon musí zabezpečit uchování a reprodukci dané jednotky veličiny.

Základní mezinárodní normály jsou tzv. *primární etalony*, které zabezpečují reprodukci dané veličiny s nejvyšší dosažitelnou přesností. Jsou uloženy v Mezinárodním úřadu pro

míry a váhy (BIPM) v Paříži. Od primárních etalonů se odvozují *etalony sekundární*, jejichž odstupňování se označuje číslem řádu:

- Řád 0 - *státní etalony* (u nás v Praze, na Slovensku v Bratislavě, v Rusku v Petrohradě, v USA ve Washingtonu,...). Pomocí státních etalonů se kalibrují ostatní etalony v dané zemi používané.
- Řád 1 - *ověřovací etalony* – užívají se pro kalibrování a ověřování laboratorních měřicích přístrojů používaných pro velmi přesná laboratorní měření.
- Řád 2 - *hlavní etalony* měrových středisek.

Má-li normál splňovat požadavky na něj kladené, musí vyhovovat těmto podmínkám ([2]):

- musí věrně realizovat definovanou jednotku, tj. jeho skutečná hodnota se od teoreticky definované nesmí lišit a nesmí se měnit ani při dovoleném zatížení
- nesmí měnit svou hodnotu s teplotou ani s časem
- musí být snadno použitelný a kontrolovatelný

Pro elektrotechnická měření rozeznáváme normály těchto elektrotechnických veličin:

- normál elektrického proudu
- normál elektrického napětí
- normál elektrického odporu
- normál elektrické kapacity
- normál vlastní indukčnosti
- normál vzájemné indukčnosti

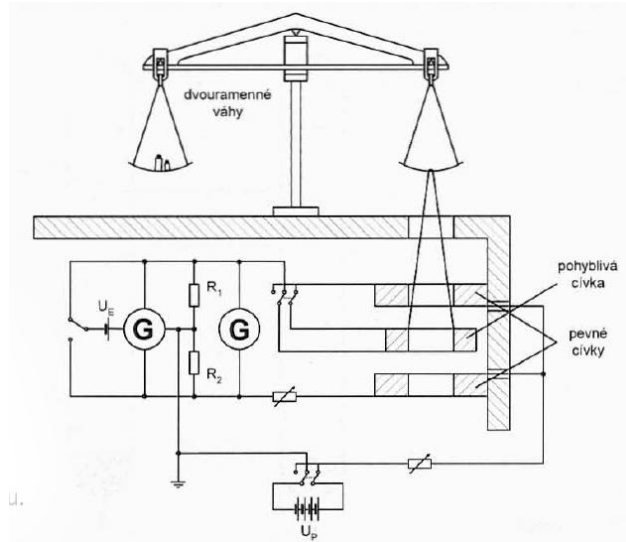
Seznámíme se podrobněji s uvedenými normály.

### 6.2.1 Normál elektrického proudu

Jako etalon (normál) elektrického proudu se používají tzv. *proudové váhy*, viz obr. 6.1. Přístroj se skládá z velmi citlivých dvouramenných vah a ze dvou pevných a jedné pohyblivé cívky. Vinutí těchto cívek jsou zapojena do série. Síla vyvolaná mezi cívkami se pak porovnává s tíhovou silou působící na těleso o známé hmotnosti ( $F_c = mg$ ). Chyby způsobené nesymetrií konstrukčního provedení se potlačují uspořádáním měřicího obvodu.

Na první pohled se zdá provedení proudových vah jednoduché, ale realizace tohoto etalonu je poměrně složitá, nákladná a zejména je nemožné zařízení transportovat (rozdílné

tíhové zrychlení  $g$  v různých místech na Zemi, velmi citlivé mechanické díly, problémy s tepelnou stabilizací, ...). Proto jsou tato zařízení postavena jen ve významných mezinárodních metrologických laboratořích. V praxi se používají všeobecné sekundární etalony napětí a odporu, pomocí nichž můžeme etalon proudu nepřímou realizovat.



Obr. 6.1 Proudové váhy jakožto historický etalon elektrického proudu, které mimo mechanické části (dvouramenné váhy) obsahují i část elektrickou, kde jsou např. cívky (pohyblivá a pevná), rezistory ( $R_1$ ,  $R_2$ ), dva galvanometry (G) a zdroje napětí ( $U_p$ ). (převzato z [2])

## 6.2.2 Normál elektrického napětí

Klasickým (dnes již historickým) normálem elektrického napětí je tzv. **Westonův článek**. Je to elektrochemický zdroj, jehož konstrukční uspořádání je patrné z obr. 6.2.

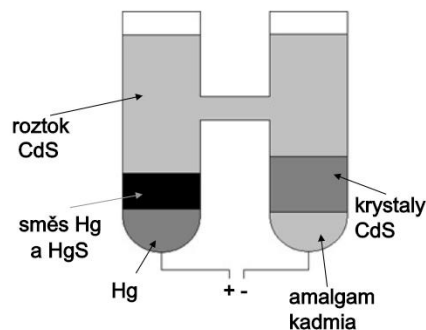
Je tvořen skleněnou nádobou ve tvaru písmene H, kde kladnou elektrodu tvoří čistá rtuť (Hg), zápornou amalgám Cd (kadmium) + Hg (rtuť). Příklady k elektrodám jsou z platinového drátu. Elektrolyt tvoří roztok síranu kademnatého  $CdSO_4$ , do něhož jsou vsypány krystaly  $CdSO_4$ , které zabezpečují, aby byl roztok stále nasycen. Nad kladnou rtuťovou elektrodou je umístěna vrstva síranu rtuťného  $HgSO_4$ , vytvářející tzv. depolarizátor. Ten zabraňuje polarizaci článku a tím i snížení jeho elektromotorického napětí.

Elektromotorické napětí Westonova článku při teplotě  $20\text{ }^\circ\text{C}$  je  $1,01865\text{ V}$ . Zvyšuje-li se teplota, snižuje se elektromotorické napětí článku asi o  $0,004\text{ }%$  na každý stupeň Celsia. Napětí Westonova článku se časem mění, s přibývajícím stářím klesá. Snižování napětí by nemělo přesáhnout  $0,01\text{ }%$  za rok. Z těchto důvodů se musí před každým přesným měře-

ním článek zkalibrovat, případně podle hodnoty teploty zkorigovat jeho elektromotorické napětí.

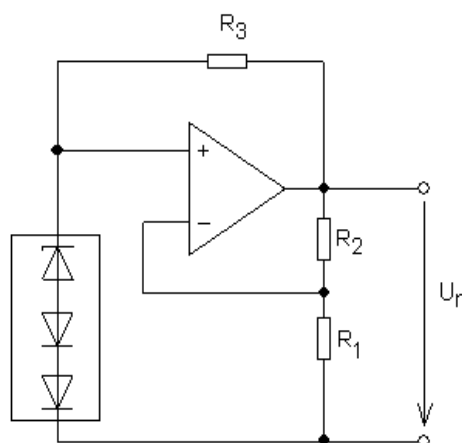
Westonův článek se nesmí zatěžovat velkými proudy, maximální odebíraný proud by neměl přesáhnout 1 pA (pikoampérů). Větší proudový náraz by vyvolal v článku chemické pochody, které by porušily stálost elektromotorického napětí tohoto článku.

Westonův článek je také citlivý na zacházení s ním. Nesmí se převracet, vystavovat velkým změnám teplot či mechanickým otřesům. Jeho choulostivost i malá přesnost dnešním požadavkům na měření nevyhovují a proto se přechází k jiným typům etalonů elektrického napětí. Ty se realizují pomocí elektronických prvků, viz dále.



Obr. 6.2 Westonův článek (převzato z [4])

Jako moderní normály elektrického napětí a zdroje tzv. *referenčního napětí* se používají **teplotně kompenzované Zenerovy diody**. Vyrábějí se jako samostatné integrované obvody nebo jako součásti jediného integrovaného obvodu zajišťujícího celé měření u některých digitálních přístrojů. Vyznačují se malými rozměry, velmi dobrou mechanickou odolností, libovolnou pracovní polohou i činností v poměrně širokém teplotním rozsahu. Základem těchto zdrojů je Zenerova dioda. Zapojením teplotně kompenzované Zenerovy diody do příslušného obvodu (jedno z možných zapojení je na obr. 6.3) lze nastavit výstupní napětí na libovolnou hodnotu (např.  $U_w = 10,000$  V). Závislost napětí na Zenerově diodě v závěrném směru na odebíraném proudu je téměř konstantní. Tyto normály elektrického napětí lze zatížit i vyšším proudem.



Obr. 6.3 Schéma novodobého normálu elektrického napětí s teplotně kompenzovanou Zenerovou diodou (převzato z [4])

### 6.2.3 Normály elektrického odporu

Tyto odporové normály rozdělujeme podle toho, zda použijeme stejnosměrný, resp. střídavý proud.

- **Normály elektrického odporu na stejnosměrný proud**

Normály elektrického odporu (dále jen odporu) používané při měřeních v obvodech stejnosměrného proudu musí vykazovat stálost elektrického odporu v čase, malou závislost změny odporu na teplotě a také musíme uvažovat vliv termoelektrického napětí. Z těchto důvodů se pro jejich výrobu nepoužívají čisté kovy, ale slitiny, např. **nikelin**, který má měrný elektrický odpor (rezistivitu)  $0,44 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ , téměř nulovou závislost odporu na teplotě v rozsahu teplot  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  až  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  a velmi malé termoelektrické napětí, např. proti mědi.

Aby se hodnota normálu elektrického odporu neměnila s časem, nechávají se tyto normály před rozesláním k uživatelům několik měsíců tzv. stárnout při zvýšené teplotě, aby se jejich odpor ustálil. Jedno z možných provedení normálu elektrického odporu je na obr. 6.4.



Obr. 6.4 Příklad normálu odporu na stejnosměrný proud (převzato z [5])

Normály menších odporů (cca do  $0,01 \Omega$ ) se vyrábějí z plechu, normály větších odporů z nikelinového drátu. Jak je vidět z obrázku, normály odporu mají čtyři svorky – dvě jsou přívodní (proudové) a dvě potenciálové (napěťové) pro připojení voltmetru a to z důvodu omezení přechodových odporů. Normál je uložen v kovovém ochranném krytu, v němž jsou otvory pro chlazení.

Normály odporu se vyrábějí v dekadické řadě v těchto hodnotách, uvedeny v ohmech:  $10^{-4} - 10^{-3} - 10^{-2} - 10^{-1} - 1 - 10 - 10^2 - 10^3 - 10^4 - 10^5 \Omega$ .

K nejpřesnějším měřením se používají etalony s přesností 0,001 % až 0,0001 %. Pro běžná přesná měření se zhotovují etalony odporu s přesností asi 0,01 %. Bez trvalé změny odporu snesou příkonové zatížení asi 1 W na vzduchu a 3 W v olejové lázni. Vyrábějí se i etalony odporu vyšších hodnot (až do  $100 \text{ M}\Omega$ ), ale jejich přesnost je podstatně menší.

- **Normály odporu na střídavý proud**

Pro odporové normály používané pro měření v obvodech střídavého proudu požadujeme, aby kromě konstantní hodnoty odporu vykazovaly také nulovou indukčnost a nulovou kapacitu.

U odporových normálů s elektrickým odporem do  $100 \Omega$  je vliv kapacity prakticky zanedbatelný. Zanedbat ale nelze vliv indukčnosti, proto se používá tzv. *bifilární vinutí* použité cívky (obr. 6.5a), která má zanedbatelnou indukčnost. Využívá se poznatku, že když dva vodiče téhož proudového obvodu jsou uloženy těsně vedle sebe a protékají-li jimi elektrické proudy opačných směrů, magnetická pole jednotlivých vodičů se vzájemně ruší a v oko-

lí vodičů není téměř žádné magnetické pole. Bifilárně vinutá cívka nemá tedy téměř žádnou indukčnost.

U etalonů s odporem vyšším než  $1000 \Omega$  již není zanedbatelná vzájemná kapacita vodičů a k jejímu odstranění se používá speciální, tzv. *Chaperonovo vinutí* (obr. 6.5b).

Při měření střídavého elektrického proudu vyššího kmitočtu dále přistupuje ještě vliv tzv. skin efektu (při vysoké frekvenci  $f$  střídavého elektrického proudu dochází k vytlačení elektrického proudu na povrch vodiče), ten ale běžnými způsoby potlačit nelze. Proto se odporové normály používají pouze v oblasti kmitočtů do 100 Hz.



a)

b)

Obr. 6.5 Vinutí s potlačenou indukčností a kapacitou:

a) bifilární, b) Chaperonovo (převzato z [6])

## 6.2.4 Normály elektrické kapacity [3]

Normály elektrické kapacity (dále jen kapacity) rozdělujeme také na dva typy - na absolutní etalon a sekundární etalon.

*Absolutní etalon kapacity* (obr. 6.6) je takový kondenzátor, jehož kapacitu můžeme vypočítat z jeho rozměrů. Jedná se o vzduchový kondenzátor (obr. 6.7), skládající se ze dvou kovových válců (vnější a vnitřní). Jednu elektrodu tvoří uzemněný vnější válec, druhou elektrodu tvoří vnitřní válec, který je z důvodů stejnorodého elektrického pole rozdělen na tři sekce, jak znázorňuje obr. 6.7.



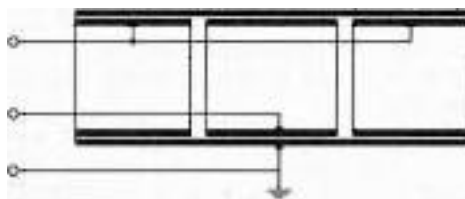
a)



b)

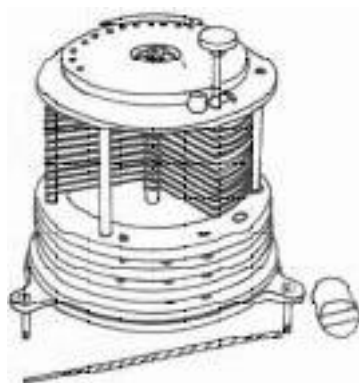
Obr. 6.6 Normály kapacity vyráběné v hodnotách např. a) od 1 pF do 10,000  $\mu\text{F}$ , b) od 0.001 pF do 1000 pF (převzato z [5])





Obr. 6.7 Schéma válcového vzduchového kondenzátoru jakožto absolutní etalon kapacity (převzato z [2])

**Sekundární etalony kapacity** se vyrábějí s plynným nebo pevným dielektrikem. Jejich kapacita se ale nepočítá, nýbrž se zjišťuje přímo měřením. Pro hodnoty do 1000 pF se používá výhradně vzduchové provedení. Typické provedení je na obr. 6.8. Etalon má dvě soustavy desek, které jsou izolovaně upevněny ve stínícím krytu. Počet desek závisí na požadované kapacitě normálu. Tyto etalony se vyrábějí pro kapacity 100 pF až 1000 pF, (s velkými průměry elektrod až do kapacity 100 nF). Změnu kapacity těchto normálů se s časem nemusíme prakticky uvažovat..



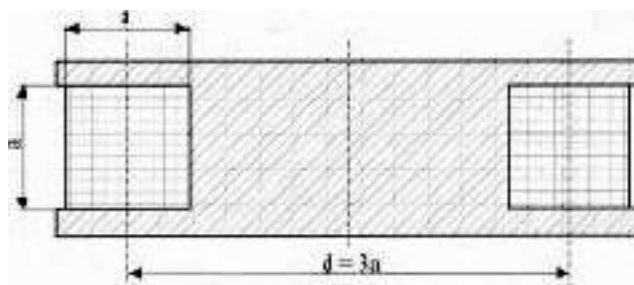
Obr. 6.8 Sekundární etalon kapacity – soustava desek (převzato z [2])

### 6.2.5 Normály vlastní indukčnosti

Normály vlastní indukčnosti i vzájemné indukčnosti dělíme podobně jako normály kapacity na normály absolutní a sekundární. Probereme nejdříve normály vlastní indukčnosti.

**Absolutní etalon vlastní indukčnosti** je vytvářen jednovrstvou cívkou, která je navinutá na přesně opracované kostře z mramoru nebo křemenného skla. Na válcové ploše kostry je vybroušena spirálová drážka, do které je uložen kalibrovaný tvrdý drát tak, aby při změnách teploty nenastalo uvolnění závitů. Hodnota vlastní indukčnosti vytvořené cívky se stanoví výpočtem.

**Sekundární etalon vlastní indukčnosti** je tvořen vzduchovými vícevrstevnými cívkami. Nejběžnější tvar je uveden na znázorněn schematicky na obr. 6.9, kde délka drátu, a tím i jeho elektrický odpor, je nejmenší.

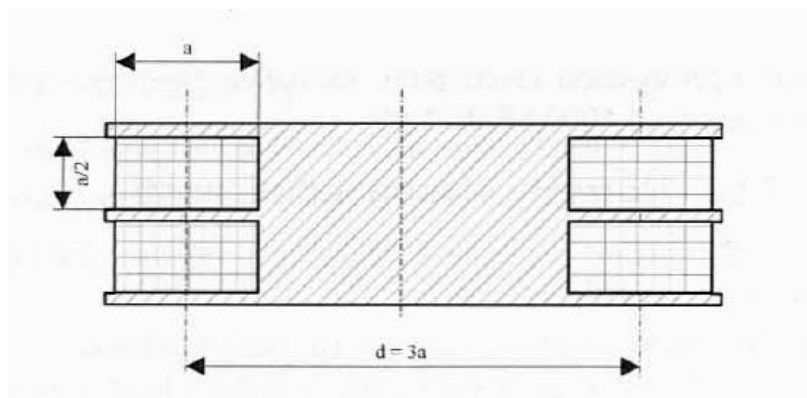


Obr. 6.9 Schéma sekundárního etalonu vlastní indukčnosti – vzduchové vícevrstvé cívky (převzato z [2])

### 6.2.6 Normály vzájemné indukčnosti

**Absolutní normál vzájemné indukčnosti** je tvořen dvěma jednovrstevnými cívkami přesně navinutými na mramorovém jádře. Hodnota vzájemné indukčnosti se stanoví výpočtem.

U **sekundárního etalonu vzájemné indukčnosti** požadujeme co nejtěsnější vazbu (vzájemná indukčnost cívek je téměř stejná jako jejich vlastní indukčnost), velmi malou kapacitu a co největší izolační odpor mezi oběma cívkami. Praktické provedení těchto normálů je podobné provedení normálu vlastní indukčnosti, pouze s tím rozdílem, že na kostře jsou navinuty dvě cívky - obr. 6.10.



Obr. 6.10 Schéma sekundárního etalonu vzájemné indukčnosti – dvě vzduchové vícevrstvé cívky (převzato z [2])

## 6 Vyhodnocení výsledků měření

### 7.1 Přesnost měření

Výsledkem měření je hodnota konkrétně měřené veličiny získaná buď přímo měřením, nebo výpočtem z naměřených hodnot. Při žádném sebepřesnějším měření nemůžeme přesně zjistit skutečnou hodnotu měřené veličiny.

K vlivům, které vstupují do měření a ovlivňují jeho přesnost, patří zejména nedokonalost měřicích prostředků, změny vnějších podmínek (teplota, vliv vnějšího elektromagnetického pole) a v neposlední řadě také někdy nedostatečné znalosti a praktické zkušenosti experimentátora. Při měření nás proto kromě naměřené (či vypočítané) hodnoty zajímají také meze, v nichž se může pohybovat *skutečná hodnota měřené veličiny*. Vlastní vyhodnocování přesnosti měření je tedy založeno na vyhodnocování nepřesnosti měření, neboli na *chybě měření*. V praxi hodnotíme přesnost měření podle velikosti chyb, které při měření vznikají i chyb experimentátora. Je jasné, že čím je chyba prováděného měření menší, tím měřicí přístroj či výsledek měření považujeme za přesnější.

V praxi volíme takový způsob měření, při němž výsledná chyba odpovídá účelu a podmínkám měření. Je třeba si uvědomit, že velmi přesná laboratorní měření bývají nákladná a časově náročná. Protipólem těchto exaktních laboratorních měření jsou provozní, málo přesná měření, která jsou sice rychlá a levná, ale jejich výsledek nemusí být vždy správný a tedy není dost dobře použitelný.

Pojednáme podrobněji o možných chybách, které mohou nastat při měření. Tyto chyby dělíme podle dvou kritérií.

Podle místa vzniku dělíme chyby měření na: [4 s úpravou]

- **Chyby zvolené měřicí metody** - jejich příčinou jsou různá zjednodušení vztahů, podle kterých počítáme měřenou veličinu, dále zjednodušení zapojení, vliv spotřeby měřicího přístroje, atd. Tyto chyby je obvykle možno vypočítat a výsledek měření podle nich korigovat. Blíže se s tímto druhem chyb seznámíme např. při měření elektrického výkonu, kde jim říkáme korekce výkonu.
- **Chyby přístrojů** – jsou způsobeny nedokonalostí použitých měřicích přístrojů. Chyba měřicího přístroje je tzv. *dovolenou chybou měřicího přístroje*, je dána jeho *třídou přesnosti*. Výpočet těchto chyb se provádí zejména při přesných labo-

ratorních měřeních. Třída přesnosti je uvedena buď na stupnici měřidla nebo v dokumentaci k měřidlu. Pojďme o ní v části 7.2.2.

- **Chyby pozorovatele** – do této kategorie patří volba nesprávné metody měření, chybné zapojení přístrojů, nevhodná volba měřicího rozsahu, chybné odečtení údajů z měřidel atp. Jedná se tedy o chyby způsobené lidským faktorem.

Podle charakteru můžeme rozdělit chyby měření na chyby systematické (soustavné), nahodilé a hrubé (omyly).

- **Systematické (soustavné) chyby** – jsou to chyby, které se při měření vyskytují pravidelně. Jsou způsobeny použitou měřicí metodou, přesností použitých měřicích přístrojů atp. Základním znakem systematických chyb je, že se do jisté míry stále opakují a zkreslují tak výsledek bez ohledu, kolik měření provedeme. Obvykle ale známe jejich přibližnou hodnotu, takže můžeme provést opravu výsledku měření (korekci).
- **Nahodilé chyby** - jsou to chyby, které se vyskytují zcela nepravidelně. Jejich výskyt je náhodný. Zjistíme je až při opakovaném měření. Proto opakované měření většinou provádíme. Opakujeme-li měření za stejných podmínek několikrát se stejným přístrojem a se stejným stupněm pečlivého měření, zjistíme, že se výsledky našich měření liší. Vliv nahodilých chyb na výsledek měření eliminujeme tím, že měření vícekrát zopakujeme a z naměřených hodnot stanovíme *střední hodnotu* (aritmetický průměr) hledané veličiny podle vztahu:

$$X_M = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n},$$

kde  $X_i$  je naměřená hodnota veličiny,  $i = 1, 2, \dots, n$  a  $n$  je počet opakovaných měření.

Vypočítaná hodnota aritmetického průměru  $X_M$  se potom nejvíce přibližuje skutečné hodnotě

měřené veličiny.

- **Hrubé chyby** - jsou to chyby, kterých se dopouštíme omylem, nepozorností, přílišným spěchem, únavou nebo špatnými podmínkami při měření (špatné osvětlení, extrémní teplota, vyrušování). Hrubé chyby se projeví tím, že se naměřená hodnota výrazně liší od ostatních výsledků měření nebo při grafickém

znázornění závislosti uvažovaných veličin leží zcela mimo předpokládaný průběh charakteristiky, např. charakteristiky zdroje, V-A charakteristiky. Ze zpracování výsledků měření hrubé chyby naměřených hodnot vyloučíme a dále s nimi nepočítáme.

## 7.2 Chyby při měření analogovými přístroji

Hlavní příčiny chyb u analogových měřicích přístrojů jsou:

- nepřesnost při výrobě a kalibraci přístroje
- rušivé síly a odpovídající jejich momenty (např. tření v ložiskách)
- vnitřní rušivá pole (magnetická a elektrická)
- oteplení přístroje vlastní spotřebou
- stárnutí materiálů a součástek (např. časem „slábnou“ permanentní magnety, mění se odpor předřadníků)
- opotřebení a poškození měřicího přístroje (např. opotřebení ložisek, mechanické či tepelné poškození přístroje přetížením)

### 7.2.1 Absolutní chyba a relativní chyba měřené veličiny

#### • Absolutní chyba

Absolutní chyba měření analogovými přístroji je definována jako rozdíl *naměřené* a *skutečné* hodnoty měřené veličiny, tedy

$$\Delta_X = X_N - X_S,$$

kde  $X_N$  je naměřená hodnota veličiny a  $X_S$  - skutečná hodnota veličiny.

Skutečnou hodnotu  $X_S$  měřené veličiny nelze nikdy přesně zjistit, proto se pro výpočet absolutní chyby nahrazuje tzv. *konvenční pravou hodnotou*, což je hodnota zjištěná podstatně přesnějším měřením.

Jednotka absolutní chyby je stejná, jako jednotka příslušné měřené veličiny. Absolutní chyba může nabývat kladných i záporných hodnot.

- **Relativní chyba**

Relativní chyba se rovná podílu absolutní chyby a skutečné hodnotě měřené veličiny. Nejčastěji se udává v procentech. Používáme tedy vztah

$$\delta_x = \frac{\Delta_x}{X_s} 100 \%$$

Při posuzování měření se obvykle dává přednost relativní chybě.

Na uvedené vztahy si uveďme jeden příklad:

Pomocí dílenského ručkového voltmetru (tedy analogového přístroje) jsme změřili napětí na tužkovém článku 1,5 V. Pomocí přesného číslicového voltmetru (tedy číslicového přístroje) jsme zjistili napětí tohoto článku 1,494 V. Vypočítejte absolutní a relativní chybu provedeného měření, pokud předpokládáme, že číslicový voltmetr udává přesnou hodnotu napětí.

Řešení

$$U_N = 1,5 \text{ V}, U_s = 1,494 \text{ V}$$

$$\Delta_U = U_N - U_s = (1,5 - 1,494) \text{ V} = 0,006 \text{ V}$$

$$\delta_x = \frac{\Delta_U}{U_s} 100 \% = \frac{0,006}{1,494} 100 \% \approx 0,4 \%$$

Absolutní chyba měření je 0,006 V, relativní přibližně 0,4 %.

## 7.2.2 Třída přesnosti měřicích přístrojů

Při měření působí na použitý měřicí přístroj řada rušivých vlivů způsobených nedokonalostí přístroje. Každý z těchto vlivů přináší do měření určitou chybu. Přístroj pak jako celek vykazuje tzv. *základní chybu*, která je součtem všech dílčích chyb. Pro praktické měření byla zvolena charakteristika přístroje nazvaná **třída přesnosti**. Tato charakteristická veličina zahrnuje všechny dílčí chyby a definuje tak *mezní (dovolenou) relativní chybu měřicího přístroje*.

Má-li přístroj určitou třídu přesnosti, je tím definovaná jeho **maximální dovolená relativní chyba vyjádřená v % největší hodnoty** měřicího rozsahu.

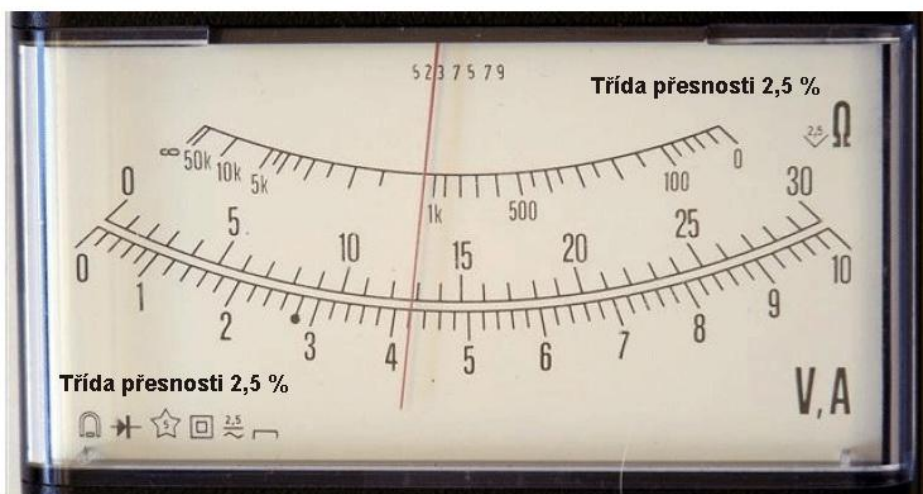
Dle ČSN EN 60051-1 rozeznáváme u analogových měřicích přístrojů následující třídy přesnosti:

$$0,05 \% - 0,1\% - 0,2 \% - 0,5 \% - 1 \% - 1,5 \% - 2,5 \% - 5 \% .$$

Údaj o třídě přesnosti bývá uveden na číselníku každého analogového měřicího přístroje – viz obr. 7.1. Zpravidla se značka procenta % vynechává.

Výhody zavedení třídy přesnosti jsou následující:

- přehledné posouzení různých měřicích přístrojů
- mezinárodní platnost tříd přesnosti
- jednoduchá kontrola měřicích přístrojů (ověřujeme pouze, zda zjištěná chyba nepřekračuje meze třídy přesnosti)



Obr. 7.1 Stupnice měřidla s uvedenou třídou přesnosti 2,5 % (převzato z [2])

### 7.2.3 Ověřování kvality měřicích přístrojů

Průběh ověřování kvality měřicích přístrojů je u nás dán normou ČSN EN ISO/IEC 17025. Kontrola a cejchování měřicího přístroje je pak proces, při němž zjišťujeme, zda daný přístroj, který chceme použít, vyhovuje dané třídě přesnosti. Platí pravidlo, že měřicí přístroje by se měly ověřovat alespoň jednou za dva roky, u laboratorních přesných přístrojů provádíme ověřování ještě častěji.

Měřicí přístroje třídy přesnosti 1 % až 5 % ověřujeme pomocí přesných ručkových či digitálních přístrojů třídy přesnosti 0,1 % až 0,2 %.

Přístroje třídy přesnosti 0,1 % až 0,5 % se kontrolují pomocí přesných digitálních voltmetrů či kompenzátorů, jejichž třída přesnosti bývá 0,01 % až 0,05 %. Měření se provádí za přesně předepsaných podmínek (teplota, ...) a bez rušivých vlivů (otřesy, prašné prostředí, rušivé elektromagnetické pole, ...).

### 7.3 Chyby digitálních měřicích přístrojů

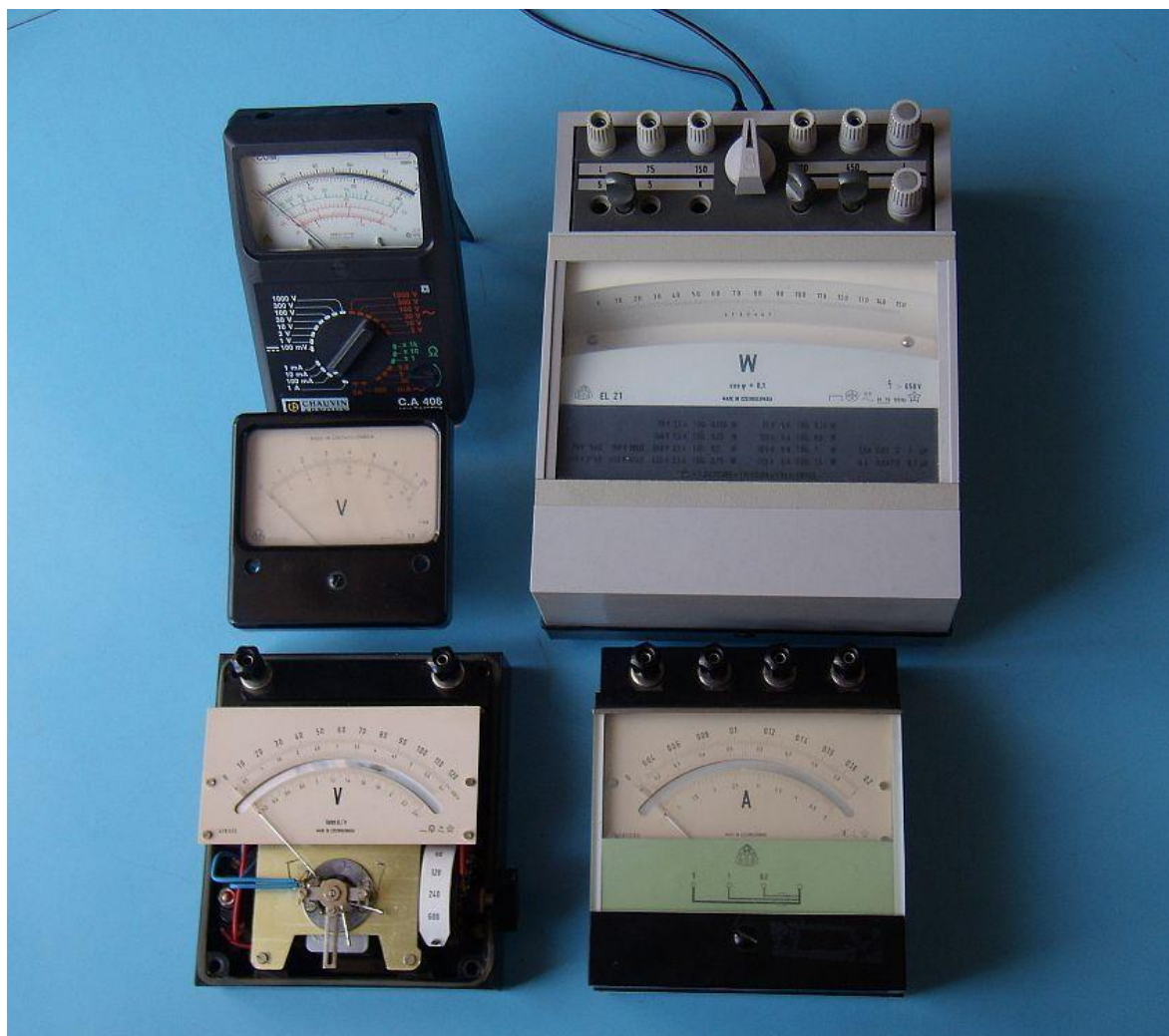
Převládá názor, že digitální přístroje jsou dokonalé, absolutně přesné, že analogové přístroje s nimi nelze srovnávat. U běžných digitálních multimetrů (v cenové relaci do 3 000 Kč) to většinou není pravda. Tyto přístroje měří poměrně správně pouze stejnosměrné napětí, ostatní elektrické veličiny pak s několikanásobně větší chybou než přesnější analogové přístroje. Důvod je ten, že u digitálních přístrojů se všechny měřené veličiny převádějí pomocí převodníků na stejnosměrné napětí. Tyto převodníky tak zanášejí do měření další chybu. Je tedy hloupost ověřovat třídu přesnosti analogového přístroje např. pomocí kapesního multimetru.

Moderní digitální přístroje mají automatické přepínání rozsahů. Přístroje přepínají rozsahy tak, aby bylo při měření dosaženo vždy maximální přesnosti. Například multimetr s maximální hodnotou 4 999 přepíná při měření napětí automaticky rozsahy 500 mV - 5 V - 50 V - 500 V, multimetr s maximální hodnotou 1 999 má rozsahy 200 mV - 2 V - 20 V - 200 V. Přepínání rozsahů pro měření ostatních veličin probíhá podobně. Multimetry mívají i více rozsahů, což záleží na provedení přístroje. Hodnoty rozsahů a chyb pro jednotlivé rozsahy najdete v návodu použití k příslušnému měřidlu.



## 7 Analogové měřicí přístroje

V této části se seznámíme s některými druhy analogových přístrojů běžně používaných při praktickém měření.



Obr. 8.1 Několik typů analogových měřicích přístrojů (převzato z [18])

### 8.1 Princip funkce analogových měřidel

Analogové měřicí přístroje s elektromechanickým ústrojím (obr. 8.1) jsou taková zařízení, která využívají magnetických, tepelných a dynamických účinků elektrického proudu nebo silového působení elektrostatického pole ke stanovení hodnoty elektrické veličiny (např. elektrického proudu či napětí).

Hlavní částí je elektromechanické měřicí ústrojí, které převádí příslušnou elektrickou veličinu na výchylku ukazatele. Výchylka je analogovým údajem měřené veličiny, mění se spojité a může dosáhnout nekonečného počtu hodnot. Číselnou hodnotu výchylky na vlastní hodnotu měřené veličiny převádí sám pozorovatel, nikoliv přístroj, jak je tomu u digitálních měřicích přístrojů.

Základem analogových přístrojů je tedy elektromechanické měřicí ústrojí, které se skládá z pevné a pohyblivé části, ukazatele číselníku (stupnice). Pohyblivá část měřicího ústrojí bývá obvykle otočná, ukazatel (většinou ručka, ale může to být i světelná stopa) je s ní pevně spojen. Na pohyblivou část měřicího ústrojí působí síly vyvolané měřenou veličinou a vytváří v ní *pohybový moment ústrojí*. Velikost tohoto momentu je úměrná velikosti měřené veličiny. Aby došlo k ustálení ručky na určité výchylce, musí na otočné ústrojí působit ještě druhý, tzv. *direktivní* (řídící) *moment*, a to tak, aby působil proti momentu pohybovému. Když dojde k rovnosti velikostí obou momentů, tak se ručka měřicího přístroje ustálí a v tento okamžik odečítáme hodnotu měřené veličiny. Direktivní moment se vytváří zkručováním buď spirálových pružin, nebo tenkých kovových pásků, na nichž je otočné ústrojí zavěšeno.

## 8.2 Dělení analogových měřicích přístrojů

Podle veličiny, kterou měřicím přístrojem zjišťujeme, rozlišujeme analogové měřicí elektrické přístroje na tyto druhy:

- **voltmetry** - pro měření elektrického napětí
- **ampérmetry** - pro měření elektrického proudu
- **ohmmetry** - pro měření elektrického odporu
- **galvanometry** - měříme jimi velmi malé proudy, velmi malá napětí a hodnotu elektrického náboje
- **kmitočtoměry** - k zjištění kmitočtu (frekvence) elektrického proudu, resp. elektrického napětí
- **wattmetry** - měří elektrický výkon, resp. elektrický příkon
- **elektroměry** - měří práci (energii) elektrického proudu
- **fázoměry** - pro měření účinníku v obvodech střídavého proudu ( $\cos \varphi$ )

Podle způsobů použití rozlišujeme měřicí přístroje na:

- **Rozváděčové** - jsou trvale namontovány v rozváděčích, rozvodnách či velínech. Používají se k nepřetržitému měření.
- **Přenosné** (montážní) - užívají se k dílenskému měření, zpravidla se konstruují jako měřidla univerzální (tzv. multimetry, kterými můžeme měřit více veličin).
- **Laboratorní** - slouží nám k přesnému měření v laboratořích a zkušebnách.
- **Etalony** - jako nejpřesnější přístroje, které se používají k ověřování (kalibraci) laboratorních přístrojů.

Analogová měřidla můžeme také dělit podle toho, jakého elektromechanického měřicího ústrojí je pro konstrukci přístroje použito. Rozeznáváme tyto základní typy:

- **magnetoelektrické, feromagnetické**
- **elektrodynamické a ferodynamické**
- **indukční**
- **elektrostatické**
- **tepelné**
- **vibrační**

Další možné dělení je podle typu ukazatele a způsobu odečítání měřené veličiny. Rozlišujeme měřicí přístroje:

- **ručkové** - výchylka je ukazována ručkou
- **se světelnou stopou** - na stupnici dopadá světelný paprsek odražený od zrcátka umístěného na otočném ústrojí
- **zapisovací** (registrační) - výchylka je graficky průběžně zaznamenávána perem na pohyblivý pás papíru
- **vibrační** – výchylka ručky je způsobena rozkmitáním ocelových jazýčků (typickým příkladem je kmitočtoměr)

### 8.3 Druhy ukazatelů u analogových měřicích přístrojů

- **Ručka**

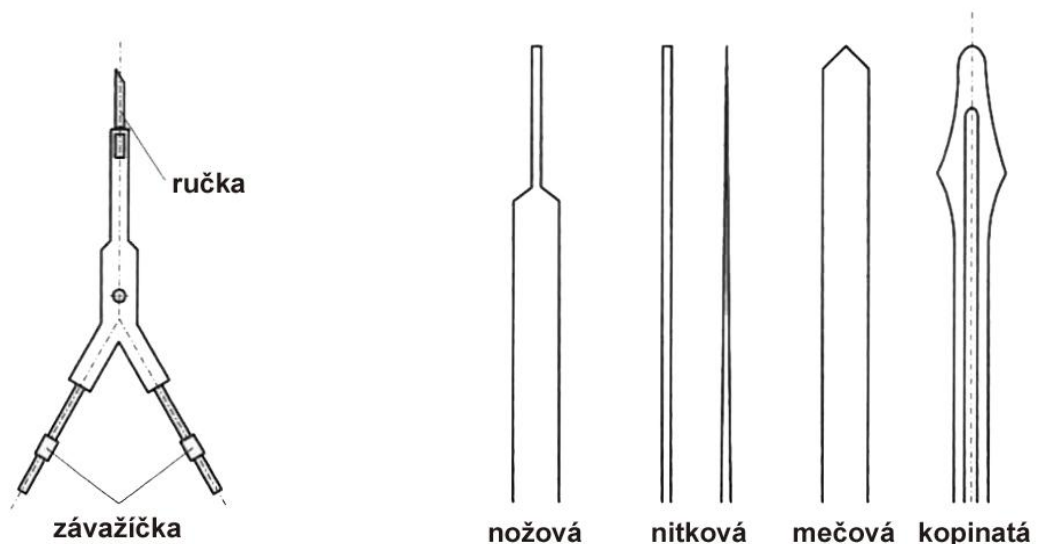
Ručkové přístroje tvoří tu skupinu analogových měřidel, kde ručka je pevně uchycena na hřídelce pohyblivé (otočné) části přístroje. Aby nedocházelo k vychýlení otočného

ústrojí z kolmé polohy, vyvažuje se hmotnost ručky a nesymetrie otočného ústrojí pomocí dvou malých závažíček - viz na obr. 8.2. Vyvažování se provádí již při výrobě přístroje a po vyvážení systému se závažíčka zalijí lakem, aby nemohl nastat jejich nežádoucí pohyb. Tím by došlo k porušení mechanické rovnováhy měřicího ústrojí.

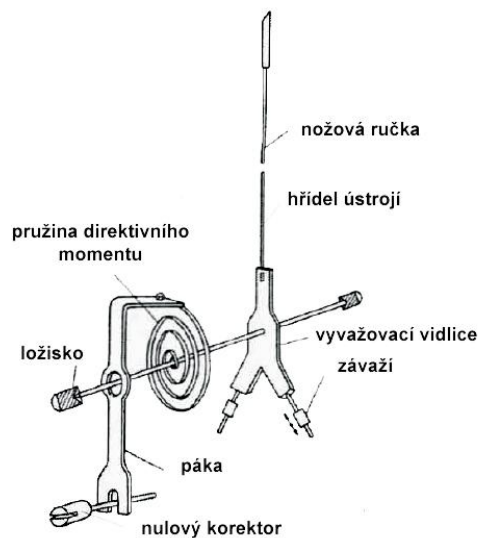
Celý ukazatel (ručka i zařízení k jejímu vyvážení) bývá z hliníku. Ručky laboratorních měřicích přístrojů se vyrábějí z tenkých hliníkových trubiček ( $\varnothing$  0,3 mm až 0,7 mm), které se na konci zmáčknou do nožového ostří. Na stupnici měřicího přístroje s touto, tzv. **nožovou** ručkou (obr. 8.3), se umístí zrcátko, aby při odečítání výchylky nedocházelo k chybám. Výchylku odečítáme tak, aby se ručka kryla se svým odrazem od zrcátka. Neboli díváme se vždy kolmo na stupnici přístroje.

Malé univerzální měřicí přístroje a některé moderní laboratorní přístroje mají tenké, tzv. **nitkové ručky** (obr. 8.3), které se vyrábějí ze skelných vláken nebo umělých hmot. Bývají obvykle natřeny na červeno nebo černo, aby vytvářely potřebný kontrast a odečet na bílé stupnici byl co nejjednodušší.

Ručkový měřicí přístroj je také vybaven zařízením pro nastavení **nulové polohy ručky** tzv. nulovým korektorem – viz obr. 8.4. Před měřením je třeba nulovou polohu ručky vždy zkontrolovat. Nastavení je v poměrně širokém rozsahu ( $\pm 10$  dílků).



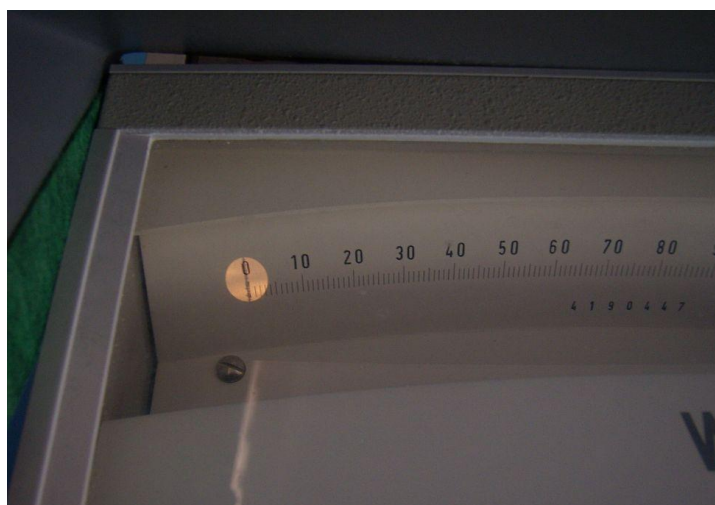
Obr. 8.2 Ručka s protiváhou (převzato z [2]) Obr. 8.3 Různé druhy ruček (převzato z [2])



Obr. 8.4 Mechanická sestava měřicího ústrojí – uložení ručky (převzato z [2])

- **Světelná stopa**

U měřicích přístrojů se světelným ukazatelem – světelnou stopou - se světelný paprsek (obvykle vytvořený žárovkou) objektivem zaostří a promítne na zrcátko umístěné na ose otočného ústrojí. Od něho se odrazí a na stupnici se ukáže jeho odraz (obr. 8.5). Clona, jejíž obraz se na stupnici promítá, má zpravidla kruhový otvor, přes který je napnutý tenký drátek, jeho obraz se také promítne na stupnici jako svíslá úsečka. U některých přístrojů (např. u galvanometrů) se používá promítání zezadu na průsvitnou matnou stupnici.



Obr. 8.5 Detail stupnice se světelným ukazatelem (převzato z [18])

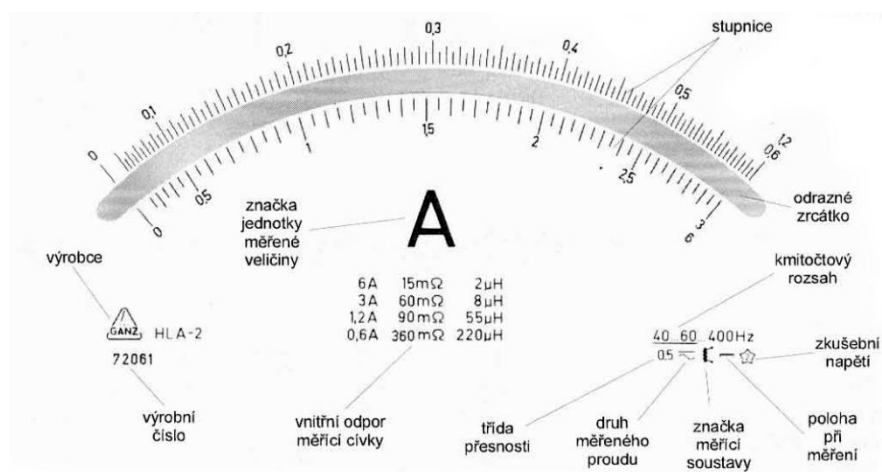
Protože světelný paprsek dopadá přímo na stupnici, nemůže u těchto přístrojů vzniknout chyba při odečítání výchylky špatnou polohou očí.

## 8.4 Číselník a stupnice analogových měřicích přístrojů

### ○ Číselník

Číselník analogového měřicího přístroje je plocha, na níž je zakreslena stupnice a ostatní předepsané značky. Obvykle se vystřihuje z hliníkového či mosazného plechu a bývá natřen bílou barvou. Na číselníku měřicího přístroje (obr. 8.6) by měly být tyto údaje:

- stupnice
- značka měřené veličiny (u univerzálních měřicích přístrojů značky všech měřených veličin)
- značka měřicí soustavy
- značka třídy přesnosti
- značka druhu proudu a počtu měřicích ústrojí
- značka zkušební napětí (napětí, jaké přístroj snese z hlediska elektrické pevnosti)
- značka polohy stupnice (přístroje) při měření (vodorovná, resp. svislá nebo šikmá)
- výrobní číslo a logo výrobce
- další nepovinné údaje (např. odpor měřicích cívek)



Obr. 8.6 Význam značek na stupnici měřicího přístroje (převzato z [2])

Jednotlivé značky jsou přehledně uspořádány v Příloze 1 na konci tohoto textu. Pro správné měření je *bezpodmínečně* nutné znát jejich význam.

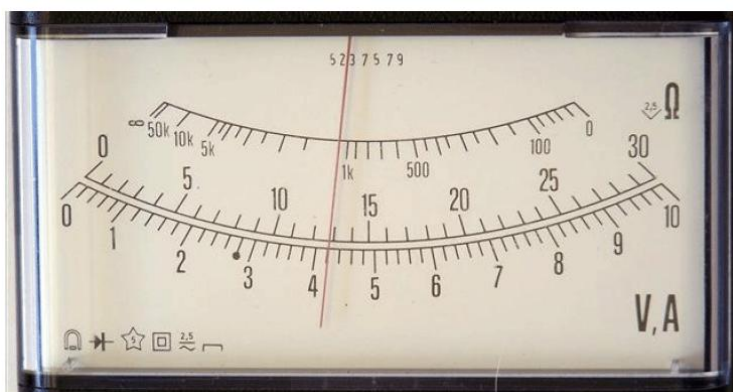
### ○ Stupnice

*Stupnice* je soustava číslic a čárek na číselníku, které umožňují spolehlivé odečítání velikosti výchylky. U laboratorních přístrojů s nožovými ručkami ryska na stupnici nemá být tlustší než nožový konec ručky. K usnadnění čtení je obvykle každý pátý dílek 1,5x delší a každý desátý 2x delší, než dílky základní.

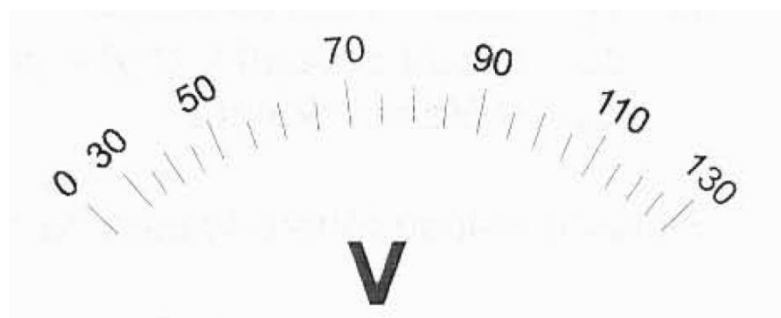
Stupnice je obvykle ve tvaru kruhového oblouku s úhlem  $80^\circ$  až  $90^\circ$ . Stupnice laboratorních přístrojů s třídou přesnosti 0,2 a lepší mívají délku stupnice alespoň 150 mm. Rozvaděčové přístroje mají z úsporných důvodů stupnici s úhlem  $240^\circ$  až  $270^\circ$ , čímž se zmenší jejich velikost a zlepší se také odečítání z větších vzdáleností.

Stupnice měřicích přístrojů může být podle provedení:

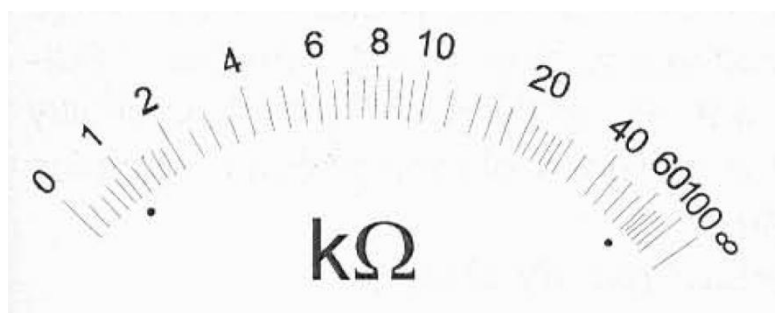
- *lineární* - všechny dílky stupnice jsou od sebe stejně vzdáleny (obr. 8.7)
- *nelineární* – např. kvadratická (obr. 8.8) nebo logaritmická (obr. 8.9) či s potlačenou nulou (obr. 8.10)



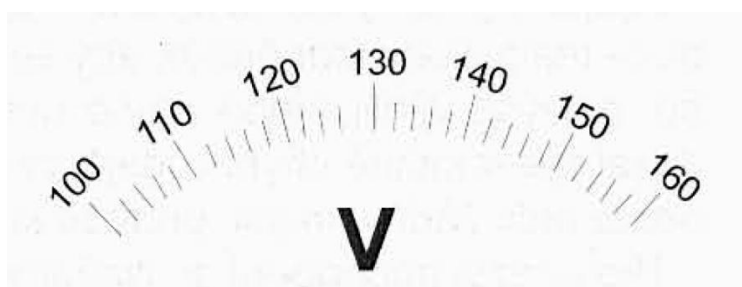
Obr. 8.7 Lineární stupnice (převzato z [23])



Obr. 8.8 Kvadratická stupnice (převzato z [2])



Obr. 8.9 Logaritmická stupnice (převzato z [2])



Obr. 8.10 Stupnice s potlačenou nulou (převzato z [2])

### 8.5 Provedení analogových měřících přístrojů

Analogové měřicí přístroje jsou poměrně složitá a velmi citlivá zařízení. Proto musí být uloženy v krytu.

Pouzdra (kryty) přístrojů se vyrábějí z umělých hmot, musí splňovat i podmínky bezpečnosti před úrazem elektrickým proudem. V krytu bývají otvory, kterými vstupuje do přístroje vzduch chladící předřadníky či bočníky.

Rozsahy těchto přístrojů se mění snadno buď přímo přepojováním příslušných vodičů na různé svorky přístroje nebo bývá přístroj vybaven *přepínačem rozsahů*.



Přístroje, které jsou určeny pro měření stejnosměrného proudu a stejnosměrného napětí, mají vždy kladnou svorku označenou značkou +.

## 8.6 Konstanta a citlivost analogového přístroje

Používáme-li měřicí přístroj s jedním rozsahem, který má stupnici označenou přímo v jednotkách měřené veličiny, pak nejsou s odečítáním výchylky žádné problémy. Obvykle však měřicí přístroje mívají více rozsahů (vícerozsahové přístroje). Nemají zpravidla pro každý rozsah zvláštní stupnici, ale mají jednu stupnici rozdělenou na určitý počet dílků. Abychom zjistili, jaká je hodnota měřené veličiny pro příslušnou výchylku na daném rozsahu, musíme zavést tzv. konstantu přístroje.

**Konstanta přístroje**  $k$  je číslo, kterým je nutno vynásobit výchylku přístroje v dílcích, abychom dostali hodnotu měřené veličiny  $X_M$  v jednotkách této veličiny.

Platí:

$$k = \frac{X_R}{\alpha_S},$$

kde  $X_R$  je jmenovitý rozsah přístroje a  $\alpha_S$  je celkový počet dílků stupnice.

Hodnota měřené veličiny  $X_M$  pak stanovíme jako součin konstanty  $k$  přístroje pro příslušný rozsah a výchylky  $\alpha$  v počtu dílků, neboli .

$$X_M = k\alpha.$$

Ukažme si na příkladu, jak vypadá takový výpočet:

Na vícerozsahovém voltmetru byla na rozsahu 24 V zjištěna výchylka 70 dílků. Jaké napětí přístroj ukazuje, má-li stupnice 120 dílků?

Řešení:

$$U_R = 24 \text{ V}, \alpha_S = 120 \text{ dílků}, \alpha = 70 \text{ dílků}$$

$$k = \frac{U_R}{\alpha_S} = \frac{24}{120} \text{ V/dílek} = 0,2 \text{ V/dílek} \quad (\text{resp. zápis } 0,2 \text{ V/d})$$

$$U_M = k\alpha = 0,2 \cdot 70 \text{ V} = 14 \text{ V}$$

Voltmetr ukazuje napětí 14 V.

Výrobci měřidel obvykle volí takové rozsahy a takové počty dílků stupnice, aby konstanta vycházela jako dekadický násobek 1, 2 či 5.

**Citlivost měřicího přístroje**  $C$  je definována jako převrácená hodnota konstanty měřicího přístroje. Tedy platí vztah

$$C = \frac{1}{k} = \frac{\alpha_S}{X_R}$$

Citlivost je tedy číslo, které udává, kolik dílků výchylky připadá na jednotku měřené veličiny. Pro hodnotu měřené veličiny pak platí:

$$X_M = \frac{\alpha}{C}$$

S citlivostí se běžně počítá pouze u galvanometrů, jinak při výpočtu naměřených hodnot používáme konstantu.

Ukažme si opět na konkrétním příkladu výpočet s využitím citlivosti měřicího přístroje:

Určete citlivost voltmetru z předcházejícího příkladu:

Řešení:

$$C = \frac{\alpha_S}{X_R} = \frac{120}{24} \text{ d/V} = 5 \text{ d/V}$$

$$C = \frac{1}{k} = \frac{1}{0,2} \text{ d/V} = 5 \text{ d/V}$$

$$U_M = \frac{\alpha}{C} = \frac{70}{5} \text{ V} = 14 \text{ V}$$

## 8.7 Vlastní spotřeba měřicího přístroje

Vlastní spotřeba měřicího přístroje je příkon, který přístroj potřebuje k tomu, aby dosáhl plné výchylky. U přístrojů měřících stejnosměrné veličiny se udává ve wattech (W), u střídavých ve voltampérech (VA).

Vlastní spotřeba se udává obvykle u voltmetrů a napěťových cívek wattmetrů a to nepřímo - hodnotou odporu měřicí cívky. Uvádí se odpor celé cívky nebo odpor cívky na 1 V rozsahu přístroje.

U ampérmetrů či proudových cívek wattmetrů se odpor měřících cívek zpravidla neuvádí a chceme-li zjistit vlastní spotřebu přístroje, je třeba odpor (u střídavých přístrojů impedanci) cívky změřit.

Uvedme si příklad na výpočet vlastní spotřeby měřidla:

Stejnoseměrný voltmetr má vnitřní odpor  $r_i = 5\,000\text{ k}\Omega/\text{V}$ . Jaká je jeho vlastní spotřeba při použití rozsahu 600 V?

$$R_i = U_n \cdot r_i = 600 \cdot 5000\text{ k}\Omega = 3\,000\text{ k}\Omega$$

$$P = \frac{U_n^2}{R_i} = \frac{600^2}{3 \cdot 10^6}\text{ W} = 0,12\text{ W}$$

Vlastní spotřeba voltmetru na rozsahu 600 V je 0,12 W při plné výchylce.

## 8.8 Přetížitelnost měřicích přístrojů

Přetížitelnost měřicích přístrojů definujeme jako násobek jmenovité hodnoty měřicího rozsahu, který měřicí přístroj vydrží bez poškození. Bude-li přístroj připojen na vyšší napětí nebo bude-li jím protékat větší proud, hrozí jeho přetížení a tím dojde k tepelnému či mechanickému poškození.

**Trvale** musí vydržet všechny měřicí přístroje s třídou přesnosti (1 % až 5 %) 1,2 násobek jmenovité hodnoty měřicího rozsahu, aniž by se poškodily. U wattmetrů lze současně přetěžovat proudovou i napěťovou cívku o 20 %. Voltmetry a ampérmetry třídy přesnosti 0,1 % až 0,5 % vydrží trvale pouze pro jmenovité hodnoty proudu či napětí.

**Krátkodobá** přetížitelnost v násobcích jmenovitých hodnot je uvedena v tab. 8.1. Uvedené hodnoty uvedené v tabulce platí pouze pro běžně užívané přístroje, neplatí ale pro přístroje s termočládky a pro přístroje tepelné soustavy.

Tabulka 8.1 Krátkodobá přetížitelnost měřicích přístrojů

Třída přesnosti	0,2 až 0,5	1 až 5
Voltmetr	2	2
Ampérmetr	2	10
proud. cívky wattmetrů	2 při $U_n$ a $\cos \varphi_n$	10 při $U_n$ a $\cos \varphi_n$

## 8.9 Rušivé vlivy při měření

Mezi veličiny ovlivňující údaj měřicího přístroje patří zejména:

- **Mechanické vlivy** - největší vliv má tření. Na velikost třecí síly má vliv hmotnost otočného ústrojí a způsob jeho uložení. Tření lze částečně omezit zvětšením direk-

tivního momentu spirálových pružin, tím ale vzroste spotřeba a sníží se citlivost přístroje. Dostatečně lze vliv tření u měřidel vyloučit použitím uložení na závěsech. Na údaj měřicího přístroje a kvalitu měření působí nepříznivě také otřesy. Když měříme v prostředí, kde jsou vibrace a otřesy běžné (např. v motorových vozidlech), je vhodné položit měřicí přístroj na měkkou podložku. Na výchylku ručky má vliv i poloha přístroje, proto je nutné používat přístroje pouze v poloze, která je nakreslena na číselníku.

- **Teplota** - vlivem změn teplot se mění elektrický odpor měřicích cívek, předřadníků či bočníků a také magnetická indukce permanentních magnetů. Předřadníky a bočníky proto umísťujeme do přední části přístroje, aby svou teplotou neovlivňovaly měřicí cívky. V krytu přístroje musí být v těchto místech otvory pro vstup chladícího vzduchu. Vztažná teplota, při níž platí třída přesnosti přístroje, je 20 °C. Předřadníky jsou vyrobeny z manganinu, protože má nepatrnou závislost elektrického odporu na teplotě.
- **Vnější elektromagnetická pole** - toto pole působí zejména na měřicí přístroje, které mají vlastní pole. Zejména to jsou elektrodynamické přístroje. Vlivu rušivých magnetických polí se zabraňuje stíněním měřicího ústrojí krytem vyrobeným z feromagnetického materiálu nebo tzv. astatizováním. Princip astatizování spočívá v tom, že v přístroji jsou dvě stejná měřicí ústrojí na stejné ose a jsou zapojena tak, že točivé momenty vyvolané měřenou veličinou se sčítají a momenty vyvolané rušivým magnetickým polem se odečítají. Astatizování se ale používá velmi málo (pouze u přesných laboratorních přístrojů).
- **Kmitočet** - změna kmitočtu (frekvence) způsobí změnu údaje u těch přístrojů, jejichž pohybový moment závisí na kmitočtu, jak je tomu např. u indukčních elektroměrů. Vliv kmitočtu na výchylku ručky přístroje a tedy i jeho použitelnost pro měření si uvedeme u každé soustavy zvlášť.

Vliv některých dalších veličin si probereme u příslušných soustav měřicích přístrojů, kterých se tyto vlivy týkají.

## 8.10 Magnetoelektrické měřicí přístroje

### 8.10.1 Princip, konstrukce, použití

Základem magnetického obvodu magnetoelektrických měřicích přístrojů je permanentní magnet, na který dosedají dva pólové nástavce. Konce těchto nástavců jsou vhodně vytvarovány. V dutině pólových nástavců je pevně uložen váleček ze železa. Ve vzduchové mezeře mezi válečkem a pólovými nástavci je otočně uložena cívka se závitů tenkého měděného drátu. Schéma popsané soustavy je znázorněno na obr. 8.11.

Konstrukce magnetoelektrického měřicího ústrojí je založena na využití sil působících na vodiče cívky v magnetickém poli, když jimi protéká stejnosměrný elektrický proud. Princip vyvození pohybového momentu je naznačen na obr. 8.12. Permanentní magnet vytváří v mezeře radiální magnetické pole (pole, jehož indukční čáry jsou vždy kolmé k závitům měřicí cívky). Z předmětu Základy elektrotechniky víte, že nachází-li se vodič protékající elektrickým proudem v magnetickém poli, působí na něj magnetická síla o velikosti

$$F_1 = BIl,$$

kde  $B$  je magnetická indukce pole,  $I$  proud vodičem, který je kolmý k indukčním čarám a  $l$  je aktivní délka vodiče, tj. délka, kterou vodič zasahuje do magnetického pole.

Má-li cívka  $N$  závitů, působí na jednu její stranu celková síla o velikosti

$$F = NF_1 = NBIL.$$

Stejně velká síla působí i na druhou stranu cívky, ale v opačném směru, protože touto stranou cívky protéká proud opačným směrem než protilehlými vodiči. Protože je cívka otočně upevněna na hřídelce procházející její osou, vytváří obě síly dvojici sil, která působí na cívku otočným momentem o velikosti

$$M = 2Fr = 2NBILr,$$

kde  $r$  je poloměr cívky.

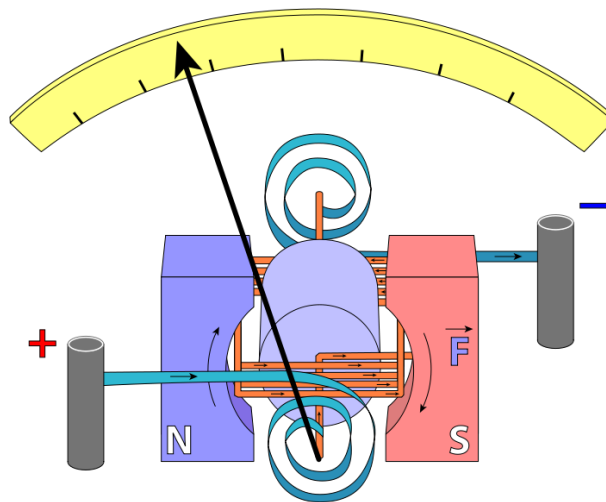
Tento otočný moment způsobí natočení cívky. A protože je ručka měřicího přístroje pevně spojena s hřídelkou, projeví se natočení cívky výchylkou ručky na stupnici.

Jestliže předpokládáme, že magnetická indukce je po celé délce vzduchové mezery konstantní, můžeme předchozí vztah zjednodušit na

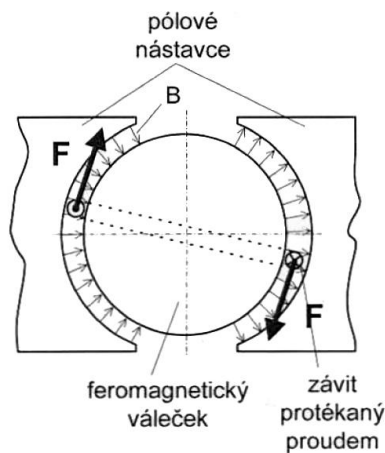
$$M = k_p I,$$

kde  $k_p = 2 B I r$ .

Ze vztahu je vidět, že pohybový moment, a tedy i výchylka ručky přístroje, jsou přímo úměrné proudu protékajícího měřicí cívkou. Znamená to, že stupnice magnetoelektrických přístrojů bude rovnoměrná (lineární). To platí nejen pro ampérmetry, ale i pro voltmetry, protože proud je, dle Ohmova zákona, přímo úměrný napětí.



Obr. 8.11 Principiální schéma magnetoelektrického měřicího přístroje (převzato z [19])



Obr. 8.12 Princip vyvození pohybového momentu v magnetoelektrickém měřicím přístroji (převzato z [2])

U magnetoelektrických přístrojů rozlišujeme polaritu proudu a napětí. Změníme-li polaritu proudu, bude na cívku působit moment opačným směrem a přístroj bude mít zápornou výchylku. Proto je možné použít magnetoelektrické přístroje pouze na měření stejnosměrných veličin.

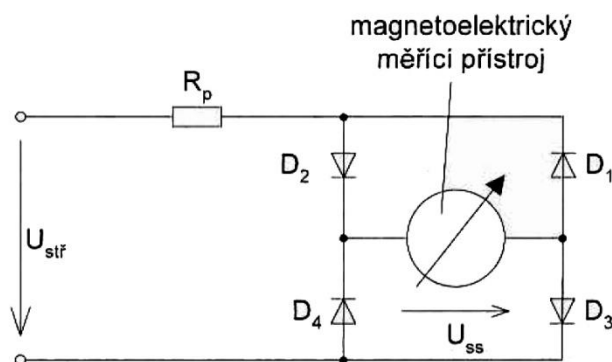
Vlastnosti magnetoelektrických přístrojů:

- Využíváme je pro měření stejnosměrného proudu a stejnosměrného napětí ve velmi širokých rozsazích (od  $\mu\text{A}$  až po  $\text{kA}$ , od  $\mu\text{V}$  až po  $\text{kV}$ ).
- Při malé hmotnosti otočného ústrojí mají tyto přístroje velký pohybový moment, což je dovoluje vyrábět je v třídě přesnosti 0,1 %.
- Mají malou vlastní spotřebu, protože na cívku s mnoha závity působí velký moment i při malém proudu. U běžných magnetoelektrických voltmetrů bývá vnitřní odpor  $r_i = 5 \text{ k}\Omega/\text{V}$ , u přístrojů s malou spotřebou až  $r_i = 100 \text{ k}\Omega/\text{V}$ .
- Největším rušivým vnějším vlivem je u těchto přístrojů teplota. Při velké změně teploty se mění elektrický odpor měřicí cívky i přívodních pružin. Při změně teploty cca o  $10^\circ \text{C}$  nad teplotou  $20^\circ \text{C}$  se zvýší chyba měření asi o 0,1 % až 0,2 %.
- Vliv cizích elektromagnetických polí je zanedbatelný, protože přístroj pracuje se silným vlastním polem permanentních magnetů, nepřesáhne-li magnetická indukce těchto rušivých polí 0,5 mT. Silné permanentní magnety však mají silná rozptylová pole, která mohou ovlivňovat pole ostatních přístrojů, leží-li přístroje těsně vedle sebe a tím zkreslovat výsledky měření. Proto při přesných měřeních musí být dodržena vzdálenosti přístrojů od sebe nejméně 30 cm.
- U rozváděčových přístrojů, které jsou určeny k vestavění do ocelového plechu, působí plech panelu jako magnetický bočník (soustřeďuje a zvětšuje rozptylový tok permanentního magnetu) a tím se zmenšuje magnetická indukce pole ve vzduchové mezeře. S touto skutečností se u těchto přístrojů počítá, a proto se vyrábějí jako stíněné nebo je na přístroji uvedeno, jakou tloušťku může mít plech, do něhož bude přístroj zabudován (např. značka Fe 2 znamená, že přístroj je kalibrován pro plech tloušťky  $2 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ ).
- Poměrně dobře snášejí krátkodobá přetížení.
- Vyrábějí se jako jedno - i vícerozsahové (např. voltmetr s rozsahy 1,2 - 2,4 - 6 - 12 - 24 - 120 - 240 - 600 V,  $r_i = 5 \text{ k}\Omega/\text{V}$ ).
- V oblasti analogových přístrojů je to nejčastěji používaná soustava.

### 8.10.2 Magnetoelektrické přístroje s usměrňovačem

Magnetoelektrické přístroje mají velkou citlivost, malou spotřebou a vysokou přesnost. Jsou použitelné pouze pro měření stejnosměrného proudu a stejnosměrného napětí. Aby bylo možno využít jejich výborných vlastností i k měření střídavých veličin, je třeba doplnit jejich konstrukci *usměrňovačem*.

Obvykle používáme dvoucestného usměrňování se čtyřmi diodami zapojenými v tzv. Gratzově můstku. Schéma zapojení přístroje je nakresleno na obr. 8.13. Přístroj pak měří **střední hodnotu** usměrněného proudu  $I_{AV}$  nebo napětí  $U_{AV}$ .



Obr. 8.13 Připojení magnetoelektrického měřicího přístroje do obvodu dvoucestného usměrňovače (převzato z [2])

Nevýhodou magnetoelektrických přístrojů s usměrňovačem je nelineární VA charakteristika usměrňovače. To se projevuje tak, že např. při trojnásobném proudu není výchylka přístroje trojnásobná. To znamená, že průběh stupnice těchto přístrojů není lineární, dílky na počátku stupnice jsou zhuštěné (při malých napětích je VA charakteristika diody značně nelineární), ve 2. polovině je dělení stupnice rovnoměrnější. Vícerozsahové voltmetry (např. 2,4 - 6 - 24 - 120 - 240 - 600 V) mají proto tři stupnice, jednu pro rozsah 2,4 V, druhou pro 6 V a třetí (s lineárním dělením) pro měření napětí na rozsazích 24 V až 600 V.

Vlastnosti magnetoelektrických přístrojů s usměrňovačem:

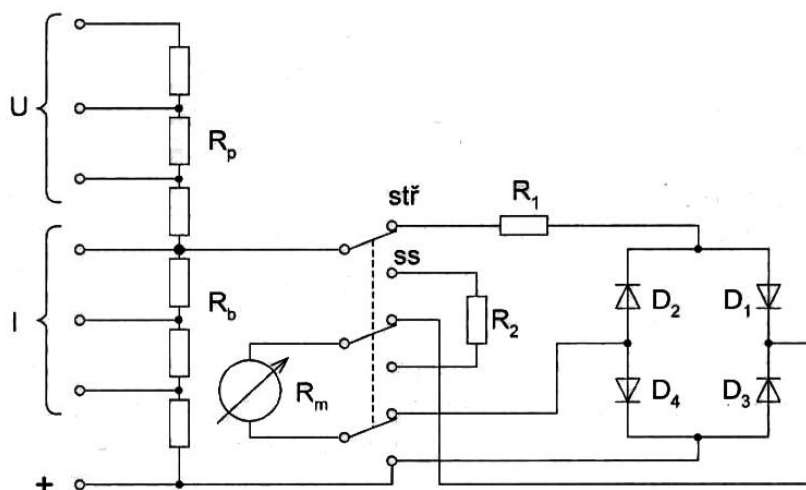
- mají menší přesnost -  $\max Ar = 1$
- lze je použít pro kmitočty od 20 Hz až do 20 kHz
- lze s nimi měřit pouze sinusové průběhy proudu či napětí



### 8.10.3 Univerzální magnetoelektrické přístroje

Univerzální přístroje jsou magnetoelektrické přístroje s mnoha rozsahy pro měření napětí a proudů, a to jak stejnosměrných, tak i střídavých. Při měření střídavých veličin pracují tyto přístroje s usměrňovačem.

Na obr. 8.14 je nakresleno zjednodušené schéma univerzálního magnetoelektrického přístroje. Když měříme střídavé proudy, pracujeme s přístrojem s usměrňovačem a s přepínatelným bočnickem, při měření střídavých napětí použijeme přístroj s usměrňovačem s přepínatelnými předřadníky. Při měření stejnosměrného proudu a napětí se měřicí ústrojí připojuje na bočník a předřadníky, usměrňovač vynecháme.



Obr. 8.14 Zjednodušené schéma univerzálního měřicího přístroje (převzato z [2])

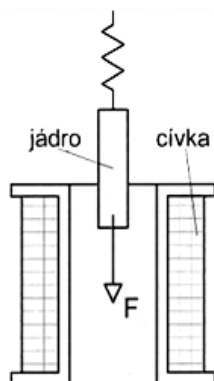
Univerzální přístroje musí mít dvojitý dělení stupnice - pro stejnosměrné proudy a napětí rovnoměrné, pro střídavé veličiny nerovnoměrné.

V praxi se univerzální přístroje se doplňují větším počtem přídatných obvodů, lze např. měřit i elektrický odpor. Modernější přístroje bývají vybaveny elektronickými ochrany, obvody pro zkoušení tranzistorů, diod, měření kapacity atp.

### 8.11 Feromagnetické (elektromagnetické) měřicí přístroje

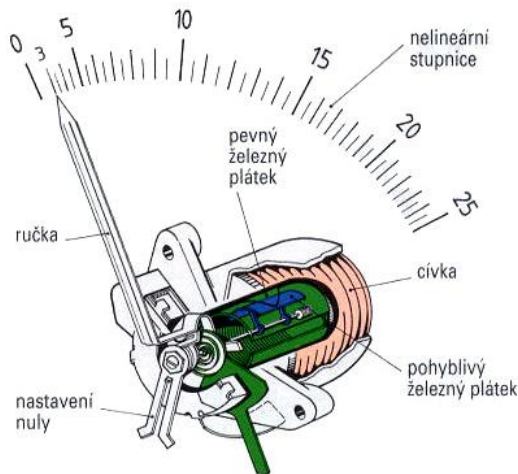
Princip těchto přístrojů je založen na silovém působení dvou feromagnetických plíšků nacházejících se v magnetickém poli cívky.

U původního konstrukčního uspořádání, zachyceného na obr. 8.15, bylo do dutiny válcové cívky vtahováno určitou (direktivní) silou feromagnetické jádro zavěšené na pružině, když cívkou procházel proud. To je vlastně stejná situace jako u principu elektromagnetu. Proto se tyto přístroje někdy označují jako elektromagnetické. V současnosti se toto uspořádání měřicího obvodu používá jen u některých zkoušeček pro zjištění orientačního napětí. Přístroje mají označení např. ZN 1 či starší VADAS.



Obr. 8.15 Původní konstrukční uspořádání feromagnetického měřicího přístroje  
(převzato z [2])

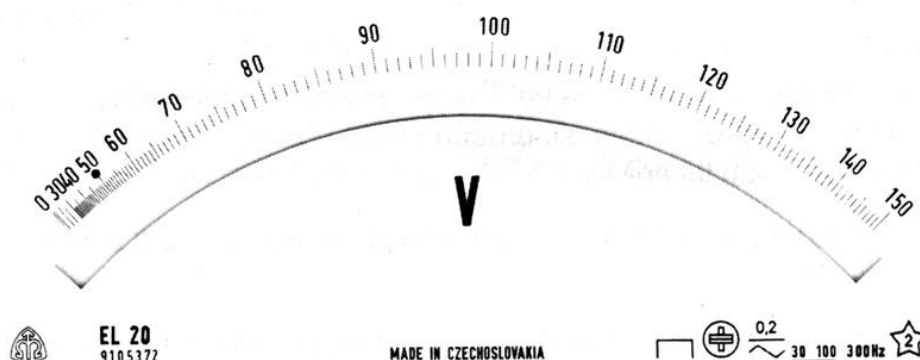
V současné době se používané přístroje (obr. 8.16) skládají z pevné válcové cívky, na jejíž vnitřní straně je umístěn pevný plíšek. Druhý, pohyblivý plíšek, je umístěn na hřídelce otočného ústrojí. Protéká-li cívkou proud, oba plíšky se vlivem vzniklého magnetického pole zmagnetují souhlasně a začnou se odpuzovat. Pohyblivý plíšek se začne pevnému vzdalovat a tím natáčí ručku. Direktivní moment ústrojí je tvořen spirálovou pružinou. Dojde-li k vyrovnání pohybového momentu vyvozeného odpudivou silou plíšků a direktivního momentu pružiny, ručka se ustálí v rovnovážné poloze.



Obr. 8.16 Mechanická konstrukce feromagnetického měřicího přístroje současné doby  
(převzato z [22])

Přístroje pracují se slabým magnetickým polem, proto u nich nelze použít magnetické tlumení. Používá se tlumení vzduchové - pomocí křídélka pohybujícího se v uzavřené vzduchové komůrce.

Výchylka feromagnetických přístrojů je úměrná druhé mocnině proudu protékajícího cívkou, stupnice je tedy nerovnoměrná. Kvadratická závislost výchylky na proudu může být částečně linearizována vhodným tvarem a počáteční polohou plíšků. Počátek stupnice má však vždy zhuštěné dělení (viz obr. 8.17) a nelze tedy odečítat malé výchylky měřené veličiny (asi do 1/10 až 1/5 rozsahu). Zbylá část stupnice má již přibližně lineární dělení.



Obr. 8.17 Stupnice feromagnetického přístroje se zhuštěným počátkem stupnice  
(převzato z [2])

Vlastnosti feromagnetických měřicích přístrojů:

- feromagnetické (elektromagnetické) přístroje měří efektivní hodnotu proudu a efektivní hodnotu napětí
- používají se téměř výhradně pro měření střídavých veličin (měření stejnosměrných veličin je možné, ale přístroje mají nižší přesnost, proto je vhodnější použít magnetoelektrické přístroje)
- běžně se vyrábějí pro proudy od 0,1 A až do 100 A, napětí do 600 V
- mají nižší přesnost a vyšší spotřebu než přístroje magnetoelektrické (běžně 0,5 % až 1 %), laboratorní feromagnetické přístroje lze však vyrobit i jako velmi přesné s třídou přesnosti 0,1 % až 0,2 %
- jsou jednoduché, levné, odolné, mají velkou přetížitelnost (proud se přivádí pouze do pevné cívky, která je dobře chlazená), proto jsou to nejpoužívanější analogové přístroje pro měření střídavých veličin
- změna rozsahu ampérmetrů se provádí nejčastěji změnou počtu závitů měřicí cívky, u voltmetrů se rozsah obvykle mění předřadníky
- stupnice je na počátku zhuštěná (nerovnoměrná)
- používají se pro kmitočty do několika set Hz
- pracují se slabým vlastním magnetickým polem, proto je velký vliv cizích elektromagnetických polí, měřicí ústrojí přesnějších přístrojů je proto nutno dobře stínit

## 8.12 Ostatní měřicí přístroje

### 8.12.1 Elektrodynamické měřicí přístroje

Princip elektrodynamických přístrojů je podobný přístrojům magnetoelektrickým. Elektrodynamický přístroj má otočnou cívku s pružinami pro vyvolání direktivního momentu. Pružiny zároveň slouží jako přívod proudu do této cívky. Pohybový moment u těchto přístrojů vzniká silami působícími v magnetickém poli na vodiče otočné cívky. Rozdíl mezi magnetoelektrickým a elektrodynamickým ústrojím je tedy v tom, že otočná cívka se nenalézá v poli permanentního magnetu, ale v magnetickém poli vybuzeném pevnou cívkou.

Vlastnosti elektrodynamických měřicích přístrojů:

- dnes se používají výhradně jako wattmetry pro měření buď výkonu stejnosměrného proudu, nebo činného a jalového výkonu střídavého proudu s kmitočty maximálně do 1000 Hz.
- laboratorní wattmetry mívají třídu přesnosti 0,1 % až 0,2 %, běžné přístroje 0,5 %.
- vlastní spotřeba je poměrně velká, spotřeba proudového obvodu bývá nejvýše několik VA, napěťový obvod má spotřebu až třikrát vyšší - do 10 VA.
- přetížitelnost proudových cívek je vysoká, krátkodobě snesou až 10-ti násobek jmenovitého proudu, napěťová cívka snese max. 120 % jmenovité hodnoty rozsahu.
- elektrodynamické přístroje pracují se slabým vlastním magnetickým polem, cizí rušivá magnetická pole mohou způsobit velké chyby měření. Vliv vnějšího elektromagnetického pole snižujeme pečlivě provedeným stíněním nebo astatizováním. Aby se dosáhlo dobrých stínících účinků, je třeba použít magneticky kvalitních měkkých materiálů.

### 8.12.2 Ferodynamické měřicí přístroje

Princip ferodynamické soustavy je stejný jako je princip funkce elektrodynamického přístroje, rozdíl je pouze v tom, že ferodynamické přístroje mají magnetický obvod, v jehož vzduchové mezeře se pohybuje otočná cívka. Magnetický tok je buzen pevnou cívkou. Převážná část magnetického toku je soustředěna ve feromagnetiku a ve vzduchové mezeře se tak dosáhne větší magnetické indukce, než v případě elektrodynamického ústrojí. Proto mají tyto přístroje větší pohybový moment. Díky feromagnetickému jádru se podstatně sníží vliv cizích elektromagnetických polí, proto je lze používat i bez stínění jako rozváděčové přístroje. Ferodynamické přístroje mívají magnetické tlumení pomocí permanentního magnetu, do jehož vzduchové mezery zasahuje segment z hliníkového plechu.

Vlastnosti ferodynamických měřidel:

- používají se jako wattmetry pro měření výkonu střídavého proudu technického kmitočtu 50 Hz až 60 Hz; pro měření výkonu stejnosměrného proudu se nepoužívají (z důvodu remanence magnetického obvodu)
- lze je vyrobit s třídou přesnosti nejvýše 0,5 % až 1 %
- díky velkému pohybovému momentu se mohou používat v registračních přístrojích, zpravidla k přímému záznamu výkonu v závislosti na čase

### 8.12.3 Indukční měřicí přístroje

Princip indukčního měřicího ústrojí je založen na tom, že se v otočné části, kterou bývá hliníkový kotouč, indukují proudy střídavým magnetickým tokem několika elektromagnetů. Vzájemným působením těchto proudů a magnetického pole vzniká pohybový moment. Otočné ústrojí (kotouč) nemá žádné přívody, proudy v něm vznikají pouze indukcí střídavých magnetických toků pevných cívek. Podmínkou funkce je tedy napájení **střídavým proudem**, takže tuto soustavu není možné použít k měření v obvodech stejnosměrného proudu.

Vlastnost indukčních měřicích přístrojů:

- používají se výhradně jako měřiče elektrické práce (spotřeby el. energie, elektroměr)
- jsou určeny pouze pro síťový kmitočet 50 Hz
- vlastní spotřeba je velká, bývá 15 VA až 20 VA
- dovolené chyby běžných elektroměrů určených pro domácnosti jsou  $\pm 3 \%$ , pro měření velkých odběrů  $\pm 0,2 \%$
- mají velkou přetížitelnost, která je daná tím, že se do otočné části proud nepřivádí, ale vzniká indukcí; proudové obvody snesou trvalé přetížení až 100 %, krátkodobě až desetinásobek jmenovitého proudu
- teplotní závislost indukčního ústrojí není, pracují na základě rovnováhy mezi pohybovým a brzdícím momentem a oba tyto momenty jsou stejně závislé na odporu kotouče, takže teplotní závislost se neprojeví
- vliv cizích magnetických polí je zanedbatelný, přístroje pracují se silným vlastním magnetickým polem

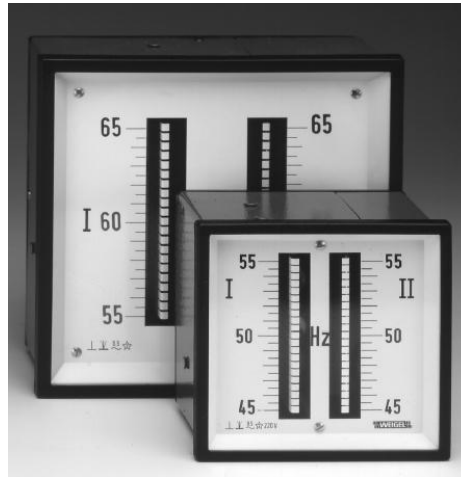
### 8.12.4 Rezonanční měřicí přístroje

Rezonanční přístroje využívají rezonance části své soustavy s kmity měřené střídavé veličiny.

*Jazýčkové kmitoměry* pracují na principu feromagnetického měřicího ústrojí, které se skládá z řady ocelových jazýčků, jež jsou naladěny na kmitočty vlastních mechanických kmitů. Jazýčky jsou v blízkosti elektromagnetu s cívkou, která je napájena střídavým proudem, jehož kmitočet chceme určit. Nejvíce se rozkmitá ten jazýček, jeho vlastní kmitočet

je roven kmitočtu procházejícího proudu (s menším rozkmitem kmitají jazýčky kolem jazýčku s největší amplitudou, viz obr. 8.19).

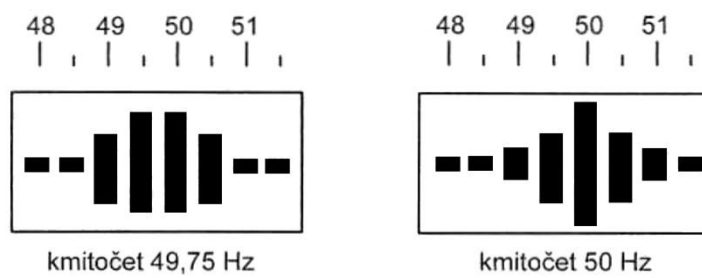
Setkat se můžete i se dvojitými kmitoměry (obr. 8.18), a to většinou v rozvodnách. Obsahují dvě samostatná vibrační měřicí ústrojí a používají se pro měření kmitočtů dvou různých střídavých napětí, např. kmitočtu napětí generátoru a kmitočtu napětí sítě.



Obr. 7.18 Dvojité kmitoměry (převzato z [20])

Vlastnosti kmitoměrů:

- používají se výhradně pro měření kmitočtu (frekvence)
- měřicí ústrojí jazýčkových kmitoměrů má jednu či několik řad jazýčků, jejichž vlastní kmitočty jsou odstupňovány zpravidla po 0,5 Hz či 1 Hz, nejčastěji pouze v oblasti okolo 50 Hz ( $\pm 5$  Hz)
- způsob odečítání kmitočtu z rozkmitaných jazýčků je patrný z obr. 8.19
- mez použití je asi 1000 Hz, běžně se však kmitoměry vyrábí pro měření frekvencí do 120 Hz
- třída přesnosti bývá obvykle 0,5 %, výjimečně 0,2 %
- do obvodu se zapojují paralelně
- při měření je třeba dbát na dodržení jmenovitého napětí
- velmi často se vyrábějí v rozváděčovém provedení pro použití v rozvodnách či ve línách



Obr. 8.19 Odečítání kmitočtu z rozkmitaných jazýčků (převzato z [2])



## 8 Digitální měřicí přístroje

### 9.1 Princip funkce

Princip měření těmito přístroji je zcela jiný než u přístrojů analogových. Základní částí číslicového měřidla je *analogově číslicový převodník*. Je to elektronický obvod, který převádí hodnotu elektrické veličiny (např. proudu nebo napětí) na číselnou hodnotu ve dvojkové soustavě. Tento údaj je přístrojem zpracován a výsledek, převedený z dvojkové soustavy do číslicové formy, se zobrazí na displeji.

Konstrukce číslicových přístrojů obsahuje řadu **elektronických obvodů**. Složitější přístroje jsou často řízeny mikroprocesorem a dovedou veličiny nejen změřit, ale i data připravit pro počítačové zpracování a grafické znázornění výsledků.

V současné době mají zásadní význam v oblasti elektrického měření. Naměřený údaj je zobrazován jako dekadické číslo na displeji. Nejvíce používané jsou digitální multimetry. Možnosti zpracování údajů jsou mnohem širší než u analogových přístrojů. Mohou být vybaveny doplňkovými funkcemi, např. pamětí minimální nebo maximální hodnoty, možnost propojení s počítačem atd.

Digitální multimetry se vyrábí pro běžné dílenské měření. Mají srovnatelnou nebo vyšší přesnost než mají analogové přístroje. Většinou to bývá okolo 1 %. Pro možnost sledování spojitě výchylky jsou kvalitnější multimetry vybavené sloupcovým ukazatelem – *bargrafem*. Pro přesné laboratorní měření se vyrábí kvalitní stolní digitální měřicí přístroje. Této kvalitě samozřejmě odpovídá i cena, která může být až do desítek tisíc korun.

Vlastnosti digitálních měřicích přístrojů jsou v podstatě určeny přesností (kvalitou) použitých součástek a také kvalitou základního číslicového voltmetru, který měří stejnosměrné napětí. Ostatní měřené veličiny musí být na stejnosměrné napětí převedeny.

### 9.2 Základní údaje o digitálních přístrojích

- **Počet zobrazovaných míst na displeji** – jedna za základních vlastností měřicího přístroje, po jeho zapnutí snadno rozpoznatelná. Displeje většinou zobrazují naměřenou hodnotu, jednotku, řád. Mají různý počet míst – tzv. digitů. Starší přístroje měly trojmístný displej. Tyto přístroje se již dnes nevyrábí. Nejčastější jsou vyráběny a používány displeje 3 a ½ místné (např. 3 a ½ místný displej má zobrazení 0000–1999) nebo 4 a ½ místné (zobrazení 00000–19999). Lze konstatovat, že čím

je digitální přístroj přesnější, tím má vyšší počet zobrazovaných míst a obráceně. Přesné laboratorní přístroje mohou mít až 8 a ½ místný displej.

- **Vstupní rozsahy** – běžné multimetry mají pro každou měřenou veličinu několik rozsahů. Ty jsou voleny tak, aby jejich hodnoty odpovídaly dekadickým násobkům základního rozsahu. Jiné hodnoty rozsahu nejsou možné. Obvykle jsou volené hodnoty od minimální po maximální možnou měřenou hodnotu. Pro stejnosměrné napětí jsou to hodnoty např. 200 mV, 2 V, 20 V, 200 V a 1000 V. Přístroje jsou konstruovány do rozsahu 1000 V, větší rozsah je 2000V, ale z bezpečnostních důvodů je možné používat přístroj pouze do 1000 V. Poslední rozsah musí být spočítaný na hodnotu 2000 V, ale toto napětí nelze prakticky přeměřit.
- **Překročení rozsahu** – jestliže měřená veličina má vyšší hodnotu než zvolený rozsah přístroje, displej v tomto případě zobrazuje většinou „I“ nebo „OL“ (overflow – přetečení).
- **Přesnost** – hodnotu udává výrobce, u běžných dílenských multimetrů se pohybuje od 0,5 % do 2 % až 3 %. Při měření stejnosměrné veličiny je téměř vždy přesnost přístroje vyšší. Na rozdíl od analogových přístrojů, kde třída přesnosti zahrnuje zpravidla všechny rozsahy, u digitálních multimetrů výrobci určují konkrétní přesnost pro každou skupinu rozsahů. Tyto údaje se většinou od sebe liší. Pro uživatele je to výhodnější, lépe se využívá vlastností přístroje. Pravda je ale, že nás to nutí při zpracovávání výsledků měření počítat chybu měření většinou víckrát. Údaje o přesnosti použitého digitálního přístroje najdeme v příbalovém prospektu zpravidla ve formě tabulek.
- **Časová stálost** – je to doba, po kterou by si přístroj měl udržet svoje vlastnosti. Nejméně to musí být v časové délce záruční doby přístroje, tzn. minimálně 2 roky. V manuálu k přístroji bývá uveden kalibrační interval - obvykle o bývá 1 rok.
- **Rozlišení** – vyjadřuje hodnotu nejmenší změny, kterou může měřicí přístroj zobrazit. Je to změna o 1 digit na posledním místě displeje. Tento údaj závisí na zvoleném rozsahu. Např. multimetr na rozsahu 199,9 mV (displej 3 a ½ místný) má rozlišení 0,1 mV. Nikdy se nemůžeme spoléhat, že přístroj s vysokým rozlišením měřené veličiny je automaticky přesnější. Před použitím přístroje je vždy nutné dobře se seznámit s technickými údaji výrobce.
- **Citlivost** – udává nejmenší možnou měřenou hodnotou na daném rozsahu přístroje. Obecně se odvozuje od rozlišení měřicího přístroje.

- **Vstupní impedance** – tento údaj se týká rozsahů pro měření napětí, je stejný na všech napěťových rozsazích. Má nejčastěji hodnotu 10 M $\Omega$ . Na proudových rozsazích multimetru vzniká napěťový úbytek asi 0,2 V na rozsah.
- **Analogově – číslicový převodník, jinak také převodník A/D** – nejdůležitější součástka digitálních přístrojů. Určuje základní rozsah měřicího přístroje vždy pouze pro stejnosměrné napětí. Ostatní veličiny musí být na toto napětí předem převedeny. U převodníku je důležitá rychlost měření. U dílenských multimetrů bývá minimálně 3 měření za sekundu.
- **Frekvenční pásmo** – je důležité pro měření střídavých veličin. Jedná se o údaj výrobce o rozsahu kmitočtu (frekvence) měřených veličin. Mimo tyto kmitočty je měření nepřesné. Např. je uvedeno pásmo 40 Hz – 400 Hz.
- **Programovatelnost** – důležitá vlastnost pro možnost užití multimetrů v různých měřicích systémech. Tuto vlastnost běžné multimetry nemají. Kvalitnější přístroje jsou opatřeny portem (sériovým nebo USB) pro možnost spojení s počítačem.
- **Autokalibrace** – digitální měřicí přístroj dovede provádět samočinné korekce změn vstupních parametrů.
- **Samočinný diagnostický test** – u přístrojů ve spojení s počítačem a s vhodným softwarem můžeme kontrolovat přesnost přístroje.
- Pro měření střídavých veličin je nutný údaj, jakým způsobem přístroj převádí střídavé veličiny na stejnosměrné napětí. Zda displej zobrazuje **efektivní** nebo **střední** hodnotu měřené veličiny.

Příklad podrobných informací o digitálním měřicím přístroji najdete v Příloze 2.

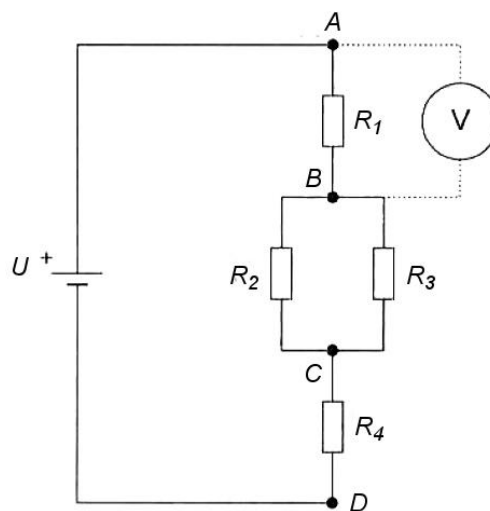


Obr. 9.1 Digitální multimetr **EM890G** (převzato z [9])

## 9 Měření elektrických veličin

### 10.1 Měření elektrického napětí

Přístroje sloužící k měření elektrického napětí se nazývají *voltmetry*. Připojují se vždy *paralelně* k prvku obvodu, na němž chceme hodnotu napětí zjistit. Chceme-li např. zjistit napětí na rezistoru o odporu  $R_1$  v obvodu na obr. 10.1, zapojíme voltmetr mezi body  $A$  a  $B$ . Chceme-li změřit napětí na paralelní kombinaci rezistorů o odporech  $R_2$  a  $R_3$ , připojíme přístroj mezi body  $B$  a  $C$ .



Obr. 10.1 Paralelní připojení voltmetru do měřeného obvodu (převzato z [2])

Při výběru voltmetru k měření napětí musíme mít na paměti, aby voltmetr zapojený do měřicího obvodu měl co nejmenší vliv na hodnotu proudu, který obvodem protéká. Neboli musíme vybrat voltmetr, který má co největší vnitřní odpor.

Přetížení voltmetru nastává tehdy, připojíme-li přístroj na vyšší napětí, než je zvolený měřicí rozsah. Na přetížení jsou velmi citlivé zejména magnetoelektrické a elektrodynamické přístroje, jejichž měřicí cívky jsou vinuté z tenkého vodiče a přetížením by mohlo dojít vlivem velkého proudu k tepelnému přetížení (poškození či úplnému spálení) cívek nebo roztavení přívodních pružin. Feromagnetické přístroje jsou vůči přetížení vždy odolnější, neboť jejich měřicí cívka je pevná, a může tak být bohatěji dimenzovaná.

Může se stát, že neznáme předem řádovou hodnotu měřeného napětí a ani ji nelze přibližně odhadnout. V tomto případě postupujeme tak, že na voltmetru nastavíme jeho *nej-*

vyšší rozsah a teprve po připojení přístroje do obvodu zvolíme případně rozsah nižší. Tím se vyhneme přetížení, resp. zničení přístroje.

### 10.1.1 Měření stejnosměrného elektrického napětí

Pro měření stejnosměrného napětí používáme nejčastěji *magnetoelektrické voltmetry*, které lze použít pro měření stejnosměrného napětí v rozmezí od několika set mV do přibližně 1000 V.

Magnetoelektrické voltmetry se vyznačují vysokou přesností, běžně to bývá 0,5 %, a malou spotřebou. U magnetoelektrických voltmetrů bývá vnitřní odpor  $r_i = 5000 \Omega/V$ , konstruují se však i voltmetry s extrémně malou spotřebou, jejich vnitřní odpor bývá až  $r_i = 100\,000 \Omega/V$ . Má-li však přístroj příliš velký vnitřní odpor, protéká měřicí cívkou jen velmi malý proud a měřidlo má malý pohybový moment. Tím pak klesá i jeho přesnost měření. Tyto přístroje mívají třídu přesnosti nejvýše 1 %.

Měřicí soustava s velmi velkým vnitřním odporem je soustava elektrostatická (její vnitřní odpor je teoreticky nekonečný). Elektrostatické voltmetry se v praxi používají pouze pro měření vysokého napětí. Pro měření běžných napětí desítek až stovek voltů se tyto přístroje nepoužívají, protože mají velmi malý pohybový moment.

Elektrodynamické voltmetry umožňují měření stejnosměrného napětí, ale dnes se tyto přístroje již téměř nepoužívají. Pokud ano, tak pouze v přesném laboratorním provedení, se kterým se technik v běžné praxi neseťkává.

Pro měření velmi malých napětí (řádově nV až  $\mu V$ ) slouží přístroje zvané *galvanometry* (obr. 10.2). Mají stupnici s 0 uprostřed.



Obr. 10.2 Galvanometr (převzato z [24])

### 10.1.2 Měření střídavých elektrických napětí

Hodnoty střídavých periodických napětí se s časem mění, a proto tato napětí charakterizujeme pomocí jejich *efektivní, střední nebo maximální* hodnoty, které jsou u ustáleného střídavého napětí konstantní.

Z praktických důvodů je většinou nejzajímavější efektivní hodnota napětí. Z analogových měřicích přístrojů ukazují efektivní hodnotu napětí feromagnetické přístroje, které se však vyznačují velkou spotřebou a kmitočtovou závislostí. Proto se obvykle feromagnetické přístroje užívají pouze pro měření napětí technického kmitočtu (tj. 50 Hz). Nejmenší proveditelný rozsah je asi 6 V, běžně se však používají pro měření napětí v rozmezí 65 V až 500 V. Běžné feromagnetické voltmetry mívají třídu přesnosti 1 % až 1,5 %. Velkou výhodou těchto přístrojů je to, že udávají i efektivní hodnotu nesinusových střídavých napětí. Tutéž vlastnost mají i voltmetry elektrodynamické, cenově jsou velmi drahé a proto se současně době téměř nevyrábějí. Dříve vyráběné elektrodynamické voltmetry mívaly vysokou přesnost (třída přesnosti 0,1 % až 0,2 %), proto se používaly pouze pro přesná měření v laboratořích a zkušebnách.

Pro přímé měření vysokých napětí ( $U > 1$  kV) se používají elektrostatické voltmetry (obr. 10.3). Jejich velkou výhodou je nezávislost výchylny na kmitočtu, proto je lze použít v oblastech vysokého kmitočtu, např. při dielektrických ohřevech (sušení dřeva, svařování fólií, výroba neoprénových obleků). Elektrostatické voltmetry udávají efektivní hodnotu napětí.

Pro měření střídavých napětí můžeme použít i magnetoelektrické voltmetry s usměrňovačem. Hlavní výhodou takových voltmetrů je jejich malá spotřeba, mají použitelnost do 20 kHz a umožňují měření střídavých napětí malých hodnot. Hlavní nevýhodou těchto voltmetrů je to, že neměří efektivní, ale střední hodnotu napětí. Stupnice je sice přepočítána a cejchována v efektivních hodnotách, platí ovšem pouze pro sinusový průběh napětí. Nejsme-li si jisti, že napětí na zátěži má sinusový průběh, musíme použít voltmetr feromagnetický, protože jinak se při měření dopustíme chyby, která bude tím větší, čím více se bude průběh měřeného napětí odchylovat od sinusového (tedy harmonického) průběhu.

Magnetoelektrické voltmetry s usměrňovačem lze bez problémů použít např. v oblasti silnoproudé elektrotechniky (pro měření na motorech a transformátorech). Třída přesnosti těchto voltmetrů obvykle nebývá větší než 1,5 %.



Obr. 10.3 Kontaktní elektrostatický voltmetr ESVM 821HH (převzato z [25])

### 10.1.3 Změna rozsahu voltmetru

Zvýšit rozsah voltmetru můžeme provést tak, že přidáme k voltmetru do série tzv. *předřadný rezistor (předřadník)*.

Změna rozsahu voltmetru pomocí předřadníku je nejčastější metodou, jak zvýšit měřicí rozsah ústrojí. Při měření napětí ve stejnosměrných obvodech je to jediný možný způsob, jak rozsah voltmetru zvýšit. Předřadné rezistory se používají u přístrojů všech soustav s výjimkou soustavy elektrostatické, kde je místo rezistoru třeba měřicímu ústrojí předřadit kondenzátor.

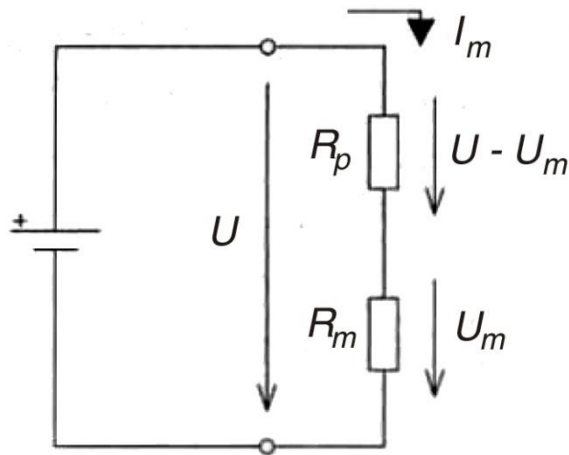
Pro maximální napětí, které může měřit magnetoelektrické měřicí ústrojí, platí:

$$U_m = R_m I_m,$$

kde  $R_m$  je odpor měřicí cívky a  $I_m$  maximální proud, který může protékat měřicí cívkou.

Obvykle je maximální dovolený proud, který určuje základní rozsah a použitelnost magnetoelektrického přístroje, velmi malý (zpravidla  $100 \mu\text{A}$  až  $5 \text{mA}$ ). Je tomu tak proto, že měřicí cívka je navinuta z tenkého vodiče. Odpor měřicí cívky bývá několik set ohmů, proto lze samotným magnetoelektrickým přístrojem měřit pouze malá napětí (nejvýše jednotky voltů). Abychom zvýšili rozsah magnetoelektrického voltmetru, zařazujeme do série

s měřicí cívku předřadný rezistor (předřadník) o odporu  $R_p$ . Na obr. 10.4 je idealizované schéma magnetoelektrického voltmetru s předřadníkem. Rezistor s odporem  $R_m$  představuje odpor otočné cívky. Protéká-li obvodem dovolený proud  $I_m$ , vznikne na předřadníku úbytek napětí dané rozdílem celkového napětí obvodu a úbytku napětí na měřicí cívce.



Obr. 10.4 Idealizované schéma magnetoelektrického voltmetru s předřadníkem

(převzato z [2])

Abychom mohli určit, jak velký odpor musí předřadník mít, zavádíme veličinu **poměrné zvětšení rozsahu** (poměr předřadníku) definovanou vztahem

$$n = \frac{U}{U_m}.$$

Poměr předřadníku  $n$  nám tedy udává, kolikrát se zvětší napěťový rozsah voltmetru.

Pro odpor  $R_p$  předřadníku potom platí vztah

$$R_p = R_m(n - 1).$$

Uvedeme si praktický výpočet hodnoty odporu předřadníku řešením následujícího problému.

Malý, panelový magnetoelektrický přístroj má na číselníku uveden dovolený proud měřicího ústrojí 1 mA. Přesným číslicovým ohmmetrem jsme zjistili, že jeho měřicí cívka má odpor 500  $\Omega$ . Určete, jak velký odpor musí mít rezistor předřazený k přístroji (tedy předřadník), abychom přístrojem mohli měřit napětí do 15 V.



## Řešení

Základní napěťový rozsah přístroje určíme užitím Ohmova zákona, tj. platí

$$U_m = R_m I_m = 500 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ V} = 0,5 \text{ V}.$$

Poměr předřadníku

$$n = \frac{U}{U_m} = \frac{15}{0,5} = 30.$$

Odpor předřadníku pak je

$$R_p = R_m(n - 1) = 500 \cdot (30 - 1) \Omega = 14\,500 \Omega = 14,5 \text{ k}\Omega.$$

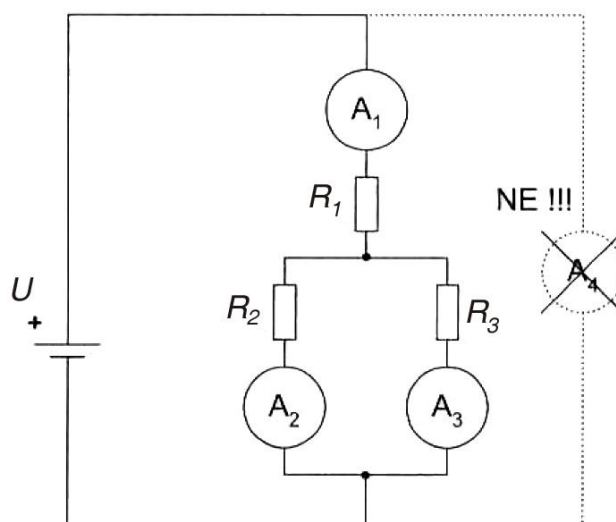
Pokud s měřicím přístrojem zařadíme do série rezistor s odporem 14,5 k $\Omega$ , bude s takto upraveným zapojením možné měřit napětí do 15 V a stupnici můžeme pro tento rozsah přímo ocejchovat.

Předřadníky určené k zabudování do přístroje se zhotovují ve tvaru velmi malých cívek. Navíjejí se z manganinového drátu, aby se změnami teploty nedocházelo ke změnám jejich elektrického odporu (manganin má velmi malý teplotní součinitel elektrického odporu a proto při běžných měřeních lze změnu tohoto odporu vlivem teploty zanedbat). Předřadníky určené pro voltmetry na střídavý proud se musí vinout bezindukčně (tedy s bifilárním vinutím).

V měřicím přístroji jsou předřadníky uloženy odděleně od měřicího ústrojí, protože měřicí cívka je vinutá z měděného vodiče a při jejím zahřátí ztrátovým teplem předřadníků by docházelo k chybným měřením. Předřadníky se proto vkládají do přední strany přístroje a v krytu jsou vyvrtány větrací otvory. Do vlastního přístroje se umísťují předřadníky pro rozsahy asi do 750 V, pro měření vyšších napětí je třeba použít externí předřadníky (pozor – neplést si s elektronickým předřadníkem, např. u zářivek).

## 10.2 Měření elektrického proudu

K měření elektrického proudu se používají *ampérmetry*. Ampérmetr zapojujeme vždy do série s prvkem obvodu, u něhož chceme zjistit, jaký proud jím protéká. Na obr. 10.5 měří ampérmetr  $A_1$  celkový proud v obvodu, ampérmetr  $A_2$  proud tekoucí rezistorem o odporu  $R_2$  a ampérmetr  $A_3$  proud rezistorem o odporu  $R_3$ .



Obr. 10.5 Sériové připojení ampérmetru do měřeného obvodu (převzato z [2])

Ampérmetr by neměl mít na obvod žádný vliv, úbytek napětí, který na něm při průchodu proudem vzniká, by měl být pokud možno malý. Proto musí mít ampérmetr co **nejmenší vnitřní odpor**. Z tohoto důvodu se ampérmetr **nikdy** nesmí zapojovat do obvodu paralelně. Spleteme-li způsob zapojení ampérmetru, jak je naznačeno u ampérmetru  $A_4$  na obr. 9.3, může se stát, že ampérmetr velice rychle zničíte, protože v tomto případě měříme zkratový proud zdroje, který většinu ampérmetrů „spálí“.

Pokud chceme zjistit *vnitřní odpor ampérmetru* (obvykle nebývá na číselníku uveden), musíme nastavit na přístroji jeho maximální výchylku a milivoltmetrem změřit úbytek napětí mezi svorkami přístroje. Z těchto hodnot pak pomocí Ohmova zákona vnitřní odpor měřicí cívky snadno vypočítáme. Vnitřní odpor mikroampérmetrů bývá v intervalu  $100 \Omega$  až  $1000 \Omega$ . Se zvyšujícím se proudovým rozsahem přístroje vnitřní odpor klesá, ampérmetry pro měření proudu v jednotkách ampérů mají vnitřní odpor desetiny až setiny ohmů.

Přetížení je u ampérmetrů magnetoelektrické soustavy stejně nebezpečné jako je tomu u voltmetrů, protože velkým proudem může dojít ke spálení vinutí měřicí cívky nebo k poškození direktivních pružin. Pokud se pružiny přehřejí, ztratí snadno pružnost, direktivní moment se pak sníží a přístroj ukazuje vyšší proud, než ve skutečnosti ampérmetrem protéká.

Ampérmetry feromagnetické soustavy jsou na přetížení poměrně málo náchylné, protože proud protéká pouze dobře dimenzovanou pevnou cívkou.

Chceme-li zapojit ampérmetr do obvodu, o němž nevíme, jak velký proud by jím mohl protékat, navolíme na přístroji jeho *nejvyšší* rozsah a teprve až po připojení na zdroj zvolíme rozsah nižší.

### 10.2.1 Měření stejnosměrného elektrického proudu

Pro měření stejnosměrného proudu používáme měřicí přístroje stejných soustav jako pro měření stejnosměrného napětí, tedy v dnešní době především soustava magnetoelektrická. Nejcitlivější magnetoelektrické galvanometry jsou schopny měřit i proudy řádově  $10^{-11}$  A (10 pA). Běžné ampérmetry se vyrábějí pro měření proudů od 1  $\mu$ A do až 10 kA.

Nejvyšší přesnost magnetoelektrických stejnosměrných ampérmetrů bývá 0,2 %, třída přesnosti 0,1 % se vyskytuje pouze u nejpřesnějších laboratorních přístrojů.

Chceme-li měřit elektrický proud přesně a nemáme k dispozici laboratorní ampérmetr, můžeme hodnotu proudu změřit pomocí voltmetru a odporového normálu. Do obvodu měřeného proudu zařadíme odporový normál s malou hodnotou elektrického odporu a milivoltmetrem (stejnoseměrné napětí lze měřit poměrně přesně i např. běžným multimetrem) na něm změříme úbytek napětí. Milivoltmetr však musíme připojit na napěťové svorky a přívodní vodiče k normálu na proudové, abychom se vyhnuli vlivu přechodových odporů. Proud obvodem pak vypočteme užitím Ohmova zákona.

### 10.2.2 Měření střídavého elektrického proudu

Pro měření hodnot střídavého proudu jsou nejvhodnější přístroje feromagnetické. Jejich velkou výhodou je to, že udávají přímo efektivní hodnotu měřeného proudu, bez ohledu na to, zda je průběh proudu sinusový či nikoliv. Další výhodou je jednoduchá, velmi odolná konstrukce těchto přístrojů, tedy i jejich nízká cena.

Běžné feromagnetické ampérmetry (s hrotovým uložením) se vyrábějí pro rozsahy od 100 mA do 100 A, někdy až do 200 A. Existují i feromagnetické ampérmetry pro měření proudů od 1 mA s uložením na napnutých vláknech, jejich cena již tak výhodná není a proto se příliš nerozšířily.

Běžnému provedení malých rozsahů brání velký úbytek napětí na měřicí cívce (cívka musí mít velký počet závitů, aby vytvořila dostatečně silné magnetické pole pro pohyb otočného ústrojí). Provedení ampérmetrů nad 200 A by zase měly příliš malý počet závitů cívky a tím by vznikala při měření značná chyba vlivem odporu přívodů.

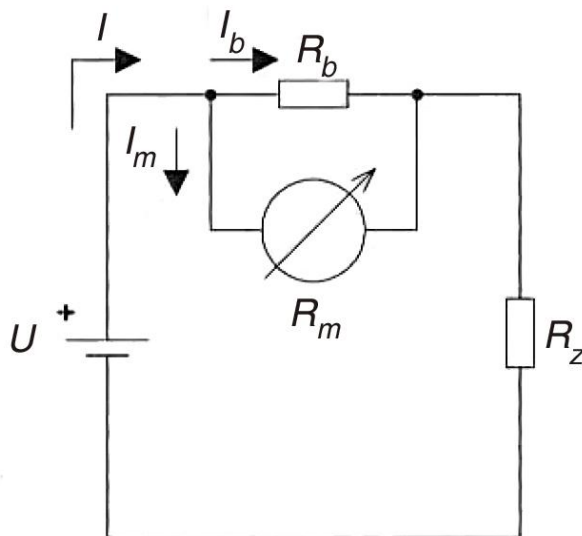
K nevýhodám feromagnetických ampérmetrů patří jejich velká vlastní spotřeba a také možnost měřit proud pouze technických kmitočtů.

Použití magnetoelektrických ampérmetrů s usměrňovačem je vhodné pouze pro měření proudů sinusového průběhu. Tyto přístroje měří *střední* hodnotu, ale stupnici mají cejchovanou v *efektivních* hodnotách proudu, avšak pouze *sinusového průběhu*. Pokud měříme těmito přístroji proud nesinusového průběhu, dopouštíme se tím větší chyby, čím více se proud od sinusového průběhu odchyluje. Pro jejich používání pak hovoří velmi malá spotřeba a možnost použití v oblasti od 0,2 mA až 10 A.

Přístroje ostatních soustav se pro měření v současné době nepoužívají.

### 10.2.3 Změna rozsahu ampérmetru

Jako jedna z možností zajištění změny rozsahu ampérmetru se používají rezistory, které se nazývají *bočníky*. Jsou paralelně zapojené k ampérmetru. Bočník je tedy zařízení, které slouží ke zvětšení měřicího rozsahu magnetoelektrických ampérmetrů. Oblast jeho použití je omezena na obvody stejnosměrného proudu.



Obr. 10.6 Zvětšení měřicího rozsahu ampérmetru bočníkem (převzato z [2])

Magnetoelektrické mikro a miliampérmetry s rozsahem do 20 mA mají měřicí cívku provedenou přímo pro měření proudů příslušné hodnoty. Když chceme měřit větší proudy, byla by již měřicí cívka příliš rozměrná (a tím také těžká) a realizace takového přístroje by

byla velmi obtížná. Proto se používá měřicí cívka s malým základním rozsahem a připojuje se k ní paralelně rezistor, tzv. **bočník**. Zapojení ampérmetru s bočníkem je na obr. 10.6.

Měření proudu pomocí bočníku znamená vlastně měření úbytku napětí na bočníku. Magnetoelektrické ampérmetry jsou tedy v podstatě milivoltmetry měřící úbytek napětí na bočníku. Zavedeme-li veličinu *poměrné zvětšení rozsahu*  $n$  (poměr bočníku) vztahem

$$n = \frac{I}{I_m},$$

můžeme pro odpor  $R_b$  bočníku psát vztah:

$$R_b = \frac{R_m}{n-1}.$$

Ukažme si použití těchto vztahů řešení následující úlohy:

Pomocí magnetoelektrického přístroje s rozsahem 200  $\mu\text{A}$  a vnitřním odporem 1  $\text{k}\Omega$  máte měřit proud až do 2 A. Určete odpor bočníku, který musíte k danému přístroji připojit, aby takové měření bylo možné bez poškození přístroje.

Řešení:

Poměr bočníku vypočítáme ze vztahu

$$n = \frac{I}{I_m} = \frac{2}{2 \cdot 10^{-4}} = 10^4.$$

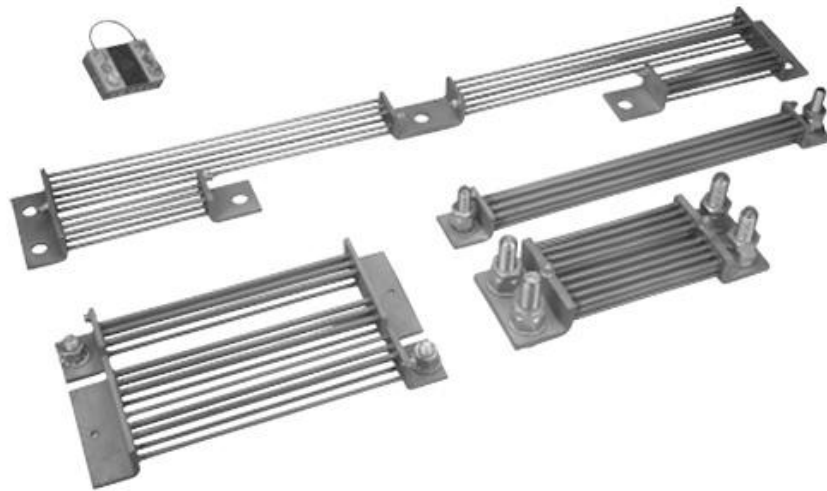
Odpor bočníku je

$$R_b = \frac{R_m}{n-1} = \frac{1000}{10^4-1} \Omega \approx 0,1 \Omega.$$

Bočník k uvedenému přístroji bude mít odpor 0,1  $\Omega$ .

Bočníky se podobně jako předřadníky umísťují do přední části přístrojů, aby svými teplotními účinky neovlivňovaly přesnost měření vlastního magnetoelektrického ústrojí. V přední části krytu jsou jako u voltmetrů ventilační otvory, aby se bočníky lépe chladily. Ampérmetry s vestavěnými bočníky se stavějí pro měření proudu do hodnot několika desítek ampérů - běžně do 30 A.

Bočníky často tvoří oddělené příslušenství ampérmetru (obr. 10.7). Bočníky pro malé proudy se vinou z tenkého izolovaného manganinového drátu, pro vyšší proudy (jednotky až desítky ampérů) jsou tvořeny několika závitů silného drátu, případně meandru z vodiče obdélníkového průřezu.



Obr. 10.7 Samostatné bočníky s úbytkem napětí pro elektrické měřicí přístroje (převzato z [26])

#### 10.2.4 Klešťové ampérmetry

Pro měření proudu při provozních měřeních je často nutné použít tzv. *klešťové ampérmetry* – viz obr. 10.8. Jsou to speciální ampérmetry, které se skládají z měřicího transformátoru proudu, jehož magnetický obvod lze pomocí izolovaných rukojetí rozevřít jako čelisti kleští a obemknout jimi vodič, kterým protéká měřený proud. Na magnetickém obvodu je navinuto sekundární vinutí, které je přímo spojeno s malým magnetoelektrickým ampérmetrem s usměrňovačem, který má stupnice cejchované přímo v proudech jednotlivých rozsahů měřicího transformátoru.

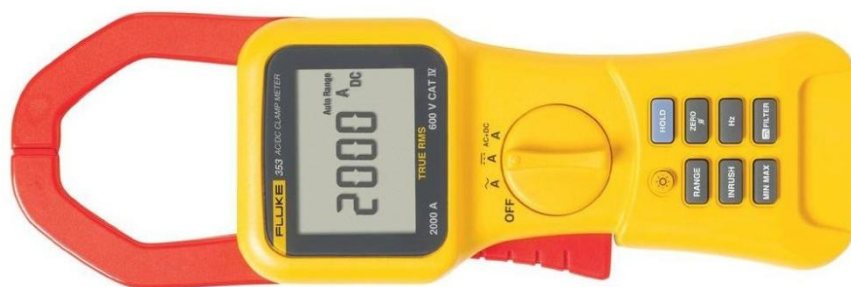
Změna rozsahu klešťového ampérmetru se provádí přepínáním odboček na sekundárním vinutí. Sekundární vinutí bývá rozloženo po celé délce magnetického obvodu, aby se tak snížil nepříznivý vliv rozptylu, který se mění polohou primárního vodiče uvnitř čelistí.

Moderní klešťové ampérmetry jsou vybaveny analogově-číslíkovým převodníkem a displejem, výstupem je potom číslíkový údaj.

Nevýhodou konstrukce klešťových ampérmetrů je to, že mají rozevíratelný magnetický obvod klešťových transformátorů a tím jsou vytvořeny určité vzduchové mezery mezi dosedacími ploškami (i když jsou tyto plošky pečlivě broušeny). Tím je přesnost klešťových ampérmetrů poměrně malá, obvyklá bývá 2,5 %.

Klešťové ampérmetry se obvykle doplňují dvojicí svorek, na něž se připojují vodiče pro měření napětí.

Klešťové ampérmetry se v praxi používají velmi často, protože mají velkou výhodu v tom, že *není třeba rozpojovat měřený obvod při měření*. Používají se v silnoproudé elektrotechnice, vyrábějí se pro měření proudů do stovek kA.



Obr. 10.8 Moderní digitální klešťový ampérmetr Fluke 355 True RMS 2000 A  
(převzato z [10])

### 10.3 Měření elektrického odporu

Elektrický odpor (dále jen odpor, někdy se používá termín ohmický odpor) je jedna ze základních vlastností všech pasivních i aktivních prvků, elektrických spotřebičů, obvodů, izolace či jiných elektrických zařízení. Z hlediska hodnot odporů můžeme odpory rozdělit do dvou skupin na:

- malé odpory – do 100  $\Omega$
- velké odpory – nad 100  $\Omega$

Pokud chceme měřením stanovit pouze odpor daného obvodu, musíme k napájení obvodu použít *stejnoseměrný* proud. U libovolné zátěže by se připojením do obvodu střídavého proudu projevil i další její vlastnosti, tj. indukčnost a kapacita. Měřením při střídavém napájení bychom nezjistili hodnotu odporu, ale hodnotu impedance obvodu.

Při měření odporu působí různé rušivé vlivy, které mohou ovlivňovat zejména měření velmi malých nebo velmi velkých odporů. O rušivých vlivech pojednáme při řešení problematiky měření odporu příslušné hodnoty.

Pro odpor je charakteristickou vlastností jeho závislost na teplotě. Nejvhodnější je proto měřit odpor při té teplotě, při níž ho potřebujeme znát. Měříme-li odpor při jiné teplotě, je nutno naměřenou hodnotu na příslušnou teplotu přepočítat.

Pro měření ohmických odporů můžeme použít tři způsobů - *výchylkové metody* (měření pomocí klasických přístrojů), *nulové metody* (měření odporu pomocí můstků) a měření *ohmometry* (přístroje přímo ukazující hodnotu odporu). Některé tyto metody si zde popíšeme podrobněji.

### 10.3.1 Měření odporu Ohmovou metodou

Ohmova metoda měření odporu je klasický způsob nepřímého měření, při němž vypočítáváme odpor měřené zátěže pomocí Ohmova zákona na základě změřeného proudu zátěží a napětí na zátěži.

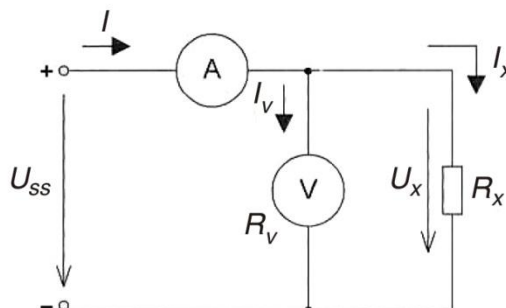
Pro měřený odpor  $R_x$  tedy platí:

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} ,$$

kde  $U_x$  je úbytek napětí na měřené zátěži (např. rezistoru),  $I_x$  proud protékající zátěží, jejíž odpor chceme zjistit.

K měření lze použít dvou možností zapojení, jak je znázorněno na obr. 10.9 a obr. 10.10. Měření se provádí zásadně při napájení stejnosměrným proudem, k měření proudu a napětí se tedy nejčastěji používají magnetoelektrické přístroje.

- **Zapojení pro prvky s malými odpory**



Obr. 10.9 Schéma zapojení pro měření malých odporů (převzato z [2])



Pro hledaný odpor  $R_x$  platí:

$$R_x = \frac{U_x}{I_x},$$

kde  $U_x$  je úbytek napětí na měřeném prvku (zátěži),  $I_x$  proud protékající měřeným prvkem (zátěží).

Z obrázku 10.9 je vidět, že voltmetr měří přímo napětí  $U_x$  na zátěži, ale ampérmetr neměří pouze proud  $I_x$  procházející zátěží, ale také proud  $I$ , který je dán součtem proudu  $I_x$  tekoucím zátěží a proudem  $I_v$  tekoucím voltmetrem. Platí tedy podle prvního Kirchhoffova zákona

$$I = I_x + I_v.$$

Po dosazení do tohoto vztahu za proud  $I_x$  tedy dostaneme

$$R_x = \frac{U_x}{I - I_v}.$$

Pro proud  $I_v$  voltmetrem platí vztah

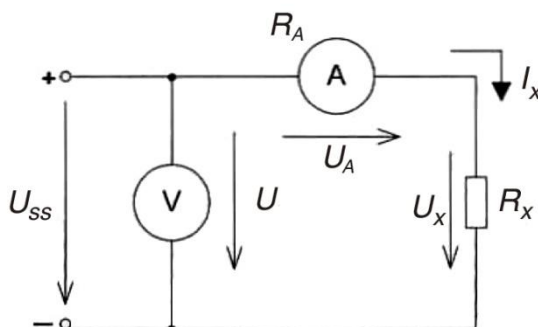
$$I_v = \frac{U_x}{R_v},$$

Kde  $R_v$  je vnitřní odpor voltmetru.

Pokud bychom počítali odpor zátěže pouze jako podíl hodnot naměřených voltmetrem a ampérmetrem, dopustili bychom se určité chyby použité metody.

Je-li však  $R_v$  značně větší než  $R_x$  ( $R_v > 10^3 R_x$ ), lze chybu zanedbat a odpor zátěže přímo počítat jako poměr z naměřeného napětí a proudu.

- **Zapojení pro prvky o velkých odporech**



Obr. 10.10 Schéma zapojení pro měření velkých odporů (převzato z [2])

Pro měřený odpor  $R_x$  platí:

$$R_x = \frac{U_x}{I_x},$$

kde  $U_x$  je úbytek napětí na zátěži o hledaném odporu a  $I_x$  je proud protékající měřenou zátěží o hledaném odporu.

Jak je vidět ze zapojení podle schématu na obr. 10.10, měříme ampérmetrem přímo proud  $I_x$  tekoucí zátěží, voltmetr však neměříme pouze úbytek napětí na měřené zátěži, ale součet úbytků napětí na ampérmetru a na zátěži. Platí

$$U = U_x + U_A,$$

tedy

$$R_x = \frac{U - U_A}{I_x}.$$

Pro úbytek napětí na ampérmetru platí

$$U_A = R_A I_x,$$

kde  $R_A$  je vnitřní odpor ampérmetru pro zvolený rozsah.

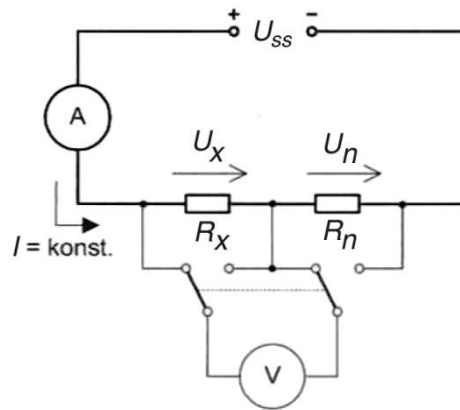
Pokud bychom počítali odpor zátěže pouze jako podíl hodnot naměřených voltmetrem a ampérmetrem, dopustili bychom se určité chyby metody.

Je-li však  $R_x$  značně větší než  $R_A$  ( $R_x > 10^3 R_A$ ), lze chybu zanedbat a odpor přímo počítat z naměřených hodnot napětí a proudu.

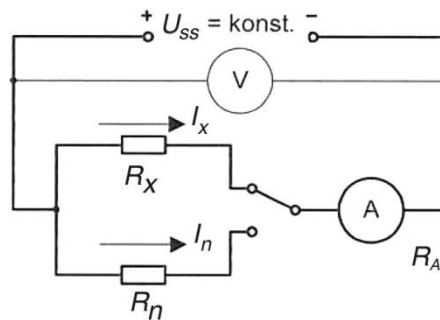
### 10.3.2 Některé další výchylové metody měření elektrického odporu

Kromě výše probrané metody měření odporu se používají i další vhodné metody. Uvedeme si jejich přehled:

- **Srovnávací metoda** – při měření odporu porovnáváme neznámý odpor s odporem známé hodnoty (zpravidla odporovým normálem). Podobně jako u Ohmovy metody i zde rozeznáváme zapojení pro zátěže s malým a velkým odporem (obr. 10.11 a 10.12).

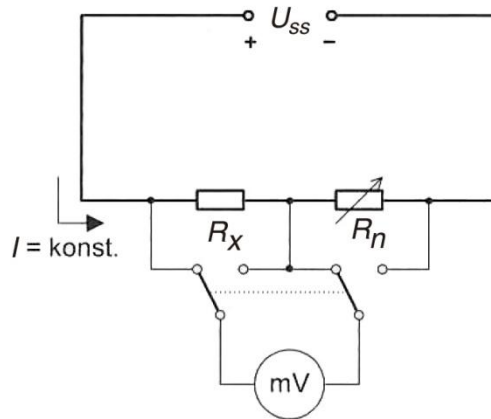


Obr. 10.11 Schéma pro měření malých odporů srovnávací metodou (převzato z [2])



Obr. 10.12 Schéma pro měření velkých odporů srovnávací metodou (převzato z [2])

- Substituční metoda** – je zvláštním případem metody srovnávací. Při měření nastavujeme vždy stejné výchylky na měřicích přístrojích. Při měření odporu substituční metodou nahrazujeme odporový normál přesnou odporovou dekádou. Chyba metody i chyba vzniklá nepřesností měřicího přístroje je v tomto případě nulová, protože odečítáme v obou případech při stejných výchylkách. Přesnost měření ovlivňuje pouze přesnost odporové dekády. Měření však trvá mnohem déle než při použití srovnávací či Ohmovy metody vlivem nastavování správného odporu na dekádě (obr. 10.13).



Obr. 10.13 Schéma pro měření odporů substituční metodou (převzato z [2])

### 10.3.3 Můstkové metody měření odporu

U výchylkových metod měření odporu (kromě metody substituční) ovlivňuje výsledek měření přesnost použitých měřicích přístrojů. U můstkových metod se obvykle měřicí přístroj - galvanometr používá pouze k indikaci stavu můstku, takže jeho chyba neovlivňuje přesnost měření.

Měření tzv. činného odporu pomocí můstků patří mezi nejpřesnější metody měření odporu, protože lze dosáhnout přesnosti měření až 0,01 %. Zapojení můstků a měření s nimi je však mnohem náročnější než u výchylkových metod, proto jsou hlavní oblastí jejich použití především přesná laboratorní měření.

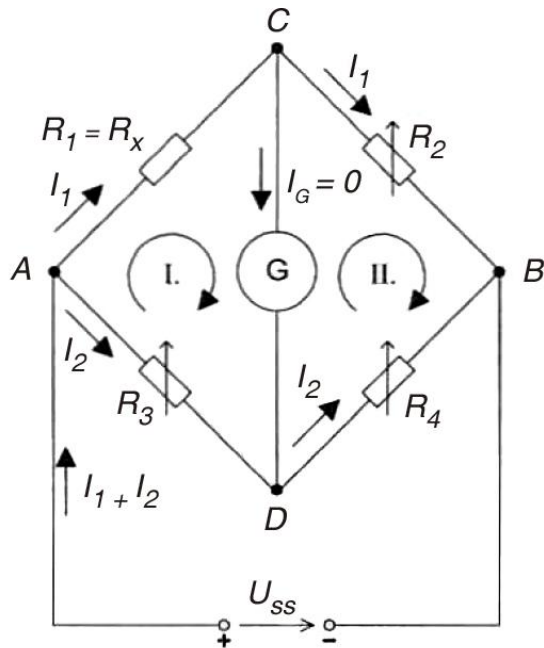
Pro měření činného odporu se používají dva typy můstků:

- Wheatstoneův můstek
- Thomsonův můstek

#### ○ **Wheatstoneův můstek**

Jako první provedl měření odporu s můstkovým zapojením anglický vědec CHARLES WHEATSTONE, proto se tento typ můstku označuje jako Wheatstoneův můstek.

Wheatstoneův můstek se skládá ze čtyř větví a nulového indikátoru, schéma jeho zapojení je na obr. 10.14.



Obr. 10.14 Princip zapojení Wheatstoneova můstku (převzato z [2])

Mezi uzly A a B se přivede stejnosměrné napájecí napětí, rezistor s neznámým odporem  $R_x$  se zápoji do první větve (mezi uzly A a C). V ostatních větvích jsou umístěny proměnné odporové normály. Mezi uzly C a D je zapojen nulový indikátor (zpravidla galvanometr), který ukazuje, zda je můstek vyvážen či nikoliv. Vyvážen je tehdy, když větví CD neprochází proud ( $I_G = 0$ ).

Vyvažování Wheatstoneova můstku spočívá ve změně hodnot odporu rezistorů  $R_2$ ,  $R_3$  a  $R_4$  tak dlouho, až má nulový indikátor nulovou výchylku.

Pro neznámý (měřený) odporu  $R_x$  potom platí vztah

$$R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4}.$$

V obvyklém provedení laboratorního Wheatstoneova můstku se do druhé větve (prvek s odporem  $R_2$ ) zařazuje odporová dekáda, prvky s odpory  $R_3$  a  $R_4$  bývají realizovány pevnými etalony odporu. Jejich poměr pak určuje rozsah můstku. Poměr  $R_3 : R_4$  bývá zpravidla volen jako násobek deseti. Některé laboratorní Wheatstoneovy můstky mají rezistory s odpory  $R_3$  a  $R_4$  provedeny jako kolíčkové dekády a přepínáním kolíčků lze měnit poměr a tím i rozsah můstku.

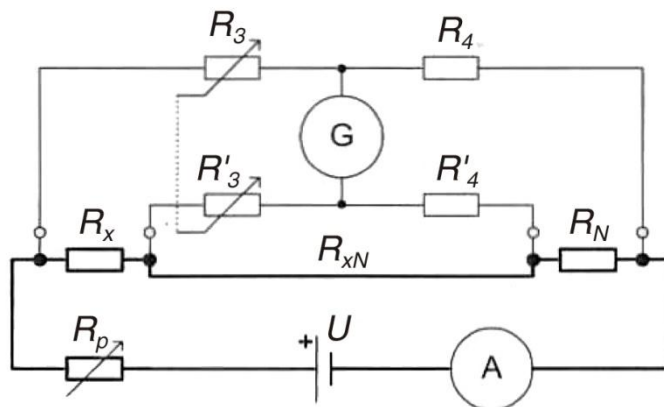
Wheatstoneův můstek není vhodný pro měření malých odporů ( $R_x < 0,1 \Omega$ ), protože neumožňuje čtyřvodičové připojení měřeného rezistoru a tím eliminaci tzv. přechodových odporů.

○ **Thomsonův můstek**

Pro měření malých odporů se používá dvojitý můstek, který jako první sestavil WILLIAM THOMSON (lord KELVIN of Largs).

U tohoto můstku (obr. 10.15) je odstraněn vliv parazitních odporů použitím dvojitých přívodů.

Poznámka: Pro provozní měření se v podniku Metra Blansko kdysi vyráběl Thomsonův můstek v drátovém provedení, měl označení Omega III, rozsah  $0,0001 \Omega - 20 \Omega$ , přesnost 1 %.



Obr. 10.15 Princip zapojení Thomsonova můstku (převzato z [2])

### 10.3.4 Ohmmetry

Ohmmetry jsou měřicí přístroje, které udávají hodnotu měřeného odporu přímo v ohmech, resp. v násobných či dílčích jednotkách odporu. Měření s nimi je snadné a rychlé, přesnost je však nižší, nejvýše 0,5 %. Podle principu měření rozeznáváme dva typy ohmmetrů:

- ohmmetry s magnetoelektrickým voltmetrem
- ohmmetry poměrové

### 10.3.5 Měření izolačního odporu elektrického zařízení

Z předmětu Základy elektrotechniky víte, že neexistují dokonalé izolanty, tj. takové materiály, které by byly zcela nevodivé, kterými by netekl žádný proud při jejich zapojení do elektrického obvodu. Běžně používané izolanty však určitý proud propouštějí, zejména dojde-li ke zhoršení izolační schopnosti vlivem zvýšené teploty, navlhnutí či stárnutí izolace.

Izolant, který odděluje dvě místa s různým potenciálem, můžeme pokládat za dielektrikum kondenzátoru. Odděluje-li izolace dva vodiče, představují tyto vodiče elektrody takového kondenzátoru. Jde-li o izolaci samotného vodiče, je druhou elektrodou myšleného kondenzátoru zem. Tak jako na skutečném kondenzátoru začne i zde po přiložení elektrického napětí na elektrody procházet dielektrický proud. Je to proud kapacitní, nikoliv poruchový. Současně s kapacitním proudem však izolací protéká i proud činný vlivem činného odporu nedokonalých míst izolace. A právě tento ohmický odpor, charakterizovaný hodnotou propuštěného činného proudu, se nazývá **izolační odpor**. Izolační odpor můžeme definovat jako činný odpor mezi dvěma vodiči nebo mezi vodičem a zemí.

Izolační odpor se měří speciálními měřicími přístroji (obr. 10.16). V provedení s analogovým ukazatelem se obvykle jedná o ohmmetr s magnetoelektrickým voltmetrem, který je napájen z tranzistorového měniče. Stupnice těchto přístrojů je cejchována přímo v  $M\Omega$ . Moderní analogové nebo číslicové měřiče izolace měří hodnotu proudu protékajícího izolací po přiložení odpovídajícího napětí a izolační odpor vyhodnocují použitím Ohmová zákona (přesněji použitím definice odporu jako poměru napětí a proudu).

**Měření izolačního odporu elektrických zařízení i sítí je důležité zejména z bezpečnostních důvodů**, protože ochrana živých částí před nebezpečným dotykem je ve většině případů zajišťována právě izolací. Měří se nejen izolační odpor vodičů, rozvodné soustavy, elektrických spotřebičů a různých elektrických přístrojů, ale i izolační odpor podlah a stěn budov.

Před měřením izolačního odporu se zařízení musí (až na výjimky) odpojit od elektrické sítě. Můžeme začít měřit až poté, co jsme se ujistili, že měřené zařízení je skutečně bez napětí. Izolační odpor se měří za stejných okolností, jaké se vyskytují v zařízení za normálních provozních podmínek.

Při měření izolačního odporu se **nesmíme dotýkat** rukou měřeného objektu ani přírodních vodičů či svorek, jednak z důvodu **nebezpečí úrazu** a jednak kvůli zhoršení přesnosti měření.

Pro měření izolačního odporu přístrojů či kontrolu izolačního stavu nářadí se používají přístroje, které bývají vybaveny grafickým výstupem, případně je možné převést naměřené údaje do počítače k dalšímu zpracování.

Izolační odpory přístrojů a nářadí se kontrolují v „teplém stavu“ (po zahřátí na provozní teplotu). Kontrolu ručního elektrického nářadí je třeba provádět v normou stanovených intervalech, zpravidla alespoň jednou za rok.



Obr. 10.16 Měřič izolace SAIT 25 (převzato z [11])



# Závěr

Na výuku teoretické části předmětu bude navazovat praktická část, kde se žáci seznámí s reálnou měřicí technikou, osvojí si základy měření elektrických veličin a měření základních parametrů běžných elektrotechnických součástek a praktická laboratorní cvičení, kde si žáci prakticky ověří získané vědomosti.

Původním cílem mé bakalářské práce bylo vytvořit kompletní výukový materiál pro předmět Elektrotechnická měření pro 2. a 3. ročník učňovského oboru elektrikář – silnoproud. V průběhu zpracování materiálu jsem ale zjistil, že bych vytvořil dokument o několika stech stránkách, což by překročilo rozsah bakalářské práce. Proto jsem se rozhodl pro cíl své práce zpracovat vybrané kapitoly látky pro druhý ročník.

Do vytvořeného učebního textu jsem záměrně neuváděl žádné kontrolní otázky, ty jsou obsaženy v tzv. pracovních listech, které žáci průběžně zpracovávají během školního roku.

Zpracovaný učební text byl ověřen ve výuce předmětu Elektrotechnická měření pro 2. ročník učňovského oboru elektrikář – silnoproud. Ukázalo se, že učební text byl žáky přijat vcelku kladně, jedinou podstatnější námitku vesměs měli k objemu (rozsahu) probírané látky, což bude námět na rozsáhlejší diskusi jak s vedením školy, tak s kolegy vyučujícími.

Danou problematikou se budu dále zabývat, mám v plánu dopracovat výukový materiál i pro třetí ročník, a jelikož v novém školním roce budeme ve škole, kde vyučuji disponovat novou laboratoří elektrotechnického měření, vypracuji postupně nové praktické úlohy pro daný předmět.

Domnívám se, že stanovený cíl bakalářské práce jsem splnil.

## Seznam použité literatury

- [1] ŠKOLNÍ VZDĚLÁVACÍ PROGRAM. SPŠ Emila Kolbena v Rakovníku, obor 2651H/02 Elektrikář silnoproud.
- [2] *ELEKTROTECHNICKÁ MĚŘENÍ*. 1. VYD. PRAHA: BEN - TECHNICKÁ LITERATURA, 2002. 255 S. ISBN 80-7300-022-9.
- [3] FIALA, Miloš, HERCÍK, Jiří a VROŽINA, Milan. *Elektrotechnická měření: učební text pro 3. ročník SPŠE [Díl] 1. 4., nezměn. vyd.* Praha: SNTL, 1989. 350 s.
- [4] FURKA, David., *Měření elektrického napětí* [online]. Dostupné na [http://elm-fur.wz.cz/VOS\\_mereni\\_napeti-tisk.ppt](http://elm-fur.wz.cz/VOS_mereni_napeti-tisk.ppt).
- [5] HIGH ACCURACY STANDARD RESISTANCE [online]. Dostupné na <https://www.ietlabs.com/srr-series-precision-low-reichsantalt-type-standard-resistor.html>
- [6] BOUŠEK, Jaroslav. *Pasivní součástky* [online]. Dostupné na <http://www.umel.feec.vutbr.cz/~bousek/eso/prvky9x.pdf>
- [7] KUSALA, Jaroslav, *Miniencyklopedie Elektřina*, Součást vzdělávacího programu SVĚT ENERGIE, 2003.
- [8] VITEJČEK, Emanuel a HOS, Vladimír. *Elektrické měření pro učební obory elektrotechnické: Učební text. 7., nezm. vyd.* Praha: SNTL, 1979. 210, [2] s. Řada elektrotechn. literatury.
- [9] GM ELECTRONIC, SPOL. S.R.O. [online]. Dostupné na <https://www.gme.cz/digitalni-multimetr-em890n>
- [10] FLUKE CORPORATION [online]. Dostupné na <http://en-us.fluke.com/products/clamp-meters/fluke-355-clamp-meter.html#overview>
- [11] MICRONIX, SPOL. S R.O. [online]. Dostupné na <https://eshop.micronix.cz/merici-technika/revizni-pristroje/revizni-pristroje/merice-izolacnich-odporu/sait-25.html>
- [12] VANĚČEK, DAVID a kol. *Didaktika technických odborných předmětů*. Praha: České vysoké učení technické, Praha 2016. ISBN 978-80-01-05991-3.
- [13] RÁMCOVÝ VZDĚLÁVACÍ PROGRAM PRO STŘEDNÍ ODBORNÉ ŠKOLY [online]. Dostupné na <http://www.nuv.cz>. [cit. 20. 11. 2017].
- [14] SKALKOVÁ, Jarmila. *Obecná didaktika*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-24711821-7.

- [15] DRAHOZVAL, JAN A KOL. *Didaktika odborných předmětů*. Brno: Paido 1997. ISBN 80-85931-35-4.
- [16] SVOBODA, Emanuel a kol. *Kapitoly z didaktiky odborných předmětů*. Praha: ČVUT v Praze, 2004. ISBN 80-01-02928-X.
- [17] LEPIL, Oldřich. *Teorie a praxe tvorby výukových materiálů*. Dostupné na <http://zvyp.upol.cz/publikace/lepil.pdf> [cit. 10. 11. 2017.]
- [18] ZAPLATÍLEK, Karel. *Úvod do elektrických měření II* [online]. Dostupné na <https://user.unob.cz/zaplatilek/zet/Tema13.htm>
- [19] Galvanometer scheme [online]. Dostupné na [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galvanometer\\_scheme.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galvanometer_scheme.svg)
- [20] GHV TRADING, SPOL. S R. O. [online]. Dostupné na <https://www.ghvtrading.cz/rozvadecove-pristroje/analogove/synchronizace/dvojite-kmitometry.html>
- [21] TR INSTRUMENTS SPOL. S R.O. [online]. Dostupné na <http://www.mericitechnika.cz/>
- [22] Bastian, Peter a kol. *Praktická elektrotechnika. 2., dopl. vyd.* Praha: Europa-Sobotáles, 2006. 303 s. ISBN 80-86706-15-X.
- [23] GRILL, František. *Základní pojmy a vlastnosti měřících přístrojů* [online]. Dostupné na [http://home.pf.jcu.cz/~kriz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=234:merpristr&catid=55:fpr1&Itemid=27](http://home.pf.jcu.cz/~kriz/index.php?option=com_content&view=article&id=234:merpristr&catid=55:fpr1&Itemid=27)
- [24] CONATEX-DIDACTIC učební pomůcky s.r.o. [online]. Dostupné na <https://www.conatex.cz/catalog/fyzika/elektrina/zaklady/product-galvanometr/sku-1152086>
- [25] MP elektronik technologie s.r.o. [online]. Dostupné na <http://www.mp-elektronik.cz/eshop/antistaticke-vybaveni-esd/zkousecky-a-testery/elektrostaticky-voltmetr/5294-esd-kontaktni-voltmetr-esvm-821hh-7100-esvm821hh.html>
- [26] METRA BLANSKO s.r.o. [online]. Dostupné na <http://metrablansko.cz/cs/info/bocniky>

## Seznam obrázků

- Obr. 5.1 Přenosné multimetry - a) analogový, b) digitální, c) digitální s bargrafem (převzato z [21])
- Obr. 6.1 Proudové váhy jakožto historický etalon elektrického proudu
- Obr. 6.2 Westonův článek (převzato z [4])
- Obr. 6.3 Schéma novodobého normálu elektrického napětí s teplotně kompenzovanou Zenerovou diodou (převzato z [4])
- Obr. 6.4 Příklad normálu odporu na stejnosměrný proud (převzato z [5])
- Obr. 6.5 Vinutí s potlačenou indukčností: a) bifilární, b) Chaperonovo (převzato z [6])
- Obr. 6.6 Normály kapacity vyráběné v hodnotách např. a) od 1 pF do 10,000  $\mu$ F, b) od 0.001 pF do 1000 pF (převzato z [5])
- Obr. 6.7 Schéma válcového vzduchového kondenzátoru jakožto absolutní etalon kapacity (převzato z [2])
- Obr. 6.8 Sekundární etalon kapacity – soustava desek (převzato z [2])
- Obr. 6.9 Schéma sekundárního etalonu vlastní indukčnosti – vzduchové vícevrstvé cívky (převzato z [2])
- Obr. 6.10 Schéma sekundárního etalonu vzájemné indukčnosti – dvě vzduchové vícevrstvé cívky (převzato z [2])
- Obr. 7.1 Stupnice měřidla s uvedenou třídou přesnosti 2.5 % (převzato z [23])
- Obr. 8.1 Několik typů analogových měřicích přístrojů (převzato z [18])
- Obr. 8.2 Ručka s protiváhou (převzato z [2])
- Obr. 8.3 Různé druhy ruček (převzato z [2])
- Obr. 8.4 Mechanická sestava měřicího ústrojí - uložení ručky (převzato z [8])
- Obr. 8.5 Detail stupnice se světelným ukazatelem (převzato z [18])
- Obr. 8.6 Význam značek na stupnici měřicího přístroje (převzato z [2])
- Obr. 8.7 Lineární stupnice (převzato z [23])
- Obr. 8.8 Kvadratická stupnice (převzato z [2])
- Obr. 8.9 Logaritmická stupnice (převzato z [2])
- Obr. 8.10 Stupnice s potlačenou nulou (převzato z [2])
- Obr. 8.11 Principiální schéma magnetoelektrického měřicího přístroje (převzato z [19])
- Obr. 8.12 Princip vyvození pohybového momentu v magnetoelektrickém měřicím přístroji (převzato z [2])

Obr. 8.13 Připojení magnetoelektrického měřicího přístroje do obvodu dvoucestného usměřovače (převzato z [2])

Obr. 8.14 Zjednodušené schéma univerzálního měřicího přístroje (převzato z [2])

Obr. 8.15 Původní konstrukční uspořádání feromagnetického měřicího přístroje (převzato z [2])

Obr. 8.16 Mechanická konstrukce feromagnetického měřicího přístroje současné doby (převzato z [22])

Obr. 8.17 Stupnice feromagnetického přístroje se zhuštěným počátkem stupnice (převzato z [2])

Obr. 8.18 Dvojitě kmitoměry (převzato z [20])

Obr. 8.19 Odečítání kmitočtu z rozkmitaných jazýčků (převzato z [2])

Obr. 9.1 Digitální multimetr EM890G (převzato z [9])

Obr. 10.1 Paralelní připojení voltmetru do měřeného obvodu (převzato z [2])

Obr. 10.2 Galvanometr (převzato z [24])

Obr. 10.3 Kontaktní elektrostatický voltmetr ESVM 821HH (převzato z [25])

Obr. 10.4 Idealizované schéma magnetoelektrického voltmetru s předřadníkem (převzato z [2])

Obr. 10.5 Sériové připojení ampérmetru do měřeného obvodu (převzato z [2])

Obr. 10.6 Zvětšení měřicího rozsahu ampérmetru bočnickem (převzato z [2])

Obr. 10.7 Samostatné bočníky s úbytkem napětí pro elektrické měřicí přístroje (převzato z [26])

Obr. 10.8 Moderní digitální klešťový ampérmetr Fluke 355 True RMS 2000 A (převzato z [10])

Obr. 10.9 Schéma zapojení pro měření malých odporů (převzato z [2])

Obr. 10.10 Schéma zapojení pro měření velkých odporů (převzato z [2])

Obr. 10.11 Schéma pro měření malých odporů srovnávací metodou (převzato z [2])

Obr. 10.12 Schéma pro měření velkých odporů srovnávací metodou (převzato z [2])

Obr. 10.13 Schéma pro měření odporů substituční metodou (převzato z [2])

Obr. 10.14 Princip zapojení Wheatstoneova můstku (převzato z [2])





Obr. 10.15 Princip zapojení Thomsonova můstku (převzato z [2])

Obr. 10.16 Měřič izolace SAIT 25 (převzato z [11])







# Seznam příloh

## Příloha 1: Značky na měřicích přístrojích




a) druh proudu

	stejnoseměrný proud
	střídavý proud
	stejnoseměrný a střídavý proud
	trojfázový přístroj





b) měřicí ústrojí

	magnetoelektrický přístroj	ampérmetry, voltmetry
	feromagnetický přístroj	ampérmetry, voltmetry
	elektrodynamický přístroj stíněný	wattmetry
	rezonanční přístroj	kmitoměry
	indukční přístroj	elektroměry
	elektrostatický přístroj	vysokonapěťové voltmetry



c) poloha stupnice

	číselník ve svislé poloze – kolmo k podložce
	číselník ve vodorovné poloze
	číselník se sklonem 60° vůči vodorovné rovině



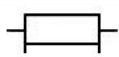
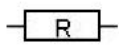
d) elektrická pevnost

	zkušební napětí 500 V
	zkušební napětí 2 kV (podle číslice uvnitř hvězdy)
	zkouška elektrické pevnosti se neprováděla
	elektrická pevnost přístroje nevyhovuje předpisům

e) třída přesnosti

1,5	třída přesnosti (např. 1,5) vyjádřená z největší hodnoty měřicího rozsahu
	třída přesnosti (např. 1,5) vyjádřená z délky stupnice
	třída přesnosti (např. 1,5) vyjádřená ze skutečné hodnoty

f) ostatní značky

	uzemňovací svorka
	upozornění – viz dokumentace přístroje
	bočník
	předřadník

**Příloha 2: Příklad podrobných informací o digitálním měřicím přístroji RC EM890N**

<https://www.gme.cz/data/attachments/czn.722-533.1.pdf>



# Evidence vypujcek

Prohlášení:

Dávám svolení k půjčování této bakalářské práce. Uživatel potvrzuje svým podpisem, že bude tuto práci řádně citovat v seznamu použité literatury.

Jméno a příjmení: Robert Beckl

V Praze dne: 15. 2. 2018

Podpis:



Jméno	Oddělení/ Pracoviště	Datum	Podpis