



# MĚŘENÍ V ELEKTROTECHNICE

Ján PAVLOVKIN  
Daniel NOVÁK  
Paweł BACHMAN

Univerzita Zelená Hora  
Zelená Hora 2017



# **MERANIA V ELEKTROTECHNIKE**

---

Vedecká monografia

---

**Ján PAVLOVKIN  
Daniel NOVÁK  
Paweł BACHMAN**

**Wydawateľ: Wydawnictwo  
Instytutu Inżynierii Bezpieczeństwa i Nauk o Pracy  
Uniwersytetu Zielonogórskiego**

**Zelená Hora 2017**

## **Anotácia**

Monografia je zameraná na problematiku elektrotechnického merania, ktorého aplikácie majú široké použitie v oblastiach elektrotechniky. Obsahuje charakteristiky základných meračích prístrojov a systémov, ako i metód merania. V ďalšej časti je opísaný výučbový systém rc2000 a jeho možnosti využitia vo vyučovaní elektrotechniky. Súčasťou je aj návrh súboru úloh na meranie v elektrotechnickom laboratóriu, vrátane príslušnej metodiky merania. V závere sú porovnané výsledky klasického merania s meraniami pomocou výučbového systému rc2000.

Publikácia je určená pre študentov učiteľstva na Fakulte prírodných vied Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici a študentov inžinierskych odborov na Strojníckej fakulte Univerzity v Zelenej Hore. Môžu z nej však čerpať i študenti príbuzných študijných programov, akademickí a vedeckí pracovníci zaoberajúci sa touto problematikou, ale využitie isto nájde aj technickej praxi.

**AUTORI: © Ing. Ján PAVLOVKIN, PhD.  
doc. JUDr. Ing. Daniel NOVÁK, CSc.  
dr inż. Pawel BACHMAN**

## **RECENZENTI:**

**doc. Ing. Ladislav RUDOLF, Ph.D.  
doc. Ing. Milan BERNÁT, Ph.D.**

**© Copyright by Wydawnictwo  
Instytutu Inżynierii Bezpieczeństwa i Nauk o Pracy  
Uniwersytetu Zielonogórskiego**

**Zielona Góra 2017**

**ISBN 978-83-941516-5-2  
EAN 9788394151652**

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>WSTEP</b> .....	<b>9</b>
<b>1 MERANIE V ELEKTROTECHNIKE</b> .....	<b>11</b>
1.1 Presnosť merania a druhy chýb .....	11
1.2 Základné rozdelenie a vlastnosti meracích prístrojov.....	14
1.3 Základné rozdelenie a princípy meracích metód .....	17
1.4 Elektromechanické meracie prístroje .....	18
1.4.1 Prístroje s otočným magnetom .....	25
1.4.2 Magnetoelektrické prístroje .....	27
1.4.3 Feromagnetické prístroje .....	29
1.4.4 Elektrodynamické a ferodynamické prístroje.....	31
1.4.5 Indukčné prístroje.....	33
1.4.6 Tepelné prístroje.....	35
1.4.7 Rezonančné prístroje.....	38
1.5 Elektronické meracie prístroje .....	41
1.5.1 Číslicové meracie prístroje.....	41
1.5.2 Generátory.....	42
1.5.3 Osciloskopy .....	46
1.6 Meranie niektorých elektrických veličín .....	53
1.6.1 Meranie elektrického napätia.....	53
1.6.2 Meranie elektrického prúdu .....	53
1.6.3 Meranie elektrického odporu.....	54
1.6.4 Meranie elektrickej kapacity .....	58
1.6.5 Meranie indukčnosti.....	58
1.6.6 Meranie elektrického výkonu .....	59
1.6.7 Meranie elektrickej práce .....	60
<b>2 VÝUČBOVÝ SYSTÉM rc2000</b> .....	<b>62</b>
2.1 Moduly spracovania dát a prístrojové moduly .....	62
2.1.1 Meracia jednotka - analógová a digitálna dátová jednotka .....	62
2.1.2 Generátor funkcií.....	65
2.1.3 Programovateľný DC zdroj napätia.....	66
2.1.4 Voltmeter DC & AC RMS.....	67
2.1.5 Modul trojfázová sústava .....	69
2.2 Moduly aktívnych prvkov systému rc2000 .....	69
2.2.1 Modul prvkov.....	70
2.2.2 Modul operačný zosilňovač .....	71
2.2.3 Modul výkonového zosilňovača.....	71
2.2.4 Modul bipolárny tranzistor .....	71
2.2.5 Modul unipolárny tranzistor JFET - N .....	73
2.2.6 Modul tyristor .....	73
2.3 Moduly pasívnych prvkov systému rc2000 .....	74

2.3.1 Modul odporová dekáda .....	74
2.3.2 Modul kapacitná dekáda a kapacitná zostava .....	74
2.3.3 Modul indukčnosti – cievka .....	75
2.3.4 Modul transformátor .....	75
2.4 Regulačné moduly .....	76
2.4.1 Modul sústava motor - generátor .....	76
2.4.2 Modul PID regulátora .....	78
2.4.3 Modul rozdielový člen .....	78
2.4.4 Modul oneskorovacie členy 1. radu.....	78
2.5 Číslicové moduly .....	79
2.5.1 Modul časová základňa.....	79
2.5.2 Modul volič logických stavov .....	79
2.5.3 Modul logická sonda.....	80
2.5.4 Univerzálny číslicový modul.....	80
2.5.5 Sada kariet .....	81
2.5.6 Moduly s bezsilovými päťicami.....	82
2.6 Zdroje, rozvody napájania modulov.....	82
2.7 Sada prvkov, prepojovacie káble .....	83
2.8 Softvér výučbového systému rc2000 .....	84
2.8.2 Meranie dvojkanálovým osciloskopom .....	84
2.8.3 Meranie s osciloskopom – generatorom .....	86
2.8.4 Meranie frekvenčných charakteristík .....	86
2.8.5 Meranie voltampérových charakteristík .....	87
2.8.6 Meranie logickým analyzátorom .....	87
2.8.7 Meranie s generátorom logických stavov – analyzátor logických stavov.....	88
2.8.8 Meranie dvojkanálovým počítadlom (čítačom).....	89
<b>3 VYBRANÉ PRÍKLADY MERACÍCH ÚLOH .....</b>	<b>91</b>
3.1 Meranie elektrického prúdu, napätia a odporu pomocou analógových meračích prístrojov voltmetra, ampérmetra a ohmmetra .....	91
3.2 Meranie na odporovom deliči napätia a prúdu .....	93
3.3 Meranie kapacity.....	96
3.4 Meranie indukčnosti .....	99
3.5 Meranie výkonu elektrického prúdu.....	101
3.5.1 Meranie výkonu jednosmerného prúdu.....	102
3.5.2 Meranie výkonu striedavého prúdu .....	104
3.6 Meranie prenosových vlastností RC filtrov .....	106
3.7 Meranie na usmerňovačoch .....	110
3.8 Meranie na tranzistorovom zosilňovači.....	112
3.9 Meranie parametrov operačného zosilňovača .....	114
3.10 Meranie funkcií kombinačných logických obvodov .....	118
3.11 Meranie funkcií sekvenčného logického obvodu 7490.....	124
3.12 Pravidlá pre prácu v elektrotechnickom laboratóriu .....	127
<b>4 KOMPARÁCIA KLASICKÉHO MERANIA SO SIMULOVANÝM MERANÍM .....</b>	<b>130</b>
4.1 Meranie základných elektrických veličín.....	132

4.2 Meranie prenosových vlastností RC filtrov .....	133
4.3 Meranie na kombinačných logických obvodoch.....	135
<b>Zoznam bibliografických odkazov .....</b>	<b>138</b>

## ÚVOD

Zvláštnosťou elektrického prúdu je, že nie je ho vidieť. O jeho existencii sa bežný človek môže presvedčiť na základe jeho účinkov prostredníctvom ľudských zmyslov, napr. vidíme, že elektrický motor sa otáča, žiarovka svieti, cítime, že chladnička chladí, vidíme, že televízor prijíma a zobrazuje televízny signál (obraz i zvuk), alebo pomocou meracích prístrojov. Keď máme k dispozícii merací prístroj, ktorý možno kúpiť v obchode už za niekoľko eur, môžeme uskutočniť meranie základných elektrických veličín, ako sú napätie, prúd a odpor. Pritom je potrebné vedieť metódy merania a zachovávať zásady bezpečnosti, o ktorých budeme hovoriť v ďalších kapitolách.

Elektrická energia predstavuje veľkú silu, ktorá môže slúžiť ľuďom, ale taktiež môže prinášať veľké nebezpečenstvo. Neznalosť hodnôt elektrických veličín nachádzajúcich sa v obvodoch môže spôsobiť poškodenie pripojených zariadení alebo aj smrť človeka. S ohľadom na to, že elektrická energia nie je viditeľná, znalosť otázok spojených s meraním má veľký význam pre každého, kto s ňou prichádza do styku.

Pod pojmom elektrické meranie rozumieme súhrn činností, ktorých cieľom je stanovenie hodnoty elektrickej veličiny (napätie, prúd, odpor, elektrický výkon a pod.) v príslušných elektrických jednotkách a s požadovanou presnosťou. Elektrický merací prístroj je zariadenie, ktoré aplikuje fyzikálne zákony a javy na určenie hodnoty elektrickej veličiny. Význam elektrických meraní spočíva v overovaní vlastností vyrobených elektrotechnických a elektronických zariadení v procese návrhu, výroby a využívania.

Meranie parametrov a charakteristík elektronických obvodov patrí medzi základné požiadavky elektrotechnickej praxe. Rozvoj moderných meracích zariadení a modernej didaktickej techniky kladie mimoriadne nároky aj na vybavenie elektrotechnických laboratórií. Pri meraniach v laboratóriu sa počítač stáva súčasťou experimentálneho pracoviska. Príkladom vyhodnocovania činnosti reálnych elektronických obvodov prostredníctvom počítača je aj modulový výučbový systém rc2000 –  $\mu$ LAB. Tento systém umožňuje vytvoriť laboratórium merania pre výučbu elektrotechniky na stredných a vysokých školách.

V tejto monografii je cieľom predstaviť základné analógové a číslicové meracie prístroje a metódy merania. Je v nej opísaný aj modulový výučbový systém rc2000 –  $\mu$ LAB a ukázané jeho využitie vo vyučovacom procese pri riešení praktických úloh.

Táto monografia zahŕňa problematiku prakticky vyučovanú v rámci predmetu Elektrotechnické merania, ktorý je súčasťou bakalárskeho študijného programu na Fakulte prírodných vied Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici a predmetu Elektrotechnika a elektronika na inžinierskych štúdiách na Strojníckej fakulte Univerzity v Zelenej Hore. Predkladaná monografia má elektronickú formu a bude voľne dostupná na internete, preto autori veria, že bude dobrou pomôckou pre ďalších študentov a taktiež aj pre žiakov stredných škôl.

Veľká vďaka patrí recenzentom doc. Ing. Ladislavovi Rudolfovi, Ph.D., a doc. Ing. Milanovi Bernátovi, Ph.D., za ich cenné pripomienky, ktoré mali veľký vplyv na skvalitnenie našej práce.

Autori



## WSTĘP

Szczególną cechą energii elektrycznej jest to, że jest ona nie widoczna. O jej istnieniu zwyczajny człowiek może przekonać się śledząc efekty jej działania, np. obserwując obracanie się silnika elektrycznego, świecenie żarówki, działanie urządzeń elektrycznych takich jak telewizor czy lodówka. Mając do dyspozycji nawet najprostsze urządzenia pomiarowe przeznaczone do pomiaru wielkości elektrycznych, które można kupić w sklepie już za sumę kilku euro, można też samodzielnie dokonać pomiaru podstawowych wielkości takich jak napięcie, prąd czy rezystancja. Należy przy tym jednak znać metody pomiarowe i zachować pewne środki ostrożności, o których mowa będzie w kolejnych rozdziałach.

Energia elektryczna często niesie z sobą dużą moc, która może być użyta w służbie ludziom, ale też może powodować olbrzymie niebezpieczeństwa. Nieznajomość wartości wielkości elektrycznych występujących w obwodach może spowodować zniszczenie przyłączanych urządzeń lub nawet śmierć człowieka. Biorąc pod uwagę to, że energia elektryczna jest nie widoczna, znajomość zagadnień związanych z wykonywaniem pomiarów elektrycznych nabiera dużej wagi dla każdego, kto ma styczność z elektrotechniką.

Pod pojęciem pomiary elektryczne rozumie się zestaw działań, mających na celu określenie wartości wielkości elektrycznych takich jak napięcie, prąd, opór, moc elektryczna w odpowiednich jednostkach elektrycznych i z wymaganą dokładnością. Miernik elektryczny jest urządzeniem, które wykorzystuje prawa fizyki w celu określenia wartości wielkości elektrycznych. Pomiary elektryczne wykonuje się w celu weryfikacji właściwości produkowanych urządzeń elektrycznych i elektronicznych, zarówno w procesie projektowania, produkcji jak i później, podczas ich użytkowania.

Pomiary parametrów oraz właściwości układów elektrotechnicznych i elektronicznych są podstawowymi wymaganiami nauczania praktycznego tych przedmiotów. Rozwój nowoczesnej aparatury pomiarowej oraz nowoczesnych technik nauczania stawia szczególne wymagania dotyczące sprzętu i laboratoriów elektrotechnicznych. W przypadku pomiarów w laboratorium, częścią składową badań eksperymentalnych często staje się komputer. Przykładem użycia komputera do pomiarów parametrów układów elektronicznych może być modułowy system rc2000 –  $\mu$ LAB. Dzięki niemu można zbudować laboratorium pomiarowe do prowadzenia zajęć elektrotechniki w szkołach średnich i na uczelniach wyższych.

Celem niniejszej monografii jest przedstawienie podstawowych analogowych i cyfrowych przyrządów pomiarowych oraz metod pomiaru wielkości elektrycznych. Opisano w niej też modułowy system nauczania rc2000 –  $\mu$ LAB, możliwości jego wykorzystania w procesie kształcenia oraz pokazano kilka praktycznych zadań.

Niniejsza monografia obejmuje zagadnienia związane z ogólną wiedzą związaną z praktycznym nauczaniem w zakresie przedmiotów Pomiary elektrotechniczne, na studiach licencjackich na Wydziale Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Mateja Bela w Bańskiej Bystrzycy oraz Elektrotechnika i elektronika na studiach inżynierskich na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Zielonogórskiego. Autorzy mają nadzieję, że dzięki temu, że ma ona formę

elektroniczną i będzie bezpłatnie dostępna w internecie, będzie ona pomocna również innym studentom a także uczniom szkół średnich.

Szczególne podziękowania kierujemy do recenzentów doc. Ing. Ladislava Rudolfa, Ph.D., oraz doc. Ing. Milana Bernata, Ph.D., za ich cenne uwagi, które bez wątpienia wpłynęły na podniesienie poziomu naszej pracy.

Autorzy

# 1 MERANIE V ELEKTROTECHNIKE

Meranie je súbor úkonov, ktorých cieľom je stanoviť hodnotu určitej veličiny ako násobok príslušnej mernej jednotky. Meranie samozrejme neprebíha iba v špecializovaných laboratóriách, ale veľmi často priamo vo výrobnom procese a pri údržbe, v školách, domácnostiach atď. Okrem manuálneho merania bezprostredne vykonávaného človekom sa v celom rade technických aplikácií stretávame s automatickým meraním najrôznejších veličín, pričom získané údaje sú bez účasti človeka priamo prenášané do regulačných obvodov, prostredníctvom počítačových sietí a pod.

Výskum, vývoj, výroba a spotreba vo všetkých oblastiach elektrotechniky sú spojené s požiadavkou stanovenia veľkosti najrôznejších veličín. V elektrotechnike nie je celý rad poznatkov bezprostredne preukázateľný priamo našimi zmyslami, avšak ich konkrétnu, kvantifikovateľnú podobu, môžeme zistiť sprostredkovaným meraním. Vzhľadom na to má meranie nezastupiteľnú úlohu aj v elektrotechnike a je celkom samozrejmom súčasťou vysokoškolskej výučby tohto odboru.

Elektrotechnické meranie je odvetvie elektrotechniky, zaoberajúce sa metodikou určovania veľkosti veličín vo formách fyziologicky prístupných človeku, prípadne technicky vhodných pre príslušné zariadenia, a to v súlade s medzinárodnou sústavou jednotiek SI. Principiálne vychádza zo vzájomnej väzby elektrických a magnetických javov, tepelných, svetelných a ďalších účinkov elektrického prúdu.

V tejto kapitole sa zoznámime so základnými princípmi merania v elektrotechnike, s jeho presnosťou, aj s chybami, ktoré meranie ovplyvňujú. Uvedieme tu základné metódy merania, najrozšírenejšie elektromechanické a elektronické meracie prístroje. Výklad fungovania jednotlivých elektromechanických meracích prístrojov je založený na aplikácii vedomostí nadobudnutých v kapitolách učebnice venovaných elektrickému poľu, magnetickému poľu, jednosmernému a striedavému prúdu. Rovnako pri výklade fungovania elektronických meracích prístrojov si pripomenieme vedomosti nadobudnuté v kapitolách venovaných elektronickým prvkom a obvodom. Kapitola obsahuje aj ukážky obvodového usporiadania meracích obvodov pri meraní niektorých významných elektrických veličín - napätia, prúdu, odporu, kapacity, indukčnosti, výkonu a práce. Záver kapitoly je venovaný základným požiadavkám kladeným na prácu v školskom laboratóriu.

## 1.1 Presnosť merania a druhy chýb

Neexistuje meranie, ktorým by bolo možné so stopercentnou presnosťou zistiť skutočnú hodnotu meranej veličiny. Každé meranie je vždy zaťažené určitou nepresnosťou (chybou). Taká chyba sa objaví ako v oblasti manuálneho merania (meraný objekt » merací prístroj » človek), tak i v oblasti automatického merania (regulovaná sústava » merací člen » porovnávací člen). Podľa spôsobu výskytu rozlišujeme chyby systematické, náhodné a izolované.

Systematické (stále, sústavné) chyby majú určitú príčinu, spôsobujúcu skresľovanie merania vždy v tom istom zmysle a často o konštantnú hodnotu. Ak je príčina známa, možno výsledok merania opraviť, teda vykonať korekciu.

Náhodné (náhodilé) chyby sú neurčité a ich príčiny sú neznáme. Túto neznalosť "zakrývame" tým, že hovoríme, že sú spôsobené náhodou. Každú náhodnú chybu uvažujeme ako výsledok pôsobenia veľkého počtu príčin, pôsobiacich v ľubovoľnom zmysle, pričom každá príčina spôsobuje malú čiastočnú chybu. Štatisticky možno dokázať, že pri veľkom počte meraní sa vyskytuje zhruba rovnaký počet chýb kladných i záporných a malé chyby sú početnejšie ako chyby väčšie. V laboratórnej praxi sa počíta so strednou chybou, strednou kvadratickou chybou, pravdepodobnou chybou a krajnou chybou. Najčastejšie sa uvažuje normálne (Gaussovo) rozloženie chýb, pričom najpravdepodobnejšiu hodnotu meranej veličiny dáva v súlade s Gaussovým zákonom aritmetický priemer

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (1.1)$$

kde:  $X$  – meraná veličina,  
 $X_i$  –  $i$ -tá nameraná hodnota meranej veličiny,  
 $n$  – počet vykonaných meraní.

Niekedy sme nútení použiť výsledky pozorovaní rôzneho pôvodu (výsledky pozorovaní rovnakého javu od rôzne zručných pozorovateľov, výsledky pozorovaní rovnakého javu získané prostredníctvom rôzne presných metód a pod.). Ak máme vziať do úvahy rozdielny pôvod - a tým i hodnovernosť - nameraných hodnôt, môžeme niektorým nameraným hodnotám priradiť väčšiu dôležitosť, než iným, a to tak, že vierohodnejším hodnotám priradíme väčší váhový koeficient a menej vierohodným hodnotám menší. Pre vážený aritmetický priemer platí

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n k_i X_i}{\sum_{i=1}^n k_i}, \quad (1.2)$$

kde:  $X$  – meraná veličina,  
 $k_i$  –  $i$ -tý váhový koeficient,  
 $X_i$  –  $i$ -tá nameraná hodnota meranej veličiny,  
 $n$  – počet vykonaných meraní.

Izolované chyby sú chyby spôsobené pozorovateľom (napr. roztržitý pozorovateľ prečíta údaj meracieho prístroja omylom na nevhodnej stupnici, pozorovateľ odčíta jednotlivé údaje v priebehu merania na elektromechanickom meracom prístroji vo veľmi odlišných pozorovacích uhloch). Za priaznivých pracovných podmienok bývajú pri starostlivej práci tieto chyby v bežných meraniach zanedbateľné, pretože na hrubé chyby príde sám pozorovateľ už pri čítaní údajov. V najpresnejších meraniach je však nutné tieto chyby uvažovať.

Z množiny všetkých chýb (t. j. systematických chýb + náhodných chýb + izolovaných chýb) ich odstránime pomocou jednoduchého empirického pravidla: Vypočítame rezíduá jednotlivých nameraných hodnôt,

$$\text{rez } X_i = \Delta_i, \quad (1.3)$$

kde:  $\text{rez } X_i$  – rezíduum i-tej nameranej hodnoty,  
 $\Delta_i$  – i-ta absolútna chyba.

Ak niektoré rezíduum presahuje päťnásobok pravdepodobnej chyby, potom príslušnú nameranú hodnotu vylúčime (pravdepodobnosť tak veľkej chyby je totiž iba 1 ‰).

Podľa príčiny vzniku rozlišujeme chyby etalónov, chyby meracích prístrojov, chyby metód a chyby rušivými vplyvmi.

Chyby etalónov vyplývajú z nedokonalého vyhotovenia etalónov použitých pri meraní. Tieto chyby majú systematickú a náhodnú zložku. Systematickú zložku možno zmenšiť stanovením opráv (korekcií), avšak nemožno ju celkom vylúčiť, pretože presnosť stanovenia opráv je obmedzená.

Chyby meracích prístrojov vyplývajú z nedokonalého vyhotovenia meracích prístrojov použitých pri meraní. Tieto chyby majú systematickú a náhodnú zložku. Systematickú zložku možno – rovnako ako v prípade etalónov – zmenšiť určením korekcií, avšak vzhľadom na obmedzené presnosti určenia opráv ju nemožno celkom vylúčiť; určenie korekcie systematickej zložky súvisí s triedou presnosti meracích prístrojov.

Chyby metódy vznikajú zanedbaním známych či zistiteľných veličín. Ide o systematické chyby, ktoré možno korigovať, tzn. vylúčiť výpočtom príslušných opráv (korekcií). V rámci jednotlivých uvedených metód meraní sa týmito chybami budeme neskôr zaoberať podrobnejšie.

Chyby rušivými vplyvmi vznikajú pôsobením vnútorných a vonkajších vplyvov na merací obvod. Do značnej miery majú charakter náhodných chýb a ich systematická zložka má väčšinou ťažko identifikovateľné príčiny a preto je ťažko korigovateľná.

Ak predpokladáme konštantné napätie (resp. konštantnú frekvenciu) napájacích zdrojov, potom pri meraniach v jednosmerných obvodoch sa uplatňujú najmä:

- mechanické vplyvy,
- teplotné vplyvy,
- vplyvy zvodových prúdov,
- vplyvy termoelektrických napätí,
- vplyvy prechodových odporov,

naproti tomu pri meraniach v obvodoch s časovo premennými veličinami sa uplatňujú najmä:

- mechanické vplyvy,
- teplotné vplyvy,
- vplyvy zvodových prúdov,
- vplyvy rušivých magnetických polí,
- vplyvy rušivých elektrických polí,
- vplyvy rušivých elektromagnetických vln,

- vplyvy frekvenčných a tvarových zmien veličín.

Vplyvom súhrnného pôsobenia jednotlivých čiastkových chýb (systematických + náhodných + izolovaných) je meranie zaťažené celkovou chybou, ktorá sa definuje ako absolútna chyba merania

$$\Delta = N - S, \quad (1.4)$$

kde:  $N$  – nameraná hodnota,  
 $S$  – skutočná hodnota.

Dôležitá je ďalej relatívna (pomerná) chyba merania

$$\delta = \frac{\Delta}{S} \cdot 100\%, \quad (1.5)$$

V rámci obidvoch definícií sa nameranou hodnotou rozumie buď bezprostredne údaj meracieho prístroja alebo údaj vypočítaný z hodnôt bezprostredne získaných meraním; skutočnú hodnotu (t. j. absolútne správnu hodnotu meranej veličiny, ktorú však nie je možné nikdy zistiť) rozumieme hodnotu zistenú zaručene presnejším prístrojom, zaručene presnejšou metódou, prípadne určenú výpočtom na základe teoretického rozboru.

Ak je úlohou merania zistiť veličiny  $A$  (s možnou absolútnou chybou  $\Delta A$  a s možnou relatívnou chybou  $\delta_A$ ) a  $B$  (s možnou absolútnou chybou  $\Delta B$  a s možnou relatívnou chybou  $\delta_B$ ), ako predpokladu na určenie vzťahu

$$C = f(A, B), \quad (1.6)$$

potom tento vzťah (t. j. hodnota  $C$ ) bude zaťažená možnou absolútnou chybou

$$|\Delta C| = \left| \frac{\partial f(A, B)}{\partial A} \right| \cdot |\Delta A| + \left| \frac{\partial f(A, B)}{\partial B} \right| \cdot |\Delta B|, \quad (1.7)$$

a relatívnou chybou

$$|\delta_C| = \frac{|\Delta C|}{|C|} = \frac{\left| \frac{\partial f(A, B)}{\partial A} \right| \cdot |\Delta A| + \left| \frac{\partial f(A, B)}{\partial B} \right| \cdot |\Delta B|}{|f(A, B)|}, \quad (1.8)$$

## 1.2 Základné rozdelenie a vlastnosti meracích prístrojov

V meracej technike je základné rozdelenie podľa spôsobu údajnej hodnoty meranej veličiny, t. j. rozdelenie na analógové a číslicové (digitálne) meracie prístroje.

Analógové meracie prístroje majú údaj o meranej veličine sprostredkovaný hodnotou nejakej inej fyzikálnej veličiny (najčastejšie výchylkou ukazovateľa –

teda dĺžkou oblúku – čítanou na stupnici); až potom pozorovateľ transformuje analógový údaj na číselný údaj. Pri spojitý zmene meranej veličiny sa údaj prístroja mení tiež spojitý. Sem patria všetky meracie prístroje s elektromechanickým systémom, od jednoduchých analógových ukazovacích prístrojov až po zložité analógové zapisovacie prístroje; z elektronických sem zaraďujeme osciloskopy.

Číslcové (digitálne) meracie prístroje udávajú meranú veličinu priamo v číslcovom tvare a to ako číselný násobok určitého základného kvanta. Pri spojitý zmene meranej veličiny sa údaj prístroja mení nespojitý po kvantách. Tieto prístroje môžu byť opäť iba jednoduché číslcové ukazovacie prístroje, alebo i zložitejšie číslcové zapisovacie prístroje.

Podľa spôsobu spracovania meranej hodnoty možno roztriediť na prístroje merajúce hodnotu jednej veličiny a prístroje merajúce určitú funkciu jednej alebo niekoľkých veličín (napr. súčtové, súčinové, integračné).

Podľa spôsobu vyhotovenia s ohľadom na účel použitia rozoznávame: základné (etalónové) meracie prístroje na kalibráciu iných prístrojov, laboratórne prístroje na viac, či menej presné laboratórne merania, prevádzkové prístroje na rozvádzacie, montážne a dielenské merania a informačné prístroje na účely približnej indikácie sledovaných veličín.

Najvšeobecnejším je rozdelenie meracích prístrojov podľa meranej veličiny na voltmetre, ampérmetre, wattmetre, ohmmetre, frekventometry, fázometry atď.

Pri práci s meracími prístrojmi nás zaujíma ich merací rozsah, citlivosť, konštanta, trieda presnosti, preťaženia a vlastná spotreba.

Merací rozsah vyjadruje rozmedzie hodnôt veličiny, v ktorom prístroj meria s presnosťou, ktorá zodpovedá ustanoveniam príslušnej normy. Analógové i digitálne meracie prístroje majú často niekoľko rozsahov, ktoré možno meniť prepínačom, najpresnejšie meranie je vždy v poslednej tretine rozsahu. V analógových meracích prístrojoch sa obvykle (nie však vždy) merací rozsah zhoduje s rozsahom stupnice a udáva sa hodnotou plnej výchylky ručičky.

Citlivosť sa udáva iba v prístrojoch s elektromechanickým systémom a udáva akou výchylkou ručičky reaguje prístroj na jednotku meranej veličiny,

$$c = \frac{\alpha}{X}, \quad (1.9)$$

kde:  $\alpha$  – ustálená výchylka odčítaná v dielikoch stupnice,  
 $X$  – veľkosť meranej veličiny pri ustálenej výchylke  $\alpha$ .  
 Prevrátená hodnota citlivosti  $c$  je konštanta prístroja

$$k = \frac{1}{c}, \quad (1.10)$$

ktorá vyjadruje veľkosť meranej veličiny na jeden dielik stupnice. Pre **meracie prístroje s rovnomernou stupnicou**

$$k = \frac{\text{merací rozsah}}{\text{počet dielikov stupnice}}, \quad (1.11)$$

pre meracie prístroje s nerovnomernou stupnicou

$$k = \frac{\text{rozdiel veľkosti veličiny medzi susednými očíslovanými dielikmi stupni}}{\text{počet neočíslovaných dielikov medzi očíslovanými dielikmi}}. \quad (1.12)$$

Ak nie sú číselné hodnoty meranej veličiny priamo vyznačené na stupnici prístroja, potom v príslušnom intervale sa meraná hodnota určí zo vzťahu

$$X = k \cdot \alpha. \quad (1.13)$$

Trieda presnosti je chyba s akou prístroj meria vzťahnutá k jeho celému rozsahu. Ide o percentuálny údaj (znak % sa neuvádza), platný pri dodržaní vzťažných podmienok (napr. dovolené rozmedzie okolitej teploty, dovolené rozmedzie zmien frekvencie harmonického prúdu) v celom rozsahu stupnice. Určí sa zaokrúhlením na normou určené najbližšie vyššie číslo triedy presnosti zo vzťahu

$$\delta_{P_{max}} = \frac{\Delta_{P_{max}}}{\text{merací rozsah}} \cdot 100, \quad (1.14)$$

kde:  $\delta_{P_{max}}$  – najväčšia relatívna chyba merania = nezaokrúhlená trieda presnosti,

$\Delta_{P_{max}}$  – najväčšia absolútna chyba merania, zistená pri kontrolnom porovnaní s meracím prístrojom o dve triedy presnejším.

Norma určuje triedu presnosti iba v meracích prístrojoch s elektromechanickým systémom, pričom s ohľadom na účel použitia určuje jednotlivé triedy presnosti:

- 0,05 a 0,1 základné (etalónové) meracie prístroje,
- 0,2 veľmi presné laboratórne prístroje,
- 0,5 presné laboratórne prístroje,
- 1 a 1,5 montážne a dielenské prevádzkové prístroje,
- 2,5 rozvážacie prevádzkové prístroje,
- 5 informatívne prístroje (indikátory).

V zložitých elektronických prístrojoch by trieda presnosti bola daná súčtom absolútnych chýb jednotlivých ich častí. Veľkosť triedy presnosti by potom narastala do veľkých hodnôt (napr. 10), čo je nezmyselné, pretože najnepriaznivejší prípad (t. j. maximálne chybujúce všetky bloky) ťažko súčasne v praxi nastane.

Preťaženie je násobok menovitého prúdu alebo napätia, ktorý merací prístroj vydrží za určitú dobu bez poškodenia. Vzhľadom na elektronicky istiace a signalizačné obvody číslicových meracích prístrojov má tento parameter význam uvádzať len v klasických elektromechanických meracích prístrojoch. Trvale možno



voltmetre a ampérmetre zaťažiť 1,2-násobkom menovitého napätia alebo prúdu. Krátkodobo možno (okrem prístrojov s termoelektrickým článkom a tepelných prístrojov) preťažiť do triedy presnosti:

- 0,5 voltmetre a ampérmetre dvojnásobkom napätia, resp. prúdu,
- 2,5 voltmetre dvojnásobkom napätia, ampérmetre desaťnásobkom prúdu.

Vlastná spotreba je príkon prístroja, potrebný na dosiahnutie plnej výchylky jeho ručičky. Pri jednosmerných prístrojoch sa uvádza vo wattoch (napr. najrozšírenejšie magnetoelektrické prístroje majú v rozmedzí 40–100 mW), pri striedavých prístrojoch vo voltampéroch. Pri zväčšení rozsahu meracieho prístroja meracím transformátorom sa vlastná spotreba takmer nezmení, pri zväčšení rozsahu predradným odporom alebo bočníkom sa samozrejme príslušne zväčší. Vlastná spotreba sa udáva len pri elektromechanických meraciach prístrojoch, pretože pri elektronických prístrojoch býva zanedbateľne malá; tu nás skôr zaujíma príkon, ktorý tieto prístroje odoberajú pre svoju činnosť z energetického zdroja (batérie, siete).

### 1.3 Základné rozdelenie a princípy meracích metód

Pri vytýčení úlohy určenia hodnoty určitej elektrickej, či magnetickej veličiny, prípadne viacerých týchto veličín, je nutné sa rozhodnúť pre určitú pracovnú koncepciu, t. j. zvoliť si meraciu metódu. Pri voľbe najvhodnejšej meracej metódy sa v súlade s požiadavkami na presnosť merania a na základe teoretických i praktických vedomostí určia príslušné meracie prístroje a ich obvodové usporiadanie pri meraní. Metód merania je veľké množstvo a možno ich rozdeliť na základe najrôznejších hľadísk.

Na základe spôsobu určenia hodnoty veličiny z údajov meracích prístrojov v obvode rozlišujeme:

- **priame meracie metódy**, kedy požadovanú hodnotu veličiny odčítame priamo na príslušnom meracom prístroji,
- **nepriame meracie metódy**, kedy požadovanú hodnotu veličiny určíme výpočtom z hodnôt iných veličín, ktoré odčítame na jednom alebo viacerých meraciach prístrojoch zapojených v meracom obvode.

Podľa funkcie použitých meracích prístrojov sú:

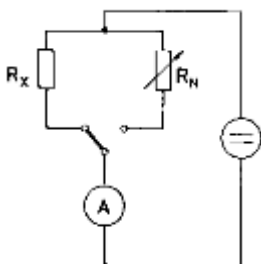
- **výchylkové meracie metódy**, kedy sa pri určení hodnoty veličiny vychádza z výchylky ručičky či lúča analógového meracieho prístroja alebo z digitálneho vyjadrenia číslicového meracieho prístroja (prístrojov môže byť i viac),
- **nulové meracie metódy**, kedy určenie hodnoty veličiny je podmienené elektrickým vyvážením meracieho obvodu pomocou analógového či číslicového meracieho prístroja, prostredníctvom elektroakustického meniča (napr. slúchadlo) alebo elektrooptického prvku.

V súlade so základnou podstatou metódy merania rozoznávame:

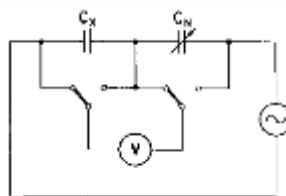
- **substitučné meracie metódy** (substitúcia = zámena), kedy veľkosť určitej systémovej vlastnosti neznámeho objektu určíme na základe rovnakého účinku po **zámene** pôsobiaceho objektu toho druhu, v ktorom poznáme

a môžeme meniť veľkosť tejto systémovej vlastnosti (napríklad meranie veľkosti odporu na obr. 1.1),

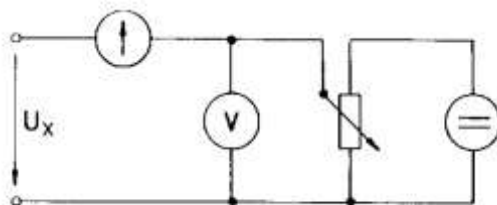
- **komparačné meracie metódy** (komparácia = porovnanie), kedy veľkosť určitej systémovej vlastnosti neznámeho objektu určíme **porovnaním** účinku tohto objektu s účinkom súčasne pôsobiaceho objektu toho druhu, v ktorom poznáme veľkosť tejto systémovej vlastnosti (napr. meranie veľkosti kapacity na obr. 1.2),
- **kompenzačné meracie metódy** (kompenzácia = vyrovnanie), kedy veľkosť určitej systémovej vlastnosti neznámeho objektu určíme z jeho plného účinku získaného **vyrovnaním** energetických strát – pôvodne účinnok oslabujúcich – z pomocného zdroja energie (napr. meranie veľkosti napätia naprázdno na obr. 1.3),
- **rezonančné meracie metódy** (rezonancia = harmónia), kedy veľkosť určitej systémovej vlastnosti neznámeho objektu určíme pri dosiahnutí **harmónie** účinku tohto objektu s účinkom súčasne pôsobiaceho objektu opačného druhu, v ktorom poznáme veľkosť tejto systémovej vlastnosti (napr. meranie veľkosti indukčnosti, či kapacity pomocou elektronických meracích prístrojov, ktorých základom je sériový alebo paralelný rezonančný obvod).



Obrázok 1.1 Substitučná metóda



Obrázok 1.2 Komparačná metóda



Obrázok 1.3 Kompenzačná metóda

Podrobnejšie sa jednotlivými metódami merania budeme zaoberať v ďalšom texte.

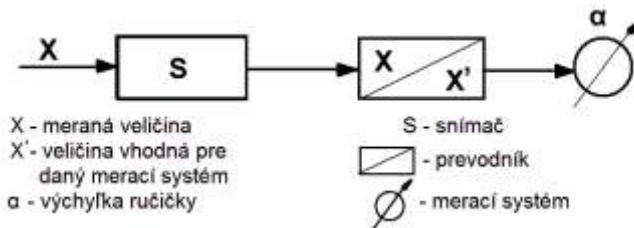
## 1.4 Elektromechanické meracie prístroje

Elektromechanické meracie prístroje (presnejšie meracie prístroje s elektromechanickým systémom) tvoria početnú skupinu meracích prístrojov v laboratóriách všetkých stupňov škôl. Aj keď vývoj elektroniky kvalitatívne posunul meracie prístroje smerom vyššie – najmä s ohľadom na digitálne prístroje – zdá sa, že "klasický" merací prístroj s elektromechanickým systémom nikdy celkom laboratóriá neopustí, pretože jeho nahradenie elektronickým prístrojom by

nebolo ani z pedagogického hľadiska v rade prípadov prospešné. V porovnaní s elektronickými prístrojmi meracie prístroje s elektromechanickým systémom vykazujú tieto prednosti:

- sú jednoduché a preto menej poruchové,
- spravidla majú nedekadické odstupňovanie meracích rozsahov umožňujúcich meranie vždy v poslednej tretine rozsahu, kedy je chyba údajov najmenšia (číslkové prístroje spravidla majú zvyčajne hrubšie odstupňovanie rozsahov 1:10:100:1000:..., ktoré vyvolávajú nutnosť merať hodnoty i v blízkosti 10 % rozsahu, teda už so značnou možnou chybou),
- nepotrebujú pomocné zdroje elektrickej energie a navyše sa nemôže prejavovať nevýhoda väzby meracieho prístroja s elektrickou rozvodnou sieťou (rušivé vplyvy, eventuálne galvanické spojenia a pod.),
- z hľadiska psychotechnického prehľadnosťou svojej indikácie umožňujú súčasne sledovať väčší počet prístrojov, prípadne i pri rýchlejšie sa meniacich meraných veličinách.

Všeobecná bloková schéma elektromechanického meracieho prístroja je na obrázku 1.4. Veľkosť meranej veličiny  $X$  je zachytená snímačom a prevodníkom, ktorý väčšinou so snímačom tvorí jeden celok. Následne je transformovaná na určitú veľkosť veličiny  $X'$ , ktorá sa objaví na vstupe meracieho systému, ktorý reaguje príslušnou výchylkou  $\alpha$  svojej ručičky. Merací prístroj môže byť i bez prevodníka, ak je jeho systém schopný priamo spracovať meranú veličinu; ak je naopak nutné zaradiť prevodník, môže byť buď súčasťou meracieho prístroja alebo celkom samostatný.



Obrázok 1.4 Všeobecná bloková schéma elektromechanického meracieho prístroja

Elektromechanická meracia sústava sa skladá vždy z pevnej a pohyblivej časti, pričom v dôsledku dodania energie do sústavy dôjde pri vhodnom konštrukčnom usporiadaní oboch častí k takým silovým pomeroch, ktoré spôsobia zmenu polohy pohyblivej časti. Meraná veličina v súlade s príslušnými fyzikálnymi zákonmi vyvoláva zodpovedajúci moment sústavy (pohybový moment)  $M_S$ , proti ktorému trvalo pôsobí na pohyblivú časť sústavy direktívny (riadiaci) moment  $M_d$ . Pevná a pohyblivá časť sústavy sa vždy ustália v takej polohe, v ktorej budú obidva momenty v rovnováhe, teda

$$M_S = M_d. \quad (1.15)$$

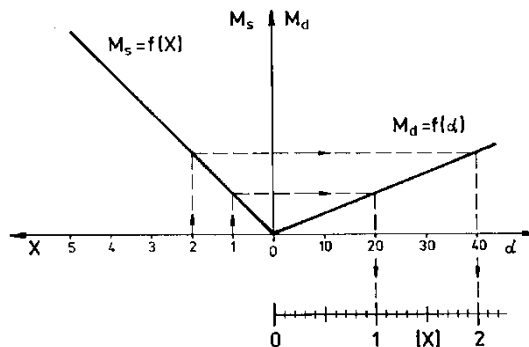
Graficky je to znázornené na grafe 1.1, pritom vpravo dole je zrejmá interpretácia meranej veličiny  $X$  na stupnici meracieho prístroja. Keby nepôsobil direktívny moment, potom ľubovoľná hodnota meranej veličiny veľká aspoň tak, aby prekonala trenie v uložení pohyblivej časti sústavy, by túto vychýlila až na

horný koniec jej dráhy. Záverom tejto úvahy je nutné pripomenúť, že priebeh  $M_s$ ,  $M_d$  môže byť všeobecne tiež nelineárny.

Pri určovaní momentu sústavy elektromechanického meracieho systému vychádzame zo zákona zachovania energie, podľa ktorého pri virtuálnom (myslenom) natočení pohyblivej časti sústavy dôjde k energetickým zmenám, ktoré musia spĺňať rovnicu

$$dW_z + dW_e + dW_m + dA_{\text{mech}} = 0, \quad (1.16)$$

kde:  $dW_z$  – zmena energie elektrického zdroja na vstupe elektromechanického meracieho prístroja pri virtuálnom natočení pohyblivej časti jeho systému,  
 $dW_e$  – zmena energie elektrického poľa elektromechanického systému pri uvedenom natočení,  
 $dW_m$  – zmena energie magnetického poľa elektromechanického systému pri uvedenom natočení,  
 $dA_{\text{mech}}$  – mechanická práca vykonaná pohybom pohyblivej časti systému pri uvedenom natočení.



Graf 1.1 Momentové charakteristiky elektromechanickej meracej sústavy

Pri natočení o uhol  $d\alpha$  bude veľkosť tým vykonanej mechanickej práce

$$dA_{\text{mech}} = M_s \cdot d\alpha \quad (1.17)$$

a z upravenej rovnice

$$dA_{\text{mech}} = -(dW_z + dW_e + dW_m) \quad (1.18)$$

potom dostaneme

$$M_s = -\left( \frac{dW_z}{d\alpha} + \frac{dW_e}{d\alpha} + \frac{dW_m}{d\alpha} \right), \quad (1.19)$$

Pri pohybe pohyblivej časti systému sa uplatnia pri zanedbaní vedľajších rušivých momentov:

- **moment sústavy**  $M_s$ , vyvolaný meranou veličinou, opísaný vzťahom

$$M_s = k_s \cdot X, \quad (1.20)$$

kde:  $k_S$  – konštanta sústavy udávajúca moment sústavy pri jednotkovej meranej veličine,

- **direktívny moment**  $M_d$ , pôsobiaci proti smeru výchylky a väčšinou tejto priamo úmerný, čo vyjadruje rovnica

$$M_d = -k_d \cdot a, \quad (1.21)$$

kde:  $k_d$  – direktívna konštanta udávajúca direktívny moment pri jednotkovej uhlovej výchylke 1 rad,  
 $\alpha$  – uhlová výchylka pohyblivej časti sústavy,

- **brzdíaci moment**  $M_b$ , vyvolaný tlmiacim zariadením systému pôsobiaci proti uhlovej rýchlosti pohyblivej časti sústavy a veľkosti vzhľadom k nej priamo úmerný, vyjadrený vzťahom

$$M_b = -k_b \cdot \frac{d\alpha}{dt}, \quad (1.22)$$

kde:  $k_b$  – brzdiaca konštanta udávajúca brzdiaci moment pri jednotkovej uhlovej rýchlosti 1 rad/s,  
 $\frac{d\alpha}{dt}$  – uhlová rýchlosť pohyblivej časti sústavy,

- **moment zotrvačných síl**  $M_J$ , pôsobiaci proti uhlovému zrýchleniu a veľkosťou vzhľadom k nemu priamo úmerný, v matematickom vyjadrení

$$M_J = -J \cdot \frac{d^2\alpha}{dt^2}, \quad (1.23)$$

kde:  $J$  – moment zotrvačnosti pohyblivej časti sústavy,  
 $\frac{d^2\alpha}{dt^2}$  – uhlové zrýchlenie pohyblivej časti sústavy.

V súlade s d'Alembertovým princípom, podľa ktorého je súčet všetkých momentov pôsobiacich na uvoľnené teleso nulový, sú momenty pôsobiace na pohyblivú časť sústavy v rovnováhe, teda vyjadrené rovnicou

$$M_J + M_b + M_d + M_S = 0, \quad (1.24)$$

čiže

$$J \frac{d^2\alpha}{dt^2} + k_b \cdot \frac{d\alpha}{dt} + k_d \cdot \alpha = k_S \cdot X, \quad (1.25)$$

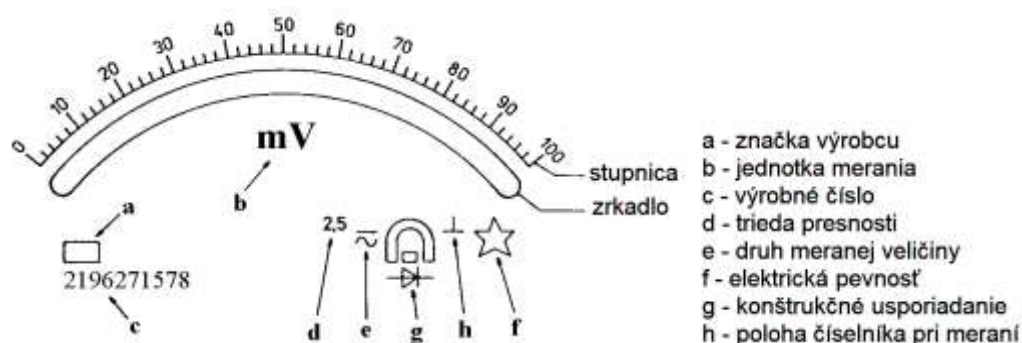
Uvedená diferenciálna rovnica je rovnica harmonického tlmeného pohybu a jej riešením je rovnica

$$\alpha(t) = \alpha_U + \alpha_P(t) = \frac{k_S}{k_d} \cdot X + k_1 \cdot e^{-p_1 t} + k_2 \cdot e^{-p_2 t}, \quad (1.26)$$

kde:  $\alpha_U$  – ustálená zložka výchylky pre  $t$  konvergujúce k  $\infty$ ,

$\alpha_p(t)$  – prechodná zložka výchylky spôsobená zmenou meranej veličiny, ktorá časom doznie.

Základom každého meracieho prístroja je skrinka (puzdro) z izolačného materiálu, jeho vonkajší tvar vyplýva predovšetkým z určenia prístroja (rozdávacie prístroje, laboratórne prístroje a pod.) a vnútorné členenie rešpektuje rozmiestnenie a uchytenie častí meracieho systému, prepínačov rozsahov, predradníkov, bočníkov, prírodných svoriek, vnútorných zdrojov energie (väčšinou suchý článok) a eventuálne i tienenie. Významnou časťou puzdra je číselník so stupnicou, ktorý umožňuje bezprostrednú komunikáciu medzi prístrojom a používateľom. Tým je myslené nielen odčítanie hodnoty vlastnej meranej veličiny, ale i získanie základných informácií o prístroji, ktoré je nutné poznať ešte pred jeho použitím. Na obr. 1.5 je príklad označenia číselníka meracieho prístroja. Prehľad najčastejšie používaných značiek je uvedený v tabuľkách 1.1 až 1.6. Usporiadanie stupnice tiež prináša dôležité informácie o aplikačných možnostiach prístroja, ako je naznačené na obr. 1.6.



Obrázok 1.5 Označenie číselníka meracieho prístroja




Tabuľka 1.1 Druh meraného prúdu

Druh prúdu	Symbol	Merací prístroj	Symbol
jednosmerný prúd	—	trojfázový prístroj s jedným obvodom prúdovým a jedným obvodom napäťovým	
striedavý prúd	~	trojfázový prístroj s dvomi obvody prúdovými a dvomi obvody napäťovými	
jednosmerný a striedavý prúd	~	trojfázový prístroj s tromi obvody prúdovými a tromi obvody napäťovými	



Tabuľka 1.2 Elektrická pevnosť meracieho prístroja

Skúšobné napätie	Symbol	Merací prístroj	Symbol
skúšobné napätie 500 V		značka prístroja, v ktorom sa nerobí skúška elektrickej pevnosti	
skúšobné napätie vyššie ako 500 V (napr. 2 kV)		elektrická pevnosť prístroja nezodpovedá predpisom	




Tabuľka 1.3 Poloha stupnice pri meraní

Poloha stupnice	Symbol	Poloha stupnice	Symbol
prístroj určený na používanie vo zvislej polohe		prístroj určený na používanie so stupnicou naklonenou vzhľadom k vodorovnej rovine (napr. 60°), pričom zo stupnice sa číta z vonkajšej strany uvedeného uhla	
prístroj určený na používanie vo vodorovnej polohe			

Tabuľka 1.4 Trieda presnosti meracieho prístroja

Trieda presnosti	Symbol	Trieda presnosti	Symbol
značka triedy presnosti vzťahnutá na chyby vyjadrené v % najväčšej hodnoty meracieho rozsahu (napr. 1,5)	1,5	značka triedy presnosti vzťahnutá na chyby vyjadrené v % skutočnej hodnoty (napr. 1,5)	
značka triedy presnosti vzťahnutá na chyby vyjadrené v % dĺžky stupnice (napr. 1,5)			

Tabuľka 1.5 Pomocné značky

Značka	Význam	Značka	Význam
	uzemňovacia svorka		Upozornenie, že pre prístroj platia zvláštne predpisy uvedené v jeho dokumentácii
	nastavovač nulovej polohy		



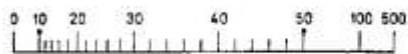
rovnomerná



rovnomerná s potlačenou nulou



nerovnomerná



nerovnomerná s vyznačeným rozsahom a predĺženým koncom

Obrázok 1.6 Stupnice meracích prístrojov

Tabuľka 1.6 Konštrukčné vyhotovenie meracieho prístroja

Značka	Typ prístroja	Značka	Typ prístroja
	prístroj s otočným magnetom		magnetoelektrický prístroj
	pomerový prístroj s otočným magnetom		pomerový prístroj magnetoelektrický
	prístroj feromagnetický		prístroj rezonančný
	prístroj s pohyblivým železom a s magnetom (feromagnetický polarizovaný)		neizolovaný termoelektrický článok
	pomerový prístroj feromagnetický		izolovaný termoelektrický článok
	prístroj elektrodynamický		magnetoelektrický prístroj so zabudovaným izolovaným termoelektrickým článkom
	prístroj ferodynamický		magnetoelektrický prístroj so samostatným neizolovaným termoelektrickým článkom
	pomerový prístroj elektrodynamický		usmerňovač (polovodičový)
	pomerový prístroj ferodynamický		magnetoelektrický prístroj so zabudovaným usmerňovačom
	indukčný prístroj		bočník
	pomerový prístroj indukčný		prídavný predradník s činným odporom
	prístroj elektrostatický		prídavný predradník s kapacitným, indukčným odporom
	tepelný prístroj (s drôtom alebo dilatačným)		elektrostatické tienenie
	tepelný prístroj s dvojkovom		magnetické tienenie

Elektromechanické meracie prístroje prešli dlhým vývojom, počas ktorého mnohé typy v priemyselnej praxi vyšli s používaním a boli nahradené novými s lepšími technickými parametrami, ale v školskej praxi sa s nimi ešte stretávame. V súčasnosti prebieha aj v školách postupná výmena ich elektronickými nástupcami. V ďalších podkapitolách sa zoznámime s najrozšírenejšími z nich.



### 1.4.1 Prístroje s otočným magnetom

V roku 1819 počas prednášky na Univerzite v Kodani demonštroval profesor Oersted niektoré elektrické javy. Počas výučby ho jeden študent upozornil, že pri každom pripojení elektrickej batérie sa pohne magnetka náhodne položená na demonštračnom stole v blízkosti vodiča. Nasledovali výskumy Oersteda, Faradya i práce Maxwella. Pre nás je z tejto epizódy zaujímavá skutočnosť, že išlo o prvé, hoci primitívne, zaznamenané použitie meracej sústavy s otočným magnetom.

Prístroje s otočným magnetom sú historicky najstaršie meracie prístroje a to najmä pre svoju výrobnú jednoduchosť, prevádzkovú spoľahlivosť, odolnosť voči mechanickým vplyvom a veľkú citlivosť. Ich konštrukcia sa skladá s pevnej cievky, v dutine cievky je otočne uložený permanentný magnet. Nastavenie nulovej polohy systému sa vykoná nastavovacou skrutkou, ktorá je pevne spojená s nastaviteľným trvalým magnetom; poloha vyplynie zo superpozície vzájomného pôsobenia obidvoch trvalých magnetov. Prietokom prúdu cez cievku vznikne magnetické pole, ktoré má tendenciu natočiť pohyblivý trvalý magnet tak, aby jeho magnetické pole bolo zhodne orientované s poľom cievky. Za predpokladu približne homogénneho poľa vo vnútri cievky má moment sústavy veľkosť

$$\alpha(t) = \alpha_U + \alpha_P(t) = \frac{k_S}{k_d} \cdot X + k_1 \cdot e^{-p_1 t} + k_2 \cdot e^{-p_2 t}, \quad (1.26)$$

$$M_S = k_S \cdot I, \quad (1.27)$$

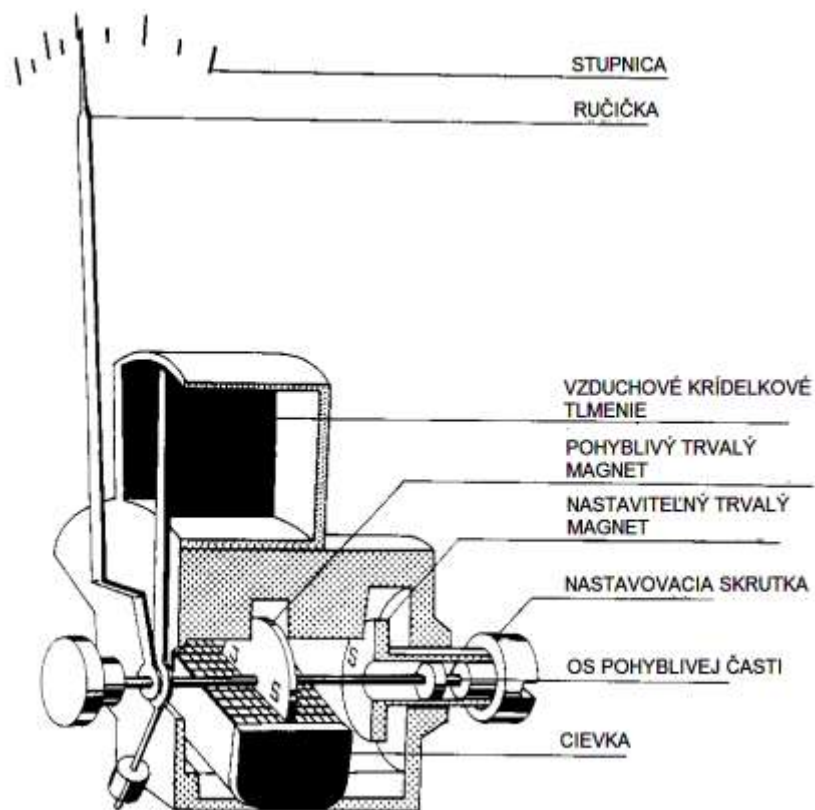
kde:  $M_S$  – moment sústavy,  
 $k_S$  – činiteľ sústavy, ktorý je závislý od výchylky (nie je konštantný),  
 $I$  – prúd pretekajúci cievkou systému.

Ustálená výchylka je daná rovnováhou medzi momentom sústavy a direktívnym momentom. Direktívny moment sústavy je v prípade podľa obr. 1.7 vytváraný pôsobením nastaviteľného trvalého magnetu. To však nevylučuje použitie pružín alebo torzných vlákien, či účinkov zemskej gravitácie, ako v ďalšom opísanom prístroji.

Vzhľadom na malú veľkosť pohyblivého trvalého magnetu v porovnaní s veľkosťou pevnej cievky sú prúdy, indukované v cievke jeho pohybom veľmi malé a preto je tiež malý brzdiaci moment. Na účinné tlmenie kmitov je použité tlmiace zariadenie, v našom prípade ide o vzduchové krídelkové tlmenie.

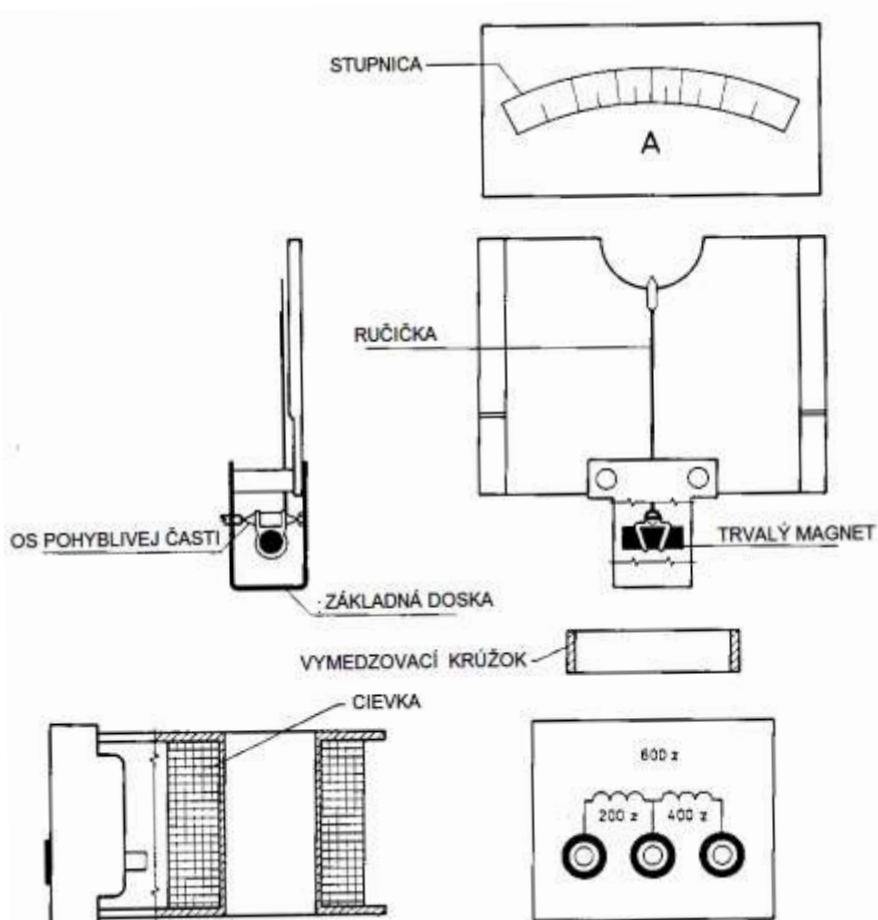
Sústava s otočným magnetom tvorí tiež základ školského demonštračného meracieho prístroja s otočným magnetom na obr. 1.8. Ide o konštrukčne jednoduchý prístroj tvoriaci súčasť žiackej súpravy pre výučbu fyziky na základnej škole. Požiadavka názornosti je tu splnená v maximálnej možnej miere, a to nielen z hľadiska princípu činnosti, ale i z hľadiska jeho obsluhy. Zmena rozsahu sa vykonáva výmenou cievok, zapojením predradných rezistorov (pri meraní napätí), zapojením bočnikov (pri meraní prúdov), či výmenou rôzne vysokých vymedzovacích krúžkov z neferomagnetických materiálov; pri zmene rozsahu je treba tiež zasunúť príslušnú výmennú stupnicu, čo je tiež z didaktického hľadiska pri prvom zoznámení žiakov s praktickým meraním veľmi významné. Za predpokladu dobrého vyváženía vykazuje prístroj veľkú citlivosť. Okrem ďalej

opísaných nevýhod prístrojov s otočným magnetom má uvedený typ prístroja dlhú časovú konštantu ustálenia výchylky, vyplývajúcu z absencie tlmenia a veľkej citlivosti na vibrácie. V praxi základnej školy, kde ide o pochopenie princípu elektrického merania, však plne vyhovuje.

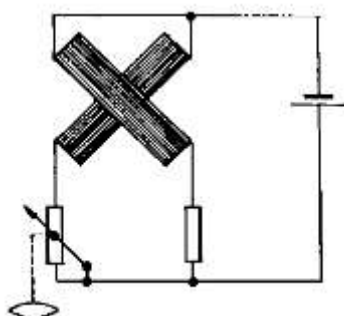


Obrázok 1.7 Prístroj s otočným magnetom

Prístrojmi s otočným magnetom možno merať len jednosmerné prúdy a napätia, v periodicky premenných veličinách udávajú ich jednosmerné zložky. Stupnica vzhľadom na  $k_s \neq$  konštanta, je nerovnomerná. Majú konštrukčne jednoduché, odolné systémy. Vyznačujú sa veľkou citlivosťou a preťažením. Vzhľadom na rušivé vplyvy vonkajších polí, ktoré nemožno celkom odstrániť ani tinením, sú málo presné. Mechanická odolnosť a veľké preťaženie ich predurčuje predovšetkým pre jednoduché indikačné funkcie, najmä v doprave. Na obr. 1.9 je ako príklad uvedené zapojenie pomerového prístroja s otočným magnetom na indikáciu množstva paliva v nádrži automobilu; významným kladom je tu nezávislosť údajov prístroja od napájacieho napätia a to v širokom rozmedzí.



Obrázok 1.8 Školský demonštračný merací prístroj s otočným magnetom



Obrázok 1.9 Zapojenie pomerového prístroja s otočným magnetom na indikáciu množstva paliva v nádrži

### 1.4.2 Magnetoelektrické prístroje

Magnetoelektrické prístroje (tiež prístroje s otočnou cievkou, prípadne Deprézske prístroje) sú najrozšírenejšie elektromechanické prístroje

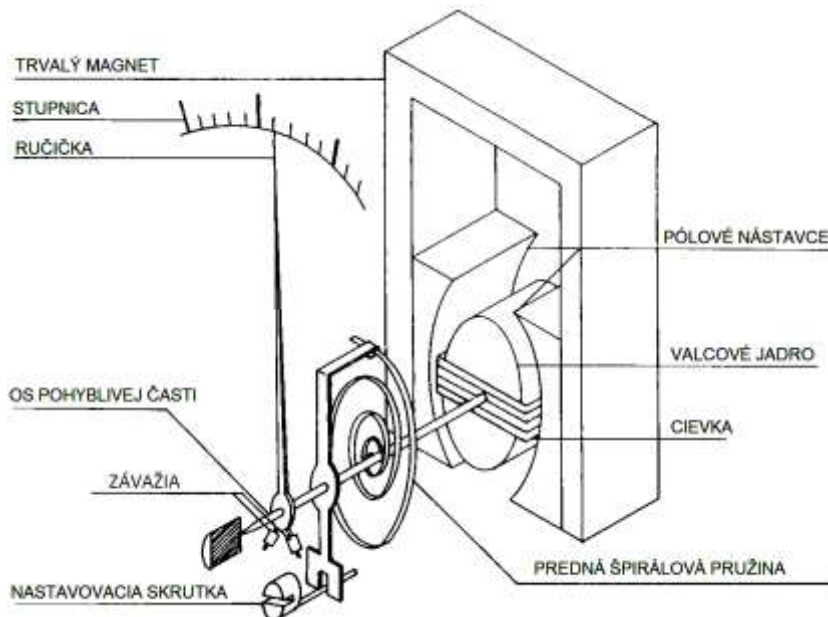
v laboratóriách našich škôl. Princiálne sú opäť založené na vzájomnom pôsobení magnetických polí trvalého magnetu a cievky, avšak na potlačenie vplyvov vonkajších polí a konštrukčné vytvorenie rovnomernej stupnice je funkcia permanentného magnetu a cievky vymenená. Moment sústavy je

$$M_S = k_S \cdot I, \quad (1.28)$$

kde:  $M_S$  – moment sústavy,  
 $k_S$  – činiteľ sústavy, ktorý je závislý od výchylky (nie je konštantný),  
 $I$  – prúd pretekajúci cievkou systému.

Magnetoelektrické prístroje možno bez zvláštnych úprav použiť len na meranie jednosmerných prúdov a napätí. V periodicky premenných veličinách udávajú ich jednosmerné zložky, t. j. stredné hodnoty za celú periódu. V striedavých veličinách z ich definície vyplýva nulová stredná hodnota, a preto výchylka systému je tiež rovná nule. Vyznačujú sa veľkou citlivosťou a malou spotrebou ( $10^{-6}$ – $10^{-3}$  W). Malá vlastná spotreba umožňuje zväčšiť merací rozsah v rozsahu viac rádov pomocou bočníkov a predradníkov, bez toho, aby neúnosne vzrástla vlastná spotreba. Veľký moment sústavy a tomu zodpovedajúci veľký direktívny moment umožňujú obmedziť vplyv rušivých momentov (napr. momentu odporu trenia) a ľahko dosiahnuť aj najvyššie triedy presnosti (0,2–0,1). Nie sú citlivé na rušivé vplyvy vonkajších polí (okrem veľmi silných), pretože majú silné vlastné pole. V porovnaní s prístrojmi s otočným magnetom sú však konštrukčne podstatne zložitejšie a mechanicky menej odolné, tiež sú citlivé na preťaženie.

Na použitie v škole sú vhodné tam, kde budú žiaci na vyššej odbornej úrovni (okrem stredných škôl pripadá tiež výučba povinne voliteľného predmetu na základných školách, prípadne činnosť záujmových krúžkov). Na obr. 1.10 je nakreslené jedno z klasických konštrukčných usporiadaní tohto prístroja.



Obrázok 1.10 Magnetoelektrický prístroj

Vzhľadom na svoje dobré vlastnosti našiel magnetoelektrický systém uplatnenie v celom rade meracích prístrojov, principiálne rovnakých, avšak vhodne upravených na špeciálne účely. Pre najcitlivejšie merania boli vyvinuté magnetoelektrické galvanometre a v prípade súčasnej požiadavky integrácie signálu v čase fluxmetre pre meranie magnetického toku. Vyrábajú sa tiež magnetoelektrické pomerové prístroje s otočnou dvojicou cievok, ich výchylka je nezávislá od veľkosti napájacieho napätia v širokom rozsahu; uplatňujú sa v ohmmetroch. V širokom rozsahu sú používané magnetoelektrické prístroje s usmerňovačmi rôzneho vyhotovenia.

### 1.4.3 Feromagnetické prístroje

Feromagnetické prístroje (tiež elektromagnetické prístroje) sú založené na poznatku, že dva súhlasné póly magnetov sa odpudzujú a naopak nesúhlasné sa priťahujú.

Podľa požiadaviek možno usporiadanie elektromagnetických prístrojov vykonať rôznymi spôsobmi. Usporiadanie s jedným posuvným jadrom, ktoré predstavuje dnes už historické vyhotovenie týchto prístrojov, využíva vťahovanie feromagnetického jadra do dutiny cievky, ktorou preteká elektrický prúd. Dnes sa používa iba v jednoduchých skúšačkách napätia na montážne práce v zariadeniach nízkeho napätia (rad VADAS, SN 1).

Na laboratórne využitie sa vyrábajú feromagnetické prístroje s plochou cievkou, ich usporiadanie je na obr. 1.11 alebo feromagnetické prístroje s kruhovou cievkou, v ktorých sa uplatňuje silové pôsobenie medzi feromagnetickými telesami (v danom prípade medzi dvojicou plieškov) ako vyplýva z obrázku 1.12.

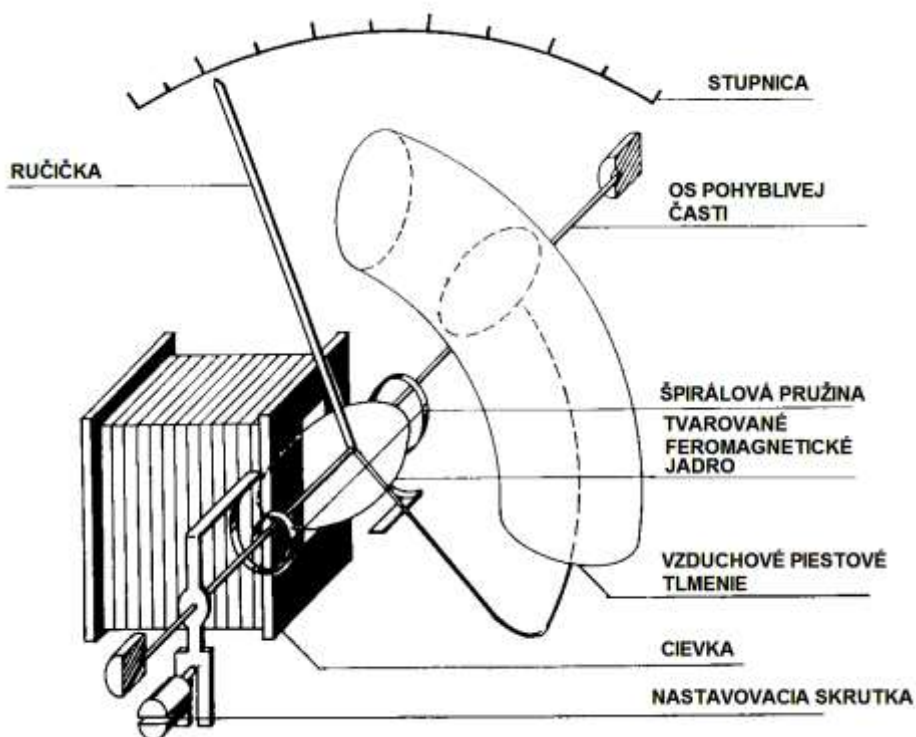
Pre moment sústavy platí vzťah 1.29

$$M_S = k_S \cdot I^2, \quad (1.29)$$

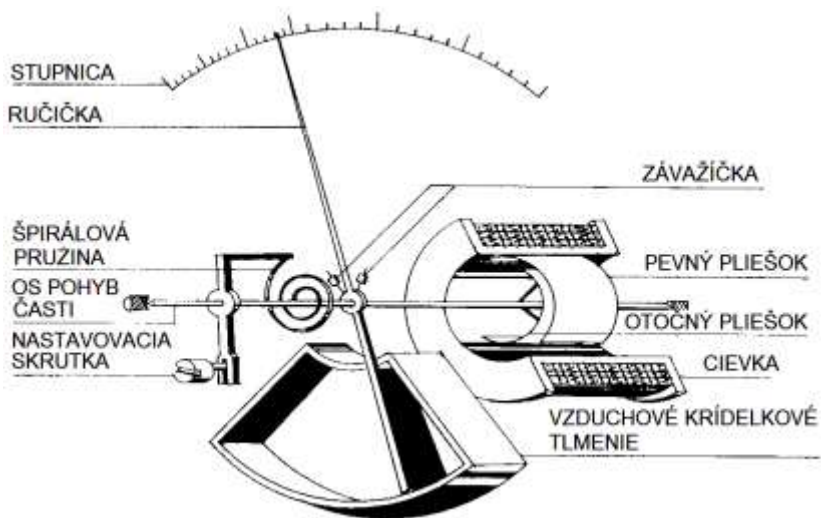
kde:  $M_S$  – moment sústavy,  
 $k_S$  – činiteľ sústavy,  
 $I$  – prúd pretekajúci cievkou systému.

Feromagnetické prístroje možno použiť na meranie jednosmerných i periodicky premenných veličín. Pri meraní periodicky premenných veličín udávajú ich efektívnu hodnotu, a to teoreticky bez ohľadu na tvar krivky a frekvenciu (v skutočnosti to pôsobením rôznych rušivých vplyvov platí len v obmedzenom rozsahu). Kvadraticky delenú stupnicu možno do určitej miery linearizovať vhodnou úpravou plieškov, ktorých môže byť prípadne aj viac, ako je naznačené na obr. 1.13. Prístroje s touto sústavou sú konštrukčne jednoduché a preto relatívne lacné. Vzhľadom na pevne umiestnenú cievku znesú veľké preťaženie. Presnosť dosahujú porovnateľnú s magnetoelektrickými prístrojmi (triedy presnosti v hodnotách 0,2–0,1). Nevýhodou je pomerne veľká vlastná spotreba a citlivosť na rušivé vplyvy vonkajších magnetických polí, ktoré možno účinne obmedziť feromagnetickým tienením. Tieto prístroje sú tiež citlivé na teplotné zmeny. Na rozšírenie meracieho rozsahu nie je možné používať bočník, pretože cievka systému má značnú spotrebu, a tiež pri zmene indukčnosti tejto cievky

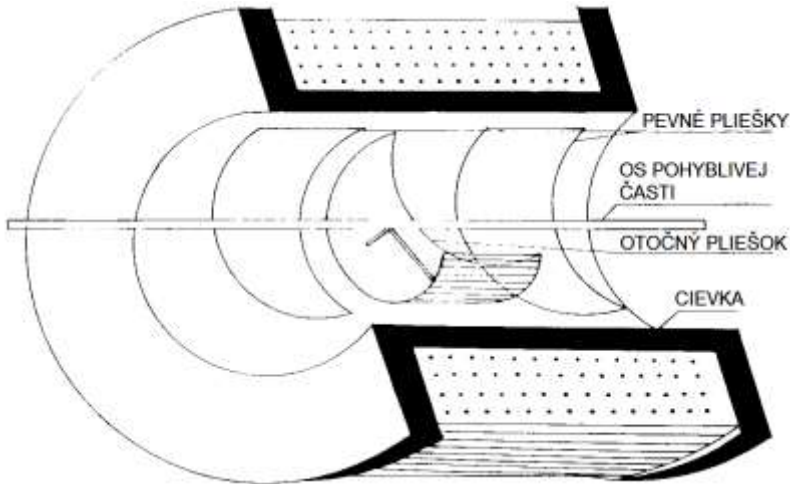
s výchylkou by v striedavých ampérmetroch nebolo možné udržať konštantný pomer medzi indukčnosťou cievky a jej vnútorným odporom.



Obrázok 1.11 Feromagnetický prístroj s plochou cievkou



Obrázok 1.12 Feromagnetický prístroj s kruhovou cievkou



Obrázok 1.13 Ovplyvnenie priebehu delenia stupnice tvarovaním plieškov

#### 1.4.4 Elektrodynamické a ferodynamické prístroje

Elektrodynamické prístroje a ferodynamické prístroje (tiež elektrodynamické prístroje so železom) pracujú na rovnakom princípe ako magnetoelektrické prístroje. Zmena spočíva v odstránení trvalého magnetu a v jeho nahradení cievkou, ktorou preteká elektrický prúd. Pritom v elektrodynamickom systéme je táto cievka vzduchová, zatiaľ čo vo ferodynamickom systéme sú na zosilnenie účinku do obvodu magnetického toku vložené feromagnetické časti. V dôsledku zväčšenia pohybového momentu sa tak vo ferodynamických prístrojoch zväčší citlivosť (pri menšej spotrebe) a obmedzí sa vplyv rušivých magnetických polí. Nevýhodou je menšia presnosť ferodynamických prístrojov vplyvom hysterézie a remanencie a malý frekvenčný rozsah meraní.

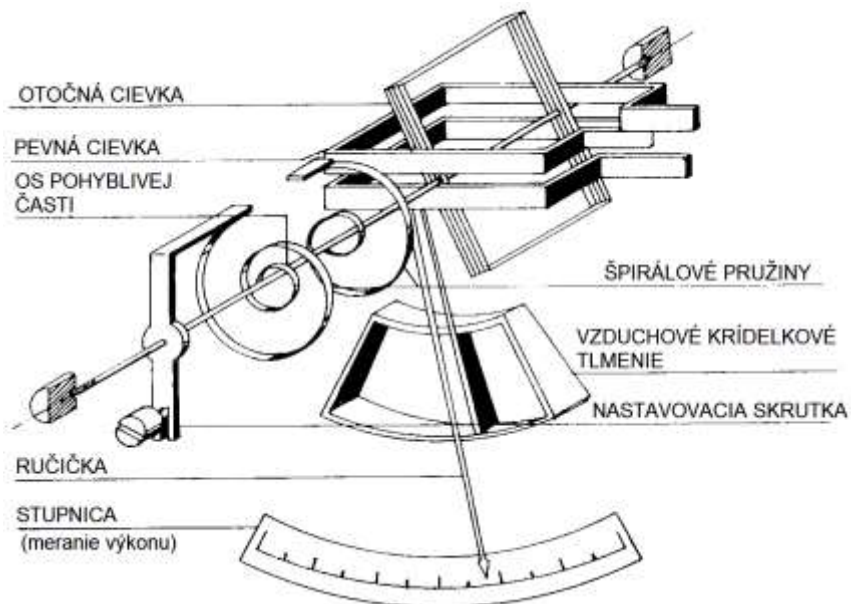
Elektrodynamický prístroj nakreslený na obr. 1.14 predstavuje jedno z konštrukčných riešení, v ktorých je pevná cievka rozdelená na dve časti, aby bolo možné pretiahnuť os pohyblivej časti. Konštrukcia ferodynamického prístroja je zobrazená na obr. 1.15.

Pre moment sústavy platí

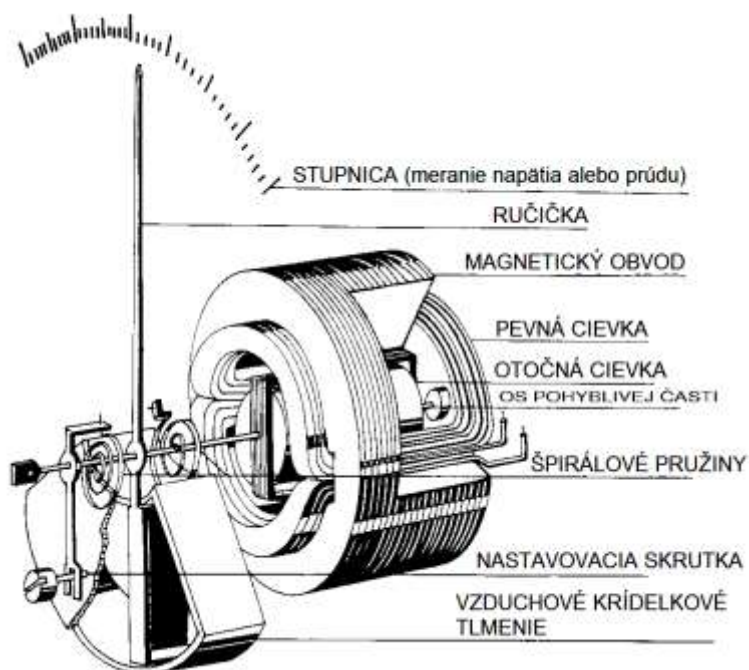
$$M_S = k_S \cdot I_1 \cdot I_2, \quad (1.30)$$

kde:  $M_S$  – moment sústavy,  
 $k_S$  – činiteľ sústavy,  
 $I_1$  – prúd pretekajúci pevnou cievkou systému,  
 $I_2$  – prúd pretekajúci otočnou cievkou systému.

Vzhľadom na rôzne možnosti zapojenia oboch cievok meracieho systému (sériovo do toho istého elektrického obvodu, paralelne do toho istého elektrického obvodu, do rôznych elektrických obvodov) sa menia aj merané veličiny (napätie, prúd, výkon a pod.). Najčastejšie sa elektrodynamické a ferodynamické prístroje používajú na meranie výkonu. Schémy zapojení sú na obr. 1.16.



Obrázok 1.14 Elektrodynamický prístroj



Obrázok 14.15 Ferodynamický prístroj

Na obrázku 1.16 c) je ukázané nesprávne zapojenie cievok pri meraní výkonu. Medzi napäťovou a prúdovou cievkou je tu dosť veľké napätie, takže vzniká chyba v údajoch wattmetra vplyvom pôsobenia elektrostatických síl. Okrem toho môže dôjsť



pri náhodnom dotyku obidvoch cievok k prerazu izolácie a tým k zničeniu meracieho systému.

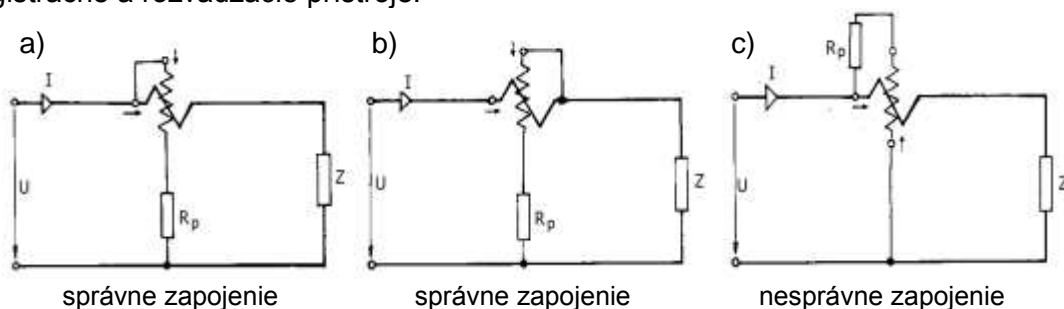
Pozor!

Pri meraní výkonu má byť vždy prúdová svorka so šípkou zapojená na privode od zdroja, zatiaľ čo napäťová svorka so šípkou na jednej z prúdových svoriek.

Výchylka prístroja je priamo úmerná meranému výkonu, stupnica je teda rovnomerná.

Elektrodynamické prístroje sú vhodné na meranie jednosmerných i striedavých veličín, pričom merajú ich efektívne hodnoty, prípadne výkon. Majú malú preťažiteľnosť (pevná cievka 2-10, otočná cievka okolo 1,2). Dosahujú značnú presnosť (až do triedy presnosti 0,1). Ich vlastná spotreba je pomerne veľká. Vplyv frekvencie sa dá kompenzovať len v určitom rozsahu, obvykle 30–300 Hz. Vplyv teploty sa môže prejaviť pri meraní výkonu. Vplyv vonkajších elektrických polí na systém je zanedbateľný. Pri nesprávnom zapojení obidvoch cievok však vplyvom ich elektrického poľa môže vzniknúť veľká chyba, prípadne i môže dôjsť k poškodeniu systému. Vplyv vonkajších magnetických polí je zvyčajne konštrukčne obmedzený vhodným tienením.

Ferodynamické prístroje majú vlastnosti podobné elektrodynamickým prístrojom. Vplyvom vloženého feromagnetika sa však, ako už bolo uvedené, v nich zosilňuje magnetický tok, t. j. zväčšuje sa moment sústavy, a preto tiež citlivosť (pri menšej spotrebe). Oproti elektrodynamickým prístrojom sú obidve cievky lepšie elektricky izolované a teda je menšia možnosť ich vzájomného elektrostatického pôsobenia. Použitie feromagnetika však znižuje presnosť a spôsobuje obmedzenie frekvenčného rozsahu, zvyčajne v pásme 50–60 Hz. K ich výhodám v porovnaní s elektrodynamickými prístrojmi patrí možnosť linearizácie stupnice a zväčšenie výchylky až na  $270^\circ$  vhodnou úpravou tvaru ich magnetického obvodu. Veľký moment systému ich predurčuje na použitie pre registračné a rozvážacie prístroje.



Obrázok 1.16 Meranie výkonu elektro-(fero-) dynamickým prístrojom

### 1.4.5 Indukčné prístroje

Indukčné prístroje (tiež Ferrarisove prístroje) pracujú na všeobecnom fyzikálnom princípe akcie a reakcie, ktorý je aplikovaný na vzájomné pôsobenie

primárneho magnetického poľa vyvolaného meraným prúdom a sekundárneho magnetického poľa vírivých prúdov spôsobených elektromagnetickou indukciou od primárneho poľa. Pri vhodnom časovom posune prúdov cievkami systému a ich vhodným priestorovým usporiadaním vzniká sila, ktorej pôsobením na ramene je vyvolaný moment otočnej časti systému voči pevnej časti. Zvláštnosťou tohto typu prístroja je trvalé pôsobenie momentu systému, ktoré je nezávislé od výchylky otočnej časti. Pri úplnej absencii umelo vyvolaného direktívneho momentu sa otočná časť roztočí otáčkami obmedzenými len trením v ložiskách a o vzduch. Ak sa nastaví brzdiaci moment na určitú konštantnú hodnotu (napr. prostredníctvom trvalého magnetu) možno indukčný systém použiť na integračné účely.

Pre moment sústavy platí

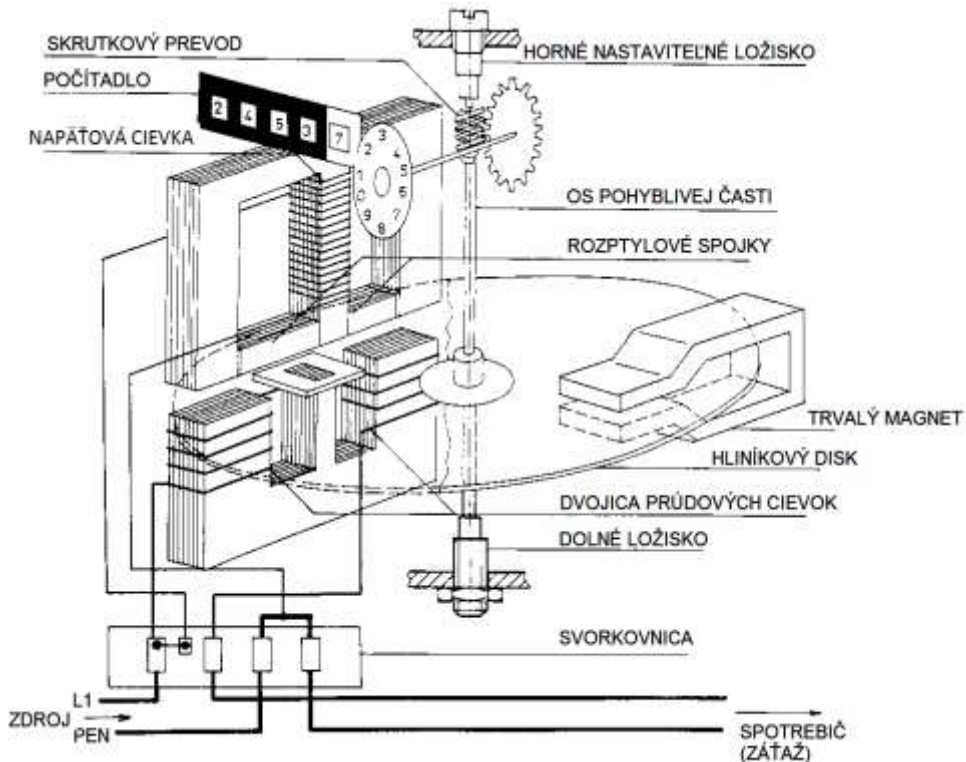
$$M_S = k_S \cdot \omega \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \sin \psi, \quad (1.30)$$

kde:  $M_S$  – moment sústavy,  
 $k_S$  – činiteľ sústavy vyplývajúci z vyhotovenia a rozmerov systému, odporu kotúča a počtu závitov cievok,  
 $I_1, I_2$  – efektívne hodnoty prúdov pretekajúcich cievkami systému,  
 $\psi$  – fázový posun prúdov pretekajúcich cievkami systému.

Zo vzťahu pre moment sústavy vyplýva, že moment sústavy je tým väčší, čím väčšie sú prúdy pretekajúce cievkami. Najväčšiu hodnotu dosiahne pri fázovom posune prúdov  $\psi = 90^\circ$ , zatiaľ čo v prípade prúdov vo fáze je nulový.

Indukčný systém sa v súčasnosti používa iba na jediné, zato však celkom špecifické meranie, a to meranie odberu elektrickej energie. Využíva sa tu možnosť trvalého otáčania otočnej časti systému pri nepôsobiacom direktívnom momente. Odstránením riadiacej pružiny indukčný systém prechádza do integračného režimu. Podľa celosvetových štatistík predstavujú elektromery najrozšírenejšie elektrické meracie prístroje a spoločne s hodinkami najrozšírenejšie mechanické meracie prístroje vôbec. Obidvoje sú však vytláčané svojimi digitálnymi nástupcami.

Na obr. 1.17 je znázornený indukčný elektromer jednofázového striedavého prúdu, s ktorým sa stretávame bežne, napr. v bytových prípojkách. Inštalčné vodiče sú pripojené na svorkovnicu k svorkám spojeným s cievkami. Na strednej časti magnetického obvodu je navinutá napäťová cievka, ktorá má veľký počet závitov z tenkého drôtu (väčšiu indukčnosť). Na postranných častiach magnetického obvodu je navinutá do série spojená dvojica prúdových cievok, ktoré majú malý počet závitov hrubého drôtu (menšia indukčnosť). Jadrá obidvoch elektromagnetov sú voči sebe priestorovo pootočené a to spolu s fázovým posunom ich prúdov vytvára postupné magnetické pole v hliníkovom kotúči, ktorý sa roztočí. Aby rýchlosť jeho otáčania bola vždy úmerná napätiu siete a prúdu spotrebičom, otáča sa kotúč v poli trvalého magnetu. Vírivé prúdy prostredníctvom tohto magnetu indukované vytvárajú brzdiaci moment, ktorý sa dá nastaviť tak, aby počítadlo priamo ukazovalo spotrebovanú elektrickú energiu, a to bezprostredne v kWh alebo v podobe číselného údaju, ktorý násobíme na štítku elektromeru vždy uvedenou konštantou elektromeru  $k$ .



Obrázok 1.17 Indukčný elektromer jednofázového striedavého prúdu

Indukčné meracie prístroje sú vhodné iba na meranie striedavých veličín, pričom merajú ich efektívne hodnoty, alebo prenesenú činnú, či jalovú energiu. V prípade merania prenesenej činnnej energie hovoríme tiež o meraní práce elektrického prúdu. Vplyvom masívnej konštrukcie a tiež preto, že do otočnej časti systému sa neprivádza elektrický prúd, majú indukčné prístroje veľké preťaženie. Ich vlastná spotreba je dosť veľká (15–20 VA). Najvyššia dosiahnuteľná presnosť je pomerne malá (najvyššia trieda presnosti 1). Vplyv frekvencie je veľký vzhľadom na to, že v súlade s rovnicou pre moment sústavy je od nej bezprostredne závislý práve moment sústavy, navyše je tento vplyv nelineárny a preto sa indukčné prístroje vždy kalibrujú na použitie pri jedinej frekvencii. Veľký vplyv na údaj týchto prístrojov majú aj teplotné zmeny, pretože hliníkový kotúč sa vírivými prúdmi zahrieva a tým zväčšuje svoj odpor. V elektromeroch to však nevedí, pretože pracujú na základe rovnováhy medzi momentom sústavy a brzdiacim momentom, ktoré sú od odporu kotúča rovnako závislé. Indukčné prístroje majú tak silné vlastné magnetické pole, že vplyv cudzích magnetických polí na ich činnosť je zanedbateľný, tiež vonkajšie elektrické polia tieto prístroje prakticky neovplyvňujú.

#### 1.4.6 Tepelné prístroje

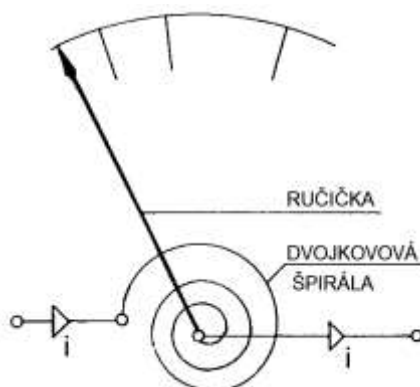
Tepelné prístroje pre svoju činnosť využívajú tepelné účinky elektrického prúdu charakterizované Joule-Lencovým zákonom. Pri priamom alebo nepriamom

zahriatí prietokom elektrického prúdu dochádza ku geometrickým zmenám (dĺžky, prípadne tvaru), ktoré sú tu prostredníctvom vhodného mechanizmu prenesené na pohyblivú časť systému prístroja.

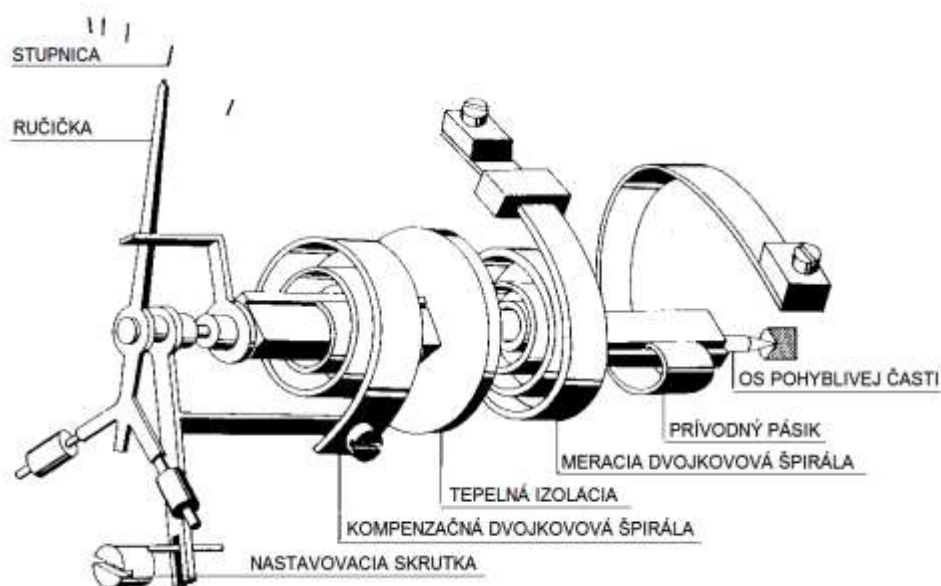
Pôvodné tepelné prístroje s drôtom využívali zmenu dĺžky napnutého drôtu spôsobenú prietokom elektrického prúdu, ktoré sa cez kladku prenášali na ručičku. Mechanický prevod kladkou umožňoval preniesť malé zmeny dĺžky meraného drôtu na veľké výchylky ručičky. Tieto prístroje sa už v súčasnosti nepoužívajú a väčšinou boli nahradené elektromechanickými meracími prístrojmi s termoelektrickým článkom, prípadne elektronickými meracími prístrojmi pre vysokofrekvenčné signály.

Usporiadanie tepelného systému s dvojkovom, ktoré je schematicky zobrazené na obr. 1.18, vychádza z modernejšej aplikácie pôvodnej myšlienky, v ktorej sú meraný drôt s kladkou nahradené dvojkovovým pásikom zvinutým do špirály, teda pásikom zloženým z dvoch kovov s rôznou teplotnou rozťažnosťou. Dvojkov (bimetal) sa pri zahriatí v dôsledku prietoku elektrického prúdu ohýba na tú stranu, kde je materiál s menším súčiniteľom teplotnej rozťažnosti (tzv. pasívna vrstva) a pretože je na jednej strane ukotvený a na druhej strane je spojený s hriadeľom ručičky, prenáša sa uvedená zmena i na ručičku. Tento princíp je využívaný v celom rade iných zariadení (dvojkovové teplomery a termostaty, tepelné spúšťače, rôzne tepelné ochrany a pod.). Možno ho teda pri rešpektovaní určitých zvláštností vyplývajúcich z praktických požiadaviek meraní využiť aj v konštrukcii tepelného prístroja s dvojkovom, ktorý je zobrazený na obr. 1.19. Meraný prúd prechádza cez tenký prívodný pásik z medi alebo striebra na meraciu dvojkovovú špirálu, ktorá mení svoj tvar so zmenou teploty vyvolanou prietokom elektrického prúdu. Opačne vinutá kompenzačná dvojkovová špirála vyrovnáva vplyv zmien teploty okolia. Vznik momentu systému zabezpečuje meracia špirála, zatiaľ čo na zabezpečenie direktívneho momentu sa podieľajú obidve. Výchylka ručičky je daná rovnováhou síl vzniknutých nerovnakou tepelnou rozťažnosťou obidvoch vrstiev meracej špirály a síl vzniknutých v dôsledku deformácie obidvoch špirál. Prenosu tepla z mernej špirály na kompenzačnú bráni kotúč z tepelne izolačného materiálu.

Vzťah pre moment sústavy  $M_S$  nemožno určiť ako v predchádzajúcich systémoch, pretože silové pôsobenie tepelného systému nie je založené na existencii magnetického alebo elektrického poľa. Pri jeho odvodzovaní by sa vychádzalo zo známych princípov mechaniky tuhých telies, avšak vzhľadom na konštrukčné nepresnosti i nie celkom presne definované vlastnosti použitých materiálov by sme aj pomocou presných výpočtov dospeli k nepresným výsledkom. Preto sa i v praxi pri priemyselnej výrobe týchto prístrojov vychádza skôr z empirických skúseností výrobcov, pričom vyrobené prístroje sú ciachované pomocou presných meracích prístrojov.



Obrázok 1.18 Usporiadanie tepelného systému s dvojkovom



Obrázok 1.19 Tepelný prístroj s dvojkovom

Tepelné meracie prístroje sú vhodné na meranie jednosmerných i periodicky premenných veličín, pretože oteplenie vodiča je dané efektívnou hodnotou ním pretekaného elektrického prúdu. Meria efektívnu hodnotu a to bez ohľadu na tvar krivky a frekvenciu, pokiaľ sa neuplatní rušivý vplyv skin efektu alebo vplyv frekvenčnej závislosti prídavných zariadení (predradníky, bočníky, meracie transformátory). Stupnica je nerovnomerne delená. Teoreticky by mala byť delená kvadraticky, pretože oteplenie je približne úmerné druhej mocnине efektívnej hodnoty prúdu. V skutočnosti to tak nie je, pretože sa uplatňujú i ďalšie faktory, ako sú nelinearity vlastností pružiny, únik tepla sálaním a pod. Tepelné prístroje sú nepresné (trieda presnosti 3-5) a majú veľkú vlastnú spotrebu. Vplyv vonkajších elektrických a magnetických polí je nulový. Paralelne k systému týchto prístrojov sa často pripája bočník takej veľkosti, aby vhodným využitím tepelnej závislosti

rozdelenia prúdu medzi bočník a meráciu dvojkovovú špirálu sa docielilo dosť rovnomerné delenie stupnice, a to asi od 1/5 jej rozsahu. Existencia kompenzačnej dvojkovovej špirály v nich do veľkej miery eliminuje vplyv vonkajšej teploty na nulovú polohu ručičky.

Použitie dvojkovových špirál má niektoré závažné dôsledky. V prvom rade je príčinou veľkej tepelnej zotrvačnosti, vyplývajúcej z veľkej tepelnej kapacity obidvoch pomerne rozmerných špirál. Tým sme síce zbavení nutnosti použiť tlmenie systému, avšak musíme počítať s dlhým časom ustálenia výchylky (8 až 15 minút). Pri meraní rýchlo kolísajúcich veličín preto tepelné prístroje s dvojkovom merajú priemernú efektívnu hodnotu. Ďalším dôsledkom použitia dvojkovových špirál je pomerne veľký moment systému, takže tieto prístroje môžu byť vybavené vlečným ukazovateľom maxima, minima, prípadne obidvoch, ktoré sú unášané ručičkou a zostávajú v mieste jej extrémnej výchylky. Veľký moment systému umožňuje tiež konštrukciu zapisovačov priemernej efektívnej hodnoty sledovaných veličín, v ktorých systém priamo pohybuje písateľom. Tepelné prístroje tohto typu sa najčastejšie používajú na meranie v rozvodoch elektrickej energie na sledovanie zaťaženia rozvodnej siete a elektrických strojov, pretože priemerná efektívna hodnota elektrického prúdu, ktorú v tomto prípade udávajú, je smerodajná na posúdenie otepľovania vodičov a strojov. Z rovnakých dôvodov, ku ktorým navyše pristupuje konštrukčná jednoduchosť a necitlivosť výchylky na otrasy, sa používajú i ako indikačné prístroje prevádzkového stavu akumulátorov (vybíjanie – pokoj – nabíjanie) v elektrickom vybavení motorových vozidiel.

### 1.4.7 Rezonančné prístroje

Rezonancia je všeobecný fyzikálny jav, ku ktorému môže dôjsť v systémoch, v ktorých je možná vratná výmena dvoch druhov energií. V mechanických systémoch ide o vzájomnú výmenu polohovej a kinetickej energie, v elektrických systémoch ide o vzájomnú výmenu energie elektrického a magnetického poľa. Po jednorazovej dodávke energie tieto systémy kmitajú vlastnými kmitmi. Pretože sa vždy určitá časť energie zmení na teplo, ide o tlmené kmity. Ak však zvonku periodicky pôsobíme na takýto systém, menia sa všetky jeho veličiny tiež periodicky. Hovoríme, že systém vykonáva nútené kmity. Pri určitej frekvencii, ktorá je blízka (nie rovná) frekvencii vlastných kmitov systému prestáva výmena energie medzi vonkajším zdrojom periodického pôsobenia a systémom (správnejšie podľa skutočnosti môžeme povedať, že zdroj kryje iba straty). Dochádza k výmene energie iba vo vnútri systému a k extrémnej zmene amplitúd jeho veličín. Uvedená frekvencia sa nazýva rezonančná frekvencia a jav s ňou spojený sa nazýva rezonancia.

Rezonancia nachádza uplatnenie v celom rade technických odvetví (oznamovacia technika, energetika a pod.) a samozrejme tiež v meracej technike. Elektromechanické rezonančné prístroje využívajú rezonanciu niektorej časti svojho systému s kmitmi meranej veličiny. Vzhľadom na to, že ide o mechanickú rezonanciu v rámci pohyblivej časti systému, sú použiteľné len pre nízke frekvencie. Tu nachádzajú uplatnenie pri meraní frekvencie a pri selektívnej indikácii veličín určitej frekvencie. Pre svoju presnosť, jednoduchosť a spoľahlivosť konštrukciu sú veľmi rozšírené. Omnoho širšie frekvenčné pásmo obsiahu

elektronické meracie prístroje s elektricky ladenými obvodmi. Ich nevýhodou je menšia presnosť a prirodzene tiež podstatne väčšia zložitosť, a preto aj cena.

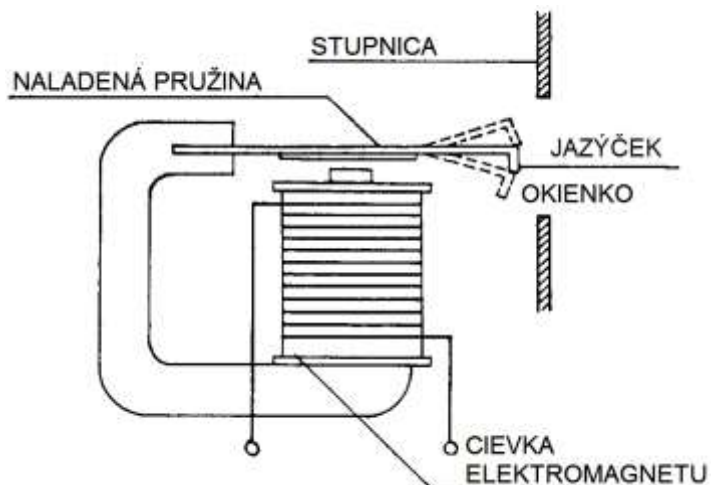
Jazýčkové merače frekvencie pracujú na princípe feromagnetického systému s tým rozdielom, že nejde o meranie odvodené z ustálenej odchýlky feromagnetika v magnetickom poli z nulovej polohy, ale o meranie jednotlivých hodnôt amplitúd kmitov sústavy feromagnetík v magnetickom poli.

Usporiadanie rezonančného systému na meranie frekvencie je na obr. 1.20. Súčasťou magnetického obvodu je cievka elektromagnetu s jadrom a sústava naladených oceľových pružín (jazýčkov) v jeho vzduchovej medzere. Jazýčky sú vpredu zahnuté do pravého uhla a ich čelné plošky sú nafarbené (smaltované) na bielo. Jazýčky sú naladené na mechanické rezonančné kmity rôznej veľkosti, pričom sú zoradené tak, že ich rezonančná frekvencia stúpa v smere zľava doprava. Čelné plošky jednotlivých jazýčkov zasahujú do okienka rovnomerne delenej stupnice, ktorá je teda v podstate vytvorená množinou hodnôt diskretných frekvencií, odstupňovaných v aritmetickom rade.

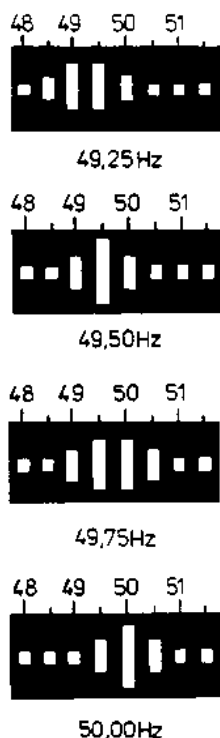
Pri prechode striedavého prúdu cievkou elektromagnetu sa v časovo premenlivom magnetickom poli vo vzduchovej medzere vždy najviac rozkmitá príslušne naladený jazýček. Ak kmitajú dva susedné jazýčky s rovnakou amplitúdou, je meraná frekvencia aritmetickým priemerom frekvencií udávaným jedným a druhým jazýčkom. Rozkmitanie každého jazýčka sa vplyvom zrakovej zotrvačnosti javí ako rozťahnutie obrazu príslušného jazýčka. Pritom ostatné pružiny, ktoré sú naladené na vzdialenejšie frekvencie, takmer vôbec nekmitajú. Na obr. 1.21 je naznačený spôsob čítania hodnôt na stupnici rezonančného systému na meranie frekvencie. Z uvedeného princípu vychádza i konštrukčné vyhotovenie jazýčkového merača frekvencie s dvomi radmi jazýčkov znázornené ako realizácie na obr. 1.22. Časovo premenné magnetické pole je vytvorené jedinou cievkou elektromagnetu, ktorá je pretiahnutá tak, aby sa v oblasti magnetického toku nachádzali všetky jazýčky, pre väčší frekvenčný rozsah prístroja sú jazýčky usporiadané v dvoch radoch. Mechanická frekvencia každého jazýčka sa mení jeho dĺžkou, hrúbkou alebo zmenou hmotnosti jeho voľného konca (pomocou kvapky spájky, vyvítaním otvoru a pod.).

Jazýčkové merače frekvencie možno použiť na meranie frekvencií striedavých veličín. Konštruujú sa s rovnomerne delenou stupnicou. Ide o konštrukčne jednoduché a preto relatívne lacné prístroje. Do obvodu sa zapájajú paralelne a okrem frekvenčného rozsahu je treba dbať na približné dodržanie nominálneho napätia. Vzhľadom na pevne umiestnenú cievku však znesú i väčšie preťaženie. Presnosťou tieto prístroje zodpovedajú možnostiam feromagnetického systému (trieda presnosti od 0,2, bežne od 0,5). Pomerne veľká vlastná spotreba väčšinou nie je nedostatkom s ohľadom na ich použitie (prevádzkové panelové prístroje, prevádzkové rozvádzače prístroje, laboratórne prístroje na meranie v energeticky dostatočne dimenzovaných obvodoch). Nevýhodou týchto prístrojov je ich citlivosť na väčšie zmeny teploty, kedy sa mení modul pružnosti jazýčkov, a ďalej veľmi veľký vplyv chvenia podložky, na ktorej sú pri meraní uložené. Jazýčkovými meračmi frekvencie možno merať frekvencie v rozsahu od 15 do 1 500 Hz. Jazýčky pre nižšie frekvencie by museli byť príliš dlhé a tenké, čo by neúnosne zvýšilo rušivý vplyv otrasov a chvenia, jazýčky pre vyššie frekvencie by zas

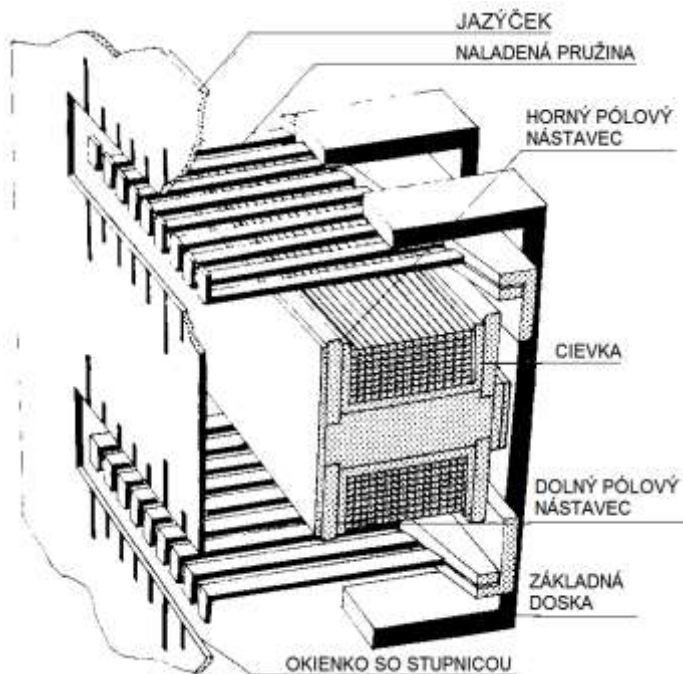
vychádzali príliš krátke a hrubé, takže amplitúda ich kmitov by už bola na potreby odčítania hodnôt na stupnici veľmi malá.



Obrázok 1.20 Usporiadanie rezonančného systému na meranie frekvencie



Obrázok 1.21 Čítanie hodnôt na stupnici



Obrázok 1.22 Jazýčkový merač frekvencie

Negatívny vplyv chvenia podložky pri meraní frekvencie sa stane pozitívnym javom v okamihu, kedy sa rozhodneme použiť jazýčkový merač frekvencie na meranie otáčok strojov. Pri položení merača frekvencie na meraný stroj sa jeho



jazyčky rozkmitajú v rezonancii s chvením tohto stroja. Aj pri malých nevyváženiach rotorov je totiž toto chvenie závislé od ich otáčok. Je však nutné dať pozor na násobky a podiely meraných otáčok, pretože s nimi tiež kmitajú príslušné jazyčky. Výhodou tohto spôsobu merania je skutočnosť, že pri ňom nie je meraný stroj zaťažovaný prídavným momentom, čo je dôležité napr. pri meraní malých motorčekov. Dosiahnuteľná presnosť je až 1 %.

## 1.5 Elektronické meracie prístroje

Elektronické meracie prístroje tvoria veľmi rozsiahlu skupinu meracích prístrojov, s ktorými sa stretávame i v školských laboratóriách. V tejto kapitole sa budeme venovať iba tým najvýznamnejším, ktoré sa pri najrôznejších druhoch meraní používajú najčastejšie.

### 1.5.1 Číslicové meracie prístroje

V polovine dvadsiateho storočia boli na trh uvedené prvé číslicové voltmetre. Boli to objemné a nákladné prístroje, určené pre špeciálne laboratória. Koncom šesťdesiatych rokov sa číslicová technika uplatnila v širšom rozsahu. Boli objavené nové metódy analógovo/číslícového (A/Č) prevodu a súčiastková základňa bola obohatená o číslicové integrované obvody a operačné zosilňovače. Tie umožnili podstatne znížiť počet súčiastok a tiež rozšíriť funkčné možnosti týchto prístrojov. S rastúcou integráciou obvodov sa rozmery zmenšili a teraz možno vidieť číslicové meracie prístroje od vreckového vyhotovenia až po objemnejšie prístroje.

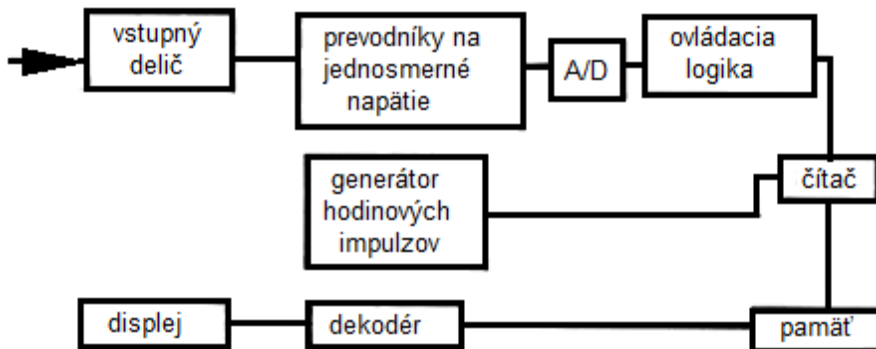
Číslicové meracie prístroje poskytujú hodnotu meranej veličiny v číselnej forme na indikačnom paneli prístroja. Číslicový merací prístroj je prístroj, ktorý v procese merania vykonáva operáciu kvantovania meranej veličiny, jej číslicové kódovanie a znázorňuje výsledky merania v číslicovom tvare priamo ako číslo alebo kód. Meraná informácia môže mať len určitý vopred zvolený počet diskretných hodnôt. Meranú veličinu nie je možné merať trvalo, pretože prevod analógovej hodnoty na diskretnú hodnotu vyžaduje určitý čas.

Pri čítaní údajov z analógového meradla musíme najprv skontrolovať polaritu meranej veličiny, potom musíme určiť meraný rozsah, prečítať hodnotu v dielikoch a vynásobiť konštantou. Pritom často dochádza k chybe spôsobenej čítaním z rôznych uhlov. Údaj čítaný z číslicového meracieho prístroja sa číta i s polohou desatinnej čiarky okamžite spolu s údajom o polarite. Veľká väčšina číslicových meracích prístrojov je vybavená automatickým prepínaním rozsahov, čím sa zjednodušuje a zrýchľuje meranie. Klasické analógové meracie prístroje majú presnosť okolo 1–0,1 %. Číslicové meracie prístroje merajú bežne s presnosťou 0,1–0,001 %, to isté platí aj o linearite merania.

Číslicové meracie prístroje sú spravidla vybavené obvodmi pre automatickú ochranu proti preťaženiu, takže na ich vstup možno priviesť až tisíckrát väčší signál, než zodpovedá zvolenému rozsahu. Bezprostredne po odstránení preťaženia je prístroj schopný správne merať. Vstupný odpor v analógových meracích prístrojoch býva bežne 20–200 k $\Omega$ /V. Číslicové meracie prístroje majú na nižších rozsahoch odpor cca 10 G $\Omega$ , na vyšších rozsahoch cca 10 M $\Omega$ . To má

veľký vplyv na presnosť merania, najmä napätí na veľkých impedanciách. V analógových meracích prístrojoch je rýchlosť merania určená predovšetkým časom ustálenia ručičky – rádovo sekundy. V číslicových meracích prístrojoch je to iba čas prevodu vstupnej analógovej veličiny na číslicový údaj. Bežné číslicové meracie prístroje majú čas prevodu v rozmedzí 20–300 ms (sú aj omnoho rýchlejšie prevody), čo umožňuje sledovať pomaly sa meniace signály a pomocou vzorkovacích obvodov i rýchle sa meniace signály a krátke napäťové impulzy. Číslicový údaj úmerný meranej veličine možno vyviesť z číslicového meracieho prístroja vo forme binárneho kódu a vkladať do procesorov. Základná bloková schéma číslicového meracieho prístroja je na obr. 1.23.

S číslicovými meracími prístrojmi sa bežne stretávame v školských laboratóriách, kde umožňujú rýchle a efektívne meranie elektrických veličín (napätie, prúd, odpor, kapacita, zvyškové prúdy polovodičových súčiastok a pod.). Z didaktického hľadiska je však vhodné, aby sa žiaci najskôr naučili pracovať s analógovými elektromechanickými prístrojmi a až potom začali používať digitálne meracie prístroje.



Obrázok 1.23 Základná bloková schéma číslicového meracieho prístroja

### 1.5.2 Generátory

Do elektronickej meracej techniky patria okrem meracích prístrojov i generátory (tiež generátory meracích elektrických signálov, signálne generátory). Sú to zdroje elektrického napätia alebo prúdu, pričom veľkosť, prípadne i časový priebeh týchto veličín, sú známe s tak veľkou presnosťou, že môžu pri elektrickom meraní slúžiť ako meracie normály. Výstupný odpor generátorov pre elektrické merania je väčšinou tak malý, že možno s ohľadom na bežnej záťaži pokladať ich za zdroj napätia. Použitie generátorov meracích signálov je mnohostranné.

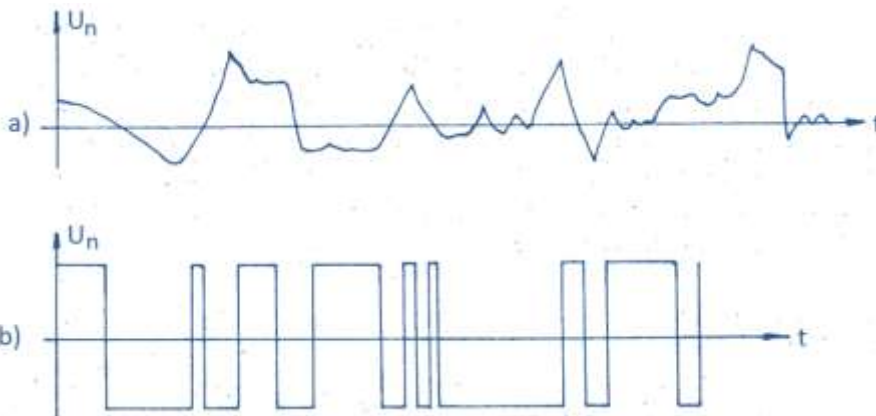
Podľa frekvenčného rozsahu rozlišujeme:

- generátory veľmi nízkej frekvencie od 0,01 Hz do 1 kHz,
- nízkofrekvenčné (fázové) generátory od 10 Hz do 20 kHz,
- vysokofrekvenčné generátory od 20 kHz do 150 MHz,
- generátory obrazovej frekvencie od 80 MHz do 900 MHz,
- generátory veľmi vysokej frekvencie od 850 MHz do 16 GHz a vyššie.

Princípom obvodového usporiadania sa generátory od seba líšia. Používané sú napríklad RC generátory, LC generátory, záznejové generátory, číslicové

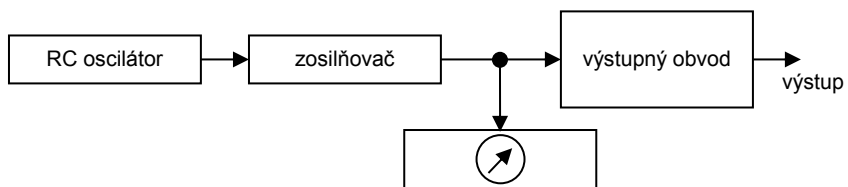
generátory, generátory s Gunnovou diódou atď. Pre úplnosť je nutné zmieniť sa i o generátoroch náhodného signálu, generátoroch s amplitúdovou a frekvenčnou moduláciou, rozmiataných generátoroch a generátoroch šumu.

Generátor náhodného signálu je generátor náhodného priebehu elektrického napätia (tiež generátor šumu), napr. graf 1.2a). Vytváraný náhodný signál má buď rozdelenie okamžitých hodnôt blízke normálnemu (normálny náhodný signál), ako v uvedenom obrázku, alebo nadobúda len dve hodnoty (binárny náhodný signál, telegrafný náhodný signál) ako na graf 1.2b). Základným prvkom týchto generátorov sú súčasti, na ktorých vzniká šum. Je možné použiť ohriaty vodič (najčastejšie odpor), nízkotlakovú výbojku alebo polovodičovú súčiastku (najčastejšie polovodičovú diódu). Od generátora náhodného signálu požadujeme, aby spektrálna hustota jeho signálu bola v dostatočne širokom frekvenčnom rozsahu konštantná. Vhodným meničom možno transformovať elektrický šum na inú veličinu (akustický šum, mechanické vibrácie a pod.).

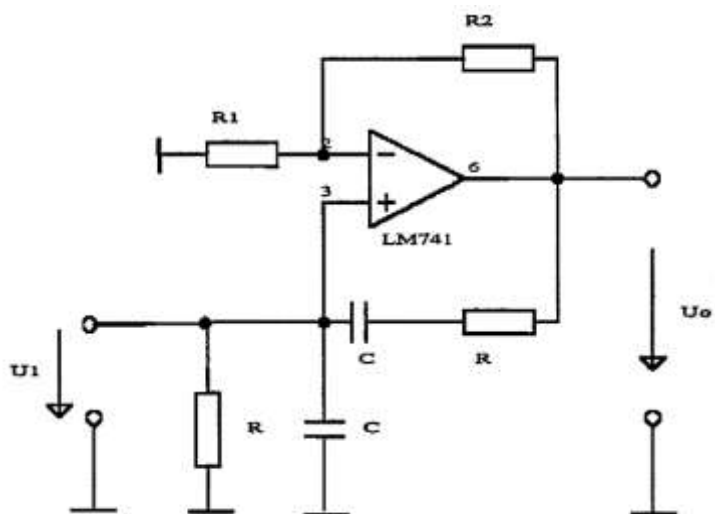


Graf 1.2 Náhodný priebeh elektrického napätia (elektrický šum): a) normálny náhodný signál, b) binárny náhodný signál (telegrafný náhodný signál).

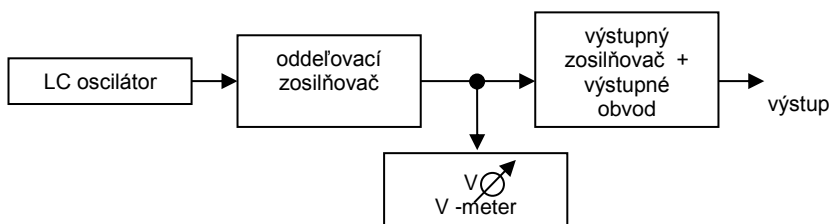
Generátor harmonického signálu bez modulácie nakreslený na obr. 1.24 obsahuje kmitavý RC obvod, zosilňovač a výstupný obvod. Frekvencia sa nastavuje ladením RC obvodu, úroveň výstupného napätia kontrolujeme voltmetrom. Jeho základnou časťou je RC oscilátor s Wienovým členom, ktorý sa veľmi často realizuje podľa obr. 1.25. Generátor vyrába harmonický signál s frekvenciou od jednotiek Hz do jednotiek MHz. Používa sa v bežnej technickej praxi ako tónový generátor pri oživovaní akustických zariadení. Iné vyhotovenie generátora harmonického signálu bez modulácie na obr. 1.26 obsahuje kmitavý LC obvod, oddeľovací zosilňovač a výstupné obvody. Frekvencia sa nastavuje ladením LC obvodu, úroveň výstupného napätia kontrolujeme voltmetrom. Jeho základnou časťou je LC oscilátor, ktorý sa často realizuje v zapojení podľa obr. 1.27. Najnovšie sa ako normál frekvencie používa kryštál. Generátor vyrába harmonický signál s frekvenciou 500–650 kHz.



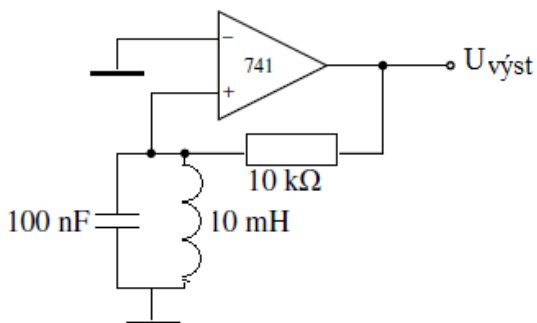
Obrázok 1.24 Generátor harmonického signálu bez modulácie s RC oscilátorom



Obrázok 1.25 RC oscilátor

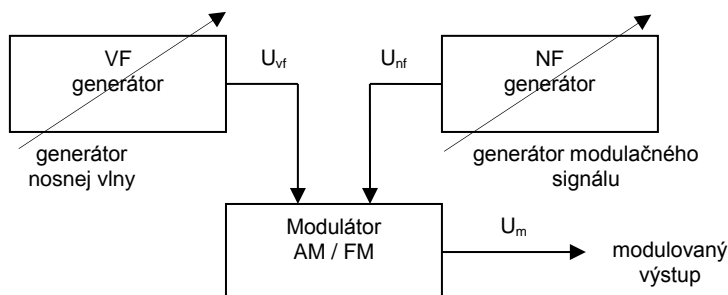


Obrázok 1.26 Generátor harmonického signálu bez modulácie s LC oscilátorom

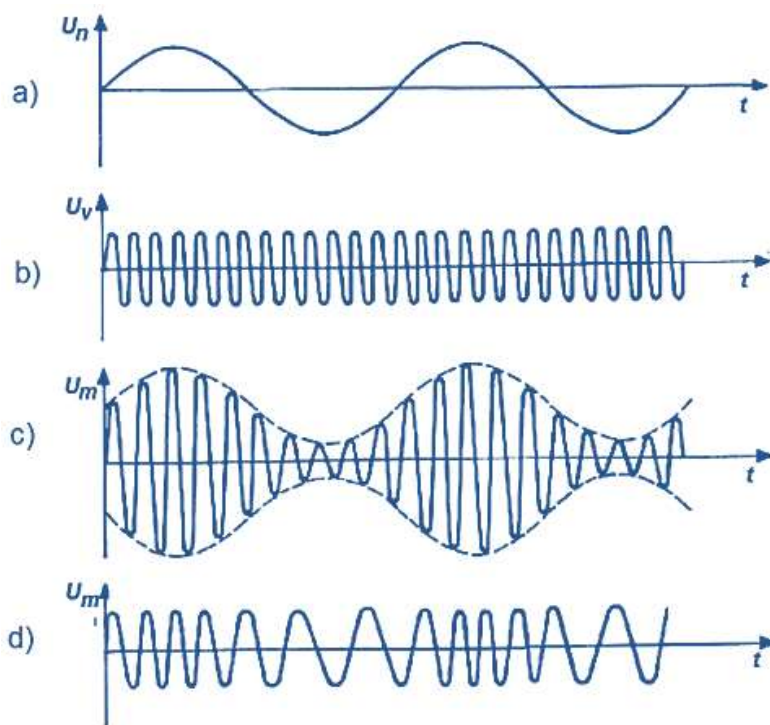


Obrázok 1.27 LC oscilátor

Generátor harmonického signálu s moduláciou amplitúdovou alebo frekvenčnou je zdroj časovo premenného signálu, ktorého amplitúdu a frekvenciu možno v danom rozsahu meniť a táto nosná frekvencia je modulovaná pomocným modulačným signálom. Blokovaná schéma takéhoto generátora je na obrázku 1.28, príslušné časové priebehy sú na grafe 1.3.



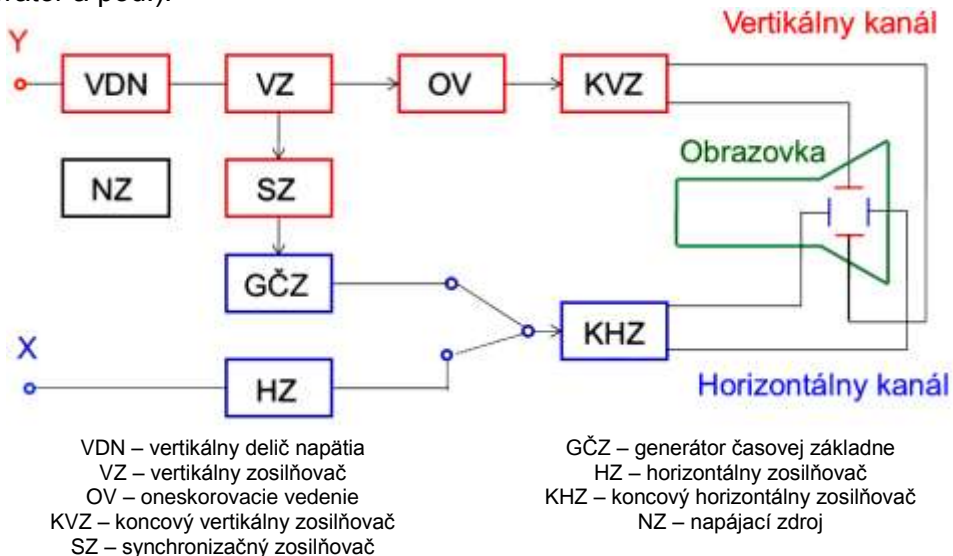
Obrázok 1.28 Generátor harmonického signálu s moduláciou



Graf 1.3 Priebehy napätí generátora harmonického signálu s moduláciou:  
 a) modulačný nízko-frekvenčný signál, b) vysokofrekvenčný signál,  
 c) amplitúdovo modulovaný signál, d) frekvenčne modulovaný signál.

### 1.5.3 Osciloskopy

Osciloskop je elektronický prístroj, ktorý umožňuje prostredníctvom obrazovky pozorovať a časovými i napäťovými údajmi presne špecifikovať ľubovoľný periodický priebeh elektrického napätia, alebo vzťahy medzi napätiami. Pretože na elektrické napätie možno transformovať aj iné veličiny, osciloskop možno použiť na skúmanie najrôznejších dejov a môžeme ho považovať za najuniverzálnejší prístroj v elektrotechnike. Najbežnejšie sú dvojkanálové osciloskopy s jednolúčovou obrazovkou. Bloková schéma osciloskopu je na obr. 1.29. Jeho základné bloky tvoria horizontálny a vertikálny zosilňovač, generátor časovej základne, napájacie zdroje a špeciálne prídavné obvody (elektronický prepínač, kalibrátor a pod.).



Obrázok 1.29 Bloková schéma osciloskopu

Priebeh sledovaného signálu je zobrazovaný na obrazovke s elektrostatickým vychýľovaním. Pomocou zosilňovačov sa zväčšuje celková vychýľovacia citlivosť, pretože vychýľovacia citlivosť obrazovky je pomerne malá. Ak sa má pozorovať časový priebeh daného napätia, vychýľuje sa ním lúč vo vertikálnom smere, v horizontálnom smere je vychýlenie lúča riadené časovou základňou, nastavovanou po skokoch alebo plynulo.

Podľa frekvenčného rozsahu delíme osciloskopy na jednosmerné alebo striedavé (nízkofrekvenčné, vysokofrekvenčné, širokopásmové). Podľa obrazovky rozlišujeme osciloskopy jednolúčové a dvojlúčové. Podľa konštrukcie a druhu luminoforu sú obrazovky s dlhým, stredným a krátkym dosvitom, podľa farby na tienidle so žltozeleným, modrým a zeleným svetlom.

Druhy osciloskopických meraní:

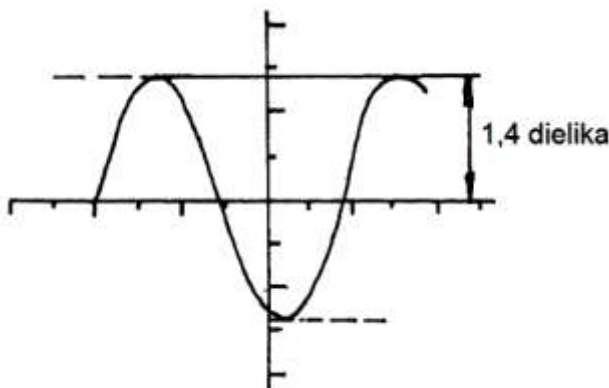
- meranie napätia,
- meranie prúdu,
- meranie frekvencie a času,
- meranie fázového posunu,

- meranie všeobecných periodických priebehov.

Údaj osciloskopu určíme z odčítaného obrázku na tienidle obrazovky a polôh prepínačov rozsahov (citlivosti) vertikálneho zosilňovača a frekvencie časovej základne. Na odčítanie nám slúži raster, ku ktorému sa vzťahujú údaje na stupniciach.

### 1.5.3.1 Meranie napätia osciloskopom

Merané napätia odčítame z rastra a podľa zisku vertikálneho zosilňovača. Postup pri meraní je nasledujúci: pomocou kalibračného napätia sa presvedčíme (prípadne opravíme nastavenie rozsahu), že údaj citlivosti vertikálneho zosilňovača zodpovedá údaju na ňom uvedenom a skontrolujeme citlivosť (t. j. veľkosť napätia na jeden dielik stupnice). Veľkosť napätia po pripojení signálu potom zistíme jednoduchým výpočtom, ako v príklade merania napätia na obr. 1.30. Rozsah vertikálneho zosilňovača 5 V/d. Aké veľké napätie je v obvode? V obvode je napätie  $5 \cdot 1,4 = 7$  V.



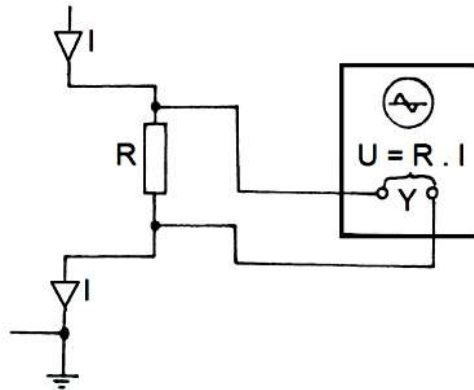
Obrázok 1.30 Príklad merania napätia

### 1.5.3.2 Meranie prúdu osciloskopom

Meranie prúdu osciloskopom sa vykonáva:

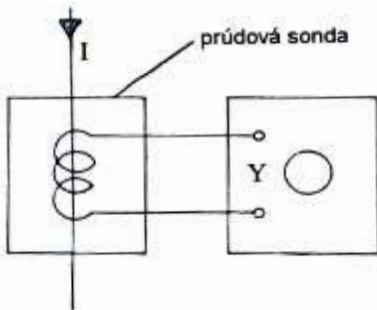
- meraním pomocou úbytku napätia,
- prúdovou sondou.

**Meranie prúdu pomocou úbytku napätia** je na obr. 1.31.  $R$  je bezindukčný odpor malej hodnoty, minimálne ovplyvňujúci prúd v obvode, zapojený v uzemnenej vetve meraného obvodu. Prechádzajúci prúd určíme z Ohmovho zákona, pretože veľkosť  $R$  poznáme a veľkosť  $U$  odčítame na osciloskope.

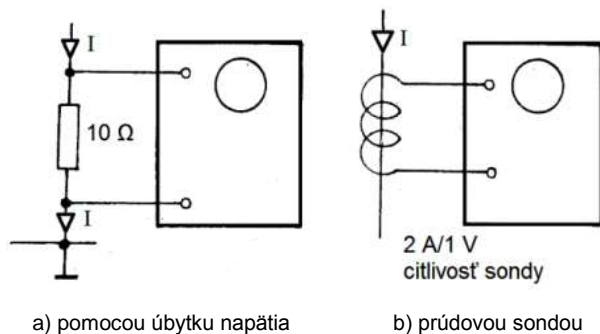


Obrázok 1.31 Meranie prúdu pomocou úbytku napätia

**Meranie prúdu prúdovou sondou** je na obr. 1.32. Sondou umiestnime do obvodu tak, aby prúd vo vodiči prechádzal jej slučkou a výstup pripojíme k osciloskopu. Sonda pracuje na princípe elektromagnetickej indukcie. Veľkosť prúdu vypočítame zo zobrazeného napätia a údajov na sonde, pretože prúd pretekajúci obvodom je daný súčinom citlivosti sondy a nameraného napätia. Príklady merania prúdu pomocou úbytku napätia a prúdovou sondou sú zobrazené na obr. 1.33 a) a b).



Obrázok 1.32 Meranie prúdu prúdovou sondou



Obrázok 1.33 Príklady merania prúdu

Príklad č. 1:

Osciloskopom na obr. 1.33a) zmeriame na pripojenom odpore napätie 15 mV. Aký veľký elektrický prúd tečie obvodom?

$$\text{Obvodom tečie prúd } I = \frac{15 \cdot 10^{-3}}{10} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 1,5 \text{ mA.}$$

Príklad č. 2:

Osciloskopom na obr. 1.33b) zmeriame prostredníctvom prúdovej sondy s citlivosťou 2 A/V napätie 1,8 V. Aký veľký elektrický prúd tečie obvodom?

$$\text{Obvodom tečie prúd } I = 2 \cdot 1,8 = 3,6 \text{ A.}$$



### 1.5.3.3 Meranie frekvencie a času osciloskopom

Meranie frekvencie periodického signálu je v podstate meraním času, pretože

$$f = \frac{1}{T}, \quad (1.32)$$

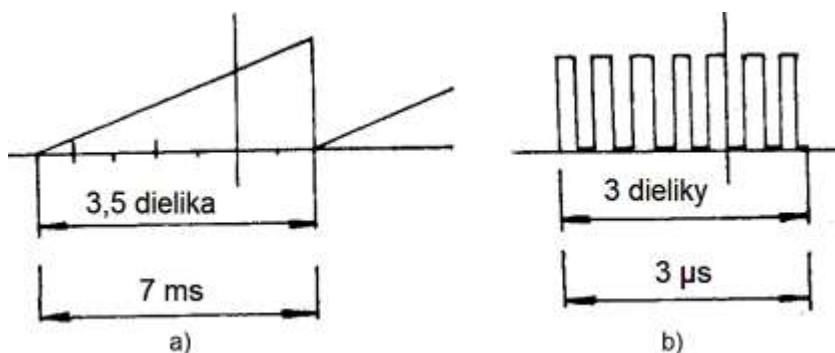
kde:  $f$  – frekvencia,  
 $T$  – perióda kmitov.

Pri zobrazení viacerých periód sa frekvencia určí zo vzťahu

$$f = \frac{n}{T_i}, \quad (1.33)$$

kde:  $n$  – počet zobrazených periód,  
 $T_i$  – interval medzi začiatkom prvej a koncom poslednej periódy.

Pri **meraní frekvencie (času) pomocou časovej základne** využívame raster na obrazovke a údaje na prepínači rýchlosti časovej základne. Postup merania vyplýva z príkladov uvedených na obr. 1.34 a), obr. 1.34 b).



Obrázok 1.34 Príklady merania frekvencie (času) pomocou časovej základne

Príklad č. 3:

Časová základňa u priebehu na obr. 1.34a) je 2 ms/d. Aká veľká je frekvencia signálu?

$$T = 3,5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 7 \text{ ms}$$

$$\text{Frekvencia signálu je } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{7 \cdot 10^{-3}} = 142,857 \text{ Hz.}$$

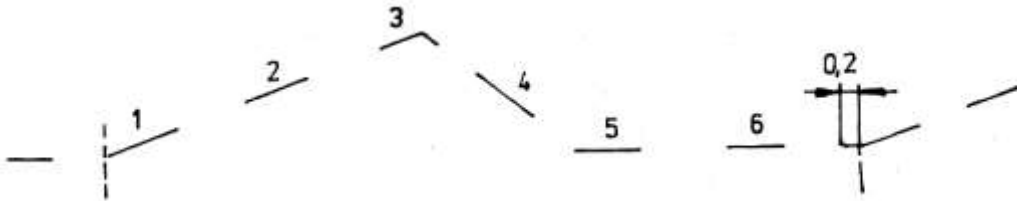
Príklad č. 4:

Časová základňa u priebehu na obr. 1.34b) je 1 μs/d. Aká veľká je frekvencia signálu?

$$T_i = 3 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 3 \mu\text{s}, \quad n = 7$$

$$\text{Frekvencia signálu je } f = \frac{n}{T_i} = \frac{7}{3 \cdot 10^{-6}} = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 2,3 \text{ MHz}$$

Pri meraní frekvencie (času) pomocou časových značiek sa po prepnutí príslušného prepínača objaví signál zložený z úsečiek, ktoré predstavujú časové značky so známou dĺžkou. Generátorom časových značiek je symetrický multivibrátor zabudovaný priamo v osciloskope. Postup merania vyplýva opäť z príkladu podľa obr. 1.35.



Obrázok 1.35 Príklad merania frekvencie (času) pomocou časových značiek

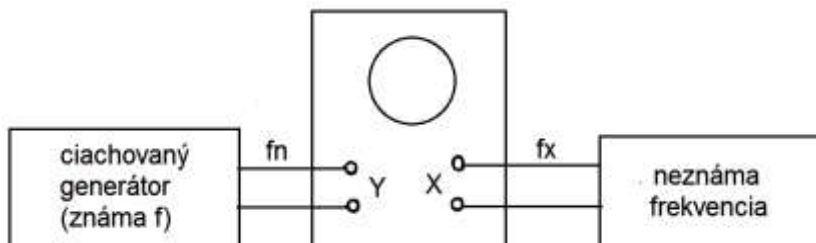
Príklad č. 5:

Dĺžka časových značiek na obr. 1.35 je  $2 \mu\text{s}$ , počet značiek je  $6 + 0,2 = 6,2$ . Aká veľká je frekvencia signálu?

$$T = 6,2 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 12,4 \cdot 10^{-6} \text{s} = 12,4 \mu\text{s}$$

$$\text{Frekvencia signálu je } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{12,4 \cdot 10^{-6}} = 80645 \text{ Hz} = 80,645 \text{ kHz.}$$

Pri meraní frekvencie (času) pomocou Lissajousových obrazcov podľa obr. 1.39 sa vychádza z porovnania známej a neznámej frekvencie. Presnosť merania je daná presnosťou zdroja známej frekvencie. Na meranie potrebujeme ciachovaný generátor harmonického signálu bez modulácie a osciloskop s vyvedeným vstupom pre horizontálny zosilňovač.

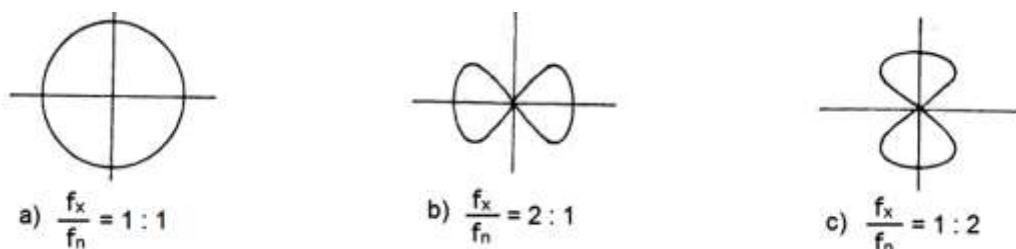


Obrázok 1.36 Meranie frekvencie (času) pomocou Lissajousových obrazcov

Požiadavkou pri meraní je nastavenie čo najjednoduchšieho obrazca preladovaním ciachovaného generátora a nastavenie rovnakých amplitúd v oboch zosilňovačoch X a Y. Meranie sa vykonáva pri vypnutej časovej základni. Príklady obrazcov na tienidle obrazovky pre rôzne pomery oboch frekvencií sú na obr. 1.37 a), b) a c).

Vo všeobecnosti je neznáma frekvencia daná súčinom porovnávacej frekvencie a pomeru počtu vodorovných k počtu zvislých dotykových bodov príslušného Lissajousovho obrazca s jeho myslenným opísaným obdĺžnikom. Aby nedochádzalo k omylom pri čítaní, je výhodné nastaviť na tienidle obrazovky nepohybujúce sa symetrické obrazce. Súmernosť obrazcov možno dosiahnuť nastavením vhodného fázového posunu medzi porovnávanou a porovnávacou frekvenciou. Nepohyblivosť obrazcov sa dosiahne, ak je pomer frekvencie daný

pomerom celých čísiel. Rozsah merania je závislý od veľkosti porovnávacej frekvencie. Vzhľadom na nutnosť správneho určenia dotkových bodov nie je možné bez ťažkostí porovnávať ľubovoľné pomery frekvencií. Preto je najvýhodnejšie, ak môžeme zmenami známej frekvencie doceliť to, aby sa na tienidle obrazovky objavila kružnica; potom je pomer frekvencií 1:1 (nemusíme určovať počet dotkových bodov, ani uvažovať, či známu frekvenciu násobíme, či delíme) a neznáma frekvencia sa rovná známej frekvencii ciachovaného generátora.



Obrázok 1.37 Príklady obrazcov pre rôzne pomery obidvoch frekvencií

### 1.5.3.4 Meranie fázového posunu osciloskopom

Pri používaní osciloskopu na meranie fázového posunu sa v meracom obvode nevyskytujú zotrvačné obvody, takže – okrem obmedzení daných parametrami osciloskopu – možno takto merať fázový posun harmonických signálov ľubovoľnej frekvencie.

Merané napätia sa privedú jedno na horizontálny zosilňovač a druhé na vertikálny zosilňovač, lepšie však priamo na dvojice doštičiek, pretože fázové chyby obidvoch zosilňovačov ovplyvňujú presnosť merania. V prípade privedenia na vychyľovacie doštičky musia mať obidve napätia rovnakú amplitúdu. Ak je fázový posun:

- $\varphi = 0^\circ$  alebo  $\varphi = 180^\circ$ , objaví sa na tienidle obrazovky úsečka sklonená pod uhlom  $45^\circ$  alebo  $135^\circ$ ,
- $\varphi = 90^\circ$  alebo  $\varphi = 270^\circ$ , objaví sa na tienidle obrazovky kružnica s polomerom rovnajúcim sa amplitúde napätia,
- $0^\circ < \varphi < 90^\circ$  alebo  $270^\circ < \varphi < 360^\circ$ , objaví sa na tienidle obrazovky elipsa, ktorej hlavná os je sklonená pod uhlom  $45^\circ$ ,
- $90^\circ < \varphi < 180^\circ$  alebo  $180^\circ < \varphi < 270^\circ$ , objaví sa na tienidle obrazovky elipsa, ktorej hlavná os je sklonená pod uhlom  $135^\circ$ .

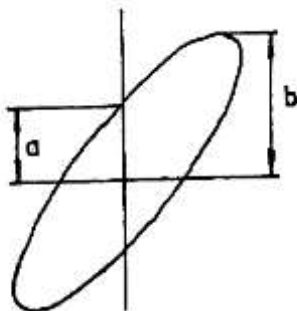
Určenie fázového posunu z rozmerov elipsy na tienidle obrazovky podľa obr. 1.38 je dané vzťahom

$$\varphi = \arcsin \frac{a}{b}, \quad (1.34)$$

Podľa polohy a rozmerov elipsy však nie je možné určiť, či jedno napätie predbieha, alebo je oneskorené za druhým napätím. Určenie fázového posunu  $\varphi$  je teda dvojznačné, pretože posuny v I. a III. kvadrante alebo v II. a IV. kvadrante

dávajú rovnaký výsledok. Znamienko fázového posunu môžeme rozlíšiť použitím dvojbranu so známym fázovým posunom, pretože jeho pridaním do obvodu jedného napätia sa podľa zmien v rozmeroch elipsy ľahko určí znamienko  $\varphi$ .

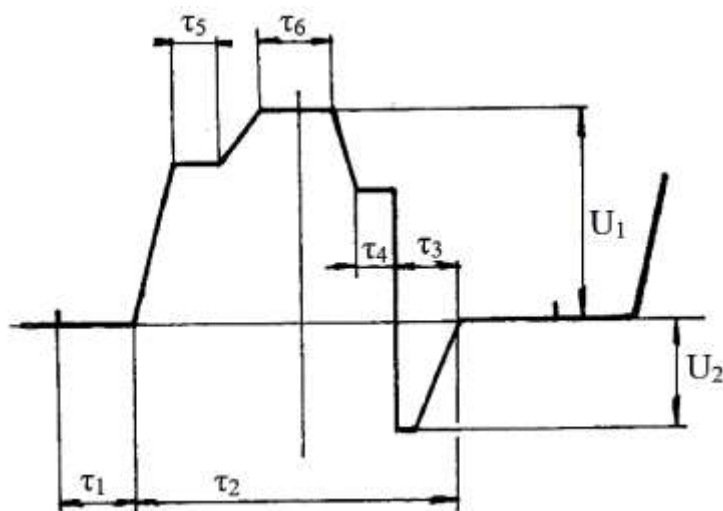
Meranie fázového posunu má celý rad uplatnení. Názornú aplikáciu predstavuje napr. meranie stereofónnych zosilňovačov, kedy zisťujeme, či je zachovaná fáza obidvoch kanálov. Jednoduchšie a presnejšie je meranie fázového posunu dvojkanálovým osciloskopom.



Obrázok 1.38 Určenie fázového posunu z rozmerov elipsy na tienidle obrazovky

### 1.5.3.5 Meranie všeobecných periodických priebehov

Hoci harmonický signál je najčastejšie sa vyskytujúci signál v elektrickom meraní, v elektronike sa bežne vyskytujú aj iné periodicky sa opakujúce priebehy. Osciloskop umožňuje zisťovať informácie (pri eventuálnom fotografickom zázname tienidla obrazovky aj trvalo) o tvare signálu a jeho napätových a časových pomeroch. Príklad opisu všeobecného periodického priebehu na tienidle obrazovky je na obr. 1.39.



Obrázok 1.39 Opis všeobecného periodického priebehu na tienidle obrazovky

Z údajov na tienidle obrazovky môžeme zistiť:

$T_1$  – oneskorenie voči synchronizačnému impulzu,

$T_2$  – čas trvania nenulového napätia obidvoch polvln,

$T_3$  – čas trvania zápornej polvlny,

$T_4, T_5, T_6$  – časy trvania konštantného kladného nenulového napätia,

$U_1$  – špičková hodnota kladnej polvlny,

$U_2$  – špičková hodnota zápornej polvlny.

## 1.6 Meranie niektorých elektrických veličín

Hodnotu meranej elektrickej veličiny zisťujeme prostredníctvom meracích prístrojov, meraním elektrických veličín. Pod pojmom elektrické meranie rozumieme súhrn činností, ktorých cieľom je stanovenie hodnoty elektrickej veličiny (napätie, prúd, odpor, elektrický výkon a pod.) v správnych elektrických jednotkách a s požadovanou presnosťou.

### 1.6.1 Meranie elektrického napätia

Elektrické napätie sa meria voltmetrom, ktorý sa zapája k meranému objektu vždy paralelne. Vzhľadom na to, že vnútorný odpor reálneho voltmetra má konečnú hodnotu, dôjde pri jeho pripojení k ovplyvneniu meraného obvodu. Preto je snaha, aby mal voltmeter čo najväčší vnútorný odpor  $R_V$ .



Obrázok 1.40 Schematická značka voltmetra

Voltmetre, určené na meranie striedavých napätí, sú vybavené usmerňovačom alebo termočlánkom. Ich stupnice sú ciachované v efektívnych hodnotách. Zmena rozsahov sa realizuje najčastejšie pomocou vstupných napätiových deličov. Na zmenu rozsahov, pri meraní striedavých napätí vysokých hodnôt, sa používajú meracie transformátory, ktoré zabezpečia galvanické oddelenie. Pri meraní veľmi malých hodnôt napätia (rádovo v mV) sa pred merací prístroj zaradí merací zosilňovač.

### 1.6.2 Meranie elektrického prúdu

Na meranie elektrického prúdu sa používajú ampérmetre, ktoré sa zapájajú do meraného obvodu sériovo. Aby bolo ovplyvnenie elektrických pomerov minimálne, musí mať ampérmeter čo najmenší vnútorný odpor  $R_A$ .



Obrázok 1.41 Schematická značka ampérmetra

Zmena rozsahov sa robí pomocou bočnikov. Pri meraní striedavých prúdov vysokých hodnôt sa na zmenu rozsahov používajú meracie transformátory. Vysoké hodnoty jednosmerných prúdov sa merajú aj nepriamo, použitím tzv. kliešťových ampérmetrov. Pri ich použití sa nemusí obvod prerušiť, meria sa vlastne intenzita magnetického poľa v okolí vodiča (pomocou snímača, využívajúceho tzv. Hallov jav).

### 1.6.3 Meranie elektrického odporu

Na meranie odporu sa v praxi využíva viacero metód:

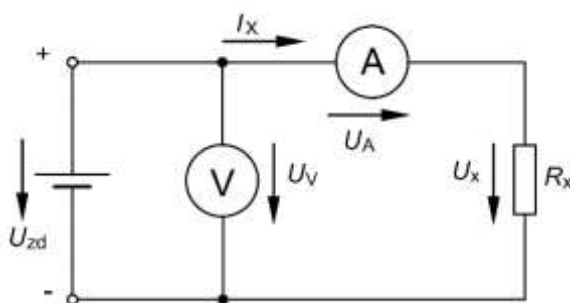
1. **Meranie pomocou ohmmetra** - hodnota sa zistí priamo z výchylky ukazovateľa priamo v ohmoch. Ohmmeter býva súčasťou multimetrov.
2. **Voltampérová metóda** - využíva Ohmov zákon. Potrebne sú dva meracie prístroje (voltmeter a ampérmetr). Hodnota neznámeho odporu sa vypočíta ako pomer úbytku napätia na odpore a prúdu, ktorý ním preteká. Používajú sa dve verzie zapojenia:

- Voltmeter pred ampérmetrom (obr. 1.42). Využíva sa vtedy, keď sa predpokladá, že hodnota meraného odporu  $R_x$  bude oveľa väčšia ako je vnútorný odpor ampérmetra ( $R_x \gg R_A$ ). Vzťah na výpočet meraného odporu

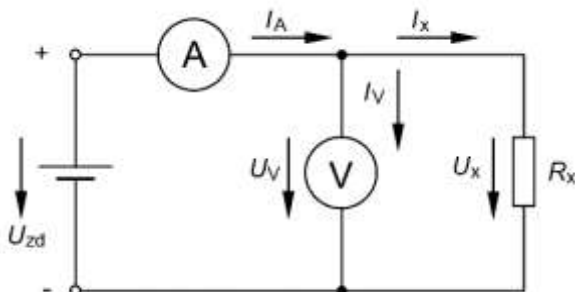
$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_V - U_A}{I_x}, \quad (1.35)$$

- Voltmeter za ampérmetrom (obr. 1.43). Toto zapojenie sa volí vtedy, keď sa meria odpor s menšou alebo rovnakou hodnotou ako je vnútorný odpor voltmetra ( $R_V \gg R_x$ ). Vzťah na výpočet meraného odporu

$$R_x = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U_x}{I_V + I_x}. \quad (1.36)$$



Obrázok 1.42 Meranie odporu s voltmetrom zapojeným pred ampérmetrom

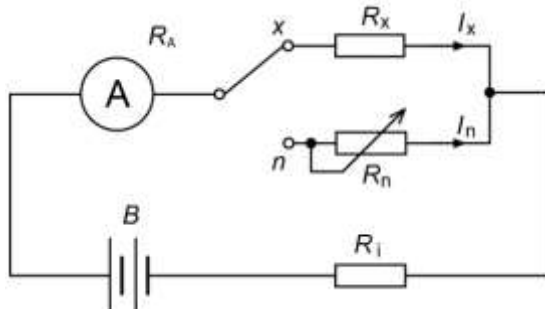


Obrázok 1.43 Zapojenie voltmetra za ampérmetrom

3. **Porovnávací metóda** - pri tejto metóde sa porovnáva napätie alebo prúd na meranom odpore s napätím alebo prúdom na známom odpore. Môže ním byť odporový etalón alebo odporová sústava. Rozlišujú sa metódy s porovnávaním prúdu a s porovnávaním napätia.

- Meranie odporov porovnávaním prúdu.

Meraný odpor  $R_x$  a odpor odporovej sústavy  $R_n$  (ktorý možno presne nastaviť) sa zapoja paralelne, podľa schémy na obr. 1.44.



Obrázok 1.44 Metóda s porovnávaním prúdu

V prípade, že je prepínač v polohe „x“, tečie obvodom prúd  $I_x$ . Jeho hodnota je:

$$I_x = \frac{U}{R_i + R_A + R_x}, \quad (1.37)$$

kde:  $R_i$  – vnútorný odpor zdroja,  
 $R_A$  – vnútorný odpor ampérmetra.

Po prepnutí do polohy „n“ bude veľkosť prúdu tečúceho obvodom:

$$I_n = \frac{U}{R_i + R_A + R_n}. \quad (1.38)$$

Porovnaním rovníc a zohľadnením podmienky  $R_x \gg R_a + R_i$  a  $R_n \gg R_a + R_i$  (ktorá je splnená pri meraní väčších odporov), platí pre výpočet meraného odporu vzťah:

$$R_x = \frac{R_n I_n}{I_x}. \quad (1.39)$$

Ak sa sa rovnajú  $R_x$  a  $R_n$ , budú prúdy  $I_x$  a  $I_n$  rovnaké a hodnota  $R_x$  sa odčíta priamo na odporovej súprave. V tomto prípade dochádza k najmenšej chybe merania.

- Meranie odporov s porovnávaním napätia.

Meraný odpor  $R_x$  a odporový etalón  $R_n$  sa zapoja podľa schémy na obr. 1.45. Prietokom prúdu  $I$  cez meraný odpor  $R_x$  a cez  $R_n$  vzniknú na nich úbytky napätia:

$$U_x = IR_x \text{ a } U_n = IR_n \quad (1.40)$$

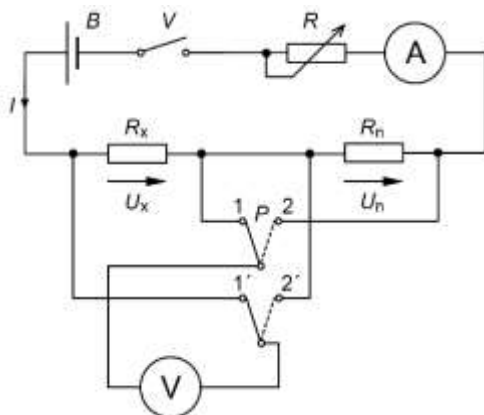
Porovnaním týchto výrazov dostaneme vzťah:

$$\frac{U_x}{U_n} = \frac{IR_x}{IR_n}. \quad (1.41)$$

Po jednoduchej úprave dostaneme vzťah pre výpočet meraného odporu:

$$R_x = R_n \frac{U_x}{U_n} \quad (1.42)$$

Uvedená metóda je vhodná najmä na meranie odporov veľmi malých hodnôt. Aby sa dosiahla čo najvyššia presnosť merania, musí platiť podmienka:  $R_v \gg R_x$  a  $R_v \gg R_n$ .

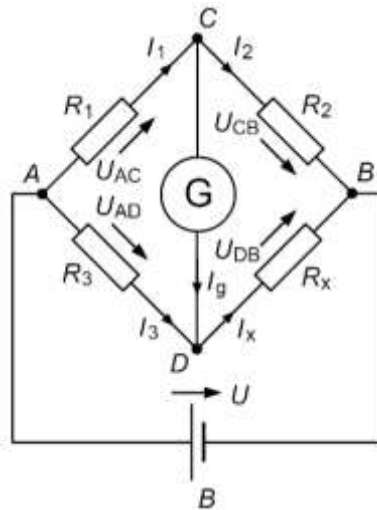


Obrázok 1.45 Metóda s porovnávaním napätia

4. **Mostíková metóda** - je tzv. nulová metóda. Merací prístroj slúži iba na indikáciu rovnovážneho stavu, podmieneného splnením určitých prúdových a napätiových pomerov v danom zapojení, známa ako podmienka rovnováhy. Hodnota meraného odporu sa potom vypočíta z



hodnôt pasívnych súčiastok. Zapojenie Wheatstoneovho mostíka je na obr. 1.46.



Obrázok 1.46 Meranie elektrického odporu pomocou Wheatstoneovho mostíka

Do jednej diagonály sa zapojí jednosmerný napájací zdroj a do druhej indikátor nuly (galvanometer G). Mostík sa považuje za vyvážený, keď cez galvanometer netečie prúd ( $I_g = 0$ ). Podľa II. Kirchhoffovho zákona pre napätia podľa obr. 1.46 platí:

$$U_{AC} = U_{AD} = R_1 I_1 = R_3 I_3 \quad \text{a} \quad U_{CB} = U_{DB} = R_2 I_2 = R_x I_x \quad (1.43)$$

Použitím I. Kirchhoffovho zákona pre uzol C dostaneme:

$$I_1 = I_2 \quad \text{a pre uzol D platí analogicky, že: } I_3 = I_x \quad (1.44)$$

Dosadením do rovníc 1.43 a po vydelení dostaneme vzťah pre hodnotu meraného odporu  $R_x$ :

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x} \quad (1.45)$$

To je tzv. podmienka rovnováhy mostíka, ktorá platí bez ohľadu na hodnotu napätia napájacieho zdroja. Pri známych hodnotách troch odporov a pri vyváženom mostíku, možno vypočítať hodnotu meraného odporu podľa vzťahu:

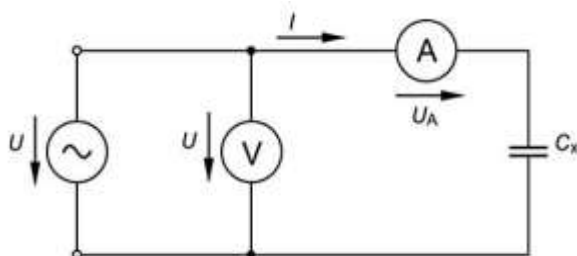
$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} \quad (1.46)$$

Pokiaľ sa hodnoty  $R_1$  a  $R_2$  rovnajú, mostík sa dá vyvážiť zmenou odporu  $R_3$ . Tým je už spomínaný odpor presnej odporovej súpravy, ktorý sa dá meniť (prepínačom v širokom rozsahu hodnôt). Odporové súpravy sa vyrábajú ako odporové dekády, kde je možné meniť odpor v jednom z desiatich stupňov, v pomerne širokom rozsahu hodnôt (najčastejšie sú odstupňované po 0,1  $\Omega$ ). Vyrobené sú v triede presnosti 0,01 % (výnimočne aj vyššej). Na presnosť

výsledkov merania nemá vplyv presnosť meracieho prístroja (pokiaľ je tento dostatočne citlivý).

### 1.6.4 Meranie elektrickej kapacity

Kapacitu kondenzátora je možné merať pomocou voltmetra a ampérmetra (obidva prístroje musia byť schopné merať striedavé veličiny).



Obrázok 1.47 Meranie kapacity pomocou voltmetra a ampérmetra

Meraný kondenzátor sa pripojí na zdroj striedavého napätia  $U$  so známou frekvenciou  $f$ . Meria sa hodnota prúdu  $I$ , tečúceho meraným kondenzátorom s kapacitou  $C_x$ . Využitím Ohmovho zákona a dosadením vzťahu pre výpočet kapacitnej reaktancie  $X_c$  kondenzátora dostaneme vzťah:

$$X_c = \frac{U}{I} = \frac{1}{\omega C_x} = \frac{1}{2\pi f C_x}, \quad (1.47)$$

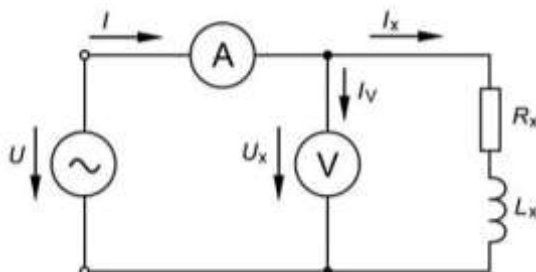
kde:  $U$  a  $I$  – efektívne hodnoty napätia a prúdu v meranom obvode,  
 $X_c$  – veľkosť reaktancie.

Po úprave vzťahu 1.47 vypočítame kapacitu meraného kondenzátora podľa vzťahu:

$$C_x = \frac{I}{2\pi f U}. \quad (1.48)$$

### 1.6.5 Meranie indukčnosti

Podobne ako kapacitu, možno aj vlastnú indukčnosť cievky merať pomocou voltmetra a ampérmetra.



Obrázok 1.48 Meranie indukčnosti pomocou voltmetra a ampérmetra

Meraním hodnôt napätia a prúdu určíme absolútnu hodnotu impedancie cievky:

$$Z_x = \frac{U_x}{I} = \sqrt{R_x^2 + \omega^2 \cdot L_x^2}. \quad (1.49)$$

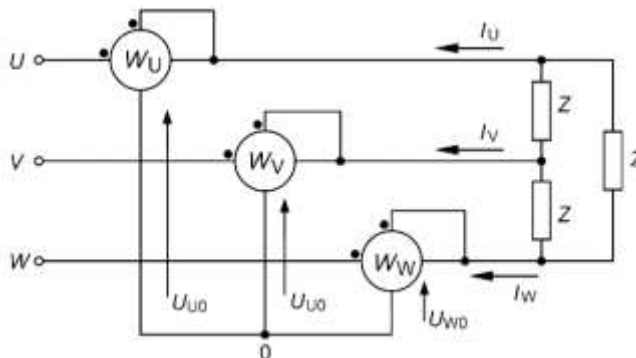
Činný odpor cievky  $R_x$  odmeriame ohmmetrom (alebo nahradením zdroja striedavého napätia v zapojení jednosmerným zdrojom). Vlastná indukčnosť cievky vypočítame podľa vzťahu:

$$L_x = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{U_x^2}{I^2} - R_x^2}. \quad (1.50)$$

Uvedená metóda je vhodná na meranie indukčnosti najmä cievok so vzduchovým jadrom, pracujúcich v obvodoch s nízkou frekvenciou (stovky Hz). Okrem spomínanej metódy je možné merať kapacitu kondenzátora a indukčnosť cievky tiež pomocou striedavého mostíka, podobne ako je to pri meraní odporov. Rozdiel je len v tom, že je mostík napájaný striedavým prúdom a podmienka rovnováhy je definovaná pre jednotlivé impedancie (nie iba pre hodnoty odporov).

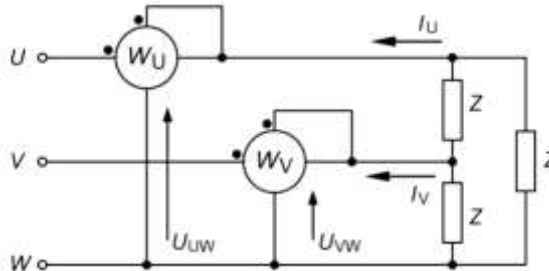
### 1.6.6 Meranie elektrického výkonu

Elektrický výkon možno merať pomocou priamej alebo nepriamej metódy. Pri priamej metóde sa výkon meria priamo wattmetrom, pri nepriamej voltmetrom a ampérmetrom. Na meranie činného výkonu na spotrebiči napájaného striedavým prúdom sa využíva wattmeter, ktorý sa zapojí podľa schémy na obr. 1.16. Pri meraní výkonu jednosmerného prúdu na spotrebiči sa môže použiť napr. zapojenie podľa obr. 1.42. Z údajov nameraných voltmetrom a ampérmetrom sa vypočíta výkon ako súčin týchto dvoch veličín. Týmto spôsobom je možné merať aj zdanlivý výkon striedavého prúdu (meracie prístroje musia byť na striedavý prúd). Činný výkon v trojfázovej sústave sa najčastejšie meria pomocou troch wattmetrov, zapojených podľa schémy na obr. 1.49.



Obrázok 1.49 Meranie činného výkonu v trojfázovej sústave

V prípade súmernej záťaže, keď je výkon odoberaný z každej fázy rovnaký, môže sa tento merať jediným wattmetrom, zapojeným do ľubovoľnej fázy (potom sa celkový výkon vynásobí tromi). Môže sa použiť aj tzv. Aronovo zapojenie, využívajúce dva wattmetre, zapojené podľa obr. 1.50.



Obrázok 1.50 Meranie výkonu pomocou Aronovho zapojenia

Ak je potrebné merať jalový výkon, môže sa použiť kombinácia priamej a nepriamej metódy (použije sa wattmeter, voltmeter a ampérmeter). Hodnota jalového výkonu sa určí zo vzťahu:

$$S^2 = U^2 I^2 = P^2 + Q^2 \quad Q = \sqrt{U^2 I^2 - P^2} = \sqrt{(UI + P)(UI - P)} \quad (1.51)$$

Uvedené vzťahy platia len pre meranie harmonických priebehov.

### 1.6.7 Meranie elektrickej práce

Elektrickú prácu meriame pomocou elektromerov obr. 1.51. Činná elektrická práca je definovaná ako súčin činného výkonu a času:

$$A = Pt = U \cdot I \cdot t \cdot \cos \varphi, \quad (1.52)$$

kde:  $U$  a  $I$  – efektívne hodnoty napätia a prúdu,  
 $\cos \varphi$  – účinník,  
 $t$  – čas.

Podľa princípu činnosti sa elektromery delia na elektromechanické a elektronické. Elektromechanické využívajú indukčný merací systém (viď v predchádzajúcej časti indukčný merací systém), prípadne v jednosmerných obvodoch (solárne elektrárne, elektrická trakcia) elektrodynamický merací systém.

Elektronické elektromery obsahujú špeciálne elektronické obvody, umožňujú merať celkovú spotrebu elektrickej energie, informujú o priebehu spotreby a prostredníctvom dátových rozhraní (RS-485, optické rozhranie ap.) sú schopné komunikovať s počítačom (napr. na účely diaľkového odpočtu stavu elektromera).



Obrázok 1.51 Elektromechanický a elektronický jednotarifný elektromer

Na meranie spotreby elektrickej energie v experimentoch je použitie bytového elektromera nepraktické (napr. nikto nesmie používať žiadne ďalšie spotrebiče počas vašich experimentov, elektromer je na chodbe, v domoch je vonku v rozvodnej skrini). Pre experimentálne meranie spotreby elektrickej energie možno použiť prístroje Energy Check 3000 (obr.1.52) a Energy Logger 3500 (obr.1.53), resp. iné dostupné.



Obrázok 1.52 Energy Check 3000



Obrázok 1.53 Energy Logger 3500

Merací prístroj **Energy Check 3000** je určený pre meranie príkonu a spotreby elektrických spotrebičov. Prístroj vypočíta aj cenu spotrebovanej energie, ak mu zadáte platnú tarifu. Zadať možno dve tarify I a II (tarifa – cena za jednu kilowatthodinu napr. 0,15 Euro/kWh). Všetky merané údaje sa zobrazujú na displeji. Merací rozsah EC 3000 je od 1,5 W do max. 3000 W. EC 3000 je napájaný striedavým napätím 230 V a pracuje bez batérií. Ukladanie údajov sa realizuje do pamäte EPROM, preto údaje ostanú i pri výpadku napájania zachované.

Merací prístroj **Energy Logger 3500** zobrazuje na displeji všetky dostupné údaje pre daný spotrebič: napätie (V), prúd (A), frekvenciu siete (Hz), typ spotrebiča z hľadiska charakteru záťaže, činný výkon (W), zdanlivý výkon (VA), účinník ( $\cos \varphi$ ), celkovú spotrebu energie (kWh), náklady (cena podľa zadanej tarify I alebo II - cost), dobu záznamu (REC-time), prevádzková doba (On-time), rozpočet nákladov na mesiac a na rok, zobrazenie času, dátumu a zobrazenie veľkosti pamäte. Kapacita pamäti SD karty má byť najmenej 512 MB, max. 2GB, odporúča sa 1GB.

K prístroju EL3500 sa dodáva aj software s názvom **EnergyLogger Viewer**, pomocou ktorého možno nielen prezerat' namerané údaje na SD karte, ale aj zobrazit' časové závislosti merania spotreby pre jednotlivé spotrebiče a pod. Mierka grafov je meniteľná. Namerané údaje a zobrazené grafy možno následne uložit' na disk počítača.

## 2 VÝUČBOVÝ SYSTÉM rc2000

Výučbový systém rc2000 predstavuje mikrolaboratórium, ktoré je vhodné pre výučbu elektrotechnických predmetov. Výučba so systémom rc2000 je založená na reálnom experimente s podporou počítača. Moderná technológia, ochrana a presnosť jednotlivých komponentov systému vedie k zhode teoretickej výučby s výsledkami experimentu. Navyše zabezpečuje vysokú názornosť, rýchlosť merania, úspešnosť práce, spoľahlivosť a reprodukovateľnosť meraní.

Úlohy sú založené na výučbe experimentom. Systém umožňuje jednoducho zostavovať schémy elektronických obvodov na pripravených moduloch a robiť merania prostredníctvom počítača (obrázok 2.1). Obvody sú vytvárané z veľmi presných súčiastok, čo zabezpečuje zhodu teórie a s nameranými hodnotami.

Technické parametre systému sú dané výberom kvalitných, presných a vysoko stabilných súčiastok a konštrukciou rešpektujúcou vysoké nároky na spoľahlivosť a odolnosť proti poškodeniu pri práci študentov v laboratóriách. Ku spoľahlivosti a odolnosti systému prispievajú mechanicky odolné pozlátené konektory, istenie modulov proti chybnému zapojeniu, vysoká presnosť komponentov a používanie iba jedného bezpečného napájacieho napätia +5 V. Nevýhodou je malý frekvenčný rozsah od 10 Hz do 10 kHz, malá rozšírenosť na školách a nedostatok študijnej literatúry.

Systém obsahuje moduly, ako sú generátory signálov, zdroje, voltmeter a programy osciloskop, logický analyzátor, merač frekvenčných charakteristík, ktoré môžu nahradiť bežné laboratórne prístroje.



Obrázok 2.1 Meracie pracovisko systému rc2000

### 2.1 Moduly spracovania dát a prístrojové moduly

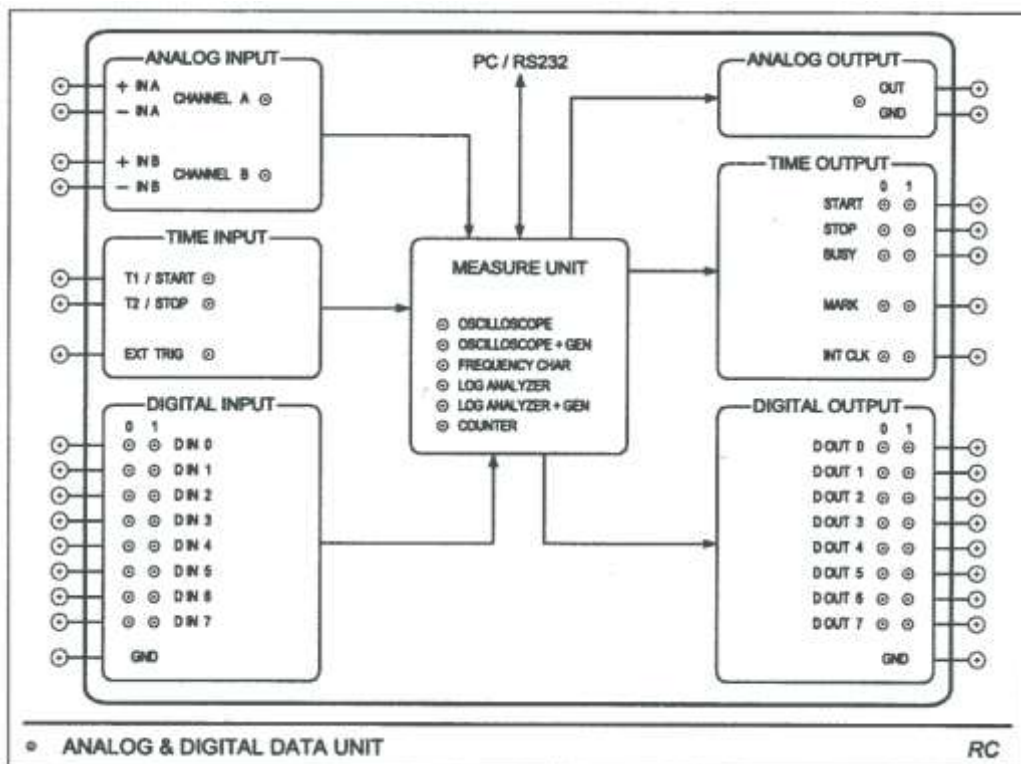
#### 2.1.1 Meracia jednotka - analógová a digitálna dátová jednotka

Základným modulom je počítačom riadená meracia jednotka ANALOG&DIGITAL DATA UNIT (ADDU), ktorá umožňuje generovať a merať analógové a číslicové signály. Meracia jednotka komunikuje s osobným počítačom cez štandardné rozhranie USB (staršie verzie komunikovali pomocou

sériovej linky - rozhranie RS 232). V spojení s programovým vybavením môže meracia jednotka pracovať v nasledovných siedmich meracích módoch:

1. Dvojkanálový osciloskop (program **Oscilloscope**) – umožňuje dvojkanálové diferenciálne meranie napätia.
2. Jednkanálový osciloskop a analógový generátor (program **Oscilloscope + Gen**) - umožňuje jednkanálové generovanie napätia a jednkanálové diferenciálne meranie napätia.
3. Voltamperové charakteristiky (program **V-A Characteristics**) – umožňuje merať a zobrazovať V-A charakteristiky lineárnych a nelineárnych prvkov.
4. Frekvenčné charakteristiky (program **Frequency Characteristics**) – umožňuje merať amplitúdové a fázové frekvenčné charakteristiky obvodov.
5. Logický analyzátor (program **Logic Analyzer**) – umožňuje meranie logických signálov v ôsmich kanáloch.
6. Logický analyzátor a logický generátor (program **Logic Analyzer + Gen**) – umožňuje osemkanálové generovanie logických signálov a súčasné osemkanálové meranie logických signálov.
7. Dvojkanálové počítadlo (program **Counter**).

Pohľad na čelný panel meracej jednotky ADDU je na obrázku 2.2 a základné technické parametre sú uvedené v tabuľke 2.1.



Obrázok 2.2 Čelný panel meracej jednotky ADDU

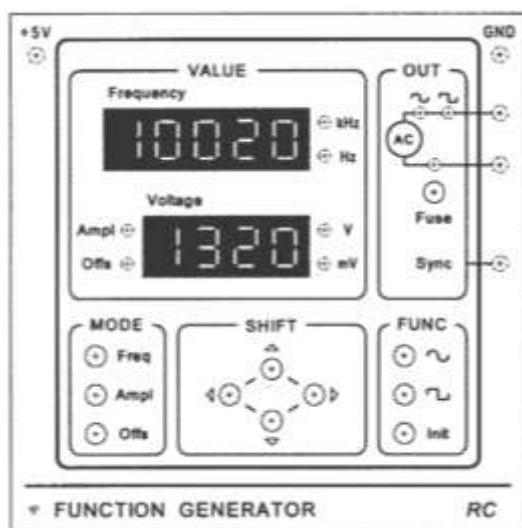
Tabuľka 2.1 Základné parametre meracej jednotky ADDU

Mód	Blok	Vstup Výstup	Hodnota	
Dvojkanálový osciloskop	ANALOG INPUT	CHA	$Z_{in}$	10 M $\Omega$ /50 pF
			Napätový rozsah	UNI 50 mV/div 5 V/div BIP 25 mV/div – 2,5 V/div
		CHB	Frekvenčný rozsah	0 – 10 kHz (0,1 dB)
			Vzorkovanie	1 S/s – 1 MS/s
		Časová základňa	0,1 ms/div – 100 s/div	
		Trigger	CHA, CHB, EXT, Level, Edge	
Jednokanálový oscyloskop a analógový generátor	ANALOG INPUT	CHB	$Z_{in}$	10 M $\Omega$ /50 pF
			Napätový rozsah	UNI 50 mV/div – 5 V/div BIP 25 mV/div – 2,5 V/div
			Frekvenčný rozsah	0 – 10 kHz (0,1 dB)
			Vzorkovanie	1 S/s – 1 MS/s
	Časová základňa	0,1 ms/div – 100 s/div		
	ANALOG OUTPUT	OUT	$R_{out}$	< 0,1 $\Omega$
			Napätový rozsah	UNI 50 mV/div – 5 V/div BIP 25 mV/div – 2,5 V/div
			Frekvenčný rozsah	0 – 10 kHz (0,1 dB)
Vzorkovanie			1 S/s – 1 MS/s	
Voltampérové charakteristiky	ANALOG INPUT	CHA	Napätový rozsah	min. $\pm$ 100 mV max. $\pm$ 10 V
			Citlivosť	min. 50 mV/div., max. 5 V/div.
			Frekvenčný rozsah	0 – 10 kHz
		CHB	Snímací odpor	1 $\Omega$ , 10 $\Omega$ , 100 $\Omega$ , 1 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$
			Prúdový rozsah	1 $\Omega$ , min. $\pm$ 100 mA, max. $\pm$ 10 A
				10 k $\Omega$ , min. $\pm$ 10 mA, max. $\pm$ 1 mA
	Citlivosť	1 $\Omega$ , min. 50 mA/div., max. 5 A/div. 10 k $\Omega$ , min. 5 mA/div., max. 500 A/div.		
	ANALOG OUTPUT	OUT	Frekvenčný rozsah	0 – 10 kHz
			Rozmietacie napätie	$\pm$ 10 V
			Rýchlosť generovania	min. 0,5 ms/div., max. 500 s/div.
Frekvenčný rozsah			0 – 10 kHz	
Frekvenčné charakteristiky	ANALOG OUTPUT	OUT	Frekvenčný rozsah	10 Hz – 10 kHz
	ANALOG INPUT	CHB	Prenos	$\pm$ 45 dB
			Fáza	$\pm$ 180 deg
Logický analyzátor	DIGITAL INPUT	D IN 0	$U_{out}$	Sínus 100 mV – 10 V
			Mód	Časová analýza
		D IN 7	$R_{in}$	10 k $\Omega$
			$U_{in}$	TTL
			Trigger	8-bit
			Vzorkovanie	1 S/s – 1 MS/s
			Časová základňa	0,1 ms/div – 100 s/div
			Mód	Časová analýza
Logický analyzátor a logický generátor	DIGITAL INPUT	D IN 0	$R_{in}$	10 k $\Omega$
			$U_{in}$	TTL
		D IN 7	Trigger	8-bit
			Vzorkovanie	1 S/s – 1 MS/s
	DIGITAL OUTPUT	D IN 0	Časová základňa	0,1 ms/div – 100 s/div
			$R_{out}$	390 $\Omega$
		D IN 7	$U_{out}$	TTL
			Vzorkovanie	1 S/s – 1 MS/s
Dvojkanálové počítadlo	TIME INPUT	T1, T2	$U_{in}$	TTL
			Rozsah čítania $N_{MAX}$	min. 300, max. 60 000
			Doba čítania	min. 5 s, max. 500 s
			Časová základňa	min. 1 s/div, max. 100 s/div
			Šírka impulzu	min. 50 ns
			Trigger	T1, T2, EXT



## 2.1.2 Generátor funkcií

Modul generátor funkcií (FUNCTION GENERATOR) je programovateľný generátor sínusového a obdĺžnikového napätia. Umožňuje veľmi presné a stabilné nastavenie frekvencie metódou DDS (Direct Digital Synthesis Methode). Ďalej umožňuje inkrementálne nastavenie frekvencie, amplitúdy a offsetu. Výstup generátora AC je plávajúci a proti preťaženiu je chránený elektronickou poistkou. Synchronizačný výstup **Sync** slúži na štart merania. Výstupný odpor  $R_{OUT} < 0,1 \Omega$  (generátor sa správa ako ideálny zdroj napätia). Pohľad na čelný panel modulu generátora funkcií je na obrázku 2.3 a základné technické parametre sú uvedené v tabuľke 2.2. Význam funkčných blokov je v tabuľke 2.3. Po pripojení modulu na napájacie napätie +5 V alebo po stlačení tlačidla Init sa nastavia začiatočné podmienky. Hodnoty nastavenia začiatočných podmienok sú uvedené v tabuľke 2.4 a nastavenie parametrov je uvedené v tabuľke 2.5.



Obrázok 2.3 Modul generátor funkcií

Tabuľka 2.2 Technické parametre modulu generátor funkcií

	Rozsah		Presnosť (1)
	min	max	[%]
Frekvencia[Hz]	0,01	10 k	± 0,001
Amplitúda [V]	0,2	10	± 1,0
Offset [V]	-8	+8	1,0%A +1,0%O + 2 mV (2)
IOUT [mA]	25		± 5,0
ROUT [Ω]	< 0,1		-

- (1) Teplotný rozsah 15 °C – 35 °C.  
Čas zahriatia 15 minút.  
(2) A - nastavenie amplitúdy,  
O - nastavenie offsetu

Tabuľka 2.3 Význam funkčných blokov generátora funkcií

<b>VALUE</b>	Zobrazenie parametrov generovaného priebehu napätia
<b>OUT</b>	Výstupný konektor s ochranou proti preťaženiu
<b>MODE</b>	Voľba nastavovaného parametra
<b>SHIFT</b>	Pozícia a zmena hodnoty
<b>FUNC</b>	Voľba funkcie a nastavenie začiatočných podmienok

Tabuľka 2.4 Hodnoty nastavenia začiatočných podmienok generátora funkcií

<b>Frekvencia</b>	100 Hz
<b>Amplitúda</b>	5,00 V
<b>Offset</b>	0,00 V
<b>Funkcia</b>	Sínus

Tabuľka 2.5 Nastavenie parametrov generátora funkcií

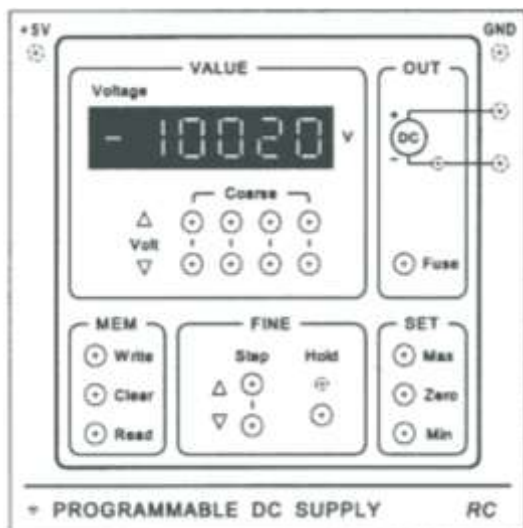
<b>Frekvencia</b>	○ Freq	Zmena pozície ⊖○ ○ω	bliká číslo
		Nastavenie ρ ○ ○ σ	bliká LED Hz alebo kHz
			bliká číslo – zmena o +/- 1
			bliká LED zmena ×10/10
<b>Amplitúda</b>	○ Ampl	Zmena pozície ⊖○ ○ω	bliká číslo
		Nastavenie ρ ○ ○ σ	bliká LED V alebo mV
			bliká číslo – zmena o +/- 1
			bliká LED zmena ×10/10
<b>Offset</b>	○ Offs	Zmena pozície ⊖○ ○ω	bliká číslo
		Nastavenie ρ ○ ○ σ	bliká číslo – zmena o +/- 1
<b>Funkcia</b>	Sínus	○ ~	
	Obdĺžnik	○ □	

### 2.1.3 Programovateľný DC zdroj napätia

Modul programovateľný zdroj napätia (PROGRAMMABLE DC SUPPLY) je procesorom riadený zdroj vysoko stabilného jednosmerného napätia. Presné inkrementálne nastavenie výstupného napätia je možné urobiť hrubo tlačidlami **Coarse** a jemne tlačidlami **FINE**. Výstup zdroja DC je plávajúci, chránený elektronickou poistkou proti preťaženiu. Výstupný odpor  $R_{OUT} < 0,1 \Omega$ , zdroj sa správa ako ideálny zdroj napätia. Programovateľný zdroj napätia má pamäť (MEM) pre osem hodnôt výstupného napätia. Pohľad na čelný panel modulu programovateľný zdroj napätia je na obrázku 2.4. Význam funkčných blokov je v tabuľke 2.6. Základné technické parametre sú uvedené v tabuľke 2.7. Po pripojení modulu na napájacie napätie +5 V alebo po stlačení tlačidla **Zero** sa nastaví výstupné napätie na 0,000 V. Hodnoty nastavenia parametrov sú uvedené v tabuľke 2.8.

Tabuľka 2.6 Význam funkčných blokov programovateľného zdroja napätia

<b>VALUE</b>	Nastavenie a zobrazenie hodnoty výstupného napätia
<b>OUT</b>	Výstupný konektor s ochranou proti preťaženiu
<b>MEM</b>	Kruhová pamäť pre 8 hodnôt napätia
<b>FINE</b>	Jemné nastavenie výstupného napätia
<b>SET</b>	Definované hodnoty



Obrázok 2.4 Programovateľný zdroj napätia

Tabuľka 2.7 Technické parametre modulu programovateľný zdroj napätia

	Rozsah		Presnosť (1)
	min	max	[%]
Napätie[V]	-10,24	+10,24	±(0,02 % +0,8 mV)
Krok [mV]	1		± 0,2 mV
Krok jemného nastavenia [µV]	50		
$I_{OUT}$ [mA]	25		± 5,0
$R_{OUT}$ [Ω]	< 0,1		-

(1) Teplotný rozsah 15 °C – 35 °C.  
Čas zahriatia 15 minút.

Tabuľka 2.8 Nastavenie parametrov programovateľného zdroja napätia

<b>Výstupné napätie hrubo</b>	Nastavenie $\rho$	VALUE – Coarse
	<input type="radio"/>	Hodnota +/- 1
	<input type="radio"/>	
<b>Výstupné napätie jemne</b>	Nastavenie $\rho$	FINE – Step
	<input type="radio"/>	Hodnota +/- 1
	<input type="radio"/>	
<b>Pamäť</b>	<input type="radio"/> Hold	Uloženie hodnoty jemného nastavenia
	<input type="radio"/> Write	Zápis hodnoty do pamäte
	<input type="radio"/> Clear	Vymazanie všetkých hodnôt
<b>Definované hodnoty</b>	<input type="radio"/> Read	Načítanie uloženej hodnoty
	<input type="radio"/> Max	+10,240 V
	<input type="radio"/> Zero	0,000 V
	<input type="radio"/> Min	-10,240 V

### 2.1.4 Voltmeter DC & AC RMS

Modul voltmeter (VOLTMETER DC & AC RMS) umožňuje merať jednosmerné a striedavé napätia. Hodnoty jednosmerného napätia zobrazuje na 4,5 miestnom displeji a hodnoty striedavého napätia zobrazuje na 3,5 miestnom displeji. Voľba meracieho rozsahu môže byť automatická alebo manuálna. Voltmeter je vybavený funkciou, ktorá umožňuje priamo zobrazovať minimálnu hodnotu, maximálnu hodnotu, inkrementálne meranie a zmrazenie zobrazovanej hodnoty. Pohľad na čelný panel modulu voltmeter je na obrázku 2.5 a základné technické parametre sú uvedené v tabuľke 2.9. Význam funkčných blokov je v tabuľke 2.10. Po pripojení modulu na napájacie napätie +5 V sa nastavia začiatkové podmienky,

ktorých hodnoty sú uvedené v tabuľke 2.11. Nastavenie parametrov je uvedené v tabuľke 2.12.



Obrázok 2.5 Modul voltmeter

Tabuľka 2.9 Technické parametre modulu voltmeter

		Parameter	Rozsah	Presnosť (1)
DC	4½		200 mV	±(0,05%+5 Digit)
			2 V	±(0,04%+3 Digit)
			20 V	
	R <sub>in</sub>		200 mV	-
			2 V	
			20 V	
AC	3½	5 Hz – 10 kHz	200 mV	±(1 % + 5 Digit)
			2 V	±(0,8 % + 5 Digit)
			20 V	
	Z <sub>in</sub>		200 mV	-
			2 V	
			20 V	

(1) Teplotný rozsah 15 °C – 35 °C.  
Čas zahriatia 15 minút.

Tabuľka 2.10 Funkčné bloky modulu voltmeter

<b>VALUE</b>	Zobrazenie hodnoty meraného napätia
<b>IN</b>	Voľba módu DC/AC, nastavenie hodnoty vstupného odporu
<b>RANGE</b>	Voľba automatického alebo ručného prepínania rozsahov
<b>MATH</b>	Matematické funkcie

Tabuľka 2.11 Začiatkové podmienky modulu voltmeter

<b>IN Mode</b>	DC
<b>R<sub>in</sub></b>	10 MΩ
<b>RANGE</b>	Auto

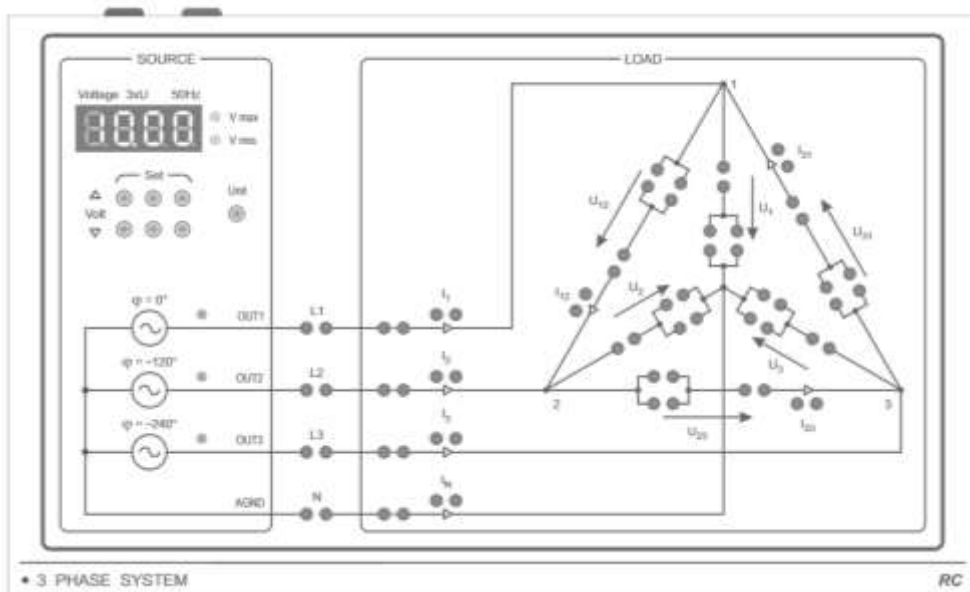
Tabuľka 2.12 Nastavenie parametrov modulu voltmeter

<b>Voľba DC/AC</b>	DC	Meranie jednosmerných napätí	
	AC	Meranie striedavých napätí	
<b>Rozsah</b>	Auto	Automatická voľba rozsahu	
	Man	Ručná voľba rozsahu – 200 mV, 2 V alebo 20 V	
<b>Vstupný odpor R<sub>in</sub></b>	○ R <sub>in</sub>	10 MΩ	LED svieti
		> 10 GΩ	
<b>Matematické funkcie</b>	○ Min	Zobrazenie minimálnej hodnoty	
	○ Max	Zobrazenie maximálnej hodnoty	
	○ Null	Inkrementálne meranie (voľba nulovej hodnoty)	
	○ Hold	„Zmrazenie“ zobrazenej hodnoty	

### 2.1.5 Modul trojfázová sústava

Modul umožňuje študovať vlastnosti trojfázovej sústavy, obsahuje základné časti: časť zdrojovú (SOURCE – zdroj trojfázového napätia s frekvenciou 50 Hz  $\pm 0,05\%$ ) a časť záťaže (LOAD – umožňujúcou zapojenie do hviezdy alebo do trojuholníka), ktorá umožňuje ľubovoľné vzájomné prepojenie. Tri fázovo posunuté harmonické výstupné napätia s možnosťou inkrementálneho nastavenia zabezpečuje procesorom riadený generátor. Modul zobrazuje maximálnu hodnotu napätia  $U_{\max} = 0,1 - 10,0\text{ V} \pm 1\%$  alebo efektívnu hodnotu napätia  $U_{\text{rms}} = 0,07 - 7,07\text{ V} \pm 1\%$  generovaného signálu (stlačením tlačidla Unit – a tiež po pripojení modulu na napájanie sa zobrazuje amplitúda výstupného napätia s hodnotou 5,00 V). Výstup generátorov je plávajúci, má zanedbateľné výstupné odpory (generátor sa chová ako ideálny zdroj napätia). Výstupy sú chránené elektronickou poistkou, preťaženie je indikované červenou LED, ak sa prekročí dovolený prúd vo vetve o 8 mA. Prepojovacie pole umožňuje zapojenie do hviezdy alebo trojuholníka so symetrickou alebo nesymetrickou záťažou. Meranie prúdu v jednotlivých vetvách obvodu je realizované pomocou prevodníka I/U.

Príslušenstvo modulu trojfázovej sústavy tvoria napájacie káble (2 ks). Sada diskretných súčiastok (100  $\Omega$ : 3 ks, 500  $\Omega$ : 3 ks, 1 k $\Omega$ : 3 ks, 2 k $\Omega$ : 3 ks, 1  $\mu\text{F}$ : 3 ks, spojka: 7 ks)



Obrázok 2.6 Modul trojfázovej sústavy

### 2.2 Moduly aktívnych prvkov systému rc2000

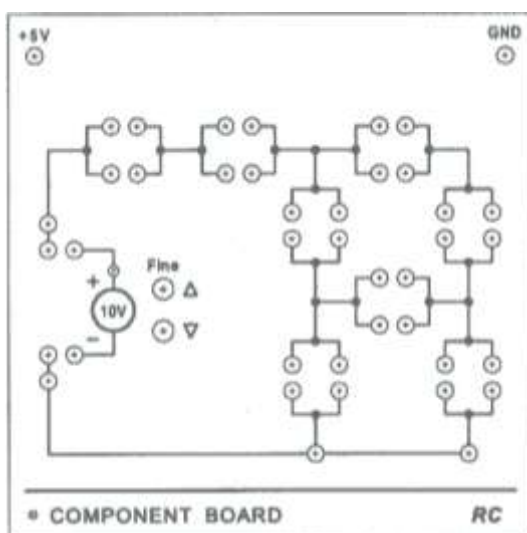
Do základnej zostavy systému rc2000 patria:

- **Moduly spracovania dát a prístrojové moduly:** meracia jednotka, program rc2000, generátor funkcií, programovateľný DC zdroj, voltmeter DC & AC RMS, modul trojfázovej sústavy.

- **Moduly aktívnych prvkov:** modul prvkov, operačný zosilňovač, bipolárny tranzistor NPN a PNP, modul unipolárneho tranzistora JFET-N, tyristor.
- **Moduly pasívnych prvkov:** odporové dekády ( $20 \Omega \div 1019 \Omega$  s krokom  $1 \Omega$ ) a ( $1 \text{ k}\Omega \div 999 \text{ k}\Omega$  s krokom  $1 \text{ k}\Omega$ ), kapacitná dekáda ( $1 \text{ nF} \div 999 \text{ nF}$  s krokom  $1 \text{ nF}$ ), kapacitná zostava s hodnotami 1; 2; 2 a  $5 \mu\text{F}$  s možnosťou paralelného pripojovania k výstupným svorkám a cievka s indukčnosťou  $1 \text{ H}$ , transformátor a sada prvkov (rezistory, kondenzátory, diódy,...).
- **Číslicové moduly:** univerzálny číslicový modul 74xxx, sada kariet, logická sonda, volič logických stavov, časová základňa.
- **Regulačné moduly:** sústava motor-generátor, PID regulátor (proporcionálny, integračný a derivačný regulátor), štyri nezávislé oneskorovacie členy 1. rádu a rozdielový člen.
- **Prepojovacie moduly, zdroj, rozvod napájania:** meracieho systému tvoria: rozvod napájania modulov, modul s päticou 16, modul s päticou 40 a prepojovacie vodiče rôznej dĺžky zakončené pozlátenými kolíkmi, zdroj  $+5 \text{ V}$ .

### 2.2.1 Modul prvkov

Modul prvkov (COMPONENT BOARD) tvorí univerzálne prepojovacie pole na zapájanie pasívnych obvodov. Pre zapájanie jednosmerných obvodov modul obsahuje vnútorný referenčný zdroj napätia  $+10 \text{ V} \pm 2 \text{ mV}$  s indikáciou preťaženia. Referenčný zdroj pri pracovných teplotách od  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  poskytuje výstupné napätie s hodnotou  $10,000 \text{ V} \pm 12,5 \text{ mV}$ . Hodnota výstupného napätia je jemne nastaviteľná s krokom  $0,4 \text{ mV}$ . Výstupný odpor je menší ako  $0,1 \Omega$ . Výstupný prúd je  $25 \text{ mA}$ , pri preťažení svieti červená LED. Pohľad na čelný panel modulu prvkov je na obrázku 2.7.



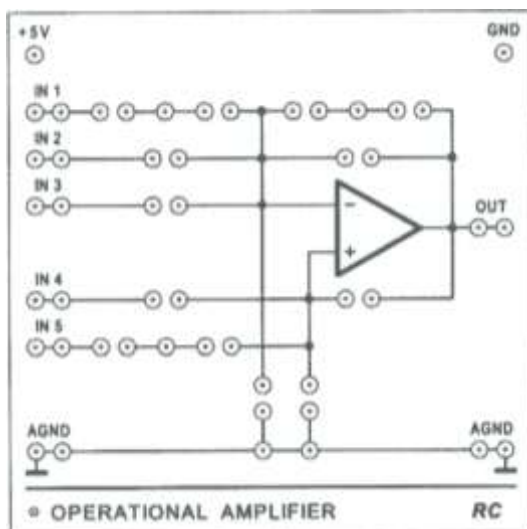
Obrázok 2.7 Modul prvkov

### 2.2.2 Modul operačný zosilňovač

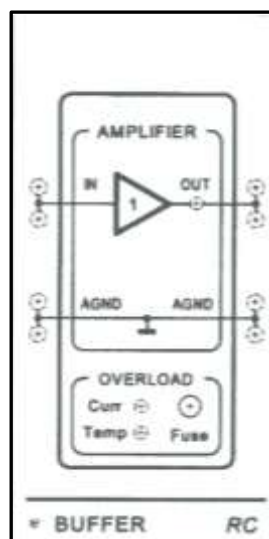
Modul operačný zosilňovač (OPERATIONAL AMPLIFIER) slúži na vytvorenie rôznych zapojení s operačným zosilňovačom. Napätový vstupný ofset je  $< 50 \mu\text{V}$ , zosilnenie otvorenej slučky je 120 dB, vstupný prúd je 100 pA, výstupné napätie je  $\pm 10 \text{ V}$  na záťaži  $R_L = 400 \Omega$ , výstupný prúd je 25 mA. Pohľad na čelný panel modulu operačný zosilňovač je na obrázku 2.8.

### 2.2.3 Modul výkonového zosilňovača

Modul výkonového zosilňovača (obr. 2.9) obsahuje výkonový operačný zosilňovač so zosilnením  $A = 1$ . Výstupný odpor  $R_{\text{OUT}} < 0,1 \Omega$ . Výstupný prúd je obmedzený na 220 mA s indikáciou tepelného a prúdového preťaženia s odpojením výstupu.



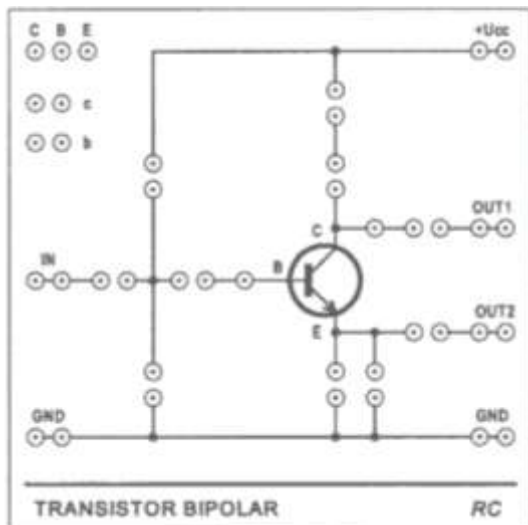
Obrázok 2.8 Modul operačný zosilňovač



Obrázok 2.9 Výkonový zosilňovač

### 2.2.4 Modul bipolárny tranzistor

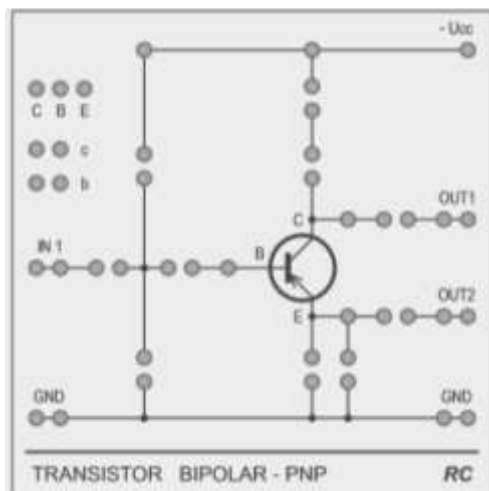
Modul bipolárny tranzistor (TRANSISTOR BIPOLAR) umožňuje zapojiť tranzistorový stupeň s NPN tranzistorom (BC 546), resp. PNP tranzistor (BC 556) pripojeným na trojkoľkový konektor. Modul je vybavený systémom ochrán tranzistora. Ochranu priechodu BE tvorí rezistor  $R_B = 200 \Omega$ , ochranu priechodu CE rezistor  $R_C = 120 \Omega$ . Parametre tranzistora BC 546 sú uvedené v tabuľke 2.13, parametre tranzistora BC 556 sú uvedené v tabuľke 2.14. Pohľad na čelný panel modulu bipolárny tranzistor NPN je na obrázku 2.10 a bipolárny tranzistor PNP je na obr. 2.11.



Obrázok 2.10 Modul bipolárny tranzistor NPN

Tabuľka 2.13 Parametre tranzistora NPN BC 546

Zosilňovací činiteľ $\beta = 120 \div 220$ pre $U_{CE} = 5 \text{ V}$ , $I_C = 2 \text{ mA}$
Maximálny kolektorový prúd $I_{Cmax} = 100 \text{ mA}$
Saturačné napätie $U_{CEsat} < 0,6 \text{ V}$ pre $I_C = 100 \text{ mA}$ , $I_B = 5 \text{ mA}$
Maximálne napätie $U_{CC} = 15 \text{ V}$



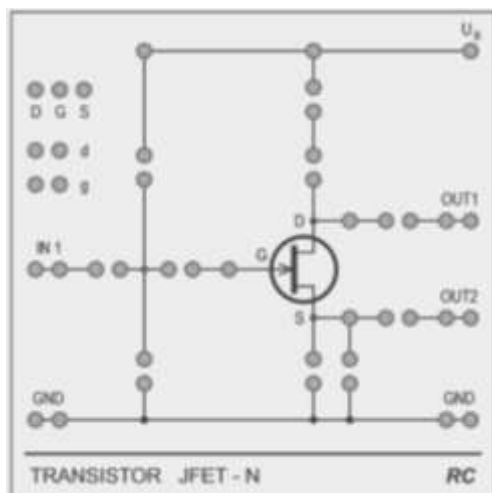
Obrázok 2.11 Modul bipolárny tranzistor PNP

Tabuľka 2.14 Parametre tranzistora PNP BC 556

Zosilňovací činiteľ $\beta = 120 \div 220$ pre $U_{CE} = 5 \text{ V}$ , $I_C = 2 \text{ mA}$
Maximálny kolektorový prúd $I_{Cmax} = 100 \text{ mA}$
Saturačné napätie $U_{CEsat} < 0,6 \text{ V}$ pre $I_C = 100 \text{ mA}$ , $I_B = 5 \text{ mA}$
Maximálne napätie $U_{CC} = 15 \text{ V}$



### 2.2.5 Modul unipolárny tranzistor JFET - N



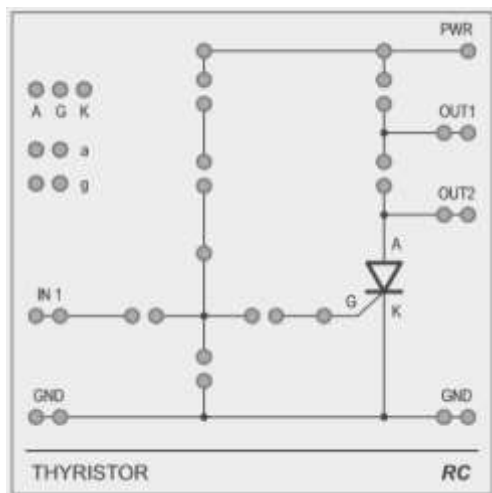
Obrázok 2.12 Modul unipolárneho tranzistora

Tabuľka 2.15 Parametre unipolárneho tranzistora JFET - N BF 245

Zosilňovací činiteľ $y_{21s} = 3,0 \div 6,5$
Ochranný odpor $R_g = 1 \text{ k}\Omega$ , $R_d = 120 \Omega$
Maximálny prúd $I_{DSmax} = 25 \text{ mA}$
Zavieracie napätie $U_{GS(off)}$ min. $-8,0 \text{ V}$ , max. $-0,5 \text{ V}$
Maximálne napätie $U_{CC} = 15 \text{ V}$

### 2.2.6 Modul tyristor

Modul tyristor umožňuje rozložením spojov prehľadnú realizáciu základných zapojení tyristora. Určené je pre typ 2N5060 alebo obdobný. Tyristor sa pripája ako samostatný prvok na trojkolíkovom konektore, čo umožňuje jednoduchú výmenu typu. Ochrana tyristora proti prepätiu (s možnosťou premostenia). Premostenie ochranného rezistora sa využije, napr. pri meraní V/A charakteristík tyristora.



Obrázok 2.13 Modul tyristor

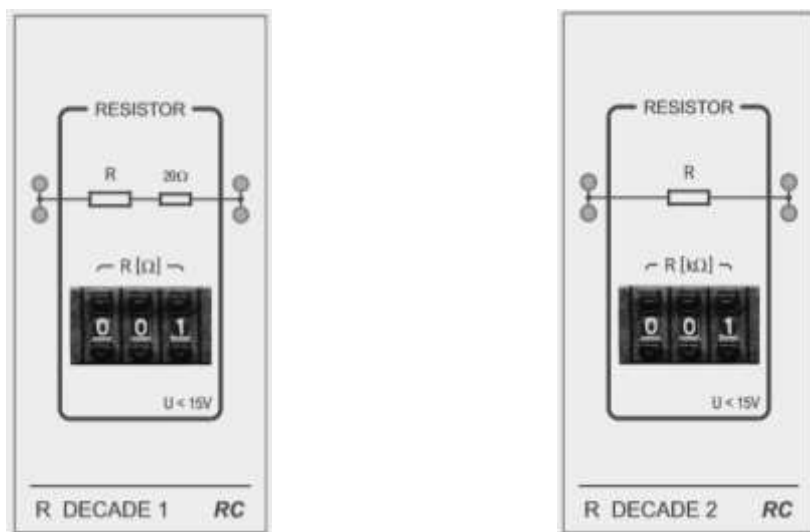
Tabuľka 2.16 Parametre tyristora 2N5060

Ochranný odpor $R_A = 20 \Omega$ , $R_G = 1 \text{ k}\Omega$
Maximálne napätie $U_{CC} = 15 \text{ V}$
Maximálny anódový prúd = $800 \text{ mA}$
Prídržný prúd = $5 \text{ mA}$
Spínací prúd = $0,2 \text{ mA}$
Spínacie napätie $U_{GK} = -8,0 \text{ V}$
Prierazné napätie $U_{AK} = 30 \text{ V}$

## 2.3 Moduly pasívnych prvkov systému rc2000

### 2.3.1 Modul odporová dekáda

Súčasťou systému sú dve odporové dekády (R DECADE 1, R DECADE 2). Pohľad na čelné panely je na obrázku 2.14 a vlastnosti odporových dekád sú v tabuľke 2.17.



Obrázok 2.14 Odporové dekády

Tabuľka 2.17 Vlastnosti odporových dekád

	Odporová dekáda 1	Odporová dekáda 2
Rozsah dekády	20 Ω ÷ 1019 Ω (krok 1 Ω)	1 kΩ ÷ 999 kΩ (krok 1 kΩ)
Presnosť (15 °C ÷ 35 °C)	20 Ω ÷ 49 Ω 0,5 % 50 Ω ÷ 99 Ω 0,2 % 100 Ω ÷ 1019 Ω 0,1 %	0,1 %
Teplotný koeficient	25 ppm/°C (1)	25 ppm/°C
Ochrana pre napätie 15 V	Akustickým alarmom	Akustickým alarmom
Rozmer	100×50×50 mm	100×50×50 mm

(1) ppm – Parts per million

### 2.3.2 Modul kapacitná dekáda a kapacitná zostava

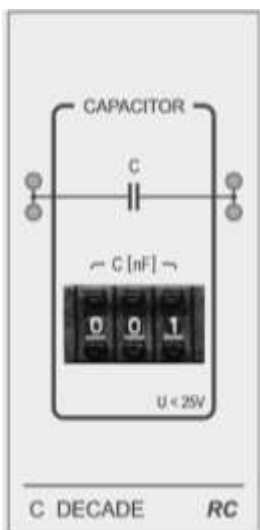
Kapacitná dekáda (C DECADE) má rozsah kapacít 1 nF až 999 nF s krokom 1 nF. Pohľad na kapacitnú dekádu je na obrázku 2.15a. Zostavu kapacít (C SET) tvoria kapacity 1; 2; 2 a 5 μF s možnosťami paralelného pripájania k výstupným zvierkam. Pohľad na kapacitnú zostavu je na obrázku 2.15b. Ďalšie vlastnosti kapacitnej dekády a kapacitnej zostavy sú uvedené v tabuľke 2.18.

Tabuľka 2.18 Vlastnosti kapacitnej dekády a kapacitnej zostavy

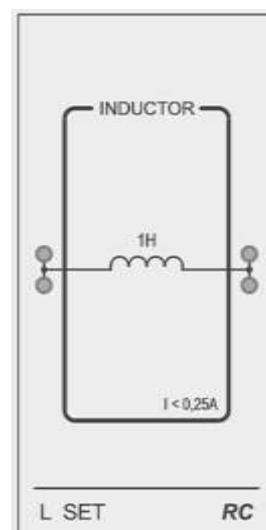
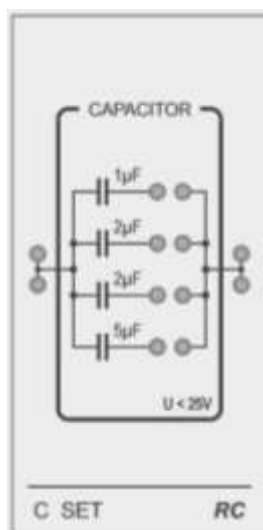
	Kapacitná dekáda	Kapacitná zostava
Presnosť (15 °C ÷ 35 °C)	0,8 % ± 15pF	0,8 %
Použité kondenzátory	polypropylénové	polypropylénové
Teplotný koeficient	< 200 ppm/°C	< 200 ppm/°C
Napätie	< 25 V	< 25 V
Rozmer	100×50×50 mm	100×50×50 mm

### 2.3.3 Modul indukčnosti – cievka

Systém rc 2000 obsahuje cievku s indukčnosťou  $L = 1 \text{ H} \pm 0,8 \%$  (dostupné sú aj hodnoty 100 mH, 200 mH, 500 mH, 2 H, parametre sú také isté ako pre hodnotu 1 H)). Dosahovaná presnosť pre frekvencie 10 Hz až 10 kHz je  $\pm 0,8 \%$ , odpor vinutia je  $R_L = 35 \Omega$ . Maximálny prúd 0,25 A. Cievka má feritové jadro a akustickú ochranu proti preťaženiu jednosmerným prúdom. Pohľad na čelný panel modulu je na obrázku 2.16.



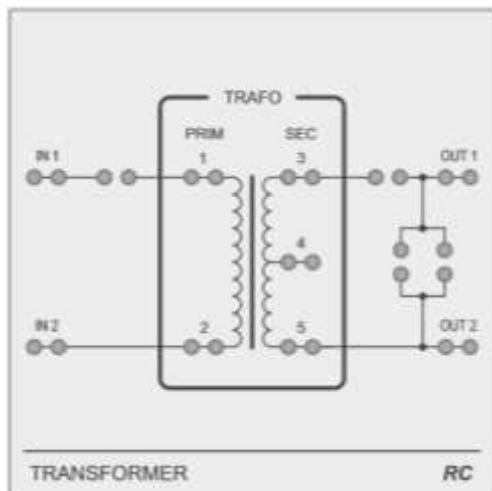
Obrázok 2.15 Kapacitná dekáda (a) a zostava kapacít (b)



Obrázok 2.16 Cievka

### 2.3.4 Modul transformátor

Modul transformátor (obr. 2.17), má systém ochrán a umožňuje vykonať základné merania na transformátore, ako sú napr. meranie napätia a prúdu v primárnom aj sekundárnom vinutí, hysteréznu krivku. Pomer počtu závitov: 1:1. Odbočka je v polovine sekundárneho vinutia.



Obrázok 2.17 Modul transformátor

Tabuľka 2.19 Vlastnosti modulu transformátor

počet závitov primárneho vinutia	170
počet závitov sekundárneho vinutia	2x85
jadro	El plechy M111-35N
prierez jadra	100 mm <sup>2</sup>
vnútorný odpor	$R_{12} = R_{35} = 5 \Omega$
maximálny prúd	0,25 A
maximálne napätie	10 V
dĺžka strednej siločiar	65 mm

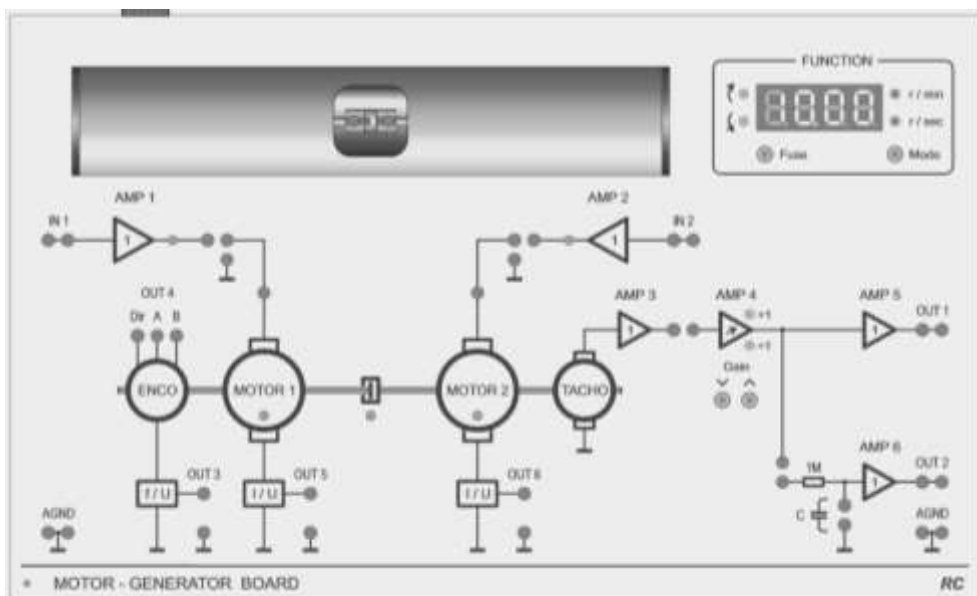
## 2.4 Regulačné moduly

### 2.4.1 Modul sústava motor - generátor

Modul sústava motor generátor predstavuje sústavu dvoch jednosmerných motorov súosovo spojených pružnou spojkou. Použité sú motory špičkovej technológie bez železového rotora, ktorá zaručuje nízke trenie, veľmi malé rozbehové napätie, vysokú účinnosť a dobré tepelné podmienky. Precízne vyhotovená mechanika vykazuje nízke straty. Nezávislé budenie obidvoch motorov zosilňovačmi (AMP1, AMP2) s ochranou proti preťaženiu. Nezávislé budenie motorov umožňuje použiť MOTOR 2 ako záťaž pre MOTOR 1 s ľubovoľným spôsobom riadenia. Zostava je usporiadaná tak, aby vedľa širokého využitia v regulačnej technike umožnila i meranie charakteristík malých jednosmerných motorov. Snímanie otáčok je tachodynamom s veľmi malým momentom zotrvačnosti a snímačom otáčok, za ním je zaradený prevodník  $f/U$ . Údaj snímača otáčok je zobrazený v bloku FUNCTION (zobrazenie otáčok  $r/min$  alebo  $r/sec$ ), vrátane smeru otáčania. Zmenou zosilnenia zosilňovača napätia tachodynamu AMP4 možno normovať prechodové charakteristiky. Okrem toho možno výstupné napätie tachodynamu filtrovať. Displej v bloku FUNCTION zobrazuje tiež chybové stavy. Napájanie modulu je z externého zdroja 24 V.

Tabuľka 2.20 Parametre sústavy motor generátor

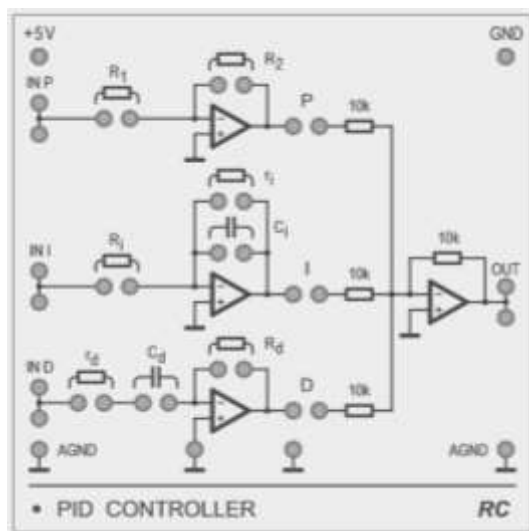
		Hodnota	
		min.	max.
<b>Motor 1</b>	menovitý výkon	4,05 W	
	napätie	0,2 V	12,0 V
	otáčky	7800 r/min	
	$I_{TRVALÝ}$	0,52 A	
<b>Motor 2</b>	menovitý výkon	3,69 W	
	napätie	0,2 V	12,0 V
	otáčky	8200 r/min	
	$I_{TRVALÝ}$	0,43 A	
<b>Motorová sústava</b>	výkon	3,5 W	
	otáčky	5000 r/min.	
	časová konštanta	16 ms $\pm$ 2,0 %	
	rozbehové napätie	0,5 V	
<b>Snímač otáčok ENCO</b>	konštanta	512 n/r	
	digitálne výstupy	A, B, DIR (všetky TTL)	
<b>Prevodník f/U</b>	konštanta	1 V/1000 r/min. $\pm$ 2,0 %	
	$R_{OUT}$	< 0,1 $\Omega$	
<b>Tachodynamo</b>	konštanta	1 V/1000 r/min. $\pm$ 2,0 %	
	$R_{OUT}$	< 0,1 $\Omega$	
<b>Zosilňovač AMP4</b>	zosilnenie	1,00 $\pm$ 1,0 %	2,12 $\pm$ 1,0 %
	krok	0,01 $\pm$ 20,0 %	
	$R_{OUT}$	< 0,1 $\Omega$	
	konštanta	5 mV/mA $\pm$ 2,0 %	
<b>Prevodník I/U</b>	konštanta	5 mV/mA $\pm$ 2,0 %	
	$R_{OUT}$	< 0,1 $\Omega$	



Obrázok 2.18 Modul sústavy motor generátor

### 2.4.2 Modul PID regulátora

Modul PID regulátora tvoria regulačné členy P, I a D (proporcionálny, integračný a derivačný regulátor). Trojvstupový sumátor s jednotkovým koeficientom prenosu  $A = 1 \pm 0,2\%$  pre všetky vstupy. Možnosť paralelného i sériového zapojenia jednotlivých členov P, I, D umožňuje zapojiť ľubovoľný typ regulátora. Nezávislé nastavenie parametrov jednotlivých členov (zosilnenie a časové konštanty) umožňuje nastaviť požadované vlastnosti regulátora. Rozkmit výstupného napätia  $\pm 12\text{ V}$ , výstupný prúd  $I_{\text{OUT}} = -22$  až  $+22\text{ mA}$ , výstupný odpor  $R_{\text{OUT}} < 0,1\ \Omega$ . Výstupy členov i sumátora sú skratu vzdorné.



Obrázok 2.19 Modul PID regulátora

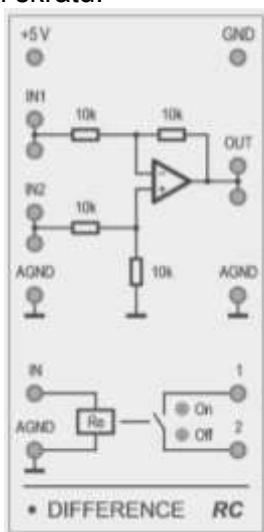
### 2.4.3 Modul rozdielový člen

Modul rozdielový zosilňovač je určený na vytváranie regulačnej odchýlky. Oddelená zem zosilňovača, rozkmit výstupného napätia väčšia než  $\pm 13\text{ V}$ , výstupný prúd  $I_{\text{OUT}} = -22$  až  $+22\text{ mA}$ , výstupný odpor  $R_{\text{OUT}} < 0,1\ \Omega$ . Výstup zosilňovača je skratu vzdorný. Relé so spínacím kontaktom sa používa napr. na nastavenie počiatočných podmienok integračného I-člena v PID regulátore. Relé je riadené logikou TTL, výstup relé je chránený proti prúdovému preťaženiu, výstupný prúd  $I_{\text{OUT}} = 0,5\text{ A}$ , výstupný odpor  $R_{\text{OUT}} < 5\ \Omega$ . Zopnutie kontaktu relé je signalizované LED, (zelená – On – kontakt zopnutý, červená – Off – kontakt rozopnutý).

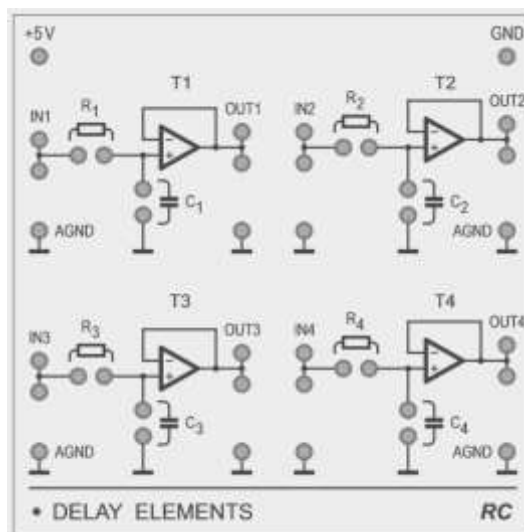
### 2.4.4 Modul oneskorovacie členy 1. radu

Modul oneskorovacie členy 1. Rádu tvoria štyri nezávislé oneskorovacie (zotrvačné) členy 1. rádu tvorené RC členmi, ktoré sú oddelené zosilňovačom - členy sa po vzájomnom prepojení neovplyvňujú. Modul umožňuje paralelné i sériové zapojenie RC členov, nezávislé nastavenie časovej konštanty jednotlivých

členov. Rozkmit výstupného napätia je väčší než  $\pm 13$  V. Výstupy členov sú odolné voči skratu.



Obrázok 2.20 Modul rozdielový člen



Obrázok 2.21 Modul oneskorovacích členov

## 2.5 Číslicové moduly

Číslicové moduly sa používajú pri teoretickej i praktickej výučbe číslicové techniky.

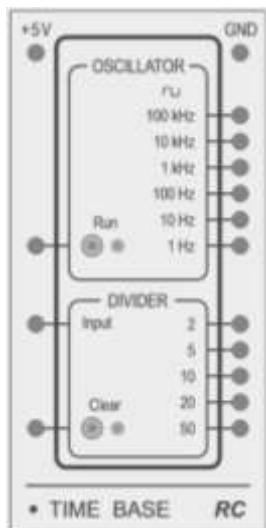
### 2.5.1 Modul časová základňa

Modul časová základňa tvorí oscilátor riadený kryštálom a delič frekvencie, pracuje s logikou TTL. Oscilátor pracuje v rozsahu frekvencií od 1 Hz – 100 kHz a je rozdelený do 6 samostatných výstupov v logaritmickú stupnici. Po pripojení modulu na napájanie oscilátor nebeží, výstupy sú v logickej nule, do činnosti ho uvedie funkcia start (tlačidlom Run alebo vstupom TTL). Delič frekvencie ako samostatná časť má pevné deliace pomery (5 samostatných výstupov): 2, 5, 10, 20, 50, použitá technológia HCT - logický zisk  $>10$ .

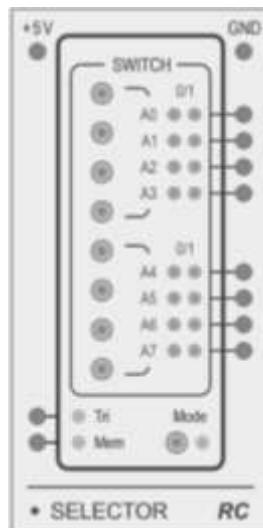
### 2.5.2 Modul volič logických stavov

Modul volič logických stavov tvorí osemkanálový volič logických úrovní TTL s chránenými výstupmi. Tlačidlová voľba úrovne s ošetrením proti zúskmitom. Indikácia voľby stavu pomocou LED. Po pripojení modulu na napájanie pracujú tlačidlá v prepínacom móde a výstupy sú nastavené na stav logickej nuly. Dva módy ovládania - spínací a prepínací mód. Vstup Mem - umožňuje nastaviť na všetkých výstupoch novú kombináciu stavov v jednom okamihu. Výstupy si udržiavajú svoje stavy nezávisle na zvolenom stave tlačidlami. Navolené hodnoty sa nahrajú na výstupy po prechodu vstupu Mem do logickej nuly (log. 0) alebo tretieho stavu. Vstup Tri - uvedie výstupy do tretieho stavu (stav vysokej

impedancie) – umožňuje pripojenie na zbernicu mikroprocesora, technológia HCT – zabezpečuje logický zisk >10.



Obrázok 2.22 Modul časová základňa



Obrázok 2.23 Modul volič logických stavov

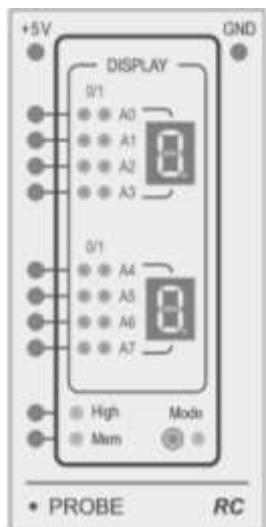
### 2.5.3 Modul logická sonda

Modul logických stavov tvorí osemkanálová trojstavová logická sonda TTL, tretí stav (alebo nezapojený vstup) je indikovaný zhasnutím obidvoch LED. Po pripojení modulu na napájanie sú displeje v trojstavovom móde. Dvojitá indikácia logických úrovní binárne (zelená a červená LED) hexadecimálne (po štvoriciach platných vstupov). Dva módy displejov trojstavový: pri treťom stave displej nezobrazuje, dvojstavový: tretí stav považovaný za logickú nulu (log. 0). Vstup High: vstupy sondy sú vnútorne vytiahnuté na logickú jednotku. Vstup Mem: umožňuje zapamätávanie okamžitého stavu, technológia HCT zaručuje logický zisk >10.

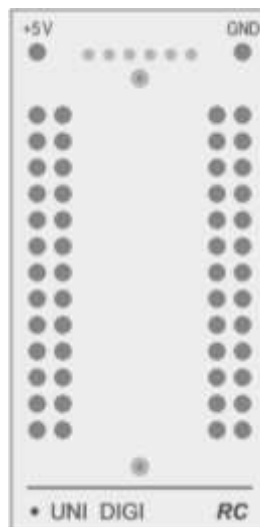
### 2.5.4 Univerzálny číslicový modul

Univerzálny modul číslicového obvodu radu 74xx, nahradí 24 rôznych typov obvodov radu 74xx. Voľba typu obvodu magnetickým kódom na výmennej karte so schematickým znázornením obvodu. Chránené vstupy TTL (až 13), chránené výstupy TTL (až 13). Technológia HCT zaručuje logický zisk >10. Zdvojený konektor na vstupoch a výstupoch.





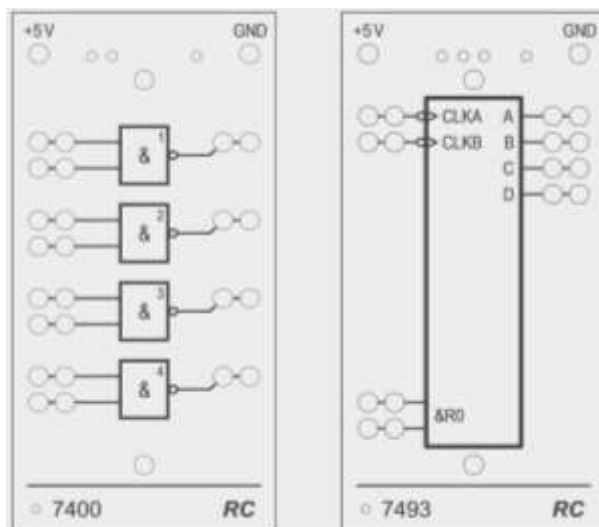
Obrázok 2.24 Modul logická sonda



Obrázok 2.25 Univerzálny modul číslicového obvodu

### 2.5.5 Sada kariet

Sada kariet číslicových obvodov radu 74xx obsahuje nasledovných 24 obvodov: 7400, 7402, 7404, 7408, 7410, 7420, 7430, 7432, 7474, 7475, 7485, 7486, 7490, 7493, 74112, 74138, 74151, 74153, 74157, 74164, 74193, 74194, 74283, 74373. Priložením karty zo sady číslicových obvodov na univerzálny číslicový modul dostanem volený obvod radu 74xx.

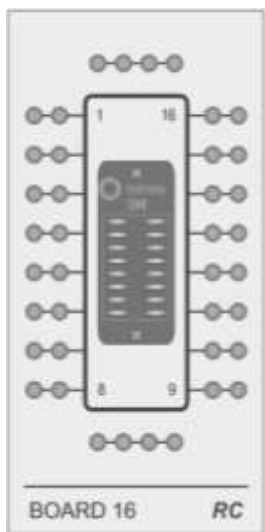


Obrázok 2.26 Karty číslicových obvodov

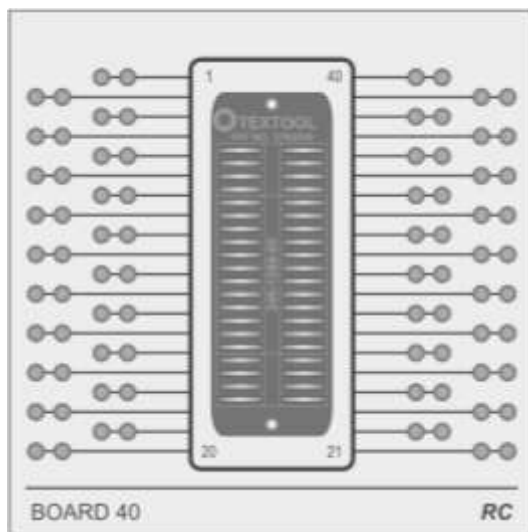
### 2.5.6 Moduly s bezsilovými päťicami

Modul so šesnásťpinovou päťicou ZIF od firmy Textool (obr. 2.27), je vybavený kvalitnou päťicou s nulovou silou s pozlátenými kontaktmi. Zdvojená zdierka na každom pine umožňuje ľubovoľné zapojenie.

Modul so štyridsaťpinovou päťicou ZIF od firmy Textool (obr. 2.28), je vybavený kvalitnou päťicou s nulovou silou s pozlátenými kontaktmi. Zdvojená zdierka na každom pine umožňuje ľubovoľné zapojenie.



Obrázok 2.27 Modul s päťicou 16



Obrázok 2.28 Modul s päťicou 40

## 2.6 Zdroje, rozvody napájania modulov

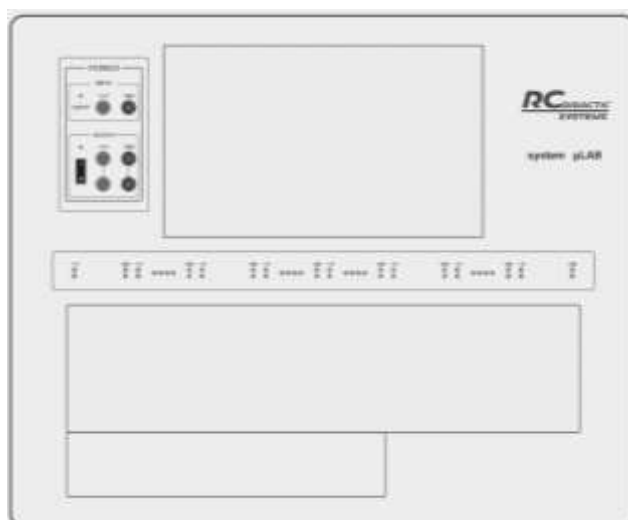
Napájanie modulov rc2000 je zabezpečené z externých napájacích zdrojov:

- 5 V  $\pm 6$  % (4,0 A), prívodný dvojvodičový kábel s konektorom podľa normy IEC 320-C8. Pevne pripojený výstupný kábel dĺžky 40 cm s pozlátenými konektormi priemeru 2 mm, bezpečný kryt.
- 24 V  $\pm 2$  % (1,5 A), pevne pripojený výstupný kábel dĺžky 120 cm s výstupným konektorom pre malé napätie (DC jack - vnútorný priemer 2,1 mm; vonkajší 5,5 mm).

Zdroje spĺňajú bezpečnostné normy EN60950-1, EN55022, EN61000-3-2 class A. Na výstupe majú poistku proti skratu a proti prepätiu s automatickým zotavením.

Univerzálny rozvod napájania (obr. 2.29) obsahuje priestor pre moduly a oddelený priestor pre meraciu jednotku (ADDU). Rozvod napájania s rámečkmi pre umiestnenie meranej úlohy na stole, vhodné pre úlohy merané s podporou počítača. Priestor pre moduly pojme až 4 väčšie alebo až 8 menších modulov. Alternatívne pojme priestor pre moduly trojfázovej sústavy alebo sústavu motor - generátor a až 3 ďalšie moduly. Pre úlohy regulačnej techniky je vhodné pracovisko rozšíriť o rozvod napájania pre 8 modulov. Napájanie pozlátenými

bezpečnostnými konektormi s priemerom 2 mm, vypínač napájania s indikačnými LED.



Obrázok 2.29 Univerzálny rozvod napájania

Rozvod napájania pre osem modulov (obr. 2.30) obsahuje iba jeden priestor pre moduly. Rozvod napájania pre umiestnenie meranej úlohy na stole Pojme až 4 väčšie alebo až 8 menších modulov. Vhodný pre úlohy bez meracej jednotky (ADDU) alebo spolu s univerzálnym rozvodom napájania pre úlohy regulačnej techniky. Napájanie pozlátenými bezpečnostnými konektormi s priemerom 2 mm.



Obrázok 2.30 Rozvod napájania pre osem modulov

## 2.7 Sada prvkov, prepojovacie káble

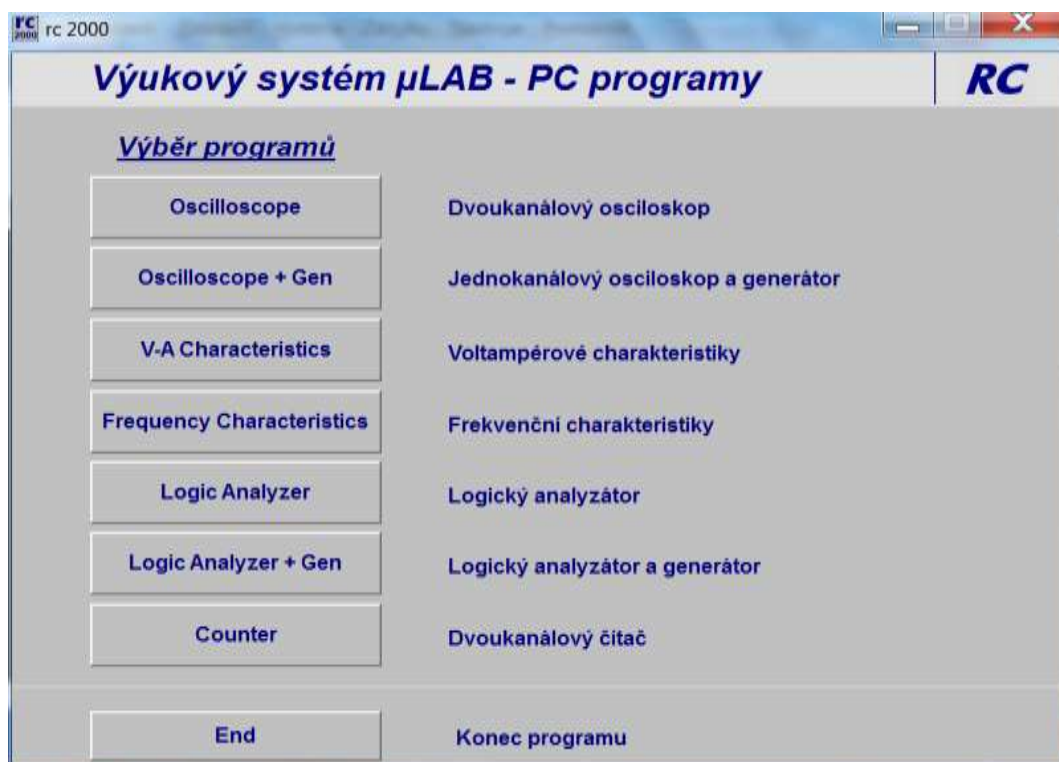
Sada prvkov obsahuje: pasívne súčiastky - rezistory s odporom od 1  $\Omega$  do 10 M $\Omega$  (v rade 1; 2; 5; 10) a kondenzátory s kapacitou od 1 nF – 100 nF (v rade 1; 2,2; 3,3; 6,8; 10), voľné konektory, spojky, diódy (kremíkové 1N4148, germániové 1N60, Schottkyho BAT48, Zenerove BZX55C, LED červené, zelené, žlté, modré, biele a infra, tranzistory, NTC 1k0, PTC RXE 005, .... Použité sú veľmi presné súčiastky (rezistory od  $\pm 0,1\%$  do  $\pm 0,5\%$ , kondenzátory od  $\pm 1\%$  do  $\pm 10\%$ ) vďaka čomu sa dosahuje veľmi dobrá zhoda nameraných hodnôt s teoretickými výsledkami.

Na zapájanie obvodov na moduloch sa používajú prepojovacie vodiče – ohybné káble so silikónovou izoláciou, prierez medeného jadra 0,25 mm<sup>2</sup>, rôznej dĺžky sú odlišené farbou izolácie, zakončené pozlátenými kolíkmi s priemerom 1,5 mm.

## 2.8 Softvér výučbového systému rc2000

### 2.8.1 Meranie s výučbovým systémom rc2000

Softvér výučbového systému rc2000 (obr. 2.31) slúži na spracovanie a vizualizáciu dát produkovaných meracou jednotkou ADDU, samostatne nie je použiteľný, nie je to simulačný program.



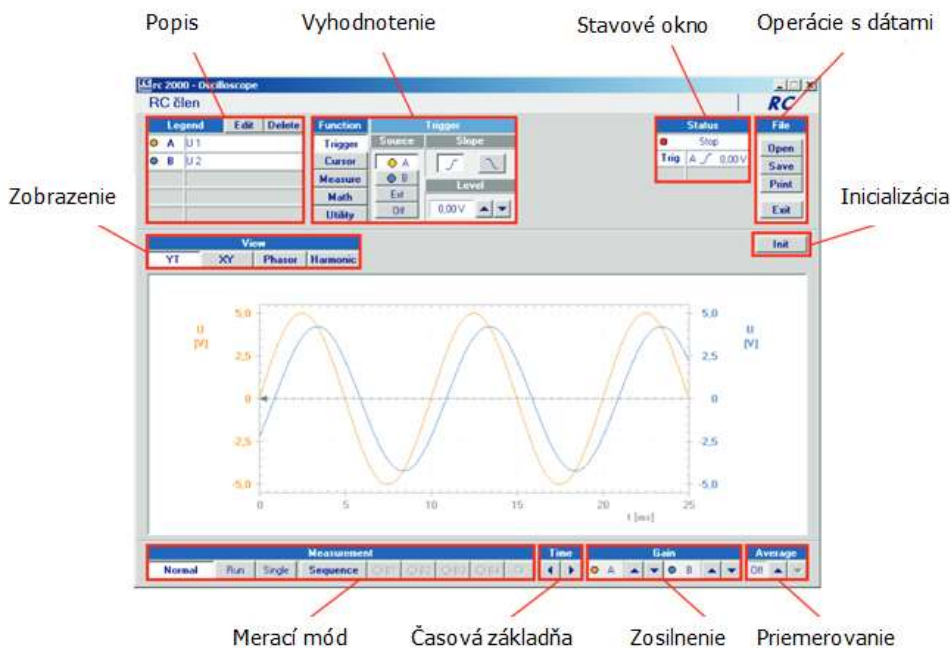
Obrázok 2.31 Úvodná obrazovka na výber programov merania

### 2.8.2 Meranie dvojkanálovým osciloskopom

Dvojkanálový osciloskop (obr. 2.32) umožňuje merania v móde Normal a Sequence. V móde Normal je možné cyklické meranie Run alebo jedno meranie v režime Single. V móde Sequence je možné zmerať štyri meracie cykly na spoločnej obrazovke. Jednotlivé merania vykonáme stlačením tlačidiel B1 až B4. Kanál A (väčšinou vstupný signál) je referenčný pre všetky tieto merania a nesmie sa meniť.

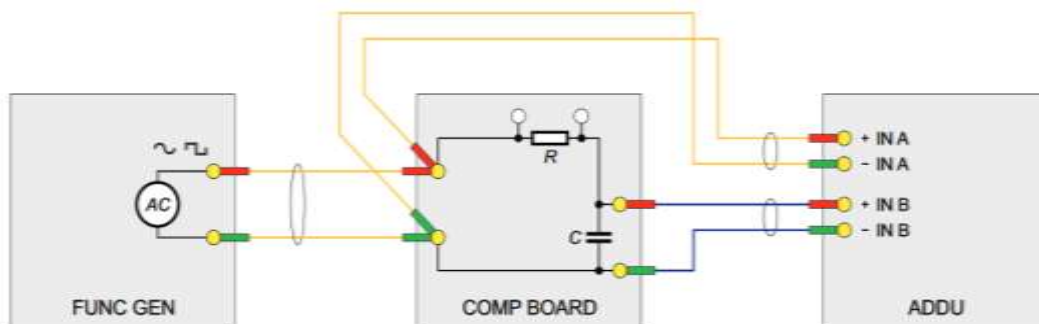
Zobrazovací mód pri meraní s dvojkanálovým osciloskopom môže byť: **YT** – dvojkanálový časový priebeh, **XY** – mód (kanál A - os X, kanál B - os Y) a časový priebeh, **Phasor** – fázorový diagram a časový priebeh, **Harmonic** – harmonická analýza (amplitúda a fáza) a časový priebeh.

Vyhodnocovanie meraní pomocou dvojkanálového osciloskopu je možné v režimoch: **Trigger** – nastavenie úrovne pre spustenie merania, **Cursor** – analýza dát pomocou kurzorov, **Measure** – automatické meranie  $U_{rms}$  (efektívna hodnota),  $U_{mean}$  (stredná hodnota),  $U_{max}$  (maximálna hodnota),  $U_{min}$  (minimálna hodnota) a frekvencia, **Math** – matematické operácie (+, -, •, /) s nameranými priebehmi.



Obrázok 2.32 Meranie na dvojkanálovom osciloskope

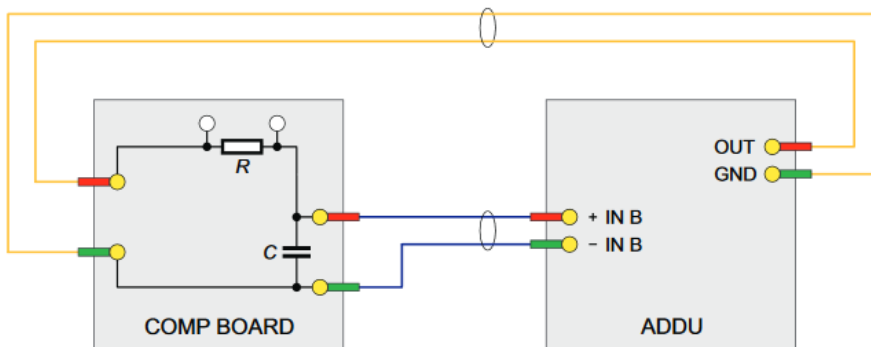
Príklad zapojenia a merania vstupných a výstupných priebehov napätí na RC člene je zobrazený na obr. 2.33.



Obrázok 2.33 Príklad merania dvojkanálovým osciloskopom

### 2.8.3 Meranie s osciloskopom – generatorom

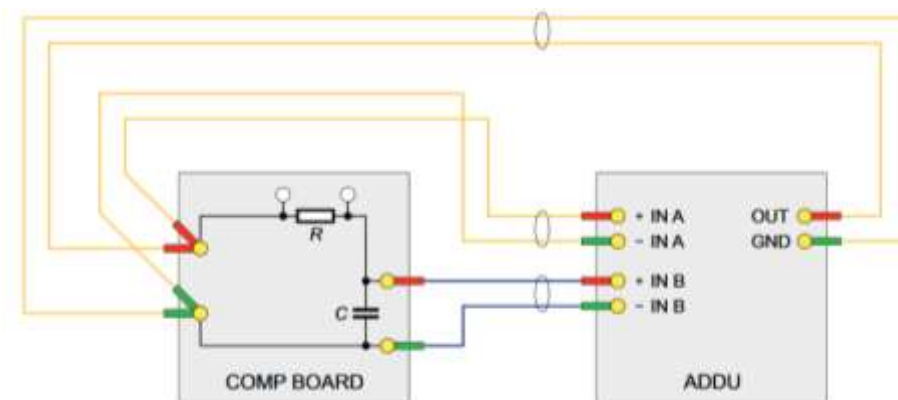
Meraním jdvojkanálovým osciloskopom a generátorom systémom rc2000 (obr. 2.34) možno názorne zobrazíť vstupné a výstupné priebehy napätí na RC filtroch. Z výstupu ADDU privádzame na vstup meraného obvodu signál premenlivej frekvencie, ktorú meriame jedným kanálom osciloskopu a druhým kanálom meriame priebeh výstupného signálu, čím môžeme zmerať závislosť amplitúdy výstupného signálu od frekvencie (amplitúdovú frekvenčnú charakteristiku). Respektíve jedným kanálom meriame napätie na odpore  $UR$  a druhým kanálom napätie na kondenzátore  $UC$ .



Obrázok 2.34 Príklad merania dvojkanálovým osciloskopom a generátorom

### 2.8.4 Meranie frekvenčných charakteristík

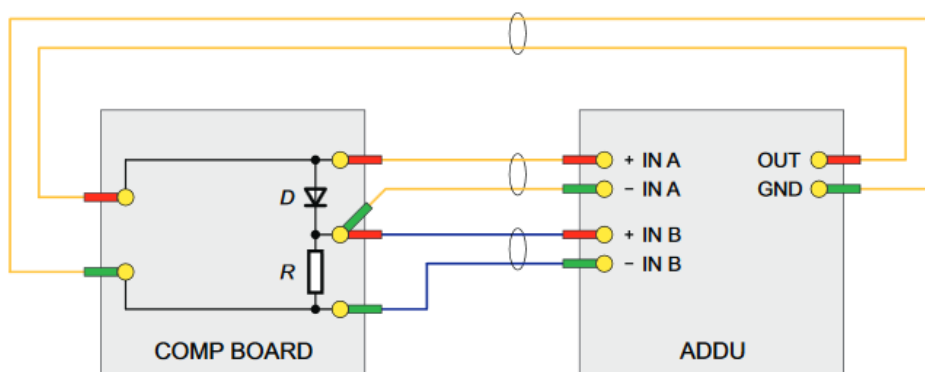
Pri meraní frekvenčných charakteristík z výstupu generátora (OUT, GND na obr. 2.35) prichádza na vstup meraného obvodu frekvencia od minimálnej po maximálnu s určitým krokom, napr. 1 Hz, pričom sa vypočíta príslušná amplitúda a fáza v každom bode a softvér zabezpečí vykreslenie priebehov amplitúdovej aj fázovej frekvenčnej charakteristiky na obrazovke monitora pripojeného k PC.



Obrázok 2.35 Príklad merania amplitúdovej a fázovej frekvenčnej charakteristiky

## 2.8.5 Meranie voltampérových charakteristík

Systém rc2000 umožňuje názorne merať voltampérové charakteristiky lineárnych aj nelineárnych prvkov. Rezistor má lineárnu  $I = f(U)$  V-A charakteristiku, žiarovka pri ktorej je odpor vlákna závislý aj od teplota má nelineárnu V-A charakteristiku. Meraním voltampérovej charakteristiky polovodičovej diódy (obr. 2.36) možno na V-A charakteristike ukázať rozdielne správanie sa diódy zapojenej v priepustnom smere a v nepriepustnom smere. Zaujímavé je aj zobrazenie V-A charakteristík dvoch prvkov zapojených do série alebo paralelne.

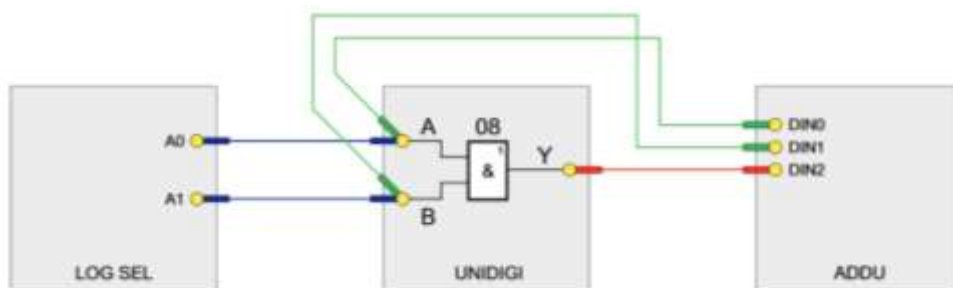


Obrázok 2.36 Príklad merania voltampérovej charakteristiky diódy

## 2.8.6 Meranie logickým analyzátorom

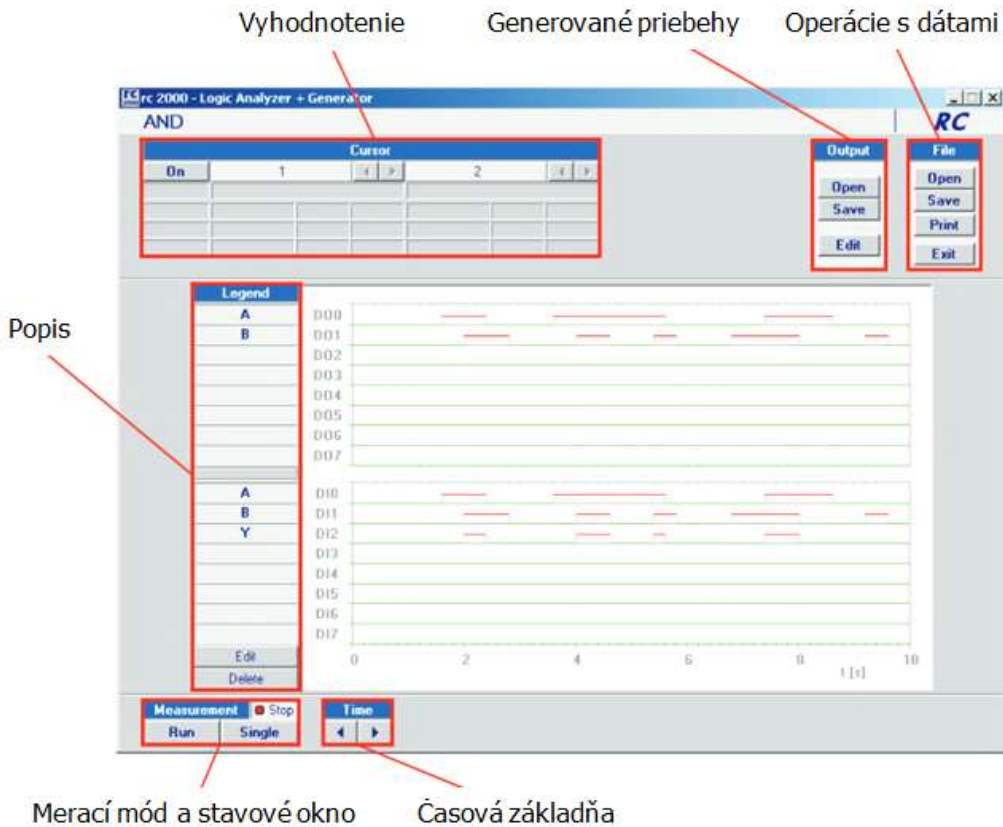
Pri meraní logickým analyzátorom názorne zobrazujeme funkcie kombinačných logických obvodov. Hodnoty vstupných logických premenných ich kombinácie zadávame ručne z LOG SEL a k nim zodpovedajúce hodnoty výstupných premenných zobrazujeme názorne logickým analyzátorom.

Príklad zapojenia na overenia logickej funkcie AND pre manuálne zadávané vstupné premenné A0, A1 je zobrazený na obr. 2.37.



Obrázok 2.37 Príklad merania logickým analyzátorom

Výsledky meraní sú získané v grafickej forme a sú viditeľné na obr. 2.38.



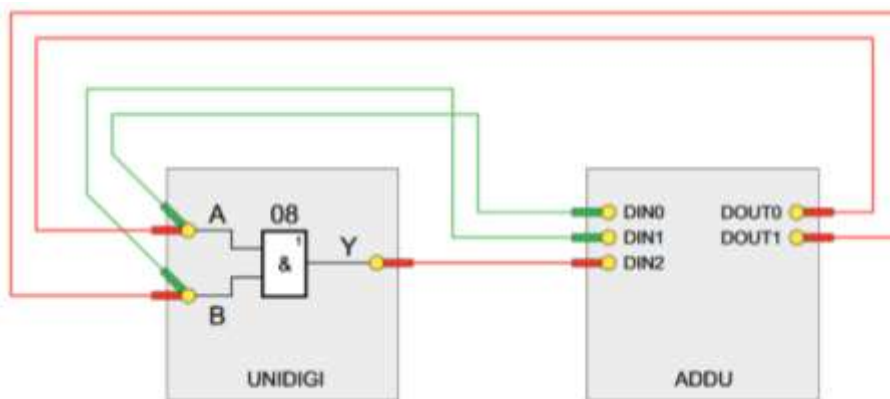
Obrázok 2.38 Meranie logickým analyzátorom

### 2.8.7 Meranie s generátorom logických stavov – analyzátor logických stavov

Systémom rc2000 s využitím analyzátoru logických stavov s generátorom je tiež možné meranie logických stavov. Hodnoty logických stavov a ich kombinácie nastavíme v režime Edit. Z výstupov DOUT0 až DOUT7 privádzame na vstup meraného obvodu signály logických premenných a ich kombinácie, ktoré zobrazujeme logickým analyzátorom súčasne s ich výstupnými signálmi.

Príklad zapojenia na overenia logickej funkcie AND pre automatické zadávané vstupné premenné A0, A1 je zobrazený na obr. 2.39.

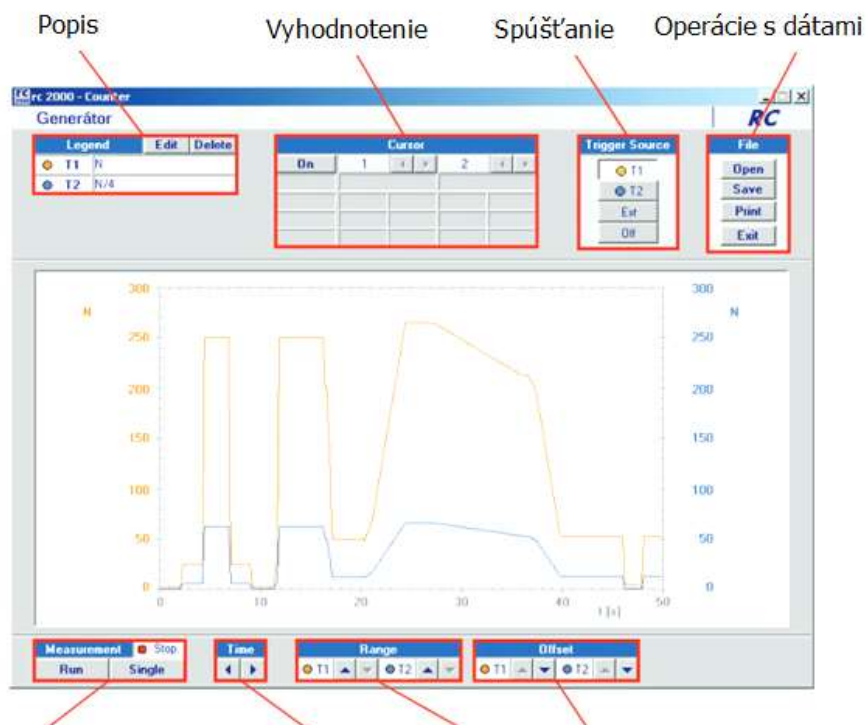




Obrázok 2.39 Príklad merania logickým analyzátorom a logickým generátorom

### 2.8.8 Meranie dvojkanálovým počítadlom (čítačom)

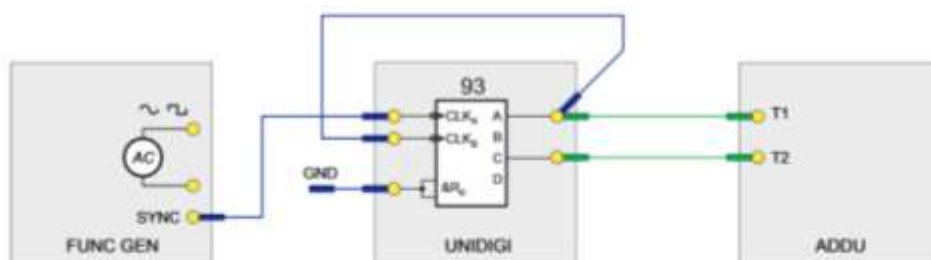
System rc2000 pomocou dvojkanálového počítadla umožňuje merať, frekvenciu, periódu, striedu (dobu trvania impulzu a medzery), oneskorenie (časový interval), fázový posun, pomer dvoch nezávislých premenných frekvencií, dobu trvania nábežnej a zostupnej hrany. Meranie je veľmi presné a názorné.



Merací mód a stavové okno Časová základňa Zosilnenie Posun

Obrázok 2.40 Meranie dvojkanálovým počítadlom (čítačom)

Príklad zapojenia na zmeranie dvoch premenlivých frekvencií pomocou dvojkanálového počítadla (čítača) je zobrazený na obr. 2.41.



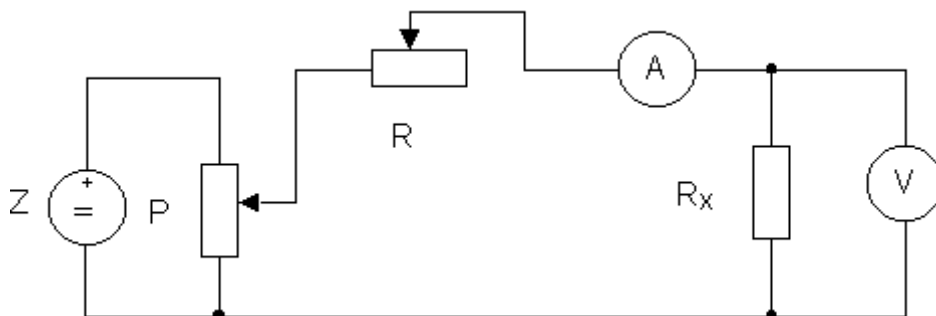
Obrázok 2.41 Meranie frekvencie dvojkanálovým počítadlom (čítačom)

### 3 VYBRANÉ PRÍKLADY MERACÍCH ÚLOH

#### 3.1 Meranie elektrického prúdu, napätia a odporu pomocou analógových meracích prístrojov voltmetra, ampérmetra a ohmmetra

Na meranie odporu nepriamou metódou treba zmerať prúdy tečúce predloženými rezistormi  $R_1, R_2 \dots R_x$  a napätia na rezistoroch. Hodnoty prúdov nesmú prekročiť parametre meraného objektu (dovolený prúd). Z nameraných hodnôt napätia a prúdu treba vypočítať hodnotu odporu rezistorov.

Schéma zapojenia pre meranie odporov metódou merania napätia a prúdu je zobrazená na obr. 3.1.



Obrázok 3.1 Schéma zapojenia pre meranie odporov V-A metódou

Podľa schémy na obrázku 3.1 zapojíme elektrický obvod. Ako prvý zapojíme prúdový obvod s meraným objektom. K meranému objektu potom pripojíme paralelne voltmeter. Regulačnými prístrojmi nastavujeme dohodnuté hodnoty prúdu v obvode, pri každej nastavenej hodnote prúdu odčítame hodnotu napätia.

Na stanovenie konštanty meracieho prístroja použijeme vzťah:

$$k = \frac{\text{merací rozsah}}{\text{počet dielikov stupnice}} \quad (3.1)$$

Namerané hodnoty napätia, prúdu sa vypočítajú zo vzťahov:

$$\begin{aligned} I &= \alpha_A \cdot k_A \\ U &= \alpha_V \cdot k_V \end{aligned} \quad (3.2)$$

a potom odporu

$$R_{XN} = \frac{U}{I}, \quad (3.3)$$

Namerané hodnoty napätia, prúdu a vypočítané hodnoty odporu zapíšeme do tabuľky. Pre overenie správnosti merania porovnáme namerané hodnoty odporov

s údajmi na štítkoch rezistorov. Predložené rezistory zmeriame aj priamou metódou, t. j. meraním odporu ohmmetrom.

Tabuľka 3.1 Namerané hodnoty napätia a prúdu a vypočítané hodnoty odporu rezistorov

$R_{\text{štít}} [\Omega]$	33	68	220	470	820	1600	3600	8200	100000
$U$ [V]	8,71	9,37	8,09	9,02	8,84	9,58	9,30	9,73	9,59
$I$ [A]	0,25	0,13	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,0001
$R_{\text{XN}} [\Omega]$	34,84	72,08	269,67	451,00	884,00	1916,00	3100,00	9730,00	95900
$R_{\text{X}\Omega} [\Omega]$	33,07	66,76	217,00	474,80	837,10	1670,00	3490,00	8507,00	99986
$\Delta R_{\text{X}} [\Omega]$	1,77	5,32	52,67	-23,80	46,90	246,00	-390,00	1223,00	-4086

$R_{\text{XN}}$  – vypočítaná hodnota z nameraných hodnôt napätia na rezistore a prúdu tečúceho rezistorom,

$R_{\text{X}\Omega}$  – hodnota nameraná ohmmetrom,

$R_{\text{štít}}$  – štítková hodnota

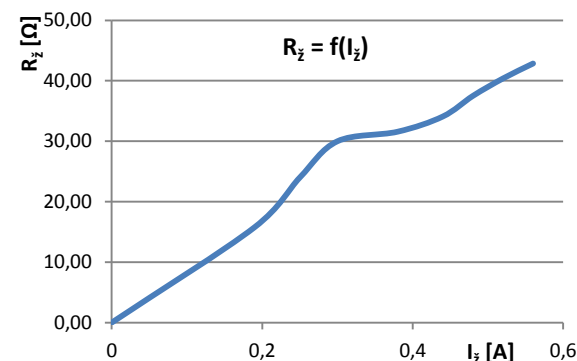
$\Delta R_{\text{X}} = R_{\text{XN}} - R_{\text{X}\Omega}$ .

Podľa schémy na obrázku 3.1 zapojíme namiesto odporu žiarovku 24 V/15 W. Zmeriame prúd a napätie na žiarovke, napätie postupne zvyšujeme od 0 V do 24 V s krokom 3 V. Namerané hodnoty napätia, prúdu a vypočítané hodnoty odporu zapíšeme do tabuľky.

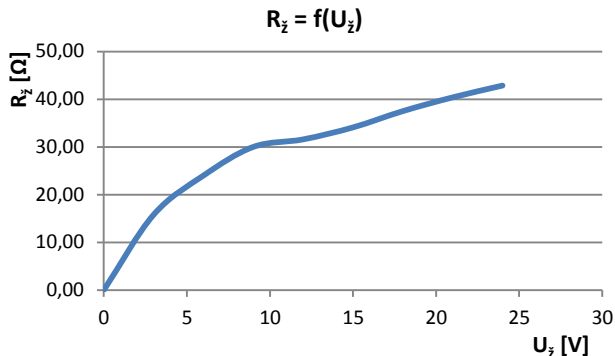
Tabuľka 3.2 Namerané a vypočítané hodnoty z merania odporu žiarovky

$U_{\text{z}}$ [V]	0	3	6	9	12	15	18	21	24
$I_{\text{z}}$ [A]	0	0,19	0,25	0,3	0,38	0,44	0,48	0,52	0,56
$R_{\text{z}}$ [ $\Omega$ ]	0	15,79	24,00	30,00	31,58	34,09	37,50	40,38	42,86

Grafické závislosti  $R = f(I)$ ,  $R = f(U)$  je zobrazená na obr. 3.2 a 3.3.



Obrázok 3.2 Grafická závislosť  $R = f(I)$  pre žiarovku

Obrázok 3.3 Grafická závislosť  $R = f(U)$  pre žiarovku

Meraním odporu nepriamou metódou sme overili meranie prúdu a napätia analógovými meracími prístrojmi, ako aj priamou metódou meraním ohmmetrom. Meraním odporu rezistorov sme zistili, že odpor je lineárna funkcia prúdu aj napätia. Všetky merané rezistory mali vypočítané aj namerané hodnoty v tolerancii. V prípade použitia žiarovky ako rezistora sme zistili, že odpor je nelineárnou funkciou prúdu aj napätia, čo je spôsobené, že odpor vlákna žiarovky sa mení s teplotou.

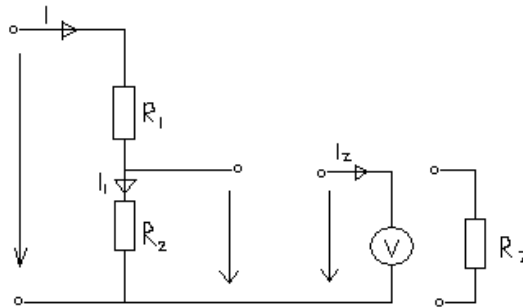
### 3.2 Meranie na odporovom deliči napätia a prúdu

Odporový delič sa používa na zmenu hodnoty jednosmerného napätia. Deliaci pomer odporového deliča zloženého z dvoch rezistorov rovnakej hodnoty je  $\frac{1}{2}$ . Podľa teoretických predpokladov pri nezaťaženom deliči by sme mali nmerať hodnotu výstupného napätia  $U_2$  rovnú polovici napájacieho napätia  $U_1$ . Pri meraní sa uplatní aj vnútorný odpor voltmetra, ktorý je pripojený paralelne k  $R_2$ . Na zaťaženom deliči výstupné napätie  $U_2$  bude vždy menšie ako polovica vstupného napätia  $U_1$ , pretože sa uplatní paralelná kombinácia rezistorov  $R_2$ ,  $R_Z$ . Z uvedeného dôvodu treba použiť voltmeter s veľkým vnútorným odporom, aby chyba merania bola čo najmenšia.

Zapojíme odporový delič napätia zložený z rezistorov  $R_1=100 \text{ k}\Omega$  a  $R_2=100 \text{ k}\Omega$  podľa schémy na obr. 3.5. Na napájacom zdroji nastavíme hodnotu napätia  $U_1 = 20 \text{ V}$ . Postupne zmeriame napätie na rezistore  $R_2$  tromi voltmetrami s rôznym vnútorným odporom. Namerané hodnoty zapíšeme do tabuľky, potom odporový delič zaťažíme rezistorom  $R_Z = 100 \text{ k}\Omega$  a opäť zmeriame napätie a hodnoty zapíšeme do tabuľky. Namerané hodnoty napätia  $U_2$  porovnáme s teoreticky vypočítanými hodnotami na nezaťaženom deliči a tiež na zaťaženom deliči odporom  $R_Z = 100 \text{ k}\Omega$ . Vo výpočtoch uvažujeme aj vnútorné odpory meracích prístrojov.

Na meranie použijeme tri voltmetre s rôznymi vnútornými odpormi:

- univerzálny merací prístroj DU 10, ktorý má vnútorný odpor  $R_v = 50 \text{ k}\Omega/\text{V}$ , na meracom rozsahu 12 V je to 600 k $\Omega$ ,
- voltmeter ML 10, ktorý má vnútorný odpor  $R_v = 5000 \text{ }\Omega/\text{V}$ . na meracom rozsahu 12 V je to 60 k $\Omega$ ,
- digitálny multimeter METEX 4640A, ktorý má vnútorný odpor  $R_v = 1 \text{ M}\Omega$ .



Obrázok 3.5 Schéma zapojenia pre meranie na odporovom deliči napätia

Napätie na nezaťaženom odporovom deliči napätia vypočítame podľa vzťahu

$$U_2 = \frac{U_1}{R_1 + R_2} \cdot R_2. \quad (3.4)$$

Napätie na zaťaženom odporovom deliči napätia vypočítame podľa vzťahu

$$U_2 = \frac{U_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_Z}{R_2 + R_Z}} \cdot \frac{R_2 \cdot R_Z}{R_2 + R_Z}. \quad (3.5)$$

Pri uvažovaní vnútorného odporu voltmetra výstupné napätie  $U_2$  na nezaťaženom odporom deliči vypočítame podľa vzťahu

$$U_2 = \frac{U_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_V}{R_2 + R_V}} \cdot \frac{R_2 \cdot R_V}{R_2 + R_V}. \quad (3.6)$$

Pri uvažovaní vnútorného odporu voltmetra výstupné napätie  $U_2$  na zaťaženom odporom deliči vypočítame podľa vzťahu

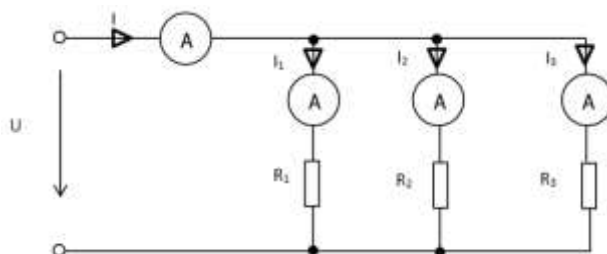
$$U_2 = \frac{U_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_Z \cdot R_V}{R_2 R_V + R_2 R_Z + R_2 R_Z}} \cdot \frac{R_2 \cdot R_Z \cdot R_V}{R_2 R_V + R_2 R_Z + R_2 R_Z}. \quad (3.7)$$

Namerané a vypočítané hodnoty napätia na nezaťaženom aj zaťaženom deliči napätia sú uvedené v tabuľke 3.3.

Tabuľka 3.3 Namerané a vypočítané hodnoty napätia na deliči napätia

Použitý voltmeter	vypočítané výstupné napätie $U_{2V}$ [V]		namerané výstupné napätie $U_{2N}$ [V]		absolútna chyba (rozdiel) $U_{2V} - U_{2N}$ [V]		relatívna (pomerná) chyba merania [%]	
	nezaťažený	zaťažený	nezaťažený	zaťažený	nezaťažený	zaťažený	nezaťažený	zaťažený
<b>METEX</b>	10	5	10,43	6,87	-0,43	-1,87	4,3	37,4
<b>DU 10</b>	10	5	9,6	6,54	0,4	-1,54	4	30,8
<b>ML 10</b>	10	5	5,6	4,35	4,4	0,65	44	13

Potom zapojíme odporový delič prúdu podľa schémy na obr. 3.6. Delič prúdu je zložený z rezistorov  $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 470 \text{ }\Omega$ . Na napájacom zdroji budeme meniť hodnotu napätia  $U = 5 \text{ V}$ ,  $10 \text{ V}$ ,  $15 \text{ V}$  a  $20 \text{ V}$ , zmeriame jednotlivé prúdy  $I_{R1}$ ,  $I_{R2}$ ,  $I_{R3}$  a celkový prúd  $I_C$ . Namerané hodnoty prúdov porovnáme s vypočítanými hodnotami prúdov.



Obrázok 3.6 Schéma zapojenia pre meranie na odporovom deliči prúdu

Hodnoty prúdov jednotlivými odporní vypočítame podľa nasledovných vzťahov

$$I_{R1} = \frac{U}{R_1}, I_{R2} = \frac{U}{R_2}, I_{R3} = \frac{U}{R_3}. \quad (3.8)$$

Celkový prúd vypočítame ako súčet jednotlivých prúdov podľa prvého Kirchhoffovho zákona  $I_C = I_{R1} + I_{R2} + I_{R3}$ .

Namerané a vypočítané hodnoty prúdov v prúdovom deliči sú uvedené v tabuľke 3.4.

Tabuľka 3.4 Namerané a vypočítané hodnoty prúdov v prúdovom deliči

U [V]	5		10		15		20	
	vypočítaná	nameraná	vypočítaná	nameraná	vypočítaná	nameraná	vypočítaná	nameraná
$I_c$ [A]	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$
$I_{R1}$ [A]	$5 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
$I_{R2}$ [A]	$5 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
$I_{R3}$ [A]	$1 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$

Meraním výstupného napätia  $U_2$  nezaťaženeho odporového deliča sme zistili, že hodnota závisí od použitého voltmetra a jeho vnútorného odporu, vo všetkých prípadoch sme namerali odlišnú hodnotu, ako je vypočítaná teoretická hodnota výstupného napätia  $U_2$ .

Meraním jednotlivých prúdov  $I_{R1}$ ,  $I_{R2}$ ,  $I_{R3}$  a celkového prúdu  $I_c$  na odporovom deliči prúdov sme zistili, že namerané hodnoty sa líšia od vypočítaných prúdov, čo bolo spôsobené výrobnou toleranciou jednotlivých rezistorov použitých pri meraní.

### 3.3 Meranie kapacity

Kondenzátor je charakterizovaný svojou kapacitou  $C$ , ktorej veľkosť vieme zistiť meraním napätia a prúdu, V-A metódou, pri meraní kapacity musíme použiť zdroj striedavého napätia. Z nameraného prúdu a napätia zistíme pomocou Ohmového zákona „odpor“ (kapacitnú reaktanciu) kondenzátora.

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \approx Z = \frac{U}{I} [\Omega]. \quad (3.9)$$

Kapacitná reaktancia  $X_C$  a nie impedancia  $Z$ , kapacitnú reaktanciu  $X_C$  vypočítame podľa vzťahu:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} [\Omega]. \quad (3.10)$$

Z uvedených vzťahov vyjadríme vzťah pre kapacitu kondenzátora:

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C} [F]. \quad (3.11)$$

Na praktické výpočty sú vhodnejšie iné jednotky

$$C = \frac{I \cdot 10^3}{\omega \cdot U} [\mu F; \text{mA}/\text{s}^{-1} \cdot V]. \quad (3.12)$$

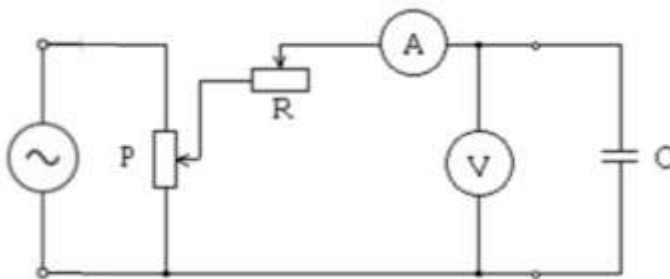


Pripojením striedavého napätia na kondenzátor s kapacitou  $C$  bude sa jeho stálym nabíjaním a vybíjaním vytvárať na kondenzátore napätie, ktoré pôsobí proti napätiu zdroja, a preto kapacita je ďalšou prekážkou pre striedavý prúd. Ideálnu kapacitu vyjadríme (v technickej praxi sa nevyskytuje)  $C \neq 0$ ,  $R = \infty$ ,  $L = 0$ .

Prístroje zapojíme podľa schémy na obr. 3.7. Na meranie kapacity kondenzátora použijeme zdroj striedavého napätia, na ktorom si nastavíme hodnotu napätia 20 V a frekvenciu 50 Hz, na ampérmetri odčítame hodnotu prúdu tečúceho cez kondenzátor, potom voltmetrom odmeriame napätie na kondenzátore. Hodnoty zapíšeme do tabuľky. Z nameraných hodnôt vypočítame kapacitu kondenzátora s presnosťou 3-5 %.

Meranie kapacít predložených kondenzátorov zmeriame aj meračom kapacity, hodnoty zapíšeme do tabuľky. Vypočítané a namerané hodnoty porovnáme so štítkovými údajmi kondenzátorov a vypočítame chyby merania podľa vzťahu

$$C = \frac{C_x - C}{C} \cdot 100\%. \quad (3.13)$$



Obrázok 3.7 Schéma zapojenia pre meranie kapacity kondenzátorov

Pre jeden kondenzátor sme urobili meranie aj v obvode jednosmerného prúdu. Podľa schémy zapojenia obr. 3.8 sme nahradili striedavý zdroj jednosmerným zdrojom. Po prepnutí prepínača  $Pr$  z polohy 1 do polohy 2 kondenzátor sa začne nabíjať jednosmerným prúdom, napätie na kondenzátore  $u_C$  bude narastať až na hodnotu napájacieho napätia (v našom prípade  $U_0 = 20$  V) podľa vzťahu

$$u_C = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right). \quad (3.14)$$

Po prepnutí prepínača  $Pr$  z polohy 2 do polohy 3 kondenzátor sa začne vybíjať cez rezistor  $R$  a napätie na rezistore  $u_R$  bude klesať až na nulu podľa vzťahu

$$u_R = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (3.15)$$

kde:  $\tau = R \cdot C$  [s;  $\Omega$ , F].

Tabuľka 3.5 Namerané a vypočítané hodnoty kapacít kondenzátorov ( $U = 20$  V,  $f = 50$  Hz)

Meraný kondenzátor Štítkové hodnoty [nF/V]	$C_1$ 22/160	$C_2$ 56/160	$C_3$ 82/160	$C_4$ 100/160	$C_5$ 1000/250	$C_6$ 2200/400	$C_7$ 15000/250	$C_8$ 22000/250	$C_9$ 100000/25	$C_{10}$ 470000/160
U [V]	21,73	21,79	21,78	21,75	21,72	21,76	21,81	21,80	6,67	2,22
I [A]	0,0002	0,0005	0,0007	0,0006	0,0068	0,0125	0,0098	0,0015	0,32	0,34
$X_C$ [ $\Omega$ ]	103476,19	46860,22	31114,29	34800,00	3194,12	1740,80	2225,51	14533,33	20,84	6,53
$C_x$ [nF]	30,78	67,96	102,36	91,51	997,06	1829,45	14310,04	21913,17	152789,85	487748,90
$C_{xM}$ [nF]	24,50	61,00	93,90	91,80	1043,00	1700,00	14350,00	22900,00	164200,00	486700,00
$\Delta C_x$ [nF]	6,28	6,96	8,46	-0,29	-45,94	129,45	-39,96	-986,83	-11410,15	1048,90
$\sigma$ [%]	39,90	21,36	24,82	8,49	0,29	16,84	4,60	0,39	52,79	3,78

$C$  – štítková hodnota kondenzátora,

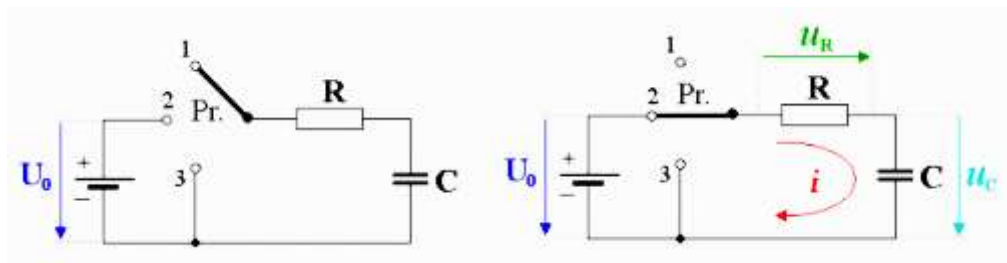
$X_C$  – kapacitná reaktancia,

$C_x$  – vypočítaná hodnota kapacity meraného kondenzátora,

$C_{xM}$  – nameraná hodnota kapacity kondenzátora priamo ukazujúcim meracím prístrojom,

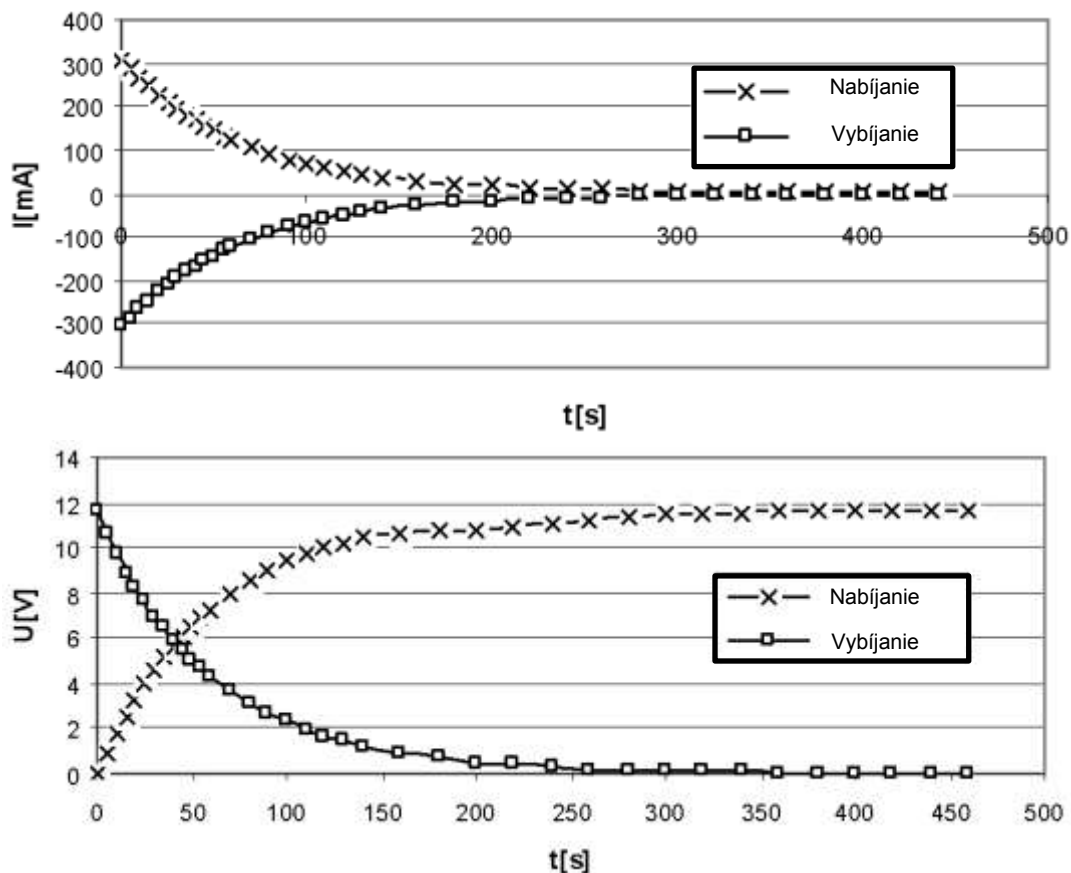
$\Delta C_x = C_x - C_{xM}$ ,

$\sigma$  – chyba merania.



Obrázok 3.8 Schéma zapojenia pre meranie kapacity kondenzátorov

Zobrazenie priebehov napätia na kondenzátore  $u_C = f(\tau)$ , a na odpore  $u_R = f(\tau)$ , pre  $\tau = \tau, 2\tau, 3\tau, \dots, 10\tau$ , je zobrazené na obrázku 3.9. Merali sme elektrolytický kondenzátor s kapacitou 100  $\mu\text{F}/25\text{ V}$ . Meraním sme zistili, že kondenzátorom tečie trvalo elektrický prúd  $I_C = 32\ \mu\text{A}$ , môžeme konštatovať, že meraný kondenzátor už nevyhovuje, pretože vykazuje stratový prúd, ktorý by teoreticky mal byť rovný nule.



Obrázok 3.9 Priebeh napätia a prúdu na kondenzátore a rezistore

### 3.4 Meranie indukčnosti

Cievka je charakterizovaná svojou indukčnosťou  $L$ , ktorej veľkosť vypočítame z rozmerov cievky podľa vzťahu

$$L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l} \quad [\text{H}], \quad (3.16)$$

kde:  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$  – magnetická konštanta,

$N$  – počet závitov cievky,

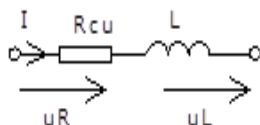
$S$  – plocha prierezu jadra cievky,

$l$  – dĺžka cievky.

Odpor cievky sa nazýva indukčná reaktancia

$$X_L = \omega L = 2\pi f L \quad [\Omega] \quad (3.17)$$

Avšak týmito veličinami je charakterizovaná len ideálna cievka. Skutočná – technická cievka je charakterizovaná ešte odporom vinutia, ktoré si predstavujeme ako odpor priradený k indukčnosti do série, (náhradná schéma cievky obr. 3.10).



Obrázok 3.10 Náhradná schéma cievky

Potom celkový odpor skutočnej cievky sa nazýva impedancia  $Z$ . Impedancia  $Z$  je komplexné číslo, ktorého absolútnu hodnotu vypočítame podľa vzťahu

$$Z = \sqrt{R_{cu}^2 + X_L^2} \text{ [}\Omega\text{]}. \quad (3.18)$$

Činný odpor vinutia cievky odmeriame meraním jednosmerného prúdu a napätia voltmetrom a ampérmetrom, čo je v podstate V-A metóda, podľa ktorej pomer napätia a prúdu dáva hodnotu odporu. Meraním striedavého napätia a prúdu prechádzajúceho cievkou vypočítame impedanciu  $Z$ , odpor v striedavom obvode.

$$R_x = \frac{U_1}{I_1} \quad \text{a} \quad Z = \frac{U_2}{I_2} \quad (3.19)$$

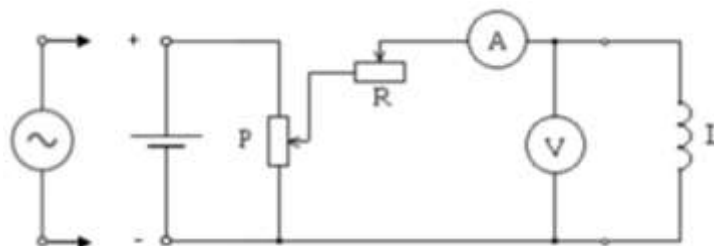
Z obidvoch veličín vypočítame hodnotu indukčnosti cievky. Vlastnú indukčnosť vypočítame zo vzťahu:

$$L_x = \frac{\sqrt{(Z_x^2 - R_x^2)}}{2 \cdot \pi \cdot f}. \quad (3.20)$$

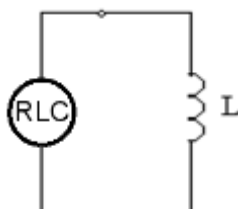
Podľa schémy na obr. 3.11 sme zapojili elektrický obvod najskôr na jednosmerný zdroj s cievkou  $L_1$ . Zvolili sme vhodný merací rozsah ampérmetra  $MRA \leq I_D$  dovolený cievky,  $MRV_{MAX}$  prípadne  $U_z = 30$  V. Regulačnými prístrojmi sme nastavili dovolený prúd, odčítali sme napätie a zapísali do tabuľky. Potom postupne sme vymieňali ostatné cievky a postup sme opakovali. Po ukončení merania v jednosmernom obvode, sme obvod vypli. Prispôbili sme meracie prístroje na meranie striedavých veličín. Potom sme obvod pripojili na striedavý zdroj a celé meranie pri rovnakých prúdoch cievok ako v jednosmernom obvode sme zopakovali.

Indukčnosť cievok  $L_{PM}$  [H] sme odmerali aj priamou metódou – meračom RLC a tiež odpor cievok  $R_x$  priamou metódou – meračom R (obr. 3.12).

Namerané a vypočítané hodnoty indukčnosti rôznych cievok s rovnakými geometrickými rozmermi sme porovnali, výsledky sú v tabuľke 3.6.



Obrázok 3.11 Schéma zapojenia pre meranie indukčnosti cievok



Obrázok 3.12 Schéma zapojenia pre meranie indukčnosti a odporu cievok meračom RLC

Tabuľka 3.6 Nameraných a vypočítaných hodnôt pre výpočet indukčnosti cievok

Štítkové údaje cievky L/N	jednosmerný		striedavý		R ohmetrom [Ω]	L <sub>PM</sub> [H]	R <sub>x</sub> [Ω]	Z [Ω]	L <sub>x</sub> [H]
	I <sub>1</sub>	U <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	U <sub>2</sub>					
	[A]	[V]	[A]	[V]					
L1 30z/20 A	0,4	0,012	5,5	0,29	0,06	0,0001	0,0305	0,05	0,00014
L2 300z/5 A	0,4	0,248	2	3,06	0,67	0,0029	0,62	1,53	0,00446
L3 600z/2 A	0,4	1,173	0,8	3,5	3,7	0,0998	2,9325	4,37	0,01031
L4 1200z 1 A	0,29	3,568	0,2	3,78	11,98	0,0402	12,303	18,89	0,04565
L5 12000z 0,1 A	0,003	3,685	0,002	3,89	1334	5,21	1316,071	1994,87	4,77438

L<sub>PM</sub> – indukčnosť cievky nameraná priamou metódou meračom RCL

### 3.5 Meranie výkonu elektrického prúdu

Energia sa definuje ako schopnosť vykonávať prácu v systéme alebo časová miera vykonávania práce. Výkon je množstvo práce vykonanej za určitý čas. Definičný vzťah:

$$P = dW/dt, \tag{3.21}$$

kde:

P – výkon, W – vykonaná práca, t – čas.

Výkon sa vyjadruje v jednotkách práce za čas, vo wattoch (značka W). Watt je jednotka výkonu v systéme SI a definuje sa ako jeden joule za sekundu ( $W = J/s$ ).

Jednotka watt sa dá rozložiť na základné jednotky. Jeden watt sa rovná jednému newtonu krát meter lomeno sekunda ( $Nm/s$ ). V elektrotechnickom priemysle výkon spotrebovaný elektrickým zariadením s dvoma svorkami možno vyjadriť ako súčin napätia na svorkách a prúdu, ktorý cez svorky prechádza. Elektrický výkon meriame vo wattoch. Výkon jeden watt sa získa, ak rozdiel potenciálov dosahuje 1 V a preteká prúd 1 A.

### 3.5.1 Meranie výkonu jednosmerného prúdu

Výkon jednosmerného prúdu možno merať wattmetrom, alebo ampérmetrom a voltmetrom podľa schémy zapojenia na obr. 3.13. Wattmeter má meraciu sústavu vytvorenú dvoma cievkami: pevnú (prúdová) a pohyblivú (napäťová). Pretože wattmeter meria priamo súčin napätia a prúdu, zapojíme do obvodu aj kontrolné meracie prístroje: ampérmeter a voltmeter. Podľa nich potom volíme rozsahy cievok wattmetra. V obvode s jednosmerným prúdom spotrebič, ktorý má na vstupe napätie  $U$  a preteká ním prúd  $I$ , absorbuje výkon  $P$ :

$$P = U \cdot I \quad (3.22)$$

Ak sa vo funkcii spotrebiča použije odpor  $R$ , dostaneme vzťah:

$$P = R \cdot I^2 = U^2 / R. \quad (3.23)$$

Vďaka vnútornému odporu  $R_i$  absorbuje v obvode energiu aj generátor. Ak označíme odpor spotrebiča ako  $R_r$ , potom môžeme vyjadriť pomer medzi užitočnou energiou a celkovou energiou:

$$\eta = R_r / (R_r + R_i). \quad (3.24)$$

Spotrebič môže prijať najväčšiu energiu v prípade, ak  $R_r = R_i$ . Pomer dosahuje 50 %. Miera výkonu sa dá získať vynásobením  $P = U \cdot I$ . Keď zároveň treba merať aj prúd a napätie, ktoré sa meria paralelne k spotrebiču, existujú dve možnosti na zapojenie ampérmetra:

- v sérii k paralelne zapojenému voltmetru a spotrebiču,
- v sérii so spotrebičom.

V prvom prípade nastáva určitá chyba pri meraní prúdu, v druhom prípade vznikne určitá chyba pri meraní napätia. Skutočný výkon spotrebovaný v spotrebiči  $R$  podľa prvého zapojenia bude

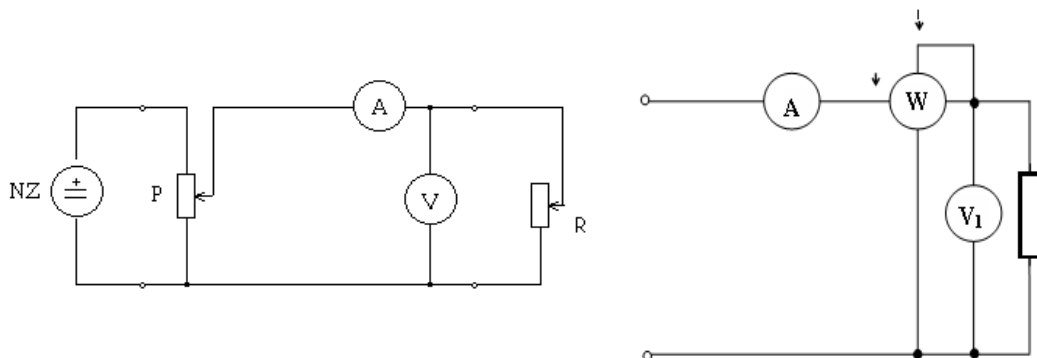
$$P_R = U \cdot I_R = U \cdot (I - I_V) = U \cdot \left( I - \frac{U}{R_V} \right) = U \cdot I - \frac{U^2}{R_V}, \quad (3.25)$$

kde  $U^2/R_V$  je vlastná spotreba voltmetra ( $I_V$  – prúd voltmetrom,  $R_V$  – odpor voltmetra).

Skutočný výkon spotrebovaný v spotrebiči R podľa druhého zapojenia bude

$$P_R = U_R \cdot I = (U - U_A) \cdot I = (U - I \cdot R_A) \cdot I = U \cdot I - R_A \cdot I^2, \tag{3.26}$$

kde  $R_A \cdot I^2$  je vlastná spotreba ampérmetra ( $U_A$  – napätie na ampérmetri,  $R_A$  – odpor ampérmetra).



Obrázok 3.13 Schéma zapojenia pre meranie výkonu jednosmerného prúdu

Nameranú hodnotu napätia a prúdu vypočítame ako súčin konštanty prístroja  $k$  a odčítanej výchylky

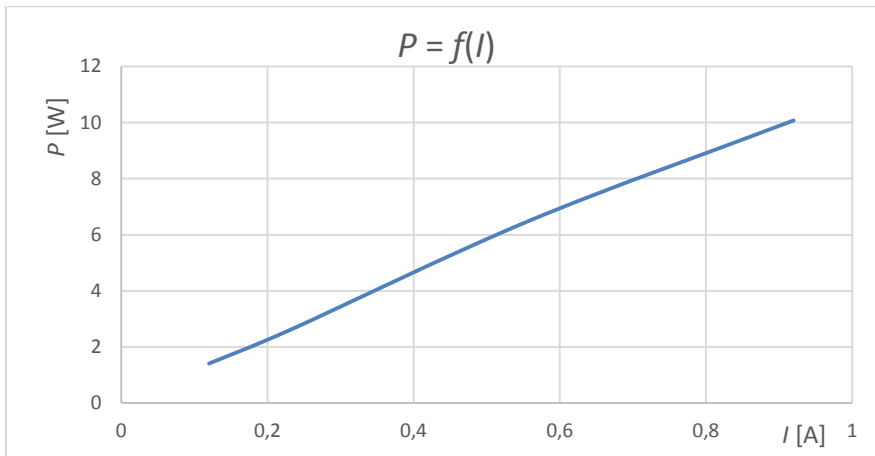
$$U = k_V \cdot a_V \quad I = k_A \cdot a_A \quad P = U \cdot I \quad P_1 = k_W \cdot a_W \tag{3.27}$$

Konštanta wattmetra:

$$k_W = \frac{\text{prúdový rozsah} \times \text{napäťový rozsah}}{\text{počet dielikov stupnice}} \tag{3.28}$$

Tabuľka 3.7 Meranie jednosmerného výkonu

Meraný spotrebič	Napätie	Prúd			Výkon vypočítaný	Výkon nameraný wattmetrom			Odchýlka $P - P_1$ [W]
	U [V]	k [mA·d <sup>-1</sup> ]	$\alpha$ [d]	I [A]	P = U·I [W]	k [W·d <sup>-1</sup> ]	$\alpha$ [d]	P <sub>1</sub> [W]	
Žiarovka 12 V/2 W	11,31	5	26	0,1	1,4703	0,5	3	1,5	-0,0297
Žiarovka 12 V/10 W	10,2	20	32	0,6	6,426	0,5	12	6	0,426
Žiarovka 25 V/15 W	23,32	20	29	0,6	13,5256	0,5	25	13	1,0256
Žiarovka 25 V/30 W	21,56	20	58	1,2	25,0096	0,5	45	23	2,5096

Obrázok 3.14 Grafická závislosť  $P = f(I)$ 

### 3.5.2 Meranie výkonu striedavého prúdu

Striedavý prúd sa prenáša s najmenšími stratami vtedy, keď je prúd neskreslený a presne synchronizovaný s napätím (v praxi <10 %)

$$U(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad I(t) = \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (3.29)$$

$$\Phi = \varphi \quad (3.30)$$

V prípade sínusového napätia 230 V dosahuje najväčšia hodnota (amplitúda)  $1,4142136 \cdot 230 = 325,26912 \text{ V}$ .

V prípade žiaroviek a odporových ohrievacích prvkov je prúd presne synchronizovaný a úmerný napätiu. V tom prípade platí vzťah:  $P = U \cdot I$ .

Avšak pri väčšine ďalších záťaží sa prejavuje tendencia oneskorovania prúdu (prúdový posuv) alebo jeho skreslenie (spôsobené vyššími harmonickými frekvenciami). V takom prípade treba väčší prúd na dodanie toho istého výkonu. Pomer medzi skutočne preneseným výkonom (tzv. reálnym výkonom) a zdanlivým výkonom, ktorý by sa dal preniesť v prípade, že by ten istý prúd bol dokonale vo fáze a nebol by skreslený, sa nazýva výkonový faktor alebo účinník  $\cos \varphi$

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi, \quad (3.31)$$

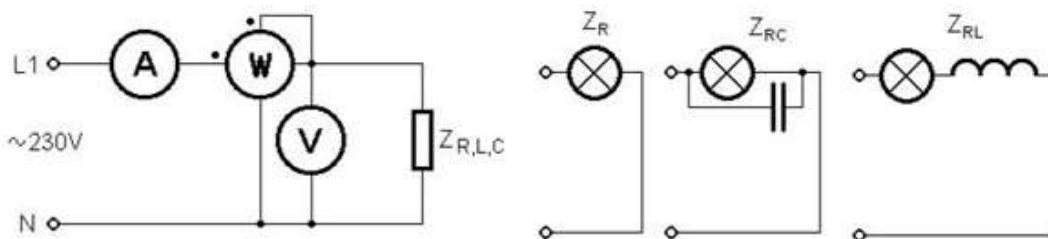
kde:  $P$  je skutočný výkon (tiež sa nazýva **činný výkon**, aktívny výkon alebo reálny výkon) vo wattoch, pričom sa meria wattmetrom,  $U \cdot I$  je zdanlivý výkon  $S$ , súčin RMS voltov a RMS ampérov, meria sa vo voltampéroch.

Meranie striedavého napätia a výpočty nemajú skutočný význam, ak nezoberieme do úvahy meranie fázy. Súčin  $U \cdot I$  predstavuje výkon spotrebovaný odporovými spotrebičmi. Avšak vďaka prítomnosti reaktancie (napríklad v prípade motora) je reálny výkon, ktorý treba dodávať, väčší. Predpokladajme  $\cos \varphi = 0,7$



čo by znamenalo, že skutočný dodávaný výkon musí byť o 43 % väčší (1/0,7). Ak sa napájanie vykonáva pomocou transformátora a zálohovacej jednotky UPS, inštalácia musí byť predimenzovaná o 43 %. To si vyžaduje vyššie investície a vedie k vyšším prevádzkovým nákladom. V technickej praxi vždy usilujeme o dosiahnutie čo najvyššieho účinníka, čo sa zabezpečuje kompenzáciou účinníka.

Meranie jednofázového striedavého výkonu bolo realizované tromi rôznymi meračmi výkonu (meračom spotreby elektrickej energie – ENERGY METER, prístrojom na meranie spotreby elektrickej energie VOLT CRAFT a WATMETROM) na teplovzdušnom ventilátore, ktorý predstavuje odporovo induktívnu záťaž. Namerané hodnoty sú zapísané v tabuľke 3.8.



Obrázok 3.14 Schéma zapojenia pre meranie výkonu striedavého prúdu



Obrázok 3.15 Meranie výkonu striedavého prúdu

Tabuľka 3.8 Meranie jednofázového striedavého výkonu

Meraný spotrebič	Meranie výkonu jednofázového striedavého prúdu		
	ENERGY METER [W]	VOLT CRAFT [W]	WATMETER [W]
ventilátor	15	17,6	19,1
stupeň I	1289	1229	1266,1
stupeň II	2095	2006	2060

Ďalšou úlohou bolo experimentálne určiť účinnosť ohrevu rýchlovarnej kanvice. Pri prechode elektrického prúdu vodičom sa uvoľňuje teplo - Joulovo teplo  $Q = R \cdot I^2 \cdot t$ . Práve toto teplo využívame na zohrievanie vody v rýchlovarných kanvicách. Nie všetka elektrická energia, ktorú odoberáme z elektrickej siete, sa mení na teplo, ktoré využívame na zohriatie vody v rýchlovarnej kanvici. Našou úlohou bolo zistiť aká časť odoberanej elektrickej energie sa premení na teplo. Fyzikálna veličina, ktorá vyjadruje pomer medzi množstvom energie  $W_2$ , ktorá sa

skutočne využije na zohriatie vody a množstvom energie  $W_1$ , ktorú odoberáme z elektrickej siete sa nazýva účinnosť  $\eta$ . Účinnosť vyjadrujeme spravidla v %.

$$\eta = \frac{W_2}{W_1} \cdot 100 [\%] \quad (3.32)$$

Energia  $W_2$  je rovná teplu  $Q$ , ktoré musí prijať voda, aby sa jej teplota zvýšila z teploty  $T_1$  na teplotu  $T_2$ .  $W_2 = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)$ .

Energiu  $W_1$ , ktorú odoberáme z elektrickej siete vyjadríme pomocou príkonu  $P_1$  rýchlovarnej kanvice a doby ohrevu  $t$ .  $W_1 = P_1 \cdot t$ . Účinnosť rýchlovarnej kanvice potom určíme zo vzťahu:

$$\eta = \frac{m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)}{P_1 \cdot t} \quad (3.33)$$

Najprv sme určili hmotnosť zohrievanej vody (hmotnosť vody  $m = 1$  kg). Zmerali sme počiatočnú teplotu vody (počiatočná teplota  $T_1 = 20$  °C). Zo štítku na rýchlovarnej kanvice sme odčítali elektrický príkon (príkon  $P_1 = 2200$  W). Zopli sme spínač na rýchlovarnej kanvici a začali merať čas ohrevu. Čas ohrevu sme merali dovtedy, pokiaľ voda v kanvici nedosiahla teplotu varu (čas ohrevu  $t = 171,45$  s). Z nameraných hodnôt sme vypočítali účinnosť ohrevu rýchlovarnej kanvice.

Tabuľka 3.9 Meranie účinnosti rýchlovarnej kanvici

hmotnosť vody $m$ [kg]	1
merná tepelná kapacita vody $c = 4180$ J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	4180
počiatočná teplota $T_1$ [°C]	20
konečná teplota $T_2$ [°C]	100
príkon $P_1$ [W]	2200
čas ohrevu $t$ [s]	171,45
účinnosť $\eta$ [%]	88,66%
cena za 1 kWh [€]	0,14
náklady na ohrev 1 l vody [€]	0,01466

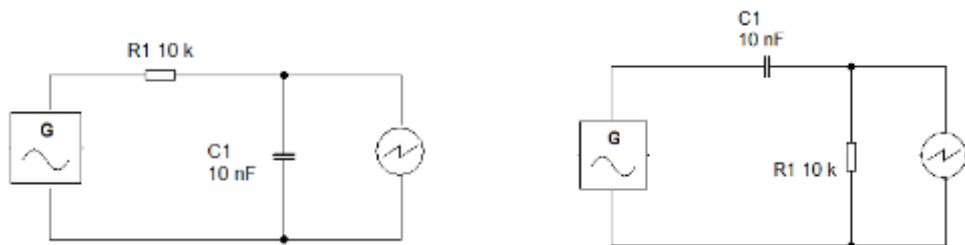
### 3.6 Meranie prenosových vlastností RC filtrov

Frekvenčné filtre sú obvody, ktorých úlohou je vybrať žiadany signál (súbor signálov) zo zmesi signálov na základe jeho frekvenčných vlastností a tento signál (súbor signálov) prepustiť na výstup selektora s minimálnym útlmom a ostatné signály, ktoré nespĺňajú požadované frekvenčné vlastnosti zadržať s maximálnym požadovaným útlmom. Keďže u týchto obvodov hovoríme o prenose zo vstupu na výstup, radíme ich medzi štvorpóly, teda dvojbrány. Podľa toho, aké frekvenčné spektrum signálov a s akým útlmom sa toto spektrum prenáša na výstup filtra rozlišujeme základné typy frekvenčných filtrov. Najčastejšie sú to:

1. Dolnopriepustný filter (DP) prepúšťa signály od najnižších frekvencií až po určitú maximálnu frekvenciu  $f_{max}$  s minimálnym útlmom a všetky ostatné signály s frekvenciami vyššími ako  $f_{max}$  prenáša s požadovaným útlmom.
2. Hornopriepustný filter (HP) prepúšťa signály od určitej minimálnej frekvencie  $f_{min}$  až po teoreticky nekonečnú frekvenciu s minimálnym útlmom a všetky ostatné signály s frekvenciami nižšími ako  $f_{min}$  prenáša s požadovaným útlmom.
3. Pásmová priepust (PP) prepúšťa len signály od určitej minimálnej frekvencie  $f_{min}$  po určitú maximálnu frekvenciu  $f_{max}$  s minimálnym útlmom a všetky ostatné signály s frekvenciami nižšími ako  $f_{min}$  a vyššími ako  $f_{max}$  prenáša s požadovaným útlmom.
4. Pásmová zádrž (PZ) prepúšťa signály od určitej minimálnej frekvencie  $f_{min}$  až po určitú maximálnu frekvenciu  $f_{max}$  s požadovaným útlmom a všetky ostatné signály s frekvenciami nižšími ako  $f_{min}$  a vyššími ako  $f_{max}$  prenáša s minimálnym útlmom.

Podľa schémy obr. 3.16 zapojíme dolnopriepustný a hornopriepustný filter použitím dvojice  $R$  a  $C$  z predložených súčiastok ( $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $C_1 = 10 \text{ nF}$ ), postupne zvyšujeme frekvenciu vstupného napätie  $U_1 = 100 \text{ mV}$ ,  $f_1 = 10 \text{ Hz}$ ,  $100 \text{ Hz}$ ,  $500 \text{ Hz}$ ,  $1\,000 \text{ Hz}$ ,  $2\,000 \text{ Hz}$ ,  $5\,000 \text{ Hz}$ ,  $10\,000 \text{ Hz}$ , a meriame hodnotu výstupného napätia. Namerané hodnoty zapisujeme do tabuľky, vypočítame medznú frekvenciu  $f$ , napäťový prenos  $A_U$  a z nameraných a vypočítaných údajov nakreslíme amplitúdovú frekvenčnú charakteristiku. Z uvedených hodnôt prvkov  $R$  a  $C$  vypočítame časovú konštantu  $\tau$  a medznú frekvenciu  $f$  zvoleného zapojenia. Výpočtom sme zistili, že medzná frekvencia pre obidva typy filtrov je rovnaká  $f_m = 1591,54 \text{ Hz}$ .

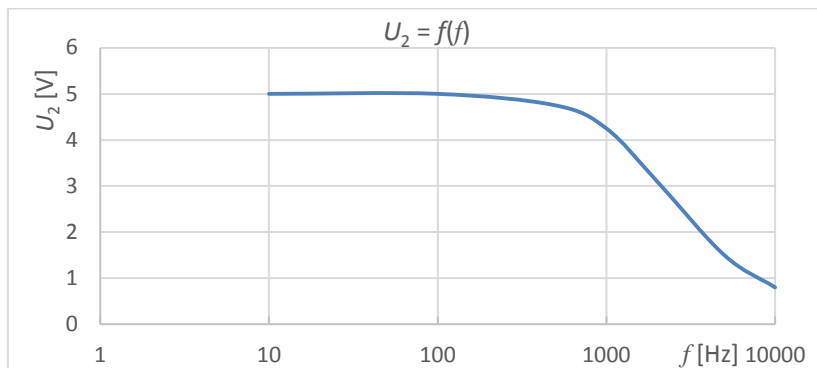
$$\tau = R \cdot C \quad f = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} \quad A_U = \frac{U_2}{U_1} \quad A_{dB} = 20 \cdot \log \frac{U_2}{U_1} \quad (3.34)$$



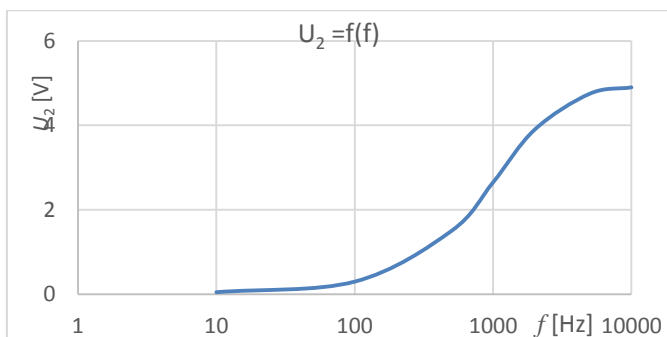
Obrázok 3.16 Schéma zapojenia na meranie RC filtrov

Tabuľka 3.10 Meranie na dolnopriepustnom filtri  $U_2 = f(f)$  pri  $U_1 = 5 \text{ V}$

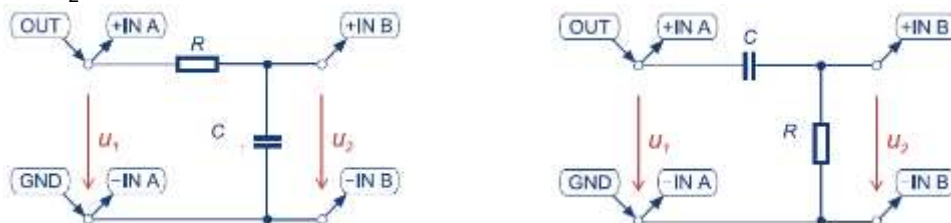
$f$ [Hz]	10	100	500	1000	2000	5000	10000
$U_2$ [V]	5	5	4,75	4,25	3,1	1,5	0,8
$A_U$ [-]	1	1	0,95	0,85	0,62	0,3	0,16
$A_{dB}$ [dB]	0,00	0,00	-0,45	-1,41	-4,15	-10,46	-15,92

Obrázok 3.17 Grafická závislosť  $U_2 = f(f)$ Tabuľka 3.11 Meranie na hornopriepustnom filtri  $U_2 = f(f)$  pri  $U_1 = 5\text{ V}$ 

$f$ [Hz]	10	100	500	1000	2000	5000	10000
$U_2$ [V]	0,05	0,3	1,5	2,65	3,9	4,75	4,9
$A_U$ [-]	0,01	0,06	0,3	0,53	0,78	0,95	0,98
$A_{dB}$ [dB]	-40,00	-24,44	-10,46	-5,51	-2,16	-0,45	-0,18

Obrázok 3.18 Grafická závislosť  $U_2 = f(f)$ 

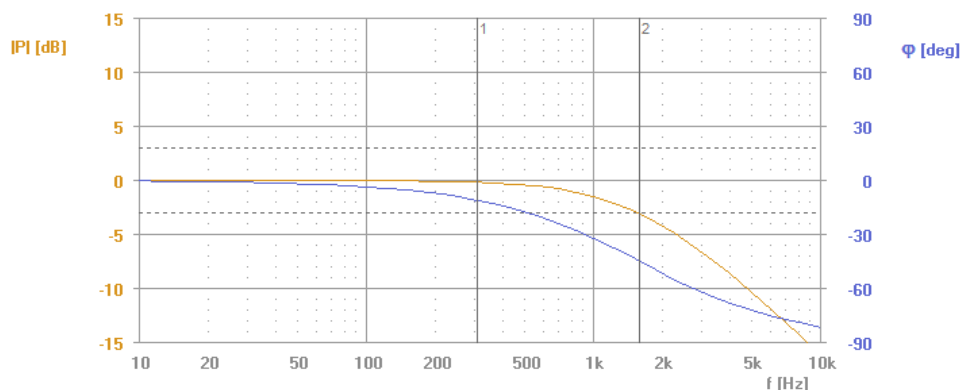
Na module Component board systému rc2000 zapojíme dolnopriepustný a hornopriepustný filter (obr. 3.19) a zmeriame amplitúdovú a fázovú frekvenčnú charakteristiku pomocou programu frekvenčné charakteristiky. Meranie vlastností RC filtrov možno overiť systémom rc2000 aj podľa zapojenia na obr. 3.20, kde na generátore sínusového signálu postupne meníme frekvenciu vstupného napätia  $U_1$  a dvojkanálovým osciloskopom meriame vstupné napätie  $U_1$  aj výstupné napätie  $U_2$ .



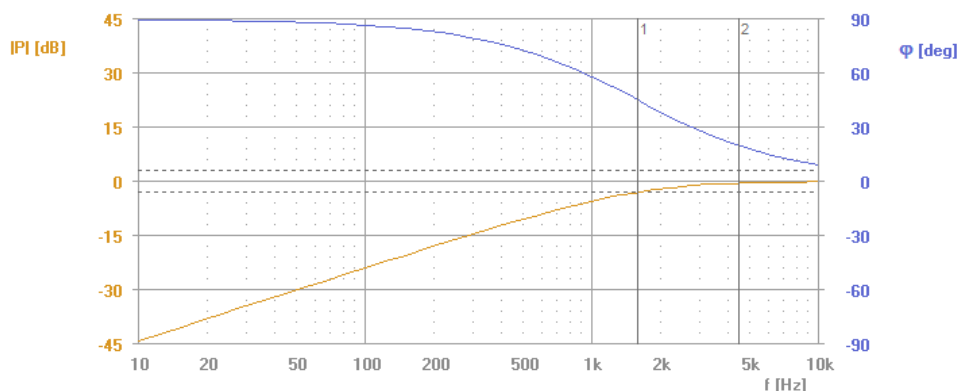
Obrázok 3.19 Schéma zapojenia na meranie RC filtrov systémom rc2000



Obrázok 3.20 Schéma zapojenia na meranie RC filtrov systémom rc2000



Obrázok 3.21 Amplitúdová  $A_{dB} = f(f)$  a fázová  $\varphi = f(f)$  frekvenčná charakteristika dolnopriepustného RC filtra



Obrázok 3.22 Amplitúdová  $A_{dB} = f(f)$  a fázová  $\varphi = f(f)$  frekvenčná charakteristika hornopriepustného RC filtra

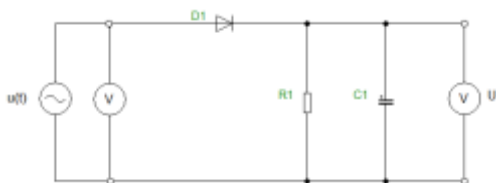
Z priebehov amplitúdových a fázových frekvenčných charakteristík odčítame medznú frekvenciu  $f_m = 1594$  Hz a fázový posun pri medznej frekvencii  $45^\circ$  pri obidvoch RC filtroch sú rovnaké.

### 3.7 Meranie na usmerňovačoch

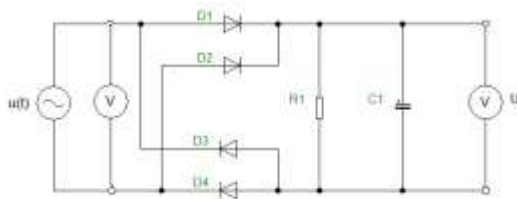
Polovodičová dióda je dvojpólová, pasívna, výrazne nesymetrická, odporová súčiastka, využívajúca vlastnosti PN priechodu. Základnou vlastnosťou diódy je usmerňovací účinok. Usmerňovač je elektrické zariadenie, ktoré sa používa na premenu striedavého napätia a prúdu na jednosmerné napätie a prúd. Väčšina elektronických zariadení potrebuje pre svoju činnosť jednosmerné napätie, pre distribúciu elektrickej energie je výhodnejšie používať striedavé napätie. Jednocestný usmerňovač je z troch základných druhov zapojení, najjednoduchší a najlacnejší. Nevýhodou jednocestných usmerňovačov je veľké zvlnenie usmerného prúdu. Používa sa preto tam kde, sa na výsledok usmernenia nekladú osobitné požiadavky. Dióda prepúšťa prúd len v kladných polperiódach a počas zápornej polperiódy neprepúšťa prúd. Jednocestný usmerňovač s jednou polovodičovou diódou (obr. 3.23) prepúšťa prúd len v kladných „polvlnách“. Na rezistore nameriame pulzujúce napätie. Jeho priebeh možno vyhladiť zapojením filtračných kondenzátorov.

Dokonalejší, ale zložitejší ako jednocestný usmerňovač je dvojcestný usmerňovač. Vyžaduje dve usmerňovacie diódy a transformátor s dvojitým sekundárnym vinutím (alebo štyri diódy a transformátor s jedným vinutím), ktorým sa získavajú dve striedavé napätia, vzájomne fázovo obrátené. Zvlnenie usmerného napätia je podstatne menšie ako pri jednocestnom usmerňovači. Dvojcestný usmerňovač (Graetzov mostík – obr. 3.24) so štyrmi diódami usmerňuje v každej polvlně. Filtračný kondenzátor opäť zmenší zvlnenie napätia.

Pri zaťažení usmerňovača odberom väčšieho prúdu klesá výstupné napätie a rastie jeho zvlnenie. Zvlnenie napätia je rozdiel medzi maximálnou a minimálnou hodnotou. Striedavá zložka výstupného napätia - zvlnenie  $u_{zv}(t)$  má v prípade dvojcestného usmerňovača frekvenciu dvakrát vyššiu ako je frekvencia vstupného napätia. Pri väčšej kapacite filtračného kondenzátora  $C$  sa amplitúda zvlnenia  $U_{zv}$  zmenší. Odpor záťaže  $R_L$  spolu s filtračným kondenzátorom  $C$  fungujú ako dolnopriepustný filter s časovou konštantou  $\tau = R_L C$ . Horná hraničná frekvencia  $f_H = 1/(2\tau)$  tohto filtra by mala byť omnoho nižšia ako frekvencia zvlnenia.

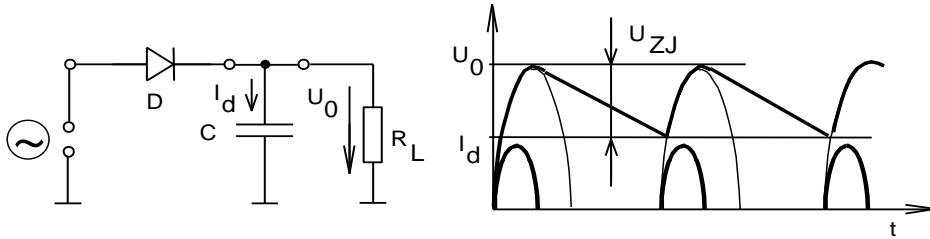


Obrázok 3.23 Jednocestný usmerňovač



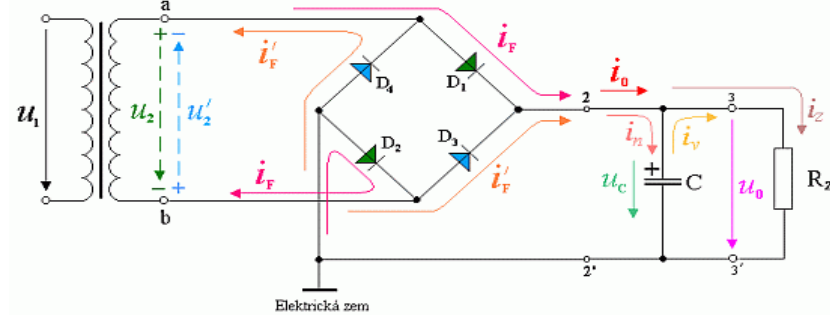
Obrázok 3.24 Dvojcestný usmerňovač

Zapojíme jednoduchý obvod s jednou usmerňovacou diódou (obr. 3.25). Pulzujúce napätie vyhladieme zaradením filtra za usmerňovač a pred filtračný kondenzátor vložíme rezistor obmedzujúci nárazový prúd. Osciloskopom sledujeme časové priebehy striedavého sínusového napätia na vstupe a výstupe jednocestného usmerňovača. Potom pripojíme filtračný kondenzátor a sledujeme vplyv veľkosti kapacity filtračného kondenzátora na tvar výstupného napätia.



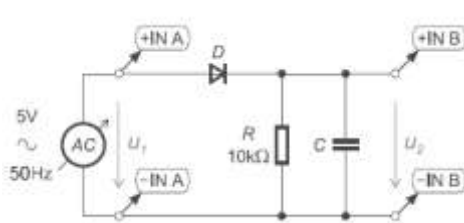
Obrázok 3.25 Schéma zapojenia pre meranie na jednocestnom usmerňovači

Zapojíme jednoduchý obvod so štyrmi usmerňovacími diódami (obr. 3.26). Pulzujúce napätie vyhladieme zaradením filtra za usmerňovač a pred filtračný kondenzátor vložíme rezistor obmedzujúci nárazový prúd. Osciloskopom sledujeme časové priebehy striedavého sínusového napätia na vstupe a výstupe jednocestného usmerňovača. Potom pripojíme filtračný kondenzátor a sledujeme vplyv veľkosti kapacity filtračného kondenzátora na tvar výstupného napätia.

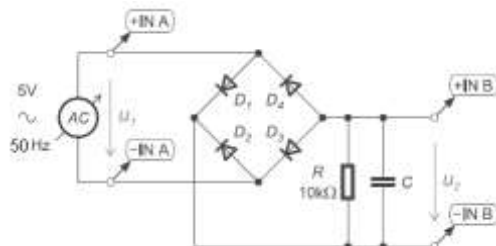


Obrázok 3.26 Schéma zapojenia pre meranie na dvojcestnom usmerňovači

Názorne meranie na usmerňovačoch realizujeme pomocou systému rc2000. Pomocou merania dvojkanálovým osciloskopom overíme funkciu jednocestného aj dvojcestného usmerňovača. Na priebeh výstupného napätia názorne vidíme úbytok napätia na dióde v priepustnom smere, priebeh napätia za diódou, vplyv rôznych veľkostí filtračného kondenzátora na zvlnenie výstupného napätia. Pre kapacity 1  $\mu\text{F}$ , 10  $\mu\text{F}$  a 33  $\mu\text{F}$ . Schémy zapojenia pre meranie na usmerňovačoch so systémom rc2000 sú na obr. 3.27.

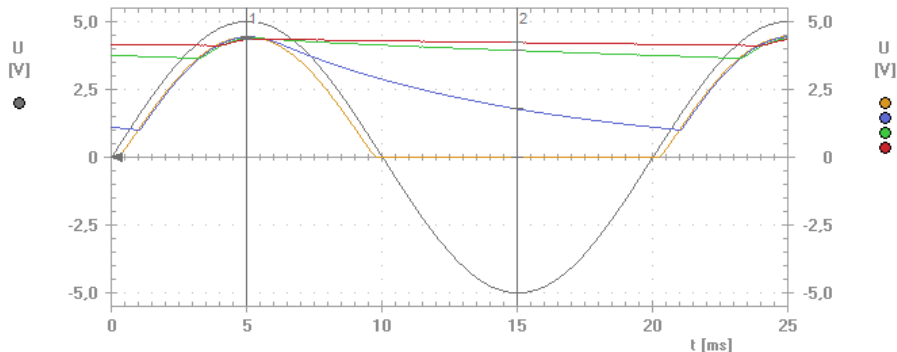


Meranie na jednocestnom usmerňovači pomocou systému rc2000

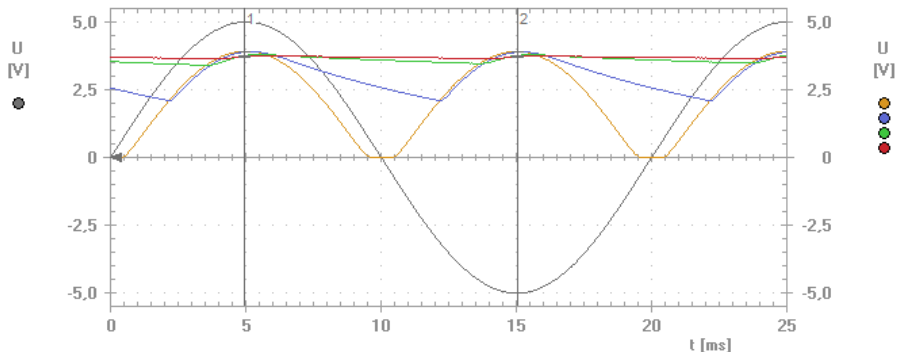


Meranie na dvojcestnom usmerňovači pomocou systému rc2000

Obrázok 3.27 Schéma zapojenia pre meranie na usmerňovačoch pomocou systému rc2000



Obrázok 3.28 Priebehy napätia pri meraní na jednocestnom usmerňovači



Obrázok 3.29 Priebehy napätia pri meraní na dvojcestnom usmerňovači

### 3.8 Meranie na tranzistorovom zosilňovači

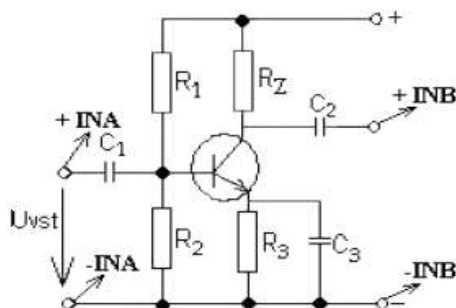
Tranzistor je polovodičová súčiastka, ktorá sa používa na spínanie alebo zosilňovanie vstupného signálu. Má dva PN priechody a podľa ich usporiadania rozoznávame tranzistory PNP alebo NPN. Ďalej rozdeľujeme tranzistory podľa materiálu, z ktorého sú vyrobené, na kremíkové a germániové. Podľa frekvencie, s akou sú schopné pracovať, poznáme vysokofrekvenčné a nízko-frekvenčné.

Pri práci s tranzistorom treba nastaviť jeho pracovný bod, t. j. pripojiť na elektródy tranzistora správnu polaritu a veľkosť napätia správnu voľbou rezistorov, ktoré sa pripájajú na jeho vstupy. Podľa týchto rezistorov volíme zosilnenie tranzistora. Ďalším prvkom je oddeľovací, alebo väzobný kondenzátor, ktorý sa používa na oddelenie jednosmerného napájacieho napätia od vstupného a výstupného signálu v obvode.

Pomocou systému rc2000 zapojíme tranzistorový zosilňovač podľa schémy (obr. 3.30) a zmeriame zosilnenie tranzistorového zosilňovača pri  $f = 50$  Hz,  $f = 100$  Hz,  $f = 500$  Hz,  $f = 1000$  Hz,  $f = 2000$  Hz,  $f = 5000$  Hz,  $f = 10000$  Hz, vstupnom napätí  $U_{vst} = 100$  mV,  $R_1 = 20$  k $\Omega$ ,  $R_2 = 10$  k $\Omega$ ,  $R_3 = 100$   $\Omega$ ,  $R_z = 100$   $\Omega$ ,  $C_1 = 33$  nF,  $C_2 = 33$  nF,  $C_3 = 10$   $\mu$ F. Z nameraných hodnôt napätí  $U_{vstup}$  a  $U_{výstup}$  vypočítajte napätové zosilnenie.



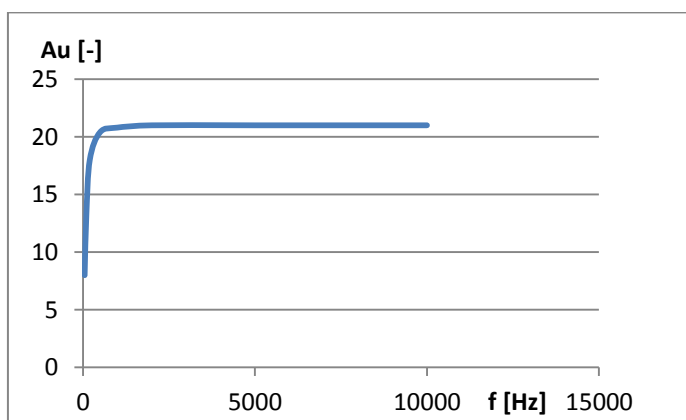
$$A_U = \frac{U_2}{U_1} \qquad A_U = 20 \log \frac{U_2}{U_1} \qquad (3.35)$$



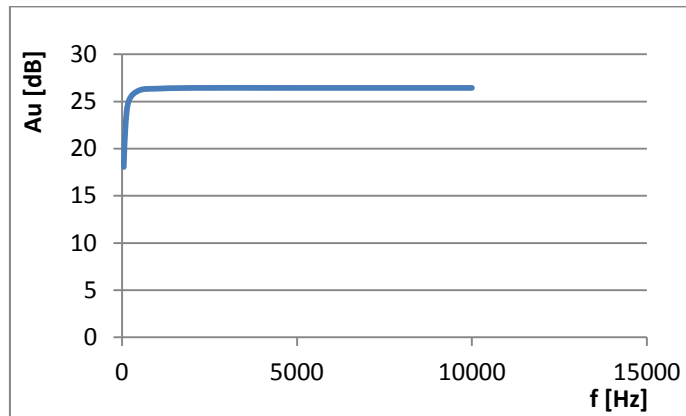
Obrázok 3.30 Schéma zapojenia pre meranie základných parametrov tranzistorového zosilňovača systémom rc2000

Tabuľka 3.12 Namerané a vypočítané hodnoty systémom rc2000

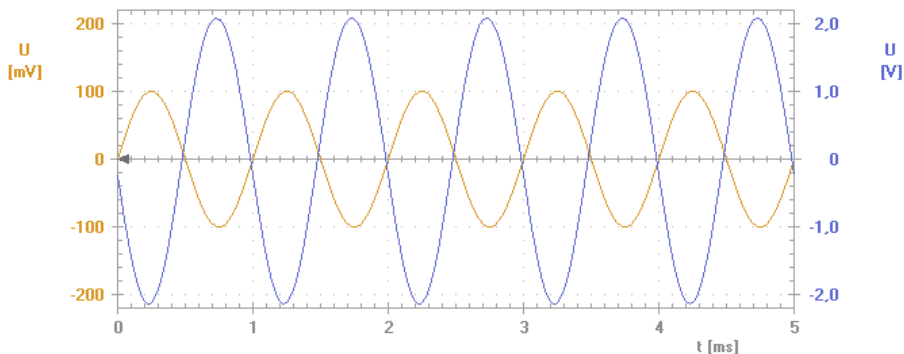
$f_{U1}$ [Hz]	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000
$U_1$ [V]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
$U_2$ [V]	0,8	1,32	1,8	2,04	2,08	2,1	02.1	2,1
$A_u$ [-]	8	13,2	18	20,4	20,8	21	21	21
$A_u$ [dB]	18,06	22,41	25,11	26,19	26,36	26,44	26,44	26,44



Obrázok 3.31 Grafická závislosť  $A_U = f(f)$

Obrázok 3.32 Grafická závislosť  $A_U |_{dB} = f(f)$ 

Na obr. 3.33 je zobrazený priebeh vstupného napätia  $U_1 = 0,1$  V, 1 kHz, (žltý priebeh) a priebeh výstupného napätia  $U_2 = 2,08$  V, 1 kHz, (modrý priebeh) pri meraní na tranzistorovom zosilňovači pomocou systému rc2000. Na zobrazených priebehoch vidieť, že výstupné napätie je fázovo posunuté o  $180^\circ$  a je zosilnené približne 20-krát.

Obrázok 3.33 Priebehy napätí  $U_1$  a  $U_2$  pri meraní systémom rc2000

### 3.9 Meranie parametrov operačného zosilňovača

Operačný zosilňovač sa skladá z niekoľkých zosilňovacích stupňov, ktoré sú na seba priamo naviazané. Vstupný stupeň je vždy diferenciálny zosilňovač, budiaci stupeň je napätový zosilňovač a koncový stupeň je väčšinou tvorený komplementárnym zosilňovačom. Operačné zosilňovače sa využívajú v riadiacej a regulačnej technike ako komparátory, v meracej technike, v číslicovej technike ako preklápacie obvody, ako NF predzosilňovače, NF koncové zosilňovače. Operačné zosilňovače sa vyznačujú vysokým zosilnením – až  $10^5$ , vysokým vstupným odporom väčším ako  $10^6$ , nízkym výstupným odporom – pod  $10^2$  a frekvenčnou nezávislosťou. Vývody operačného zosilňovača sú: invertujúci vstup (označený znamienkom mínus), neinvertujúci vstup (označený znamienkom plus), výstup – meria sa výstupné napätie medzi výstupom a zemou, symetrické napájanie. Invertujúce zapojenie operačného zosilňovača otáča fázu, napr. pri

zosilnení  $A = -2$  je  $U_1 = 2 \text{ V}$ ,  $U_2 = -4 \text{ V}$ , pri neinvertujúcom zapojení operačného zosilňovača je  $A = 2$  pri  $U_1 = 2 \text{ V}$ ,  $U_2 = 4 \text{ V}$ .

Napät'ového zosilnenie pre invertujúce zapojenie je:

$$A_U = \frac{U_2}{U_1}; \quad A_U = 20 \log \frac{U_2}{U_1}, \quad (3.36)$$

kde:  $i_{vst} = i_1 + i_2$   
 $i_{vst} = 0$  v ideálnom prípade,  
 $u_{vst} = 0$  v ideálnom prípade.

Z toho vyplýva, že  $i_1 = -i_2$

$$i_1 = \frac{u_1}{R_1} \quad i_2 = \frac{u_2}{R_2} \quad \frac{u_1}{R_1} = -\frac{u_2}{R_2} \Rightarrow \frac{u_2}{u_1} = -\frac{R_2}{R_1}, \quad (3.37)$$

Zosilnenie pre neinvertujúce zapojenie je:

$$A_U = 1 + \frac{R_2}{R_1}, \quad (3.38)$$

Z uvedeného vyplýva, že zvolené zosilnenie volíme pomocou zmeny hodnoty rezistorov  $R_1$  a  $R_2$ .

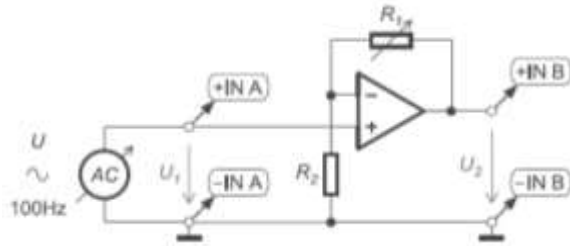
Činiteľ spätnej väzby pre obidve zapojenia je

$$k = \frac{R_1}{R_1 + R_2}. \quad (3.39)$$

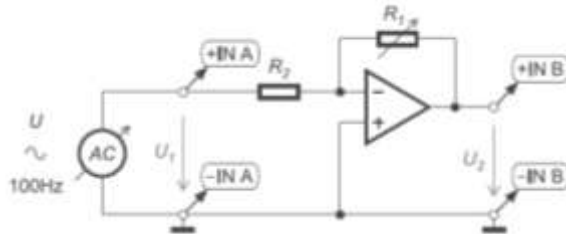
Zapojíme obvody. Postupne nastavujeme vopred zvolené hodnoty frekvencie a odčítavame hodnoty napätia na vstupe a na výstupe a zapisujeme ich do tabuľky. Z nameraných hodnôt potom podľa známeho vzťahu vypočítame napät'ové zosilnenie.

Na module Operačný zosilňovač systému rc2000 zapojíme operačný zosilňovač podľa schémy (obr. 3.34) ako neinvertujúci zosilňovač, zmeriame prenosovú charakteristiku  $U_2 = f(U_1)$  a vypočítame zosilnenie  $A$ . Na vstup zosilňovača pripojíme z generátora funkcií sínusový signál s amplitúdou 100 mV s frekvenciou 100 Hz, 1 kHz, 5 kHz a 10 kHz.  $R_1 = R_2$ ,  $R_1 = 2 \cdot R_2$ ,  $R_1 = 5 \cdot R_2$ ,  $R_1 = 10 \cdot R_2$ .

Na module Operačný zosilňovač systému rc2000 zapojíme operačný zosilňovač podľa schémy (obr. 3.35) ako invertujúci zosilňovač, zmeriame prenosovú charakteristiku  $U_2 = f(U_1)$  a vypočítame zosilnenie  $A$ . Na vstup zosilňovača pripojíme z generátora funkcií sínusový signál s amplitúdou 100 mV s frekvenciou 100 Hz, 1 kHz, 5 kHz a 10 kHz.  $R_1 = R_2$ ,  $R_1 = 2 \cdot R_2$ ,  $R_1 = 5 \cdot R_2$  a  $R_1 = 10 \cdot R_2$ .



Obrázok 3.34 Schéma zapojenia pre meranie na neinvertujúcom operačnom zosilňovači



Obrázok 3.35 Schéma zapojenia pre meranie na invertujúcom operačnom zosilňovači

Tabuľka 3.13 Meranie na invertujúcom zosilňovači pri  $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ 

$f_{U1}$ [Hz]	100	1000	5000	10000
$U_1$ [V]	0,1	0,1	0,1	0,1
$U_2$ [V]	0,1	0,1	0,1	0,1
$A_U$ [-]	1	1	1	1
$A_U$ [dB]	0	0	0	0

Tabuľka 3.14 Meranie na invertujúcom zosilňovači pri  $R_1 = 2 \cdot R_2 = 20 \text{ k}\Omega$ 

$f_{U1}$ [Hz]	100	1000	5000	10000
$U_1$ [V]	0,1	0,1	0,1	0,1
$U_2$ [V]	0,2	0,2	0,2	0,2
$A_U$ [-]	2	2	2	2
$A_U$ [dB]	6,02	6,02	6,02	6,02

Tabuľka 3.15 Meranie na invertujúcom zosilňovači pri  $R_1 = 5 \cdot R_2 = 50 \text{ k}\Omega$ 

$f_{U1}$ [Hz]	100	1000	5000	10000
$U_1$ [V]	0,1	0,1	0,1	0,1
$U_2$ [V]	0,5	0,5	0,5	0,5
$A_U$ [-]	5	5	5	5
$A_U$ [dB]	13,98	13,98	13,98	13,98

Tabuľka 3.16 Meranie na invertujúcom zosilňovači pri  $R_1 = 10 \cdot R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ 

$f_{U1}$ [Hz]	100	1000	5000	10000
$U_1$ [V]	0,1	0,1	0,1	0,1
$U_2$ [V]	1	1	1	1
$A_U$ [-]	10	10	10	10
$A_U$ [dB]	20	20	20	20

Tabuľka 3.17 Meranie na neinvertujúcom zosilňovači pri  $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ 

$f_{U1}$ [Hz]	100,00	1000,00	5000,00	10000,00
$U_1$ [V]	0,10	0,10	0,10	0,10
$U_2$ [V]	0,20	0,20	0,20	0,20
$A_U$ [-]	2,00	2,00	2,00	2,00
$A_U$ [dB]	6,02	6,02	6,02	6,02

Tabuľka 3.18 Meranie na neinvertujúcom zosilňovači pri  $R_1 = 2 \cdot R_2 = 20 \text{ k}\Omega$ 

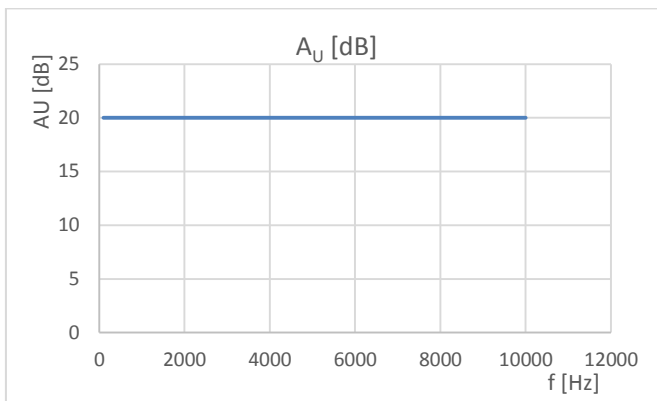
$f_{U1}$ [Hz]	100,00	1000,00	5000,00	10000,00
$U_1$ [V]	0,10	0,10	0,10	0,10
$U_2$ [V]	0,30	0,30	0,30	0,30
$A_U$ [-]	3,00	3,00	3,00	3,00
$A_U$ [dB]	9,54	9,54	9,54	9,54

Tabuľka 3.19 Meranie na neinvertujúcom zosilňovači pri  $R_1 = 5 \cdot R_2 = 50 \text{ k}\Omega$ 

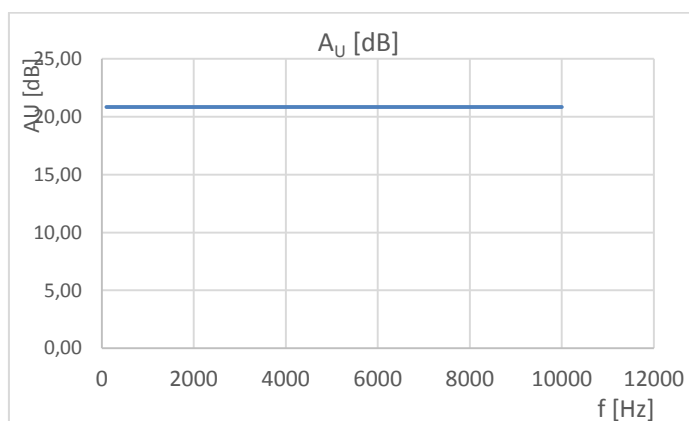
$f_{U1}$ [Hz]	100	1000	5000	10000
$U_1$ [V]	0,10	0,10	0,10	0,10
$U_2$ [V]	0,60	0,60	0,60	0,60
$A_U$ [-]	6,00	6,00	6,00	6,00
$A_U$ [dB]	15,56	15,56	15,56	15,56

Tabuľka 3.20 Meranie na neinvertujúcom zosilňovači pri  $R_1 = 10 \cdot R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ 

$f_{U1}$ [Hz]	100,00	1000,00	5000,00	10000,00
$U_1$ [V]	0,10	0,10	0,10	0,10
$U_2$ [V]	1,10	1,10	1,10	1,10
$A_U$ [-]	11,00	11,00	11,00	11,00
$A_U$ [dB]	20,83	20,83	20,83	20,83



Obrázok 3.36 Meranie na invertujúcom zosilňovači pri  $R_1 = 10 \cdot R_2 = 100 \text{ k}\Omega$



Obrázok 3.37 Meranie na neinvertujúcom zosilňovači pri  $R_1 = 10 \cdot R_2 = 100 \text{ k}\Omega$

Operačné zosilňovače v obidvoch zapojeniach majú konštantné zosilnenie v celom meranom pásme frekvencií.

### 3.10 Meranie funkcií kombinačných logických obvodov

Logické obvody využívajú dvojhodnotovú (dvojkovú) logickú algebru (binárna sústava), ktorej zakladateľom bol írsky matematik George Boole, a podľa neho bola pomenovaná Boolova algebra. Obvody, ktoré realizujú logické funkcie (operácie), nazývame logické obvody. Logické obvody možno realizovať pomocou diskretných súčiastok (tlačidiel, relé, stýkačov, diód, tranzistorov), alebo pomocou integrovaných obvodov.

V logických obvodoch sa všeobecne používajú dve hodnoty, a to:

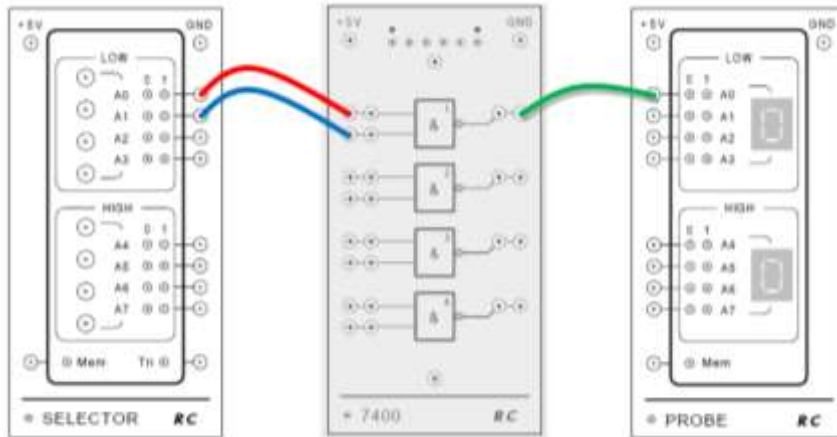
- logická jednotka „1“, označovaná tiež „H“ z anglického HIGH – vysoký,
- logická nula „0“, označovaná tiež „L“ z anglického LOW – nízky.

Tieto hodnoty tiež označujú stavy vyššie uvedené a to takto:

- stav činnosti (ANO), logická jednotka (1) – zodpovedá napätiu od +2,85 V do +5,25 V,
- stav nečinnosti (NIE), logická nula (0) – zodpovedá napätiu od 0 V do +0,4 V,

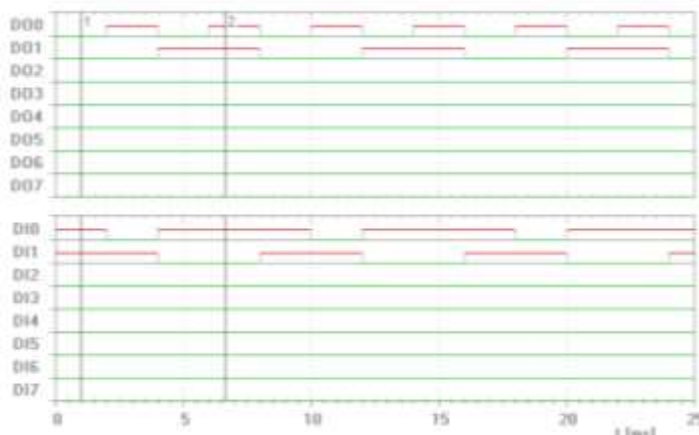
- neurčitý stav, hodnota napätia medzi logickou nulou a logickou jednotkou (od +0,5 do 2,8 V).

V systéme rc2000 na univerzálnom číslicovom module prostredníctvom karty zapojíme všetky logické obvody podľa schém (obr. 3.38). Na voliči logických stavov nastavujeme vstupné hodnoty, logickou sondou meriame výstupné hodnoty a zapisujeme ich do príslušných tabuliek.



Obrázok 3.38 Zapojenie na rc2000 na meranie funkcie obvodu 7400

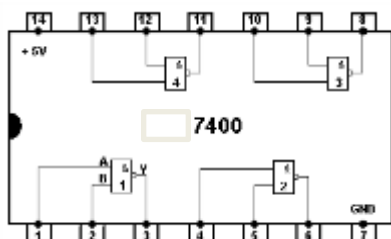
Logické obvody môžeme merať aj s využitím programu Logický analyzátor (program LOGIC ANALYZER) alebo Logický analyzátor a logický generátor (program LOGIC ANALYZER+GEN), s využitím modulu ADDU. Výsledky dostaneme v prehľadných časových diagramoch logických funkcií, obr. 3.39.



Obrázok 3.39 Časových diagramoch logických funkcií

Najprv pomocou logickej sondy overíme správnosť činnosti všetkých obvodov:

- NAND v integrovanom obvode 7400 (obr. 3.40),

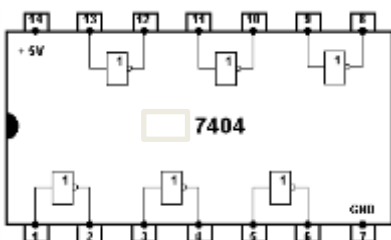


Obrázok 3.40 NAND v 7400 a jeho pravdivostná tabuľka

vstup		výstup
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Pravdivostná tabuľka obvodu 7400

- NOT (invertor) v integrovanom obvode 7404 (obr. 3.41),

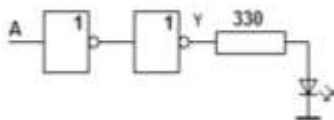


Obrázok 3.41 NOT (invertor) v 7404 a jeho pravdivostná tabuľka

vstup	výstup
A	Y
0	1
1	0

Pravdivostná tabuľka obvodu 7404

Na systéme rc2000 zapojíme logický obvod, ktorého schéma je znázornená na obrázku 3.42, a meraním overíme, či bude LED dióda svietiť ak pripojíme na vstup A logickú 1.



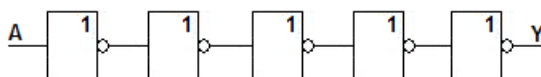
Obrázok 3.42 Meraný obvod s dvoma hradlami NOT

Meraním bolo zistené, že LED dióda bude svietiť, pretože sú zapojené dve hradlá NOT v sérii, čím na anóde diódy bude kladné napätie. Dvojitá negácia realizovaná meraným obvodom dáva vo výsledku pôvodný stav. Všetky stavy testovaného systému sú uvedené v tabuľke 3.19.

Tabuľka 3.19 Pravdivostná tabuľka obvodu s dvoma hradlami NOT

A	Y
1	1
0	0

Ďalšie meranie, ktoré môžete urobiť so systémom rc2000 je skontrolovať, akú logickú funkciu vykonáva obvod na obrázku 3.43.

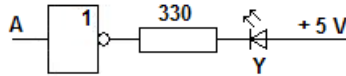


Obrázok 3.43 Meraný obvod s piatimi hradlami NOT



Po zapojení obvodu meraním bolo zistené, že obvod vykonáva logickú funkciu NOT. Pravdivostná tabuľka obvodu NOT je zobrazená na obr. 3.41.

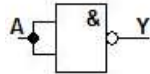
Systém rc2000 umožňuje vyriešiť aj ďalšie zaujímavé úlohy digitálnej techniky. Môžete napríklad zapojiť logický obvod podľa obrázku 3.44 a overiť v akom stave musí byť vstup A, aby LED dióda svietila.



Obrázok 3.44 Merací systém s hradlom NOT

Počas meraní bolo zaznamenané ak bude vstup A mať stav „L“ tak LED dióda nebude svietiť, pretože na katóde LED diódy bude úroveň „H“. Pri zmene stavu na vstupe A na „H“ LED dióda bude svietiť.

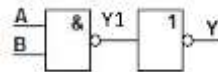
Ďalšie zaujímavé cvičenie s hradlom NAND predstavuje obvod, v ktorom spojíme obidva vstupy hradla NAND podľa obrázku 3.45 a overíme jeho funkciu.



Obrázok 3.45 Merací systém s pripojenými vstupmi hradla NAND

Meraním bolo zistené, že obvod vykonáva logickú funkciu NOT, čo umožňuje vyvodiť záver, že v digitálnej technike ak chceme získať požadovanú funkciu na výstupe, môžeme použiť rôzne hradlá.

Podobná úloha je znázornená na obrázku 3.46.



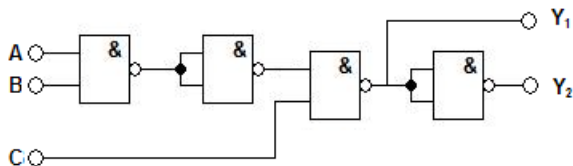
Obrázok 3.46 Merací systém s pripojenými vstupmi brány NAND

V tomto prípade obvod zapojený s hradlami NAND a NOT (obr. 3.46) vykonáva funkciu logického súčinu AND, ako je to uvedené v tabuľke 3.20.

Tabuľka 3.20 Pravdivostná tabuľka obvodu z obrázku 3.46

A	B	Y1	Y
0	0	1	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Po naštudovaní a pochopení základných logických funkcií v digitálnej technike môžete študovať aj zložitejšie kombinačné logické systémy, ako napríklad na obrázku 3.47.



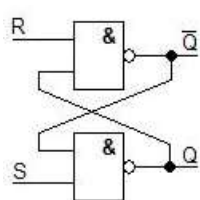
Obrázok 3.47 Merací systém so štyrmi hradlami NAND

Systém má tri vstupy a dva výstupy, čo zvyšuje počet možných kombinácií signálov a obťažnosť meraní. Počas meraní treba stavy jednotlivých vstupov A, B, C nastaviť tak, aby sa dosiahli všetky možné kombinácie (obvod má tri vstupy, počet možných kombinácií je  $2^3 = 8$ ). Obvod realizuje funkciu podľa pravdivostnej tabuľky 3.21.

Tabuľka 3.21 Pravdivostná tabuľka obvodu z obrázku 3.47

A	B	C	Y1	Y2
0	0	0	1	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	1	0
1	0	0	1	0
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	1

Systém rc2000 umožňuje zapojiť a overiť činnosť preklápacieho obvodu RS zapojeného z hradíel NAND podľa obrázku 3.48.



S	R	$\bar{Q}$	Q
0	0	$\bar{Q}^t$	$Q^t$
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	X	X

Obrázok 3.48 Merací systém so preklápacieho obvodu RS z NAND

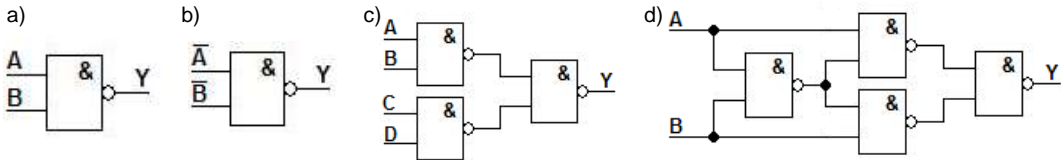
Preklápací obvod RS má dva výstupy Q a  $\bar{Q}$ , pre ktoré súčasne musí platiť, že výstup  $\bar{Q}$  je negáciou výstupu Q, teda ak  $Q = 1$ , tak  $\bar{Q} = 0$  a ak  $Q = 0$ , tak  $\bar{Q} = 1$ .

Princíp činnosti:

- pokiaľ privedieme na vstupy R a S nulový signál ( $R=S=0$ ), potom preklápací obvod zostáva v predchádzajúcom stave,
- ak privedieme na nastavovací vstup signál  $S=1$  a na nulovací vstup R signál  $R=0$ , prejde preklápací obvod do stavu logická 1 nezávisle na predchádzajúcom stave a zostáva v ňom i po skončení signálu na vstupe S,

- ak privedieme na nulovací vstup signál R=1 a na nastavovací vstup signál S=0, preklápací obvod prejde do stavu Q=0 nezávisle na predchádzajúcom stave a zostane v ňom i po skončení signálu na vstupe R (R=0),
- súčasné privedenie signálov na vstupy R=1 a S=1 znamená, že sa majú v preklápacom obvode nastaviť do stavu logická 1 súčasne obidva výstupy Q i  $\bar{Q}$  čo odporuje funkcii preklápacieho obvodu, a preto je tento stav zakázaný.

Na systéme rc2000 zapojte obvody podľa obrázku 3.49a až 3.49d a napíšte funkcie, ktorú realizujú.



Obrázok 3.49 Rôzne zapojenia kombinačných logických obvodov s hradlami NAND

Logický obvod na obr. 3.49a realizuje logickú funkciu

$$Y = \overline{(A \cdot B)} \tag{3.40}$$

Logický obvod na obr. 3.49b realizuje logickú funkciu

$$Y = \overline{\bar{A} \cdot \bar{B}} \tag{3.41}$$

Logický obvod na obr. 3.49c realizuje logickú funkciu

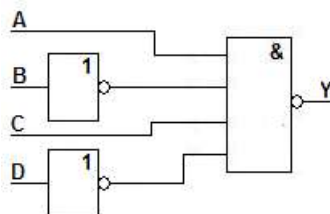
$$Y = \overline{(\bar{A \cdot B}) \cdot (\bar{C \cdot D})} \tag{3.42}$$

Logický obvod na obr. 3.49d realizuje logickú funkciu

$$Y = \overline{(\bar{A \cdot B \cdot A}) \cdot (\bar{A \cdot B \cdot B})} \tag{3.43}$$

Podľa požadovaného zadania je možné prostredníctvom hradiel NAND realizovať najrôznejšie logické funkcie.

Ďalšou úlohou je zapísať pravdivostnú tabuľku a logickú funkciu obvodu zapojeného s dvomi NOT a jedným štvorvstupovým NAND podľa obrázku 3.50.



Obrázok 3.50 Zapojenie logického obvodu s dvomi NOT a jedným štvorvstupovým NAND

Logický obvod zapojený podľa obr. 3.50 realizuje logickú funkciu

$$Y = A * \bar{B} * C * \bar{D} \quad (3.44)$$

Tabuľka 3.22 Pravdivostná tabuľka obvodu z obrázku 3.50

A	B	C	D	Y
0	0	0	0	1
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	1
0	1	0	0	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	0
1	0	1	1	1
1	1	0	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	1

### 3.11 Meranie funkcií sekvenčného logického obvodu 7490

Integrovaný obvod 7490 (obr. 3.51) je štvorbitové asynchrónne dekadické počítadlo. Je zložený zo štyroch preklápacích obvodov JK rozdelených na počítadlo modulo dvomi a piatimi. Obidve počítadlá majú vlastný hodinový vstup CP negovaný a počítajú na zostupnú hranu hodinových impulzov. Prepojením obidvoch počítadiel Q0 s CP2 dostaneme počítadlo modulo desať. Obvod je vybavený vstupmi vonkajšieho nastavenia MS a nulovania MR. Pretože vstup nastavenia a vstup nulovania je tvorený dvojestupovým súčinovým hradlom, nastavenie a nulovanie počítadla vykonáme privedením úrovne H na obidva vstupy príslušného hradla.

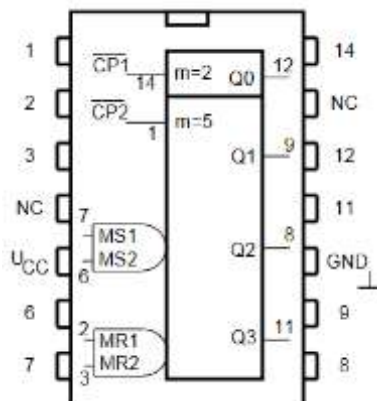
Meraným objektom je počítadlo v kóde BCD zložené z integrovaného obvodu 7490. Počítadlo je sekvenčný logický obvod, ktorý číta (počíta) impulzy privedené na jeho vstup, alebo delí ich frekvenciu. Skladá sa z preklápacích obvodov „JK alebo T. Podľa princípu existujú dva druhy počítadiel:

1. Asynchrónne počítadlo, kde výstup každého preklápacieho obvodu je privedený na vstup nasledujúceho. Preklápanie preklápacieho obvodu sa uskutočňuje postupne s každým hodinovým impulzom, čo pri viacerých preklápacích obvodoch prináša nevýhodné oneskorenie.
2. Synchronne počítadlo, ktoré preklápa všetky preklápacie obvody súčasne a je riadené hodinovými synchronizačnými impulzmi.

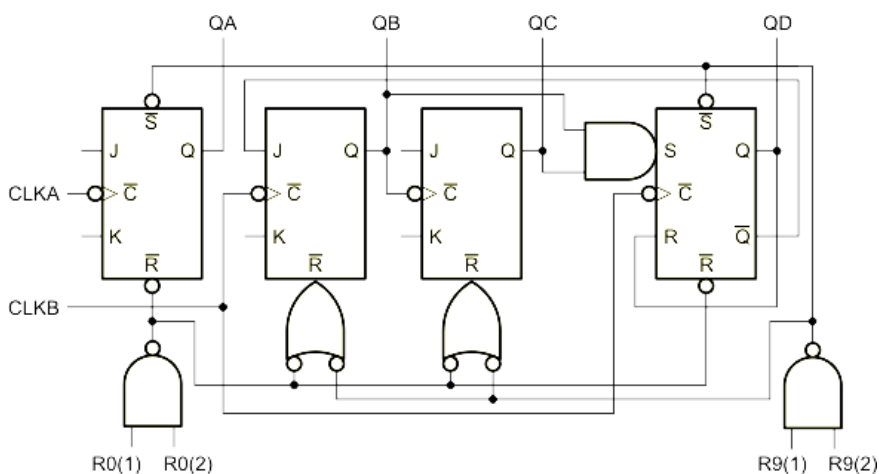
a)



b)



c)

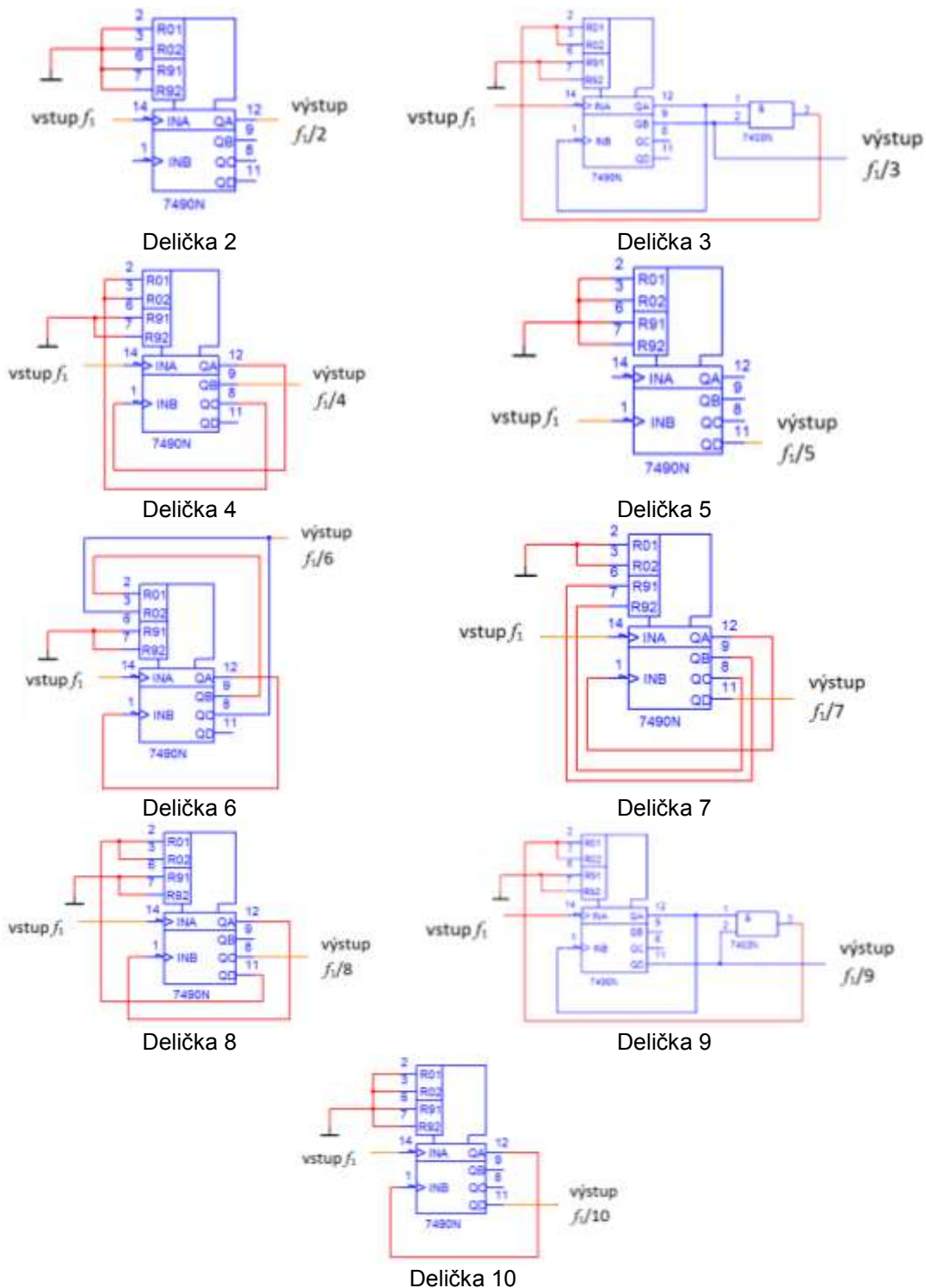


Obrázok 3.51 Pohľad (a), schematická značka (b) a vnútorná štruktúra (c) obvodu SN7490 (označenie vývodov puzdra – napájacie napätie  $U_{CC}$  je na pine 5, zem na pine 10)

Na systéme rc2000 postupne zapojíme obvod 7490 ako deličky dvomi, tromi, štyrmi, piatimi, šiestimi, siedmimi, ôsmimi, deviatimi a desiatimi podľa obr. 3.52

Tabuľka 3.22 Pravdivostná tabuľka obvodu 7490

$R_{0(1)}$	$R_{0(2)}$	$R_{0(1)}$	$R_{0(2)}$	výstup
H	H	L	X	D C B A
H	H	X	L	L L L L
X	X	H	H	L L L L
X	L	X	L	H L L H
L	X	L	X	počíta
L	X	X	L	počíta
X	L	L	X	počíta



Obrázok 3.52 Možnosti zapojenia obvodu 7490 ako delička frekvencie

### 3.12 Pravidlá pre prácu v elektrotechnickom laboratóriu

Účelom laboratórnej výučby je praktické overenie teoretických vedomostí z elektrotechnických predmetov, zároveň osvojenie si práce s meracími prístrojmi, vrátane ich voľby, obsluhy a výberu vhodnej meracej metódy. Študenti sú pri práci v elektrotechnickom laboratóriu povinní zachovávať také pravidlá, aby predišli úrazu, poraneniu a inému poškodeniu na zdraví, ako aj hmotným škodám na osobnom majetku i na majetku katedry. V elektrotechnickom laboratóriu treba dodržiavať nasledujúce organizačné a bezpečnostné zásady:

3. Všetci študenti musia byť na začiatku výučby poučení, zoznámení s bezpečnostnými predpismi týkajúcimi sa elektrických zariadení, i so spôsobom ovládania laboratórnych stolov, najmä s umiestnením a funkciou bezpečnostného tlačidla, ako aj so zásadami prvej pomoci pri úraze elektrickým prúdom.
4. Študenti prichádzajú na laboratórnu výučbu teoreticky pripravení. Predpokladom pre bezpečnú prácu je oboznámenie sa s každou úlohou, ktorá býva študentom zadaná vopred podľa tematického plánu. Pri zistení poruchy počas práce pri riešení úlohy treba okamžite odpojiť napájanie príslušného zariadenia od elektrickej siete a poruchu ihneď nahlásiť vyučujúcemu.
5. Práca v laboratóriu vyžaduje zvýšenú opatrnosť a disciplínu, aby sa zabránilo úrazu elektrickým prúdom, alebo poškodeniu zariadenia laboratória. V laboratóriu sa nesmie jesť, piť, ale venovať sa činnosti, ktoré bezprostredne súvisia s laboratórnou výučbou. Na laboratórnych stoloch sa nesmie sedieť a odkladať na ne osobné veci študentov, okrem študijnej literatúry, písacích potrieb, kalkulačiek a osobných počítačov.
6. Zapájanie elektrických obvodov pri riešenej úlohe sa musí vykonávať vždy v beznapätovom stave. Usporiadanie ovládacích prvkov, meracích prístrojov a meraných objektov musí umožňovať ľahkú kontrolu zapojenia, ovládateľnosť premenných prvkov a čitateľnosť údajov. Prepojovacie vodiče nesmú byť namáhané na ťah či krut a musia byť spoľahlivo upevnené do príslušných svoriek. Regulačné prvky (potenciometre, reostaty a pod.) sa pred pripojením k zdrojom napätia nastavujú tak, aby elektrickými obvodmi tiekol nulový alebo minimálny prúd. Meracie prístroje sa na začiatku nastavujú na najvyššie rozsahy, aby pri pripojení k zdrojom napätia nedošlo k ich poškodeniu. Pripojenie elektrických obvodov k zdrojom napätia smie byť vykonané až po kontrole vyučujúcim, ktorý ich pripojí.
7. Realizácia laboratórnej úlohy prebieha podľa návodu; možno vykonávať iba také úkony, ktoré vyplývajú z potrieb úlohy (zapínanie, vypínanie, zaraďovanie odporov apod.). Študenti pritom neustále kontrolujú správnu funkciu všetkých častí úlohy a nastavenie odpovedajúcich rozsahov meracích prístrojov. Akékoľvek zásahy do zapojených elektrických obvodov (rozpojovanie, prepojovanie, premiestňovanie prístrojov apod.) možno vykonávať iba v beznapätovom stave. Pri práci je možno sa dotýkať len tých častí, ktoré sú na to určené (držadla, rukoväte, ovládacie prvky a pod.). Pohyblivé prírody sa vyťahujú zo zásuvky uchopením za vidlicu, pričom zároveň treba pridržať aj kryt zásuvky. Dotýkať sa neizolovaných častí pod elektrickým napätím je prísne zakázané! Kondenzátory s veľkou kapacitou treba po ukončení merania

- skratovať, aby elektrický náboj na ich doskách nespôsobil úraz. Pri točivých strojoch je nutné venovať zvýšenú pozornosť ich rotujúcim častiam. Zásadne sa nesmie pracovať s mokrými rukami. Kovové prívesky, retiazky, prstene a hodinky môžu uľahčiť úraz elektrickým prúdom, a preto ich nosenie do laboratória nie je vhodné.
8. Osobitnú pozornosť je treba venovať úlohám, pri ktorých sa používa počítač s rôznymi prídavnými zariadeniami. Tieto sú už spravidla na stole rozmiestnené tak, aby vyhovovali danej úlohe a aby počítač umožnil jednoduchý dialóg s obsluhou. Laboratórna zostava je vždy rozdelená na počítačovú a klasickú elektrotechnickú časť, pričom do počítačovej časti študenti nezasahujú.
  9. V prípade zásahu elektrickým prúdom je povinnosťou toho, kto ako prvý nehodu spozoroval, ihneď bezpečnostným tlačidlom vypnúť napájanie laboratória od elektrickej rozvodnej siete a podľa potreby poskytnúť postihnutému prvú pomoc. Každý úraz alebo poranenie je nutné ihneď ohlásiť vyučujúcemu.
  10. V prípade vzniku požiaru je nutné ihneď bezpečnostným tlačidlom odpojiť napájanie laboratória od elektrickej rozvodnej siete. Na hasenie požiaru treba použiť vhodný hasiaci prístroj umiestnený v laboratóriu. Elektrické zariadenia sa nikdy nesmú hasiť vodou!
  11. Pred ukončením práce na úlohe študenti preukážu vyučujúcemu jej splnenie. Odpoja elektrický obvod od zdroja napätia, potom ho rozpoja, pričom jednotlivé časti uložia na určené miesto. Akékoľvek poškodenie treba ihneď hlásiť vyučujúcemu. Škodu spôsobenú vlastnou nepozornosťou alebo nedisciplinovanosťou je študent povinný nahradiť.
  12. Z elektrotechnického laboratória sa nesmie bez súhlasu vyučujúceho alebo technika odnášať akákoľvek časť jeho vybavenia.
  13. Účasť na laboratórnych cvičeniach a vypracovanie protokolov k realizovaným úlohám je základným predpokladom splnenia študijných povinností. Pokiaľ študent z vážnych dôvodov neabsolvuje niektoré cvičenie, musí v najbližšom možnom termíne dohodnúť s vyučujúcim spôsob náhrady. Náhradné cvičenie možno absolvovať iba vo vyučovacom období príslušného semestra.
  14. Na obálke protokolu je uvedený názov študijného programu, názov úlohy, meno študenta a dátum merania.  
Protokol z merania sa člení na tieto časti:
    - Názov úlohy,
    - Zadanie,
    - Teoretický rozbor úlohy.Študent s využitím všetkých dostupných a nadobudnutých znalostí, ktoré dosiahol štúdiom v iných elektrotechnických predmetoch a s využitím dostupnej odbornej literatúry vykoná teoretický rozbor úlohy. Zameria sa na riešenie problému, ktorý ide v rámci elektrických meraní zisťovať komplexne. V závere teoretického rozboru úlohy musí byť jasné zdôvodnenie prečo sa rozhodol pre konkrétny spôsob a formu meracej metódy, jej výhody a nevýhody.
    - Schémy zapojenia sa kreslia zásadne čiernou farbou s dodržaním všetkých zásad technického kreslenia a označovania v elektrotechnike



STN IEC 60617. Je možné využívať rôzne PC programy na elektrotechnické kreslenie s dodržaním STN IEC 60617.

- Použité meracie prístroje a zariadenia.
- Postup merania. Ako prvý bod musí byť uvedené, že prístroje zapojíme podľa schémy zapojenia! V ostatných bodoch opíše chronologicky postup pri meraní – určitú metodológiu vykonávania merania s dôrazom na oboznámenie sa s meracími strojmi, prístrojmi a zariadeniami, ako i s dôrazom na bezpečnosť pri práci s elektrickými zariadeniami v elektrotechnických laboratóriách v zmysle zákona č. 124/2006 Z. z., o BOZPP, v znení zmien a STN 34 100. Koľko bodov bude postup merania obsahovať je individuálne a určuje to študent, ktorý vyhotovuje laboratórny protokol.
- Tabuľky nameraných a vypočítaných hodnôt. Každá tabuľka je označená názvom a vždy za ňou nasleduje ukázkový výpočet pre jej ľubovoľný riadok. V tomto oddieli sa uvádzajú všetky matematické vzťahy, ktoré študent používa pre zisťovanie konečných elektrických veličín výpočtom. Výpočet slúži ako podklad pre vyplnenie tabuľky nameraných hodnôt. Obsahuje všetky výpočty veličín, ktoré sú neskoršie vpísané do tabuľky nameraných a vypočítaných hodnôt.
- Grafy. Každý graf je označený názvom a sú v ňom vyznačené všetky namerané body uvedené v tabuľkách.
- Závěry. Obsahuje stručné zhrnutie výsledkov so zdôvodnením ich prípadných rozporov s teoretickým rozborom, odchýlky a chyby pri meraní, identifikácie rušivých vplyvov, prípadne narušenie merania výpadkom siete, zdôvodnenie aproximácie v grafoch a pod.

## 4 KOMPARÁCIA KLASICKÉHO MERANIA SO SIMULOVANÝM MERANÍM

Laboratórne cvičenia predstavujú spojenie teórie s praxou, a to pri uplatnení teoretických vedomostí študentov z prednášok a študijnej literatúry v elektrotechnickom laboratóriu. Majú svoje pevne určené časti, ktoré nie je možné z odborných a didaktických dôvodov vtiesnať do jednej vyučovacej hodiny, takže ich výučba by mala prebiehať v dvoj až trojhodinových blokoch.

Laboratórna výučba predstavuje špecifický typ vysokoškolskej výučby, kde sú kladené zvýšené nároky na hygienické podmienky výučby a na podmienky bezpečnej práce študentov, ako to podrobne uvádzajú do vysokoškolskej praxe vzorové Pravidlá pre prácu v elektrotechnickom laboratóriu, ktoré sú uvedené v závere tretej kapitoly monografie.

Laboratórne úlohy možno rozdeliť do dvoch skupín: prvú skupinu tvoria úlohy na overenie teoretických poznatkov z elektrotechniky, prípadne kybernetiky, v druhej skupine je kladený dôraz na didaktickú stránku meraní. Jedným z prostriedkov zvýšenia efektivity výchovno-vzdelávacej práce je **problémové vyučovanie**. To je spojené s skúmovým prístupom študentov k predmetu a javom. Jeho základom je vytváranie rôznych typov **problémových situácií** učiteľom a nadväzujúcim riadením činnosti študentov pri ich riešení. Podstatným znakom problémového vyučovania je práve problémová situácia. Túto situáciu pri preberaní učiva elektrotechniky nie je možné navodiť jednoduchými otázkami, ktorými zisťujeme iba znalosť technických faktov, ale k jeho overeniu treba **problémové otázky**, kedy z odpovedí študentov možno dedukovať ich náhľad na technické príčiny, vzťahy a súvislosti medzi jednotlivými javy. Z vyjadrení študentov vyplynie, prečo podľa ich názoru k tomu či takému javu došlo, čo je z hľadiska technického myslenia omnoho dôležitejšie, než iba konštatovanie technickej skutočnosti.

Uplatnenie problémového vyučovania vo vysokoškolskej výučbe nie je samoučelné, teda zavedené len preto, aby sa s touto formou študenti zoznámili. Výsledky pedagogických výskumov opakovane preukázali, že vhodnou voľbou technológie výučby dochádza v problémovo vyučovaných subjektoch ku značnému zvýšeniu efektivity ich vzdelávania, a to bez ohľadu na jeho stupeň. Problémové vyučovanie je teda efektívne i pre vysokoškolákov.

Problémová výučba na vysokej škole by mala začínať už na začiatku semestra, zoznámením študentov nie len s jednotlivými úlohami, ktorými budú musieť úspešne prejsť, ale rámcovo i s **problémami**, ktoré pritom budú riešiť. Problémy sú spojené s otázkami zvolenia vhodnej metódy merania, použitia vhodných meracích prístrojov, eliminácie pôsobiacich rušivých vplyvov, predikcie možných porúch súčiastok a pod. Samostatnou kategóriou problémov je pritom komparácia klasického merania s meraním simulovaným prostredníctvom výučbového systému rc2000. Na základe poznatkov z teoretickej výučby a štúdia doporučenej literatúry by potom študenti mali do laboratória prichádzať s konkrétnymi návrhmi na riešenie, ktoré by následne v rámci jednotlivých úloh prakticky overovali. Takto formulovaná problémová výučba vedie študentov k hlbším úvahám o princípe

činnosti študovaných obvodov a rozvíja ich zručnosti pri odstraňovaní prípadných porúch, ktoré môžu nastať v jednotlivých úlohách – či už náhodne alebo cielene, teda úmyselným zásahom učiteľa.

Problémové situácie pri laboratórnej výučbe elektrotechniky, prípadne kybernetiky, samozrejme nemusia vždy navodzovať vyučujúci. Často totiž otvoria technický problém sami študenti, najčastejšie tí z nich, ktorí radi experimentujú, sú zvyknutí pracovať problémovým spôsobom, či majú dostatok vedomostí o riešenej problematike. Také vedomosti študentov pochádzajú ako z fakulty, či z predchádzajúcich školských stupňov (najmä zo a stredných odborných škôl), tak i z vlastnej záujmovej činnosti v odbore, zo štúdia literatúry, z informácií získaných prostredníctvom internetu a pod.

Súčasťou laboratórnej výučby by mali byť – ako už bolo uvedené – nie len merania vykonávané klasickými spôsobmi, ale i merania simulované, ktoré umožňuje v širokom rozsahu práve výučbový systém rc2000 popísaný v druhej kapitole monografie. Výskum zameraný na komparáciu obidvoch spôsobov meraní priniesol zaujímavé výsledky, ktorým sa podrobnejšie venujeme ďalej.

V úlohách číslo 3.1 až 3.5 sa merajú základné elektrické veličiny, t. j. elektrický prúd, napätie, odpor, kapacita, indukčnosť a výkon. Tieto merania sú realizované pomocou univerzálnych analógových aj číslicových meracích prístrojov. Študenti musia správne zvoliť typ prístroja, napr. voltmeter, resp. ampérmeter, podľa použitého napájacieho zdroja zvoliť meranie jednosmernej resp. striedavej veličiny, nastaviť vhodný rozsah, aby nedošlo k poškodeniu meracieho prístroja. Tieto činnosti študenti od druhého cvičenia zvládajú. Najväčší problém majú s odčítaním hodnoty nameranej veličiny z analógových meracích prístrojov, pretože musia vypočítať konštantu meracieho prístroja a vynásobiť ju aktuálnou výchyľkou. Niektorí študenti majú problém s výpočtom konštanty meracieho prístroja pomocou kalkulačky, chýbajú im zručnosti v počítaní na kalkulačke z predchádzajúceho štúdia. Tieto merania možno realizovať aj so systémom rc2000, rozdiel je len v meraní prúdu, ktorý meriame voltmetrom ako úbytok napätia na rezistore s hodnotou  $1 \Omega$ . Hodnota meraného prúdu je priamo odčítaná z displeja multimetra ( $I = U/R$ , pretože  $R = 1 \Omega$ ). Použitím systému rc2000 na meranie týchto úloh by sa študenti nenaučili merať pomocou klasických analógových meracích prístrojov.

Ďalšie úlohy 3.6 až 3.11 možno realizovať buď pomocou klasických meracích prístrojov (generátor, osciloskop, logický analyzátor a pod.) alebo pomocou systému rc2000. Meranie pomocou klasických meracích prístrojov je náročnejšie, pretože študenti musia nastaviť hodnoty na vstupe, ktoré sú vo väčšine prípadov konštantné, resp. mení sa len jedna hodnota, napr. frekvencia a výstupné hodnoty musia odčítat' z priebehu na obrazovke osciloskopu. Na merania používame dvojkanálový osciloskop, na jednom kanáli zobrazujem vstupnú veličinu a na druhom výstupnú veličinu. Problém majú študenti s odčítaním hodnôt amplitúdy, pretože vo väčšine prípadov je rozdiel v počte dielikov na volt (dielikov na milivolt a pod.). Použitím systému rc2000 na tieto merania odpadajú všetky vyššie uvedené problémy, pretože hodnoty študenti odčítajú prehľadne z obrazovky počítača. Úlohy sú formulované tak, aby klasické obvody boli zapojené z tých istých hodnôt súčiastok ( $R, C, \dots$ ) ako v systéme rc2000 a bolo možné analyzovať namerané výsledky. Meranie so systémom rc2000 je z didaktického hľadiska

podstatne názornejšie, študenti ľahšie vypracujú protokol z merania, pretože všetky hodnoty meraných veličín aj grafické priebehy majú prehľadne zobrazené na obrazovke počítača.

#### 4.1 Meranie základných elektrických veličín

V rámci tejto podkapitoly sme realizovali meranie elektrického napätia, prúdu a odporu pomocou klasických meracích prístrojov, systémom rc2000 a numerickým výpočtom. Meranie odporu bolo realizované pomocou voltampérovej metódy a meraním na odporovom deliči napätia, na nezaťaženom a tiež na zaťaženom. Namerané a vypočítané hodnoty sme porovnali.

Meranie bolo realizované podľa schémy zapojenia uvedenej na obrázku 3.1 pri hodnote napájacieho napätia 10 V. Porovnaním vypočítaných hodnôt odporu z obidvoch meraní so štítkovou hodnotou vidieť, že chyba merania so systémom rc2000 je 0,57 %, pričom meraním klasickými meracími prístrojmi je až 10,27778 %.

Tabuľka 4.1 Namerané hodnoty meranie odporu

<b>Štítková hodnota odporu meraného rezistora 1 k<math>\Omega</math> <math>\pm</math>0,1 %, t. j. <math>\pm</math>1 <math>\Omega</math></b>				
	Klasické meracie prístroje	Systém rc2000	Rozdiel medzi štítkovou hodnotou a vypočítanou hodnotou odporu	
			Klasické meranie	Systém rc2000
$U_R$ [V]	9,925	9,982		
$I_R$ [A]	0,009	0,01004		
$R$ [ $\Omega$ ] (vypočítaná)	1102,7778	994,2231	+102,7778	-5,7769

Ďalšie meranie bolo realizované na odporovom deliči napätia naprázdno a zaťaženom. Odporový delič sa skladal z rezistorov  $R_1 = 250 \Omega$ ,  $R_2 = 100 \Omega$ ,  $R_Z = 100 \Omega$ , vstupné napájacie napätie bolo  $U_1 = 7$  V. Namerané a vypočítané hodnoty sú uvedené v tabuľke 4.2. Z údajov v tabuľke 4.2 je zrejmé, že meranie so systémom rc2000 je v porovnaní s meraním klasickými meracími prístrojmi podstatne presnejšie a odchýlky od vypočítaných hodnôt sú minimálne. Z toho je možné konštatovať zhodu teórie s praktickými výsledkami.

Tabuľka 4.2 Meranie na odporovom deliči napätia

<b><math>R_1 = 250 \Omega</math>, <math>R_2 = 100 \Omega</math>, <math>R_Z = 100 \Omega</math>, <math>U_1 = 7</math> V</b>				Rozdiel nameranej a vypočítanej hodnoty	
	Klasické meracie prístroje	Systém rc2000	Výpočet	Klasické meracie prístroje	Systém rc2000
$U_{20}$ [V]	1,961	1,9916	2,0	0,039	0,0084
$U_{2Z}$ [V]	1,138	1,1612	1,1666	0,52966	0,005466
$I_0$ [A]	0,014	0,02006	0,02	0,006	0,00339
$I_Z$ [A]	0,0161	0,02339	0,02333	0,00723	0,00006

Na obr. 4.1 je usporiadanie meracieho pracoviska pri meraní na odporovom deliči napätia klasickými meracími prístrojmi. Pri meraní boli použité prístroje napájací zdroj Diametral 0-30 V/0-4 A, ampérmeter – analógový univerzálny merací prístroj DU 10, voltmeter číslicový univerzálny merací prístroj METEX M4640A.



Obrázok 4.1 Meranie na odporovom deliči napätia klasickými meracími prístrojmi



Obrázok 4.2 Meranie na odporovom deliči napätia so systémom rc2000

Na obr. 4.2 je usporiadanie meracieho pracoviska pri meraní na odporovom deliči napätia so systémom rc2000. Pri meraní boli použité moduly programovateľný DC napájací zdroj, modul prvkov, a dva moduly voltmeter, jeden na meranie napätia a druhý na meranie prúdu.

## 4.2 Meranie prenosových vlastností RC filtrov

Cieľom merania bolo zmerať prenosové vlastností RC filtrov priamou metódou pomocou generátora a osciloskopu a systémom rc2000, potom namerané výsledky porovnať. Meranie bolo realizované podľa schém na obr. 4.3.

Pri klasickom meraní bol použitý školský generátor Tesla BK 124 a osciloskop LG OS5020G (obr. 4.4). Na školskom generátore sme nastavili konštantné vstupné napätie 100 mV a menili sme jeho frekvenciu od 10 Hz po 10 000 Hz, osciloskopom namerané hodnoty výstupného napätia sme zapísali do tabuľky č. 4.3 a vypočítali sme napäťový prenos  $A_U$  RC člena v dB. Medznú frekvenciu  $f_m = 1591,55$  Hz sme vypočítali podľa vzťahov:

$$A_U = 20 \cdot \log \frac{U_2}{U_1} = 20 \cdot \log \frac{18}{100} = 14,8 \text{ dB}, \quad (4.1)$$

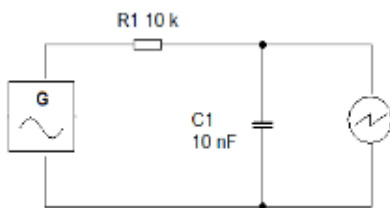
a

$$f_m = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot C_1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 1591,55 \text{ Hz}. \quad (4.2)$$

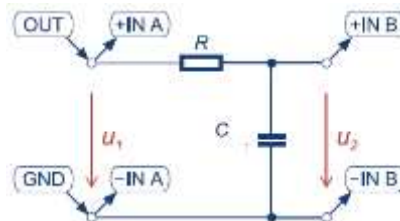
Z nameraných a vypočítaných hodnôt je možné nakresliť amplitúdovú frekvenčnú charakteristiku. Pri meraní napätia pomocou osciloskopu a nastavenia vstupnej frekvencie sa prejavili chyby nastavenia frekvencie a tiež chyby odčítania hodnoty napätia z obrazovky osciloskopu.

Tabuľka 4.3 Namerané hodnoty  $U_2 = f(f)$  pri  $U_1 = 100 \text{ mV}$

f [Hz]	10	100	500	1 000	2 000	5 000	10 000
$U_2$ [mV]	100	100	100	90	65	40	18
$A_U$ [dB]	0	0	0	-0,915	-3,741	-7,958	-14,894



Meranie s klasickými meracími prístrojmi



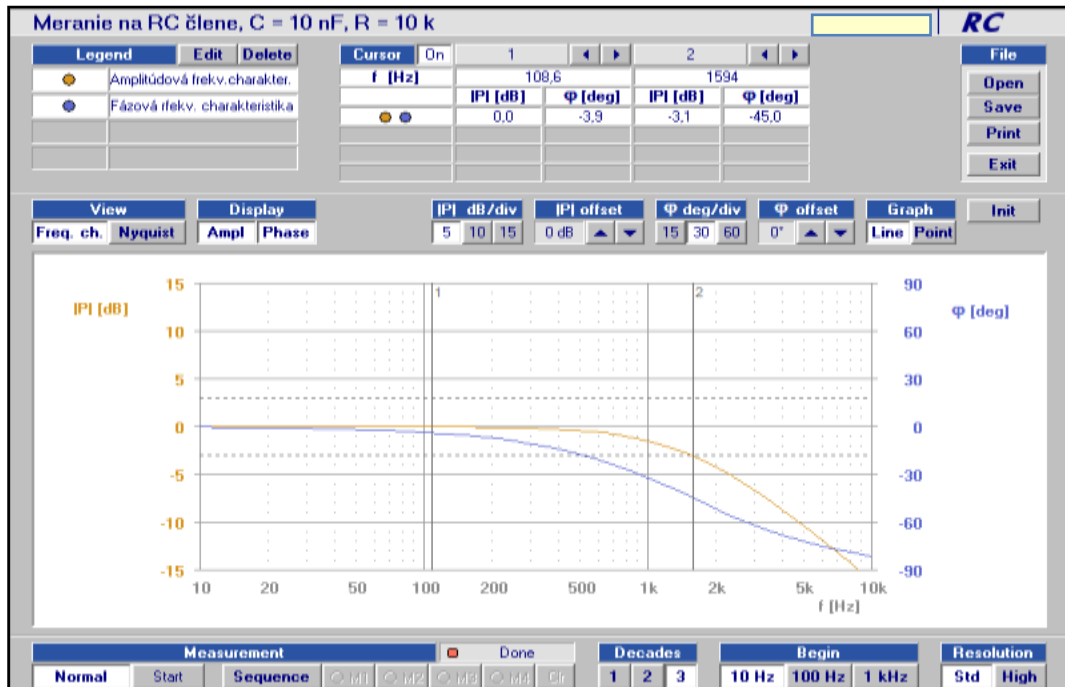
Meranie so systémom rc2000

Obrázok 4.3 Schémy zapojenia na meranie prenosových vlastností RC filtrov

Pri meraní so systémom rc2000 bol RC filter zapojený na module Component board a meranie sme realizovali podľa zapojenia na obrázku 2.35. Systémom rc2000 sme týmto spôsobom odmerali súčasne amplitúdovú a fázovú frekvenčnú charakteristiku (obr. 4.5). Z priebehov uvedených charakteristík vidíme, že rozdiel medzi vypočítanou a nameranou medznou frekvenciou je len 2,45 Hz pri fázovom posune o  $45^\circ$  a zmene amplitúdy o -3,0 dB. Použitie systému rc2000 je pre túto úlohu veľmi názorné a študentom šetrí čas s výpočtami napäťového prenosu a pri vykresľovaní amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky.



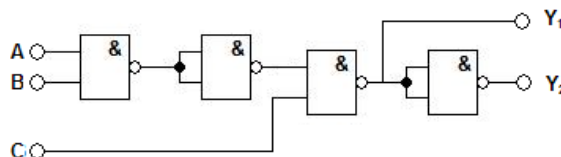
Obrázok 4.4 Meranie výstupného napätia RC filtra osciloskopom



Obrázok 4.5 Meranie amplitúdovej a fázovej frekvenčnej charakteristiky s rc2000

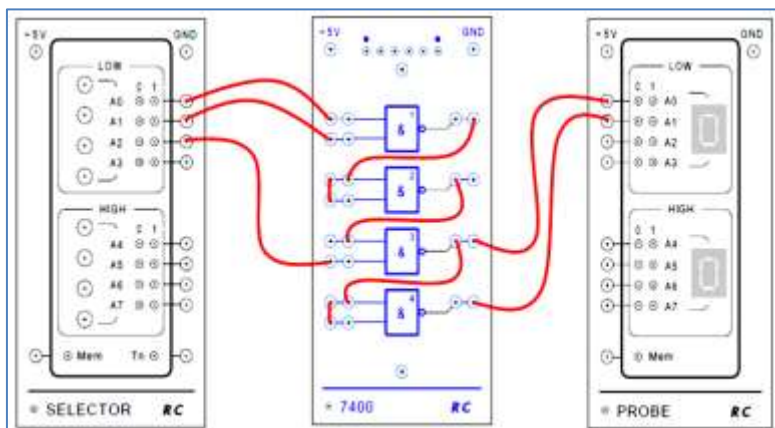
### 4.3 Meranie na kombinačných logických obvodoch

Cieľom je naučiť sa merať hodnoty logických funkcií, zapísať ich hodnoty do pravdivostnej tabuľky a opísať funkciu kombinačného logického obvodu.



Obrázok 4.6 Zapojenie kombinačného logického obvodu

Kombinačný logický obvod zapojíme podľa obr. 4.6 na module UNI DIGI s kartou 7400 alebo priamo s obvodom 7400 na module BOARD 2x16. Hodnoty vstupných logických premenných nastavujeme na module SELECTOR (všetky možné kombinácie, t. j.  $2^3 = 8$ ) a hodnoty výstupných premenných meriame pomocou logickej sondy, resp. pomocou modulu PROBE, a zapisujeme ich do pravdivostnej tabuľky uvedenej pod obrázkom. Zapojenie pri meraní je na obr. 4.7. Vstupy  $A_0 = A$ ,  $A_1 = B$ ,  $A_2 = C$ , výstupy  $A_0 = Y_1$ ,  $A_1 = Y_2$ .



Obrázok 4.7 Meranie na kombinačných logických obvodoch s voličom logických stavov a logickou sondou

Tabuľka 4.4 Pravdivostná tabuľka kombinačného logického obvodu

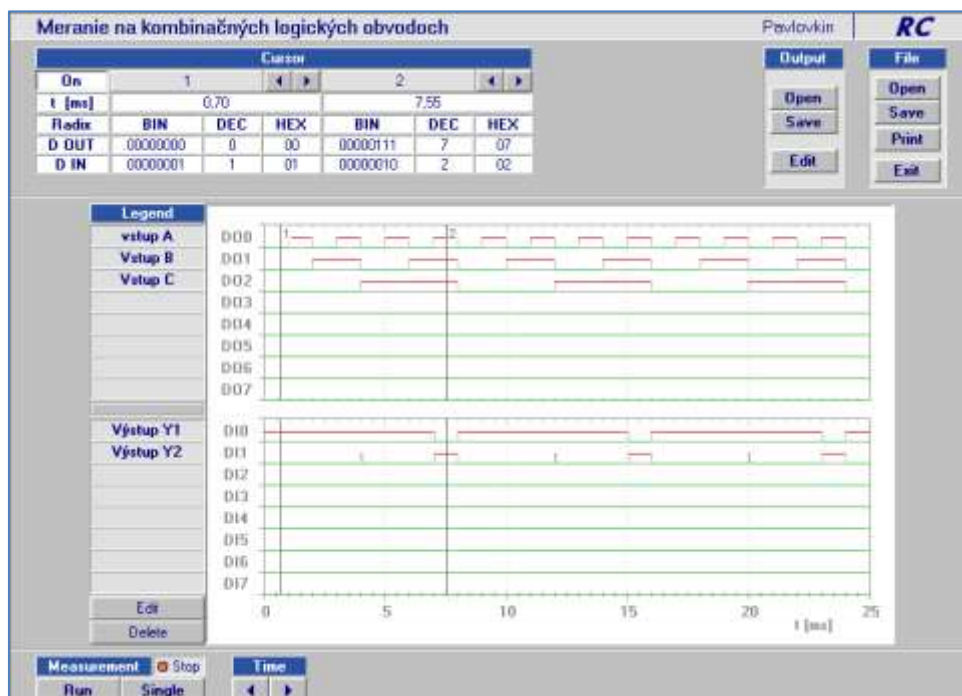
VSTUP			VÝSTUP	
A = A0	B = A1	C = A2	Y1 = A0	Y2 = A1
0	0	0	1	0
1	0	0	1	0
0	1	0	1	0
1	1	0	1	0
0	0	1	1	0
1	0	1	1	0
0	1	1	1	0
1	1	1	0	1

Toto meranie môžeme realizovať aj pomocou logického analyzátoru, v ktorom názorne vidíme jednotlivé kombinácie premenných na vstupe a k nim patriace hodnoty jednotlivých výstupov (obr. 4.8 a 4.9).

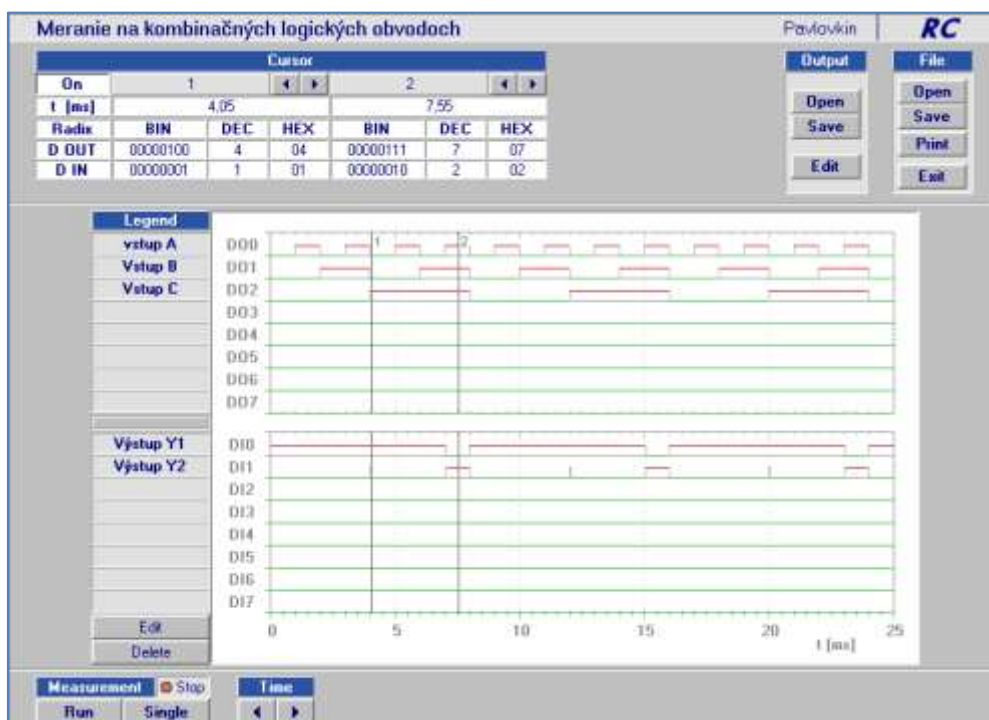
Z obr. 4.8 (kurzor 2) je vidieť, že zmena výstupných hodnôt nastane až pri zmene hodnôt všetkých vstupných premenných z hodnoty „log 1“ na „log 0“.

Zaujímavé je, že pri zmene vstupov A a B z hodnoty „log 1“ do hodnoty „log 0“ a vstupu C z hodnoty „log 0“ do hodnoty „log 1“ dochádza k logickému hazardu na výstupe Y2, čo je vidieť na obrázku 4.9 (kurzor 1). Meraním logickou sondou nie je možné tento logický hazard postrehnúť. Nežiaduci logický hazard môže byť spôsobený oneskorením signálu v dôsledku rôzne dlhých vetiev logického obvodu, alebo zmenou veľkosti napätia pre „log 0“ a „log 1“ mimo povolené medze.





Obrázok 4.8. Meranie na kombinačných logických obvodoch pomocou logického analyzátoru



Obrázok 4.9 Meranie na kombinačných logických obvodoch pomocou logického analyzátoru

**ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV**

BERNÁT, M.: Od výskumu k návrhu niektorých elektrofyzikálnych systémov aplikáciou počítačového modelovania a simulácie I. Dostupné na: <<https://www.pulib.sk/web/kniznica/elpub/dokument/Bernat3>>.

BOLKOWSKI, S. *Teoria obwodów elektrycznych*. Warszawa: WNT 1995.

GAŚIORSKI, A., IMIELSKI, A., KRUKOWSKI, W., SZAMAŃSKI, Z.: *Ćwiczenia laboratoryjne z elektrotechniki teoretycznej, cz. 1*. Częstochowa: Politechnika Częstochowska, 1982.

Kolektív autorov.: *Elektrotechnická měření*. Praha: BEN, 2002.

KUBOVSKÝ, I.: *Elektrotechnika a elektronika*. Zvolen: DF TU, 2011.

MOJŽÍŠEK, L.: *Vyučovací metody*. Praha: SPN, 1988.

NOVÁK, D., KLOPANOVA, V.: Aplikácia Booleovej algebry v technike. *Technika a vzdelávanie*, 2016, čís. 1, s. 35-38.

NOVÁK, D., KRÉNEK, M., PECINA, J.: *Elektrické měření*. Praha: SPN, 1986.

NOVÁK, D.: Elektrotechnická laboratoř a problémová výuka. In: *Technické vzdelanie ako súčasť všeobecného vzdelania*. Banská Bystrica: UMB, 1998, s. 185-187.

NOVÁK, D.: Elektrotechnika v učiteľstve profesijných predmetov a praktickej prípravy. Banská Bystrica: UMB, 2013.

NOVÁK, D.: Prvky učiva kybernetiky v technickém vzdelávání a přípravě učitelů. Banská Bystrica: UMB, 2010.

NOVÁK, D.: Udział czeskich szkół podstawowych w nauczaniu cybernetyki w przeszłości a dziś. *Multimedia w dydaktyce techniki*. Szczecin: Uniwersytet Szczeciński, 2002, s. 93-99.

НОВАК, Д., ПАВЛОВКИН, Я., ДЪУРИШ, М., ПЕРИК, О.: Кибернетика в учебном процессе в базовых школах Чехии и Словакии и академическая подготовка учителей. *Управляющие системы и машины*. Киев: Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем, 2007, čís. 3, s. 3-12.

NÜHRMANN, D. 1979. *Elektronika łatwiejsza niż przypuszczasz*. Warszawa: WKiŁ 1979.

PAVLOVKIN, J., NOVÁK, D.: *Elektrotechnika 2*. Banská Bystrica: FPV UMB, 2012. ISBN 978-80-557-0350-3.

PAVLOVKIN, J., NOVÁK, D.: Messung der Frequenzcharakteristiken von Passivfilter mittels des Lehrsystems rc2000. *EDUKACJA – TECHNIKA – INFORMATYKA*, roč. 3, 2012, č. 2, s.257-264. ISSN 2080-9069.

PAVLOVKIN, J., NOVÁK, D., KUBOVSKÝ, I., ĎURIŠ, M.: *Elektrotechnika, vysokoškolská učebnica*. Banská Bystrica: Belianum UMB, 2016. ISBN 978-80-557-0777-8.

PAVLOVKIN, J., NOVÁK, D.: Elektronika s výučbovým systémom rc2000. *EDUKACJA – TECHNIKA – INFORMATYKA*, 2011, čís. 1, s. 91-97.

PAVLOVKIN, J., NOVÁK, D.: Meranie práce elektrického prúdu. *Technika a vzdelávanie*, 2012, čís. 2, s. 7-11.

PAVLOVKIN, J., NOVÁK, D.: Messung der Frequenzcharakteristiken von Passivfilter mittels des Lehrsystems rc2000. *EDUKACJA – TECHNIKA – INFORMATYKA*, 2012, čís. 2, s. 257-264.

PAVLOVKIN, J., NOVÁK, D.: Overovanie prechodových javov v elektrotechnike pomocou systému rc2000. In: *Acta Universitatis Matthiae Belli, séria Technická výchova*. Banská Bystrica: UMB, 2011, s. 31-44.

PAVLOVKIN, J.: Meranie na module trojfázová sústava pomocou systému rc2000 –  $\mu$ LAB. In: *ACADEMIA Súčasnosť a perspektívy vysokých škôl*. Ročník XXVI, číslo 4/2015, s.30-50, ISSN 1335-5864.

PAVLOVKIN, J.: Modelovanie prechodovej charakteristiky statickej regulovanej sústavy prvého rádu so systémom rc2000. *EDUKACJA – TECHNIKA – INFORMATYKA* roč. 5, 2014 č. 1, s.617-622. ISSN 2080-9069.

PAVLOVKIN, J.: Počítačom podporované elektrolaboratórium využívané vo vyučovaní technických odborných predmetov. In: *Acta Universitas Matthiae Belli, séria Technická výchova*. Banská Bystrica: UMB, 2007, s. 59-71.

PAVLOVKIN, J.: Výučba elektrotechniky so systémom rc2000 –  $\mu$ LAB. In: *Współczesne problemy techniki, zarządzania i edukacji*. Zielena Góra: Uniwersytet Zielonogórski, 2008, s. 129-135.

PAZDRO, K., PONIŃSKI, M.: *Miernictwo elektryczne*. Warszawa: WNT 1986.

PILAWSKI, M.: Pracownia elektryczna dla technikum. Praca zbiorowa Elektrotechnika i elektronika dla nieelektryków wyd. 4. Warszawa: WNT, 1995.

RUDOLF, L.: Měření na transformátoru v rámci systému mikrolaboratře rc2000. In: *Trendy ve vzdělávání 2010*. Olomouc: PdF PU.

RUDOLF, L., TVARUŽKA, V.: Měření na modulu třífázové soustavy výukového systému  $\mu$ LAB In: *Trendy ve vzdělávání 2008*. Olomouc: PdF PU.

RUDOLF, L.: Měření na modulu tyristoru v rámci mikrolaboratoře rc2000 In: *Trendy ve vzdělávání 2009*. Olomouc: PdF PU.

RUDOLF, L.: Elektronická stavebnice rc2000 ve výuce technologických praktik. In: *Učiteľ prírodovedných predmetov na začiatku 21. storočia*. Prešov: PF PU. 2006. s. 275.

SKALKOVÁ, J.: *Aktivita žáků ve vyučování*. Praha: SPN, 1971.

ŠTOFA, J.: O všeobecnej technickej vzdelanosti mládeže. In: *Technické vzdelanie ako súčasť všeobecného vzdelávania*. Banská Bystrica: PdF, 1992, s. 31.

TUMA, M.: Metodika elektrotechnických cvičení. Bratislava: SPN, 1971.

*Výukový systém rc2000 –  $\mu$ LAB Moduly*. Praha: RC společnost s r. o. přístroje pro vědu a vzdělání, 2017.

*Výukový systém rc2000 –  $\mu$ LAB Úlohy*. Praha: RC společnost s r. o. přístroje pro vědu a vzdělání, 2017.

ZĄBKOWSKA-WACŁAWEK M. SIEDLECKI, A. *Laboratorium elektrotechniki*. Opole: Wydawnictwo Uniwersytetu Opole 1996.

## ABSTRAKT

Monografia je zameraná na problematiku elektrotechnického merania, bez ktorého aplikácie sa v podstate nezaobíde žiadna z oblastí elektrotechniky. V prvej časti sú charakterizované základné pojmy, meracie prístroje a systémy, ako i metódy merania. Druhá časť je venovaná opisu a možnostiam využitia výučbového systému rc2000. Tretia časť obsahuje návrh súboru úloh na meranie v elektrotechnickom laboratóriu, vrátane príslušnej metodiky merania. Štvrtá časť zahŕňa výskum riešenej problematiky a v nadväznosti na analýzu jeho výsledkov sú vyvodené príslušné závery.

Publikácia je určená pre študentov učiteľstva na Fakulte prírodných vied Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici a študentov inžinierskych odborov na Strojníckej fakulte Univerzity Zelenohorskej v Zelenej Hore. Môžu z nej však čerpať i študenti príbuzných študijných programov, akademickí a vedeckí pracovníci zaoberajúci sa touto problematikou, ale využitie isto nájde aj technickej praxi.

## STRESZCZENIE

Monografia skupia się na problematyce pomiarów elektrotechnicznych, która jest zasadnicza dla wszystkich kierunków elektrotechniki. Część pierwsza opisuje podstawowe pojęcia, aparaty pomiarowe i systemy oraz metody pomiarowe. W części drugiej zawarty jest opis systemu nauczania rc2000 oraz możliwości jego wykorzystania. Część trzecia przedstawia zestawy zadań pomiarów w laboratorium/pracowni elektrotechnicznej, łącznie z odpowiednią metodyką pomiarów. W części czwartej zawarte są badania rozwiązywanej problematyki i następnie na podstawie analizy jej wyników zostaną wyprowadzone odpowiednie konkluzje.

Publikacja przeznaczona jest dla studentów pedagogiki Wydziału Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Mateja Bela w Bańskiej Bystrzycy oraz studentów kierunków technicznych Wydziału Mechanicznego Uniwersytetu Zielonogórskiego w Zielonej Górze. Korzystać z niej mogą także studenci pokrewnych programów studyjnych, pracownicy akademicki i naukowci zajmujący się daną problematyką, oprócz tego skorzystać można z niej wprost w praktyce technicznej.

## ABSTRACT

The monograph focuses on the topic of electro technical measurement, which is an essential part for every branch of electro engineering. In the introduction, there are characterized some basic terms, measuring instruments and systems, and measuring methods. The second part is devoted to the description and possibilities of using the rc2000 learning system. The third part contains a design of a set of measurement tasks in the electro technical laboratory, including the relevant measurement methodology. The last part presents the research of the addressed issues and the relevant conclusions are drawn following the analysis of the results.

The publication is primary intended for students of teacher training at the Faculty of Natural Sciences of Matej Bel University in Banská Bystrica and for students of engineering study programs at the Faculty of Mechanical Engineering of University of Zielona Góra. However, the monograph is also addressed for students of related study programs, as well as for academic and scientific workers dealing with the issue, and it will also find use in technical practice.

Názov:	<b>Merania v elektrotechnike</b>
Autori:	<b>Ján Pavlovkin Daniel Novák Paweł Bachman</b>
Grafický návrh obálky:	<b>Paweł Bachman</b>
Typografické spracovanie textu:	<b>Ján Pavlovkin Paweł Bachman</b>
Vydanie:	<b>prvé, 2017</b>
Počet strán:	<b>144</b>
Vydavateľ:	<b>Wydawnictwo Instytutu Inżynierii Bezpieczeństwa i Nauk o Pracy Uniwersytetu Zielonogórskiego</b>
Miesto a rok vydania:	<b>Zielona Góra 2017</b>

**ISBN 978-83-941516-5-2  
EAN 9788394151652**



Ing. Ján Pavlovkin, PhD.

Vysokoškolský učiteľ,  
Kordinátor ŠVK, Odborný  
asistent Univerzita Mateja  
Bela,  
Fakulta prírodných vied,  
Katedra techniky a technológií

Kontakt:  
Univerzita Mateja Bela  
Fakulta prírodných vied

ul. Tajovského 40  
974 01 Banská Bystrica

e-mail: Jan.Pavlovkin@umb.sk

tel.: 0042 148 446 7218



doc. JUDr. Ing. Daniel Novák,  
CSc.

Vysokoškolský učiteľ, Garant  
študijného programu Učiteľstvo  
technickej výchovy a garant  
študijného programu Učiteľstvo  
praktickej prípravy, Docent  
Univerzita Mateja Bela,  
Fakulta prírodných vied,  
Katedra techniky a technológií

Kontakt:  
Univerzita Mateja Bela  
Fakulta prírodných vied

ul. Tajovského 40  
974 01 Banská Bystrica

e-mail: Daniel.Novak@umb.sk

tel.: 0042 148 446 7218



dr inż. Paweł Bachman

Vysokoškolský učiteľ,  
Univerzita Zelenohorská,  
Fakulta strojnícka, Inštitút  
bezpečnostného inžinierstva a  
vied o práci, Katedra  
bezpečnosti technických  
systémov

Kontakt:  
Uniwersytet Zielonogórski  
Wydział Mechaniczny  
Instytut Inżynierii  
Bezpieczeństwa i Nauk o  
Pracy

ul. Prof. Z.Szafrana 4  
Sekretariat IIBNP  
65-516 Zielona Góra

e-mail:  
P.Bachman@iibnp.uz.zgora.pl

tel.: 0048 68 328 22 00  
fax: 0048 68 328 47 10

ISBN 978-83-941516-5-2