

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**  
**FAKULTA STROJNÍ**



# ELEKTROTECHNIKA - CVIČENÍ

---

Ing. Jan Vaňuš Ph.D.

Ing. Roman Hrbáč Ph.D.

Ing. Tomáš Mlčák Ph.D.

**Ostrava 2013**



Název: ELEKTROTECHNIKA - CVIČENÍ  
Autoři: Ing. Jan Vaňuš Ph.D., Ing. Roman Hrbáč Ph.D., Ing. Tomáš Mlčák Ph.D.  
Vydání: první, 2013  
Počet stran: 85  
Náklad: 5

Jazyková korektura: nebyla provedena.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.**



*Název:* Modernizace výukových materiálů a didaktických metod

*Číslo:* CZ.1.07/2.2.00/15.0463

*Realizace:* Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

© Ing. Jan Vaňuš Ph.D., Ing. Roman Hrbáč Ph.D., Ing. Tomáš Mlčák Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3048-3



MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD  
CZ.1.07/2.2.00/15.0463

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA STROJNÍ**



# ELEKTROTECHNIKA - CVIČENÍ

---

## Obecný úvod

Ing. Jan Vaňuš Ph.D.

Ing. Roman Hrbáč Ph.D.

Ing. Tomáš Mlčák Ph.D.

Ostrava 2013

© Ing. Jan Vaňuš Ph.D., Ing. Roman Hrbáč Ph.D., Ing. Tomáš Mlčák Ph.D.  
© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
ISBN 978-80-248-3048-3



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

## OBSAH

<b>1</b>	<b>OBECNÝ ÚVOD .....</b>	<b>3</b>
1.1	ÚVOD.....	5
1.1.1	Řád Laboratoří .....	5
1.1.2	Požadavky na práci v laboratoři a vypracování protokolů .....	6
1.2	Popisy jednotlivých měřicích programů na PC .....	9
1.2.1	Teoretický úvod .....	9
1.2.2	Stručně o měřicích počítačích.....	9
1.2.3	Popisy jednotlivých programů .....	10
1.3	Měřicí přístroje – popis .....	16
1.3.1	Popis digitálního multimetru.....	16
1.3.2	Popis analogového wattmetru EL20 .....	16
1.4	Měřicí stoly – popis .....	17
1.4.1	Měřicí pulty – klidový stav .....	17
1.4.2	Nastavení měřícího pultu při měření stejnosměrných obvodů.....	18
1.4.3	Nastavení měřícího pultu při měření jednofázových střídavých obvodů.....	19
1.4.4	Nastavení měřícího pultu při měření trojfázových střídavých obvodů.....	19
<b>2</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>21</b>



# 1 OBECNÝ ÚVOD



## OBSAH KAPITOLY:

Obecný úvod k měřicím počítačům

Řád laboratoří

Požadavky na práci v laboratoři a vypracování protokolu

Požadavky na práci v laboratoři

Požadavky na vypracování protokolu

Popisy jednotlivých měřicích programů na PC

Teoretický úvod

Stručně o měřicích počítačích

Popisy jednotlivých programů

Osciloskop

Fázoroskop

Oscilograf

Přednastavení

Měřicí přístroje – popis

Měřicí stoly – popis

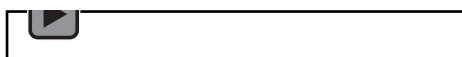


## MOTIVACE:

V následujícím textu získají studenti informace o pravidlech absolvování laboratorních měření. Dále jsou zde vysvětleny požadavky na způsob vypracování protokolů. Pro jednodušší orientaci v laboratoři je vysvětlen způsob obsluhy jednotlivých pracovních stolů, jsou zde popsány jednotlivé měřicí přístroje a programy na PC, určené pro měření zadaných veličin



Audio 1.1 Motivace



**CÍL:**

Pravidla chování v laboratořích katedry Elektrotechniky,

pravidla pro vypracování protokolu z měření, zpracování naměřených hodnot, vypracování grafů, tabulek, závěru,

popis digitálních multimetrů,

popis analogového wattmetru,

popis programů na PC „osciloskop“, oscilograf, fázoroskop“ pro měření jednotlivých laboratorních úloh,

popis pracovních stolů.



## 1.1 ÚVOD

V laboratořích katedry Elektrotechniky na FEI VŠB TU byla vytvořena jednotlivá pracoviště pro měření základních veličin napětí  $U$ , proudu  $I$ , odporu  $R$ , výkonu  $P$  a pro ověřování základních zákonů Elektrotechniky v laboratorních úlohách:

- stejnosměrné obvody,
- přechodové děje,
- střídavé obvody,
- trojfázové obvody,
- jednofázové usměrňovače,
- transformátory a
- ovládání pásových dopravníků.

Základní elektrotechnické veličiny jsou v jednotlivých úlohách měřeny pomocí analogových nebo digitálních multimetrů. Dále jsou pro měření použity měřicí počítače s měřicí sondou a se speciálně vytvořeným software, který je popsán v dalším textu.

### 1.1.1 Řád Laboratoří

Řád laboratoří Katedry elektrotechniky – 420, FEI, VŠB TU Ostrava. Ustanovení laboratorního řádu pro laboratoře E328, F328.

1. Student smí do laboratoře vstoupit pouze v doprovodu vyučujícího, a to ve vhodném ustrojení a ve střízlivém stavu. Student nesmí absolvovat výuku pod vlivem alkoholu nebo návykových látek. Oděvní svršky a tašku si odloží buď předem v šatně, nebo na místo v laboratoři k tomu určené a to vždy při příchodu do laboratoře.
2. V laboratoři musí studenti vždy respektovat pokyny vyučujícího, popř. pokyny určeného vedoucího skupiny. Student má za povinnost neprodleně oznámit vyučujícímu závady a nedostatky, které by mohly ohrozit bezpečnou práci. Student neprodleně ohlásí vyučujícímu (vedoucímu pracoviště, preventistovi BOZP) jakékoliv poranění, či újmu, ke které došlo při plnění školních povinností nebo v přímé souvislosti s nimi.
3. Student se musí podrobit proškolení a přezkoušení znalostí v rozsahu stanoveného bezpečnostním předpisem pro práci v laboratořích. Student musí dále dodržovat v učebnách a v laboratořích veškeré bezpečnostní předpisy a zásady bezpečné činnosti.
4. Studenti jsou povinni se před příchodem do laboratoře řádně seznámit se správnou manipulací s přístroji při měření jednotlivých úloh ze skript, z návodů, z výkladů na přednáškách a cvičeních, nebo z doporučené literatury, tak aby je mohli bezpečně užívat ke splnění cílů laboratorních úloh. Jakákoliv manipulace se zařízením laboratoře je povolena jen se souhlasem vyučujícího.
5. Ovládací obvody laboratoře, popřípadě laboratorního stolu smí zapínat pouze vyučující.
6. Zapojovat a přepojovat přístroje a zařízení je dovoleno jen ve stavu bez napětí (bez připojených zdrojů), Zapínat zdroj je možné vždy pouze po kontrole zapojeného obvodu vyučujícím.
7. Studenti jsou povinni sledovat při měření stav přístrojů a zařízení a v případě nebezpečí neprodleně vypnout ovládací obvody laboratorního pultu (laboratoře) bezpečnostním tlačítkem (hlavním vypínačem) k tomu určeným.
8. Studentům je přísně zakázáno dotýkat se neizolovaných částí pod napětím.
9. Je dovoleno zdržovat se jen na vyhrazeném stanovišti. Opouštět svévolně pracoviště, či hovory mezi studenty různých měřicích stanovišť je zakázáno.
10. V laboratoři je přísně zakázáno jíst, pít nebo kouřit, či znečišťovat prostředí.



11. Opustit laboratoř je dovoleno jen se souhlasem vyučujícího, zpravidla po skončení výuky a to po splnění zadaného úkolu a předání uklizeného měřicího stanoviště vyučujícímu. V ostatních případech lze se souhlasem vyučujícího opustit stanoviště (laboratoř) jen po nezbytnou dobu.
12. Škody způsobené nedbalostí a nedodržením tohoto laboratorního řádu budou připsány studentům k úhradě a na nich organizací právně vymáhány.
13. Není-li si student jist svými schopnostmi nebo zdravotním stavem, oznámí to před vlastní činností v laboratoři vyučujícímu a nesmí na elektrickém zařízení provádět žádnou činnost.
14. Z výpočetního cvičení, z praktického nebo z laboratorního cvičení může být student bez náhrady vyloučen, jestliže:
  - a) nedodrží zásady bezpečné činnosti,
  - b) není řádně připraven na měření, projevuje nezáměr, nekázeň a nepozornost při výkladu a vlastní
  - c) činnosti laboratorního měření, či jinak narušuje laboratorní řád,
  - d) je pod vlivem alkoholu nebo omamných látek.

## 1.1.2 Požadavky na práci v laboratoři a vypracování protokolů

### 1.1.2.1 Práce v laboratoři

V laboratoři smí pracovat jen studenti s platným přezkoušením z §4 a výše Vyhláška 50/1978 Sb. pod dohledem či dozorem učitele. Studenti musí být seznámeni:

- s provozním řádem laboratoře,
- s nouzovým vypínáním rozvodu elektřiny,
- s umístěním hasicích prostředků,
- s umístěním telefonu a lékárničky,
- se zásadami první pomoci při úrazu elektrickým proudem.

Doporučení pro cvičení – zavést si sešit (příprava ke zkoušce). Cvičení sestává ze tří částí:

- domácí příprava,
- práce v laboratoři,
- zpracování výsledků měření.

Doporučení pro domácí přípravu:

- Vypracuje se předem písemně do sešitu pro potřeby přípravy ke zkoušce.
- Základem pro domácí přípravu je „Teoretický úvod“ v sylabu Laboratorních úloh. Uveďte základy teorie včetně matematických vztahů, principiálních schémat i skutečné schéma zapojení. Příprava má být stručná a výstižná.
- Bez učebního textu k laboratorní úloze není možné cvičení absolvovat.

Doporučení pro práci v laboratoři:

- Na pracovišti jsou připraveny všechny potřebné přístroje a příslušenství.
- S měřicími přístroji je nutné zacházet šetrně.
- Dokončené zapojení si nechte před připojením zdrojů zkontrolovat učitelem.
- Během měření dodržujte zásady bezpečnosti práce.
- Nepřepojujte obvody pod napětím.
- Naměřené hodnoty zaznamenávejte přehledně a čitelně do tabulek; vzory tabulek jsou uvedeny v učebních textech.
- Do schématu zapojení v přípravě dopište typy skutečně použitých přístrojů a ostatních obvodových prvků.





Je nutné pořádit si seznam použitých přístrojů, který obsahuje:

- název a typ přístroje
- výrobní číslo, je-li uvedeno

U měřicích přístrojů zaznamenejte:

- druh a typ přístroje
- výrobce a výrobní číslo
- princip - značku soustavy (u analogových měřicích přístrojů)
- údaje o přesnosti přístroje
- případně další údaje (vnitřní odpor...)

### 1.1.2.2 Zpracování výsledků měření

Písemné zpracování má mít formu technické zprávy, obsahující:

- zadání (viz „Úkol“ v podkladech k laboratorní úloze),
- skutečné schéma zapojení,
- teoretický úvod (viz Domácí příprava),
- postup měření,
- tabulky naměřených a vypočtených hodnot,
- příklady výpočtů,
- seznam použitých přístrojů,
- grafy s popisem os a s popisem naměřených veličin (legenda),
- zhodnocení měření.

Doporučení pro zpracování tabulek:

- Tabulky je třeba uspořádat čitelně a přehledně, aby z nich bylo možné vyčíst všechny požadované hodnoty.
- Veličiny a jednotky uvádějte podle ustálených zvyklostí v soustavě SI (ČSN ISO 80000-1).
- Za tabulku vypočtených hodnot vždy uveďte obecný vztah a příklad výpočtu hodnot jednoho řádku tabulky.

Doporučení pro vypracování grafů:

- Grafy lze vypracovat buď na milimetrový papír, nebo pomocí počítače (Excel, ...).
- Je třeba vhodně zvolit typ grafu, měřítko os a způsob proložení zobrazených bodů. Většinou se body spojují plynule, případně se mezi nimi prokládá křivka zvoleného tvaru.
- Osy grafu musí být řádně označeny, aby bylo zřejmé, jakou veličinu vyjadřují.
- Součástí grafu je nadpis. Pokud je v jednom grafu zakresleno více křivek, musí být zřetelně označeny a odlišeny.
- Zobrazené veličiny v grafu, pokud je jich více, je nutné označit, popřípadě graf opatřit legendou.

Doporučení pro zhodnocení měření – závěr:

- Stručný, ale výstižný rozbor naměřených a vypočtených hodnot. Musí korespondovat se zadáním úlohy.
- Nemá být kvalifikační podmínky měření, ale zhodnocením naměřených parametrů a jejich teoretickým zdůvodněním.
- Pokud je výsledkem měření jen málo hodnot, je vhodné je do závěru zopakovat. V případě, že jde o rozsáhlé výsledky (tabulky, grafy), stačí na ně uvést odkaz.



- Součástí závěru by měla být i úvaha o přesnosti provedeného měření s uvedením možných zdrojů chyb, tedy zhodnocení věrohodnosti získaných výsledků.

STUDIJNÍ SKUPINA	NÁZEV ÚLOHY	JMÉNO A PŘÍJMENÍ
DATUM MĚŘENÍ		
40 mm		40 mm
<p>ZADÁNÍ</p> <p>SCHÉMA ZAPOJENÍ</p> <p>POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE</p> <p>TEORETICKÝ ROZBOR (Krátce uvést analýzu teoretických poznatků problematiky, které se laboratorní úloha týká.)</p> <p>POSTUP MĚŘENÍ (Krátce a výstižně popsat postup, kterým bylo měření prováděno.)</p> <p>TABULKY (Uvedené tabulky musí chronologicky obsahovat všechny hodnoty, zadané nebo jinak zjistitelné/ např. ze štítku/, naměřené a vypočtené.)</p> <p>PŘÍKLAD VÝPOČTU (Uvést praktický příklad výpočtu jednoho řádku - zvolený řádek pak podtrhnout. Příklad uvést vždy pro každý nový vztah!!!)</p> <p>GRAFY (Podle zadání zakreslit graficky všechny požadované funkční závislosti, resp. fázorové diagramy v Gaussově komplexní rovině. Grafické vyjádření musí obsahovat označení funkčních závislostí, označení os, včetně jednotek a označení fázorů. Součástí grafického vyjádření jsou uvedená měřítka úměrnosti zobrazovaných veličin.)</p> <p>ZHODNOCENÍ MĚŘENÍ (Provést důkladné zhodnocení měření - srovnat teoretické předpoklady s výsledky, získané měřením - pokusit se na základě odborných znalostí vysvětlit shodu, případně difference či nesoulad.)</p>		

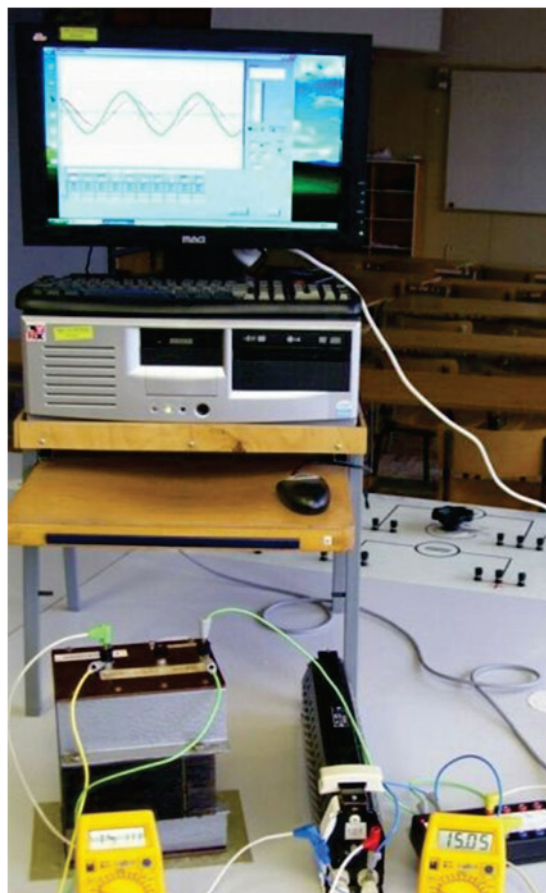
Obr. 1.1 Doporučený vzor protokolu.



## 1.2 POPISY JEDNOTLIVÝCH MĚŘICÍCH PROGRAMŮ NA PC

### 1.2.1 Teoretický úvod

Počítače mohou sloužit nejen k psaní textů, procházení internetu, či hraní her, ale také například k měření elektrických, případně i neelektrických veličin. Aby mohl počítač měřit, musí být vybaven hardwarem, který umožní převod elektrické veličiny na číselné hodnoty, které pak počítač zpracuje. Obecně se takové zařízení nazývá analogově-digitální (AD) převodník. Tento převodník může být uvnitř počítače, například měřicí karta, nebo venku, například externí měřicí převodníky, nebo některé lepší digitální multimetry. Počítač pro měření musí být vybaven vhodným programovým vybavením (softwarem), které komunikuje s měřicími převodníky a zpracovává údaje z nich. Takový počítač vybavený měřicím převodníkem (převodníků může být i více) a vhodným softwarem tvoří takzvaný **virtuální měřicí přístroj**. Vlastnosti a schopnosti tohoto přístroje jsou do značné míry dány právě programovým vybavením, takže pouhou změnou programu může plnit několik různých funkcí.



Obr. 2.1 Měřicí sestava s multimetry, PC a vstupní krabičkou.

### 1.2.2 Stručně o měřicích počítačích

Počítače pro měření v naší laboratoři jsou vybaveny měřicí kartou (uvnitř počítače), nebo externím měřicím převodníkem připojeným k portu USB. Obě řešení se chovají stejně, použitý software je stejný, uživatel si nemusí rozdílů vůbec všimnout. Za měřicím převodníkem (kartou) je připojen vstupní díl (krabička), která slouží k připojení měřených proudů a napětí. Počítače jsou vybaveny operačním systémem WindowsXP. Naměřená data je možné ukládat na USB Flash disk. V měřicích programech i na měřicí krabičce jsou jednotlivé kanály označovány následovně:  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$ ,  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $U_4$ .



Kanály jsou odlišeny i barevně, proudy jsou na obrazovce zobrazeny tlustými čarami, napětí tenkými.

Měřicí rozsahy měřicí krabičky:

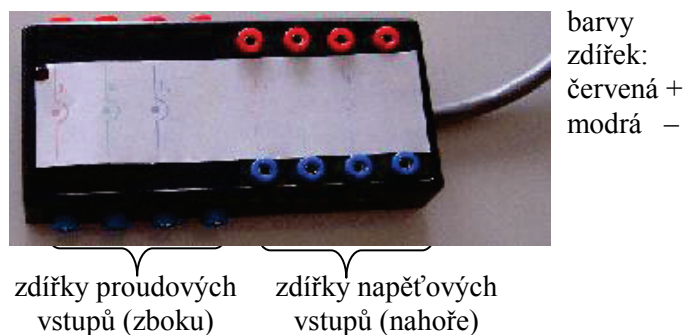
- Napětí do 100 V amplituda.
- Proudů 3 A amplituda.

Do těchto hodnot měří zařízení s chybou zhruba do 2 %. Po překročení těchto hodnot již zařízení měří s velkou chybou – signál je ořezáván.

Mezní hodnoty z hlediska nadproudové a přepětové odolnosti jsou:

- Proudové vstupy – 5 A efektivní hodnota a 10 A amplituda.
- Napětíové vstupy 400 V efektivní hodnota i amplituda.

Pro měření proudů jsou v měřicí krabičce (viz obr. 2) čidla s Hallovými sondami (lidově LEM čidla), která potřebují napájení. Pro napájení je ke krabičce připojen síťový adaptér. Je-li zapojen, svítí na krabičce červená LED. Pokud zařízení neměří proudy správně, zkontrolujte připojení adaptéru!

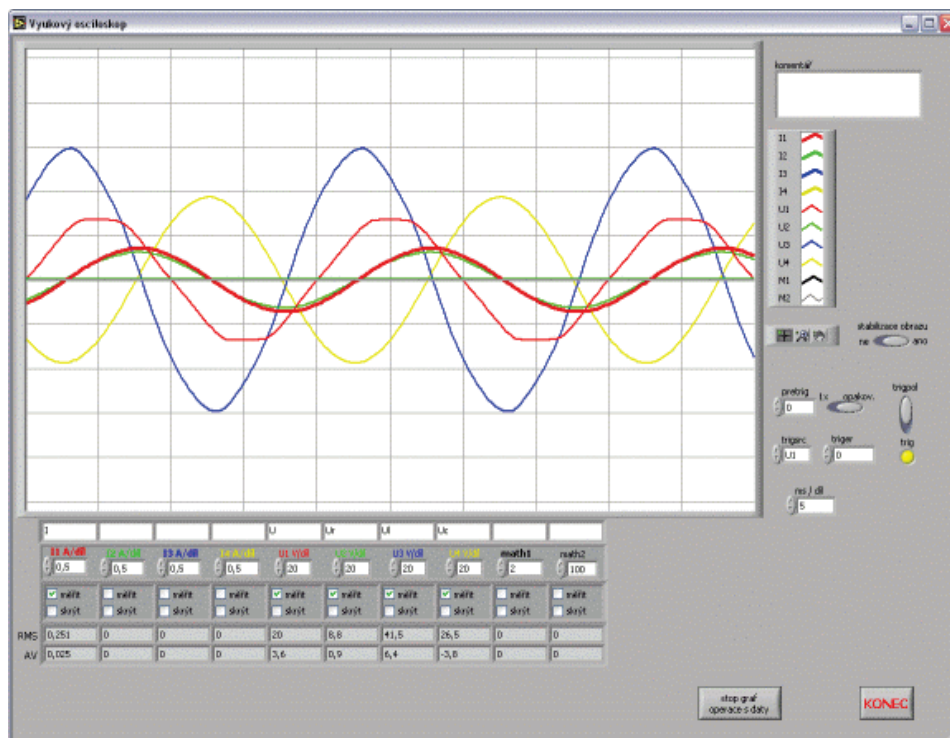


Obr. 2.2 Vstupní krabička pro připojení napětí a proudů.

### 1.2.3 Popisy jednotlivých programů

Programy jsou vytvořeny jako několik samostatných programů:

- Osciloskop – 8kanálový osciloskop pro zobrazení průmyslových kmitočtů, (do 100 Hz),
- Oscilograf – podobný jako osciloskop, pro pomalejších děje, řádově v desetinách až desítkách sekund.
- Fázoroskop – zobrazuje fázorový diagram měřených proudů a napětí pro kmitočet 50 Hz.
- Přednastavení – umožňuje zálohovat konfiguraci všech programů pro konkrétní laboratorní úlohu a pak ji jedním kliknutím znovu nastavit.
- Programy se spouštějí z plochy počítače (na ploše jsou vytaženi zástupci programů).
- Všechny programy se ovládají myší a částečně z klávesnice, jak je ve Windows zvykem.

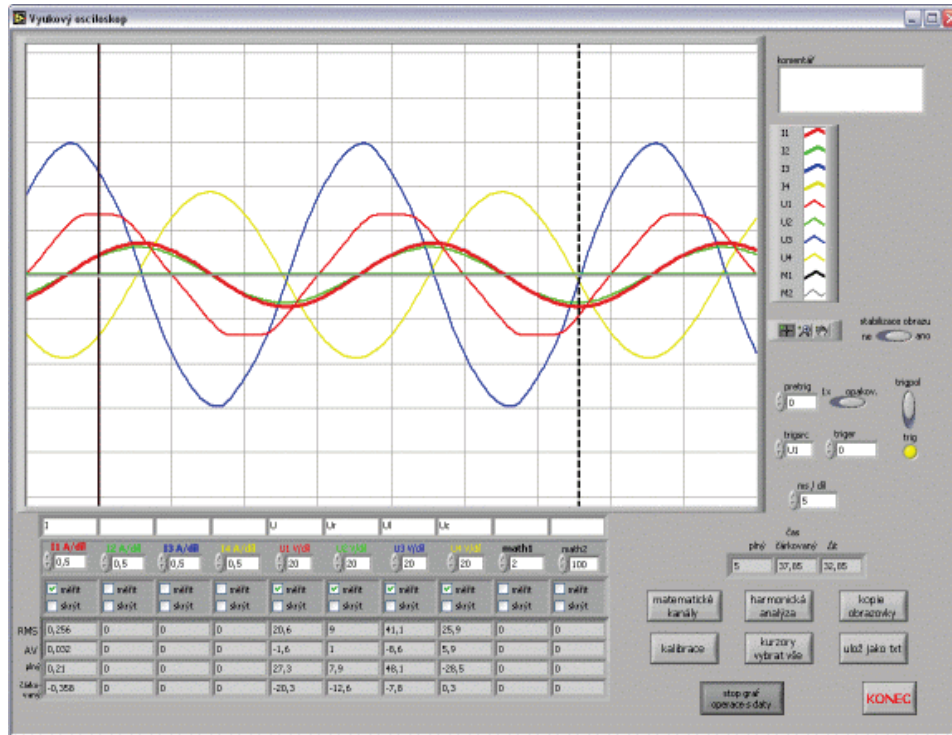


Obr. 2.3 Spuštěný program „Osciloskop“.

#### Důležitá upozornění:

- Nelze spouštět dva měřicí programy současně. Oba se sice spustí, ale nepracují správně.
- Programy lze ukončit buďto tlačítkem „KONEC“, nebo klasickým „Windowsovským“ křížkem v pravém horním rohu okna. Korektní způsob je tlačítkem „KONEC“, v tomto případě program uloží svoje nastavení a při příštím spuštění se rozjede opět s tímto nastavením. Když ukončíte program křížkem, nastavení se neuloží. Totéž platí pro uzavírání různých dialogových oken v programech (nezavírat je křížkem).
- Když se v některém měřicím programu otevře jakékoli dialogové okno (např. kalibrace nuly proudových čidel, nebo harmonická analýza), činnost hlavního okna programu se zastaví.
- Když potom kliknete na hlavní okno, otevřené dialogové podokno se vám skryje za hlavním oknem, ale program je stále zastavený. Je nutné nejprve uzavřít dialogové okno, většinou tlačítkem „ZPĚT“ nebo „OK“.

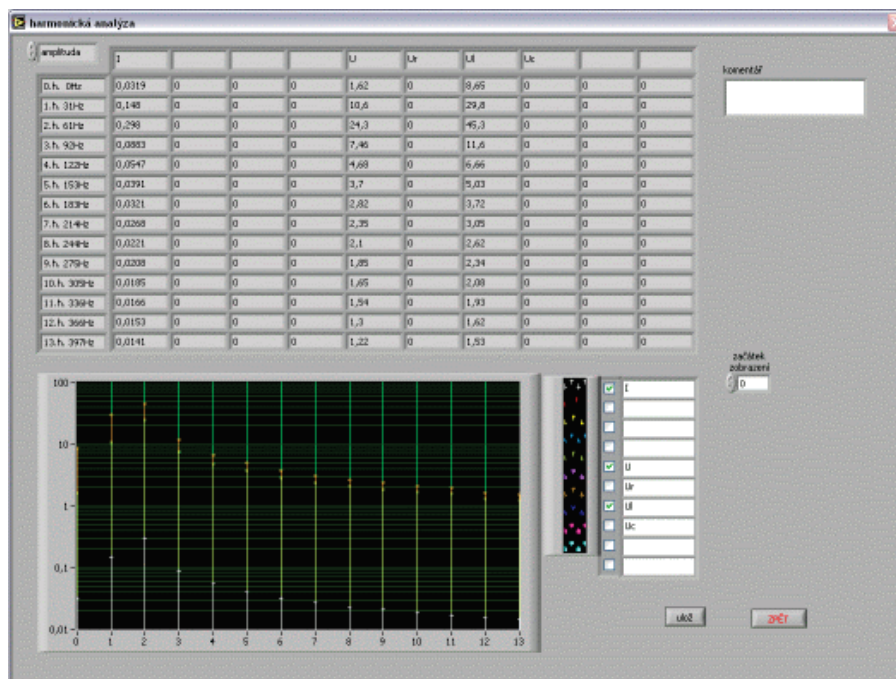




Obr. 2.4 Zastavený program „Osciloskop“.

### 1.2.3.1 Osciloskop

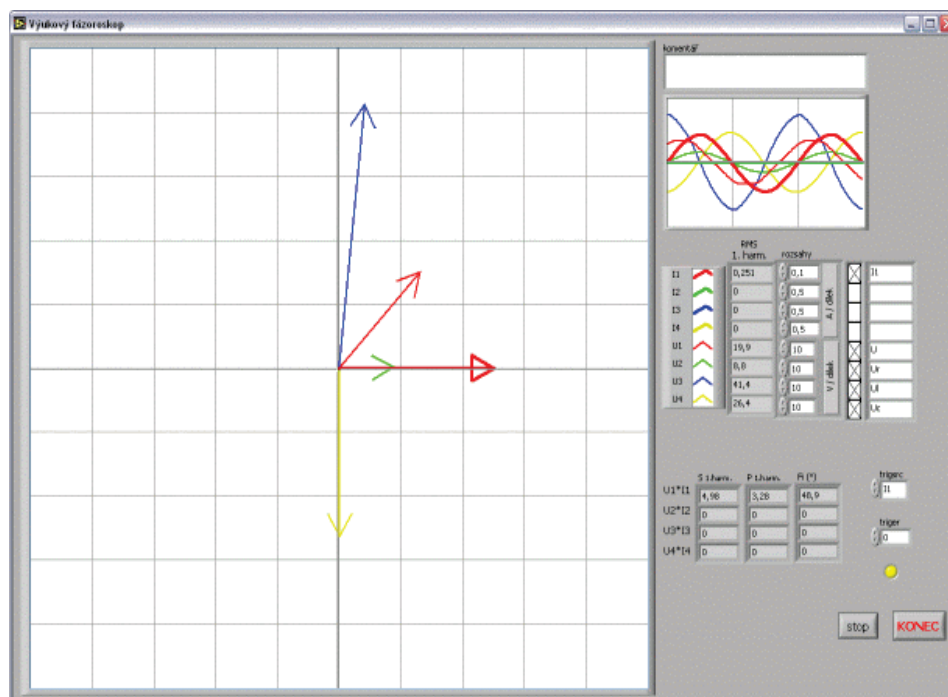
Program slouží k zobrazení časových průběhů proudů a napětí. (Na vodorovné ose se zobrazuje čas, na svislé ose velikost proudu či napětí.) Program je vhodný pro kmitočty asi od 10 do 100 Hz. Na obrazovce se zobrazí záznam 200 vzorků. Osciloskop může zobrazovat až 8 měřených kanálů, pokud je u všech zatrženo políčko měřit. Čím méně kanálů se měří, tím může být měření rychlejší a obraz na obrazovce je přehlednější.



Obr. 2.5 Okno pro harmonickou analýzu.



Program umožňuje vytvořit i dva matematické kanály, ty mohou například počítat okamžitou hodnotu výkonu (jako součin okamžité hodnoty napětí a proudu) a podobně. Každý kanál je možné pojmenovat, k měření je možné zadat i komentář, který se pak ukládá do souboru spolu s naměřenými daty. Program osciloskop umožňuje poměrně pokročilé nastavení trigeru – spuštění měření. (Trigger je nutný pro to, aby obraz na obrazovce stál. Význam trigeru je blíže vysvětlen dále.) Je možné i jednorázové měření, například pro zaznamenání přechodného děje. Bližším popisem nastavení trigeru se zde nebudeme zabývat, je podobné jako u továrních osciloskopů. V dolní části obrazovky se zobrazují střední a efektivní hodnoty měřených proudů a napětí. Střední i efektivní hodnoty se počítají z intervalu, který je zobrazen na obrazovce. (Proto např. v případě na výše uvedeném obrázku, kde je na obrazovce zachyceno 2,5 periody střídavých průběhů s nulovou střední hodnotou, nevychází střední hodnota nula, i když ve skutečnosti nulová je).



Obr 2.6 Program “Fázoroskop”.

Pokud program zastavíme tlačítkem „stop graf práce s daty“, program se zastaví a máme další možnosti, co s naměřenými daty dělat.

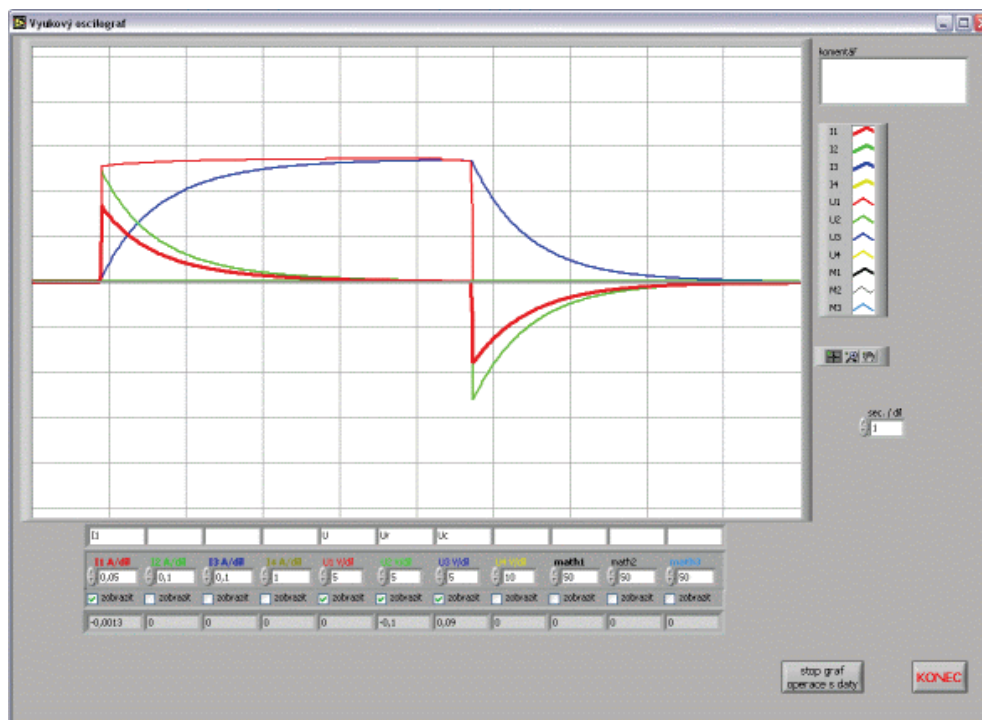
- V okně osciloskopu se objeví dvě čáry – kurzory, kterými jde pohybovat pomocí myši a odečítat hodnoty. Efektivní a střední hodnota zobrazená v dolní části obrazovky je nyní pouze z části mezi kurzory.
- Máme možnost uložit kopii obrazovky do souboru typu PNG (tento formát lze dnes běžně otevřít ve většině programů pro práci s grafikou).
- Další možnost je uložit naměřená data do textové tabulky (soubor s příponou TXT), např. pro další zpracování v tabulkovém procesoru (např. Excel). Zde pozor, uloží se jen část dat mezi kurzory. Před ukládáním je nutné pomocí kurzorů vybrat celou oblast, kterou chceme uložit.
- Je možné zkalibrovat nuly proudových kanálů. Díky použitým proudovým čidlům s Hallovými sondami může být trochu posunuta nula proudu u proudových kanálů. Stisknutím tlačítka kalibrace je možné ji zkalibrovat přesně na nulu. Pozor, při kalibraci nesmí proudovými kanály protékat žádný proud.



- Je možné nastavit matematické kanály. Tedy, jak se bude hodnota matematického kanálu vypočítávat. Nebudeme zde popisovat, jak se to dělá, je potřeba si to vyzkoušet (to je pro učitele než pro studenty).
- Poslední možnost je harmonická analýza úseku mezi kurzory. Pozor, pro správnou harmonickou analýzu je nutné zabrat kurzory přesně jednu periodu. Harmonická analýza počítá jak amplitudy, tak fáze harmonických složek. Výsledky harmonické analýzy je možné uložit do textového souboru.

#### Poznámka: Co je to trigger

Aby byl obraz na osciloskopu ustálený, začíná vždy měřit v okamžiku, kdy hodnota určitého kanálu dosáhne zadané hodnoty (např. při průchodu nulou - na začátku periody). Tomuto odstartování měření se říká trigger. V programu „Osciloskop“, je možné nastavit, podle kterého kanálu se bude trigrovat od jaké hodnoty nebo polarity. Také lze nastavit, kolik vzorků se má zaznamenat před triggerem.



Obr. 2.7 Program „Osciloskop“.

Pokud hodnota měřeného kanálu nedosáhne v rozumné době trigrovací hodnoty a není nastaveno měření „1x“, program začne měřit i bez triggeru, obraz potom poskakuje.

Je-li nastaveno měření „1x“ program čeká na dosažení hodnoty triggeru tak dlouho, dokud nenastane a pak se po změření jedné obrazovky zastaví. Toho lze využít zejména pro měření přechodných dějů.

#### **1.2.3.2 Fázoroskop**

Program „Fázoroskop“, zobrazuje fázorový diagram měřených proudů a napětí pro kmitočet 50 Hz. Velikost fázorů odpovídá efektivní hodnotě proudů a napětí.

Fázory napětí jsou nakresleny tenkou čarou s otevřenou šipkou, fázory proudů tlustou čarou s uzavřenou šipkou. Program vypisuje efektivní hodnoty prvních harmonických složek proudů a napětí. Kromě toho počítá a zobrazuje i činný a zdánlivý výkon prvních harmonických a fázový posun  $\varphi$  mezi napětím a proudem.

A to vždy pro první kanál proudu a napětí, druhý kanál proudu a napětí a tak dále. Počítá se ze vztahů  $P=U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$  a  $S=U \cdot I$ . Pokud je proud nebo napětí nulové, výkon se nezobrazí.





Když je některý fázor příliš malý, nevykreslí se. V tom případě je potřeba přepnout konstantu příslušného kanálu – zvýšit citlivost kanálu.

Pokud program zastavíme tlačítkem stop, máme možnost uložit kopii obrazovky jako obrázek PNG, nebo uložit hodnoty fázorů do textového souboru. Ukládají se ve formátu *efektivní hodnota a fázový posun*. Fázový posun je zde počítán od počátku souřadnicových os.

Chceme-li pak z uložených hodnot vypočítat vzájemný fázový posuv např. prvního napětí a prvního proudu, musíme jejich fázové posuvy od sebe odečíst.

### 1.2.3.3 Oscilograf

Program slouží k zobrazení pomalých průběhů od jedné desetiny sekundy do několika desítek sekund. Zobrazení i ovládání je podobné jako u programu *Osciloskop*. Oscilograf nemá ale žádný trigger, zobrazuje se stále – průběžně. Je možné také uložit data do textového souboru, nebo kopii obrazovky, podobně jako u *Osciloskopu* nebo *Fázoroskopu*. Dále je možné provést zkalibrování nuly proudových kanálů – tak jako u *Osciloskopu*.

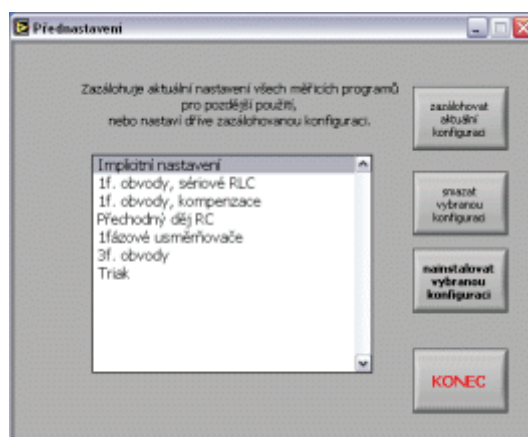
Po zastavení také můžeme vyvolat funkci pro harmonickou analýzu.

Pozor, harmonická analýza se provádí pouze z úseku označeného kurzory. Pokud chceme naměřené hodnoty uložit do souboru, také se uloží pouze úsek mezi kurzory!

Program oscilograf nezobrazuje přímo změřené (navzorkované) hodnoty, ale počítá střední, nebo efektivní hodnotu za určitý krátký časový úsek (délka tohoto úseku závisí na zvolené časové konstantě).

Při měření stejnosměrných veličin (např. nabíjení kondenzátoru) je nutné nastavit měření středních hodnot, při měření střídavých veličin (např. rozběh asynchronního motoru) je nutné nastavit měření efektivních hodnot. To, jestli program pracuje se středními, nebo efektivními hodnotami lze nastavit pro každý kanál následovně:

1. Program se zastaví tlačítkem „stop graf práce s daty“,
2. Tlačítkem „matematické kanály“ otevřete dialogové okno, kde se kromě definice matematických kanálů zadává i to, zda se měří střední (AV), nebo efektivní (RMS) hodnoty.



Obr. 2.8 Program “Přednastavení”.

### 1.2.3.4 Přednastavení

Výše uvedené měřicí programy ukládají své nastavení (např. jména kanálů, rozsahy kanálů, nastavení časové konstanty atd.) do konfiguračních souborů s příponami „kon“.

Program *Přednastavení* slouží k zazálohování celé sady všech konfiguračních souborů ostatních programů. Zazálohované soubory je možné opět obnovit (rozbalit).

Může být využit např. k tomu, že se vytvoří jedna sada „kon“ souborů pro jednofázové měření, jiná pro trojfázové atd. V každé sadě je zadán jiný počet měřených kanálů, jiné názvy kanálů, a tak dále. Pak je možné jednoduše tato přednastavení přepínat.



## 1.3 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE – POPIS

### 1.3.1 Popis digitálního multimetru

Pro měření elektrického napětí  $U$ , proudu  $I$  a odporu  $R$  slouží ve cvičeních předmětu Elektrotechnika pro měření laboratorních úloh digitální multimetr M3900, (popřípadě další altimetry - Metex M 3800, DMM 3800, 3900, apod). Popis jednotlivých svorek a částí multimetru M3900 je na obrázku 9. Digitální multimetr lze také použít pro měření tranzistorů a proměřování PN přechodů. Přístroj je napájen baterií na 9V. Přístroj je pro měření proudu vybaven dvěma měřicími obvody. Pro rozsah 2A je jištění realizováno tavnou trubičkovou pojistkou 2A. Rozsah pro měření proudu do 20A je nejištěný. Překročením proudu 20A může způsobit zničení přístroje! Při měření napětí a odporu a při testu diod používáme svorky V/ $\Omega$  a COM, pro měření proudů do 2A svorky A a COM, při měření proudu do 20A svorky 20A a COM.



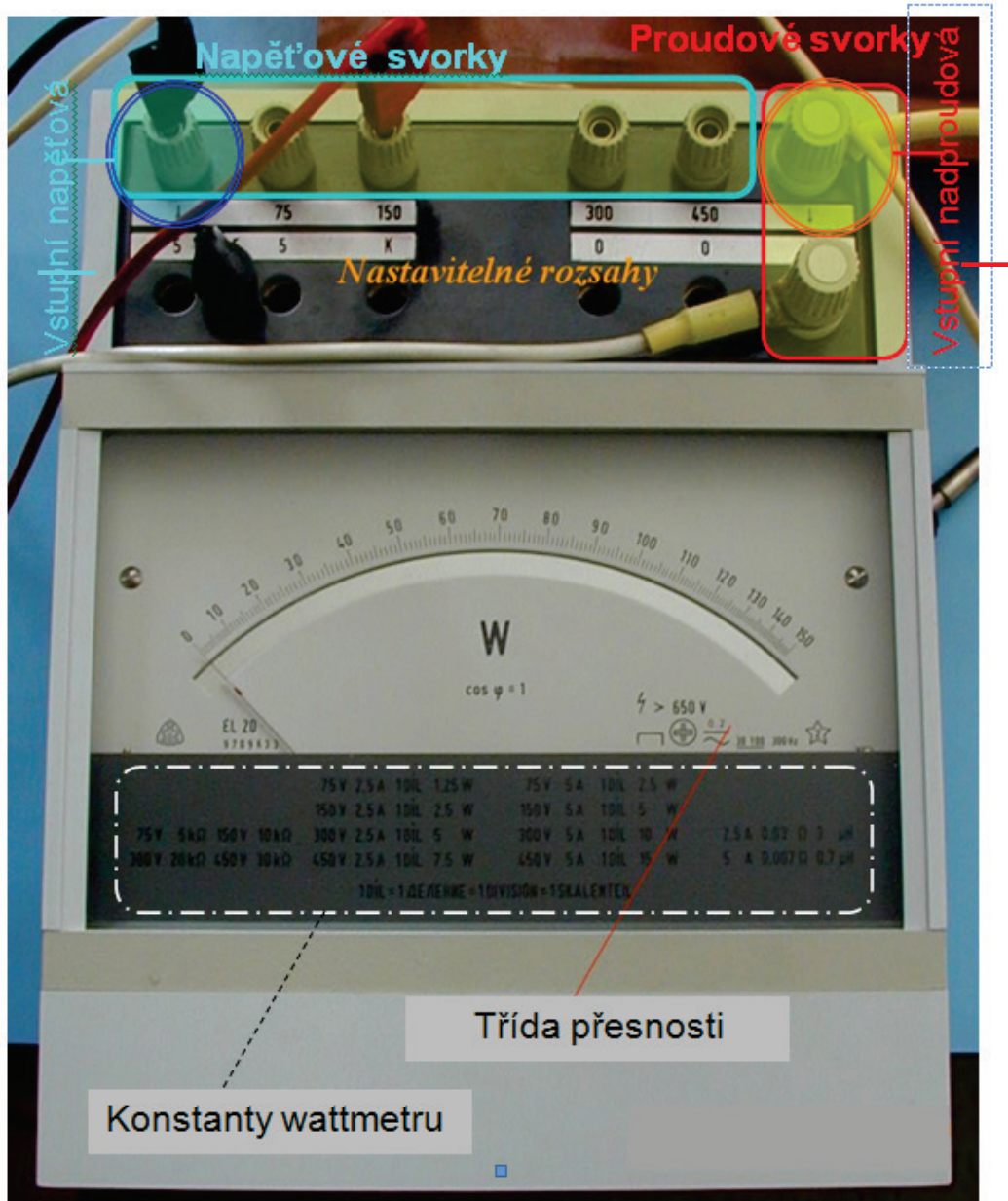
Obr. 3.1 Digitální multimetr M3900.

### 1.3.2 Popis analogového wattmetru EL20

Wattmetr EL 20 je analogový elektrodynamický měřicí přístroj sloužící pro měření elektrického výkonu  $P$ . Napěťové rozsahy jsou 75-150-300-450 V, proudové rozsahy závisí na typu použitého wattmetru, Proudové rozsahy mohou být například 25-50 mA; 100-200 mA; 0,5 – 1 A nebo 2,5 – 5 A. Wattmetr má dvě cívky – napěťovou a proudovou. Napěťová cívka se zapojuje stejně jako voltmetr - do série. Proudová cívka se zapojuje stejně jako ampérmetr - paralelně. Velice důležitý je způsob zapojení cívek, který je třeba přesně dodržet. Z principu elektrodynamického měřicího systému vyplývá, že pro správnou výchylku správným směrem musejí jednotlivými cívkami procházet měřené proudy správným směrem (se správnou fází). Při špatné polaritě cívek neukazuje wattmetr žádnou nebo špatnou



výchylku, popřípadě výchylku v opačném směru (mimo stupnici). Ve schématech pro zapojení wattmetru se u svorek wattmetru označují začátky cívek. Nejčastější označení je pomocí šipek směřujících dolů nebo do wattmetru ( $\downarrow$ ) anebo pomocí teček ( $\bullet$ ). Na měřicích přístrojích se začátek cívek označuje nejčastěji šipkou.



Obr. 3.2 Analogový wattmetr EL20.

## 1.4 MĚŘICÍ STOLY – POPIS

### 1.4.1 Měřicí pulty – klidový stav

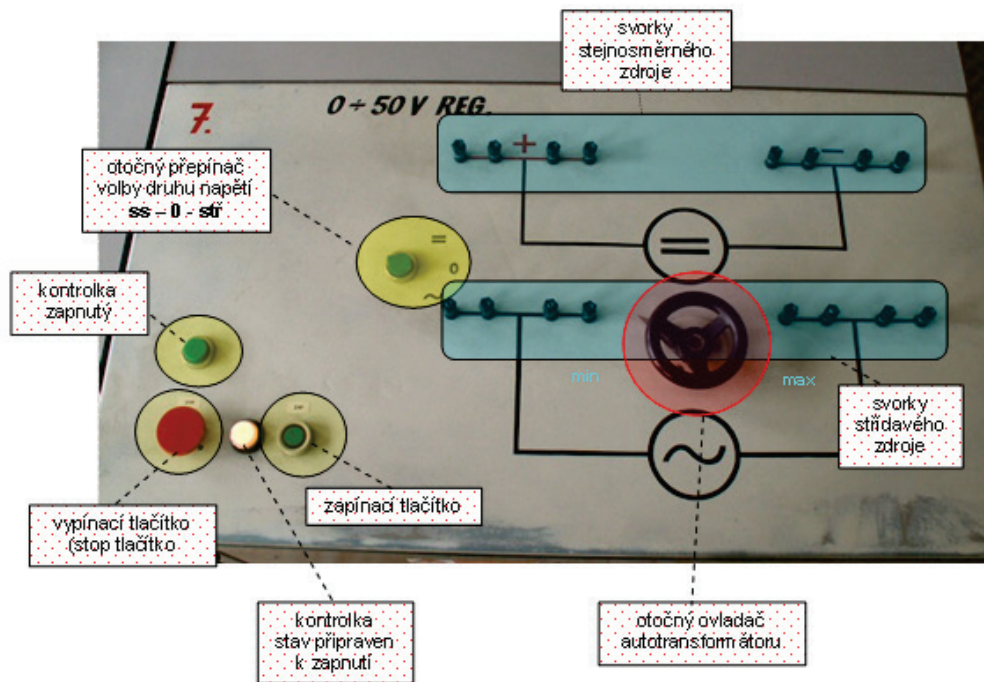
Na obrázku 4.1 je zobrazen popis ovládacích prvků univerzálního měřicího pultu před měřením v klidovém stavu:

- kontrolka stav připraven k zapnutí (bílá) – svítí, nebo nesvítí žádná,
- otočný přepínač volby napětí je v poloze 0,
- otočný ovladač autotransformátoru je na minimum.



Studenti si ihned po zahájení laboratorní výuky zkontrolují stav svěřeného měřicího pracoviště (pultu), případné nedostatky oznámí bezprostředně učiteli, sami bez svolení učitele s ničím nemanipulují.

Je-li pracoviště v pořádku, zahájí na povel učitele práce na příslušné laboratorní úloze tak, aby byly splněny všechny její cíle a zachována bezpečnost a ochrana zdraví při práci s elektrickým proudem!

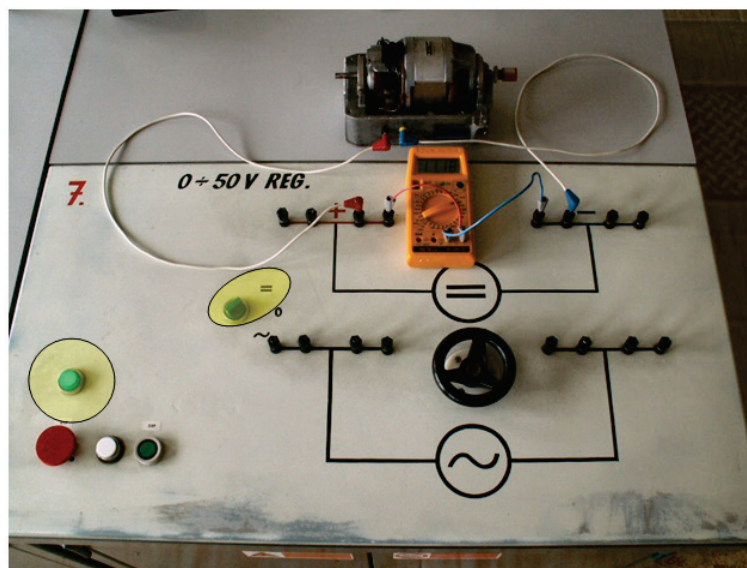


Obr. 4.1 Univerzální měřicí pult před měřením, klidový stav.

#### 1.4.2 Nastavení měřicího pultu při měření stejnosměrných obvodů

Na obrázku 4.2 je zobrazen stav měřicího pultu při měření stejnosměrných obvodů:

- kontrolka (zelená) zapnutý stav – svítí,
- otočný přepínač volby napětí je v poloze =,
- ke svorkám stejnosměrného zdroje je zapojen stejnosměrný obvod.



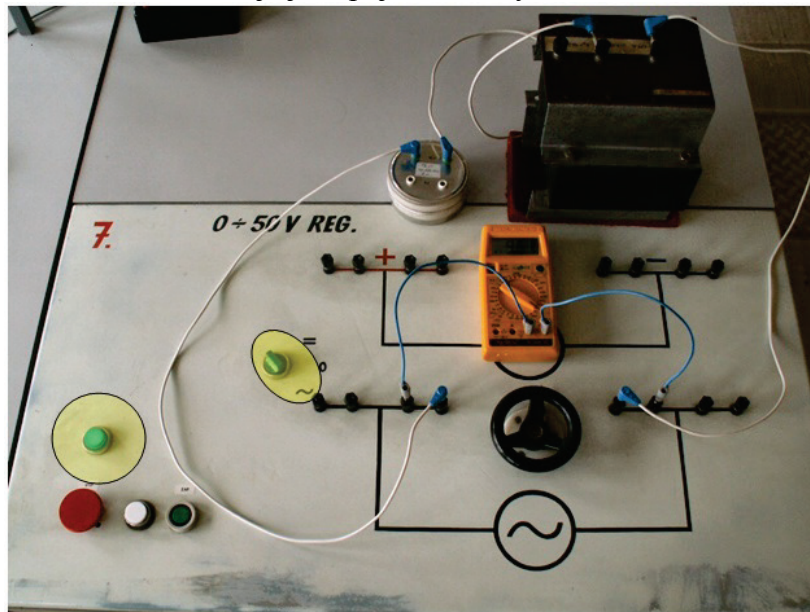
Obr. 4.2 Stav univerzálního měřicího pultu při měření stejnosměrných obvodů.



### 1.4.3 Nastavení měřicího pultu při měření jednofázových střídavých obvodů

Na obrázku 4.3 je zobrazen stav měřicího pultu při měření jednofázových střídavých obvodů:

- kontrolka (zelená) zapnutý stav – svítí,
- otočný přepínač volby napětí je v poloze  $\sim$ ,
- ke svorkám střídavého zdroje je zapojen střídavý obvod.

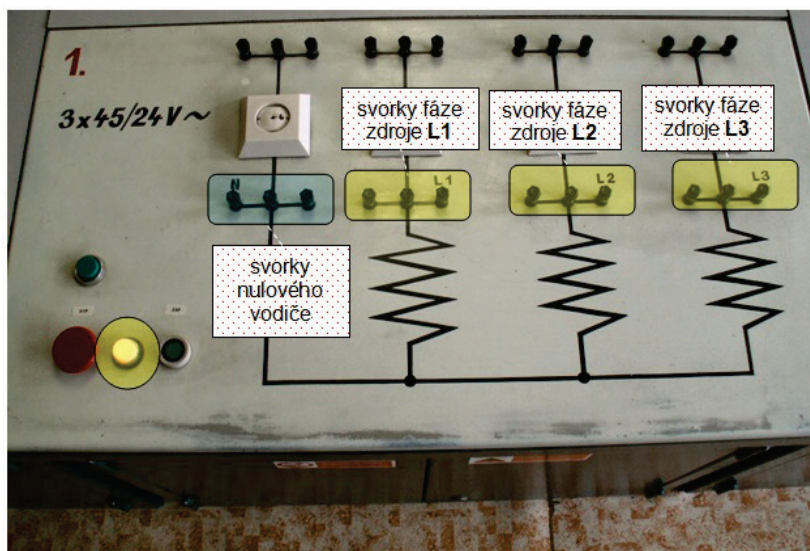


Obr. 4.3 Stav univerzálního měřicího pultu při měření střídavých obvodů.

### 1.4.4 Nastavení měřicího pultu při měření trojfázových střídavých obvodů

Na obrázku 4.4 je zobrazen stav měřicího pultu při měření trojfázových střídavých obvodů v klidovém stavu:

- kontrolka stav připraven k zapnutí (bílá) – svítí, nebo nesvítí žádná,
- ke svorkám není zapojen obvod.



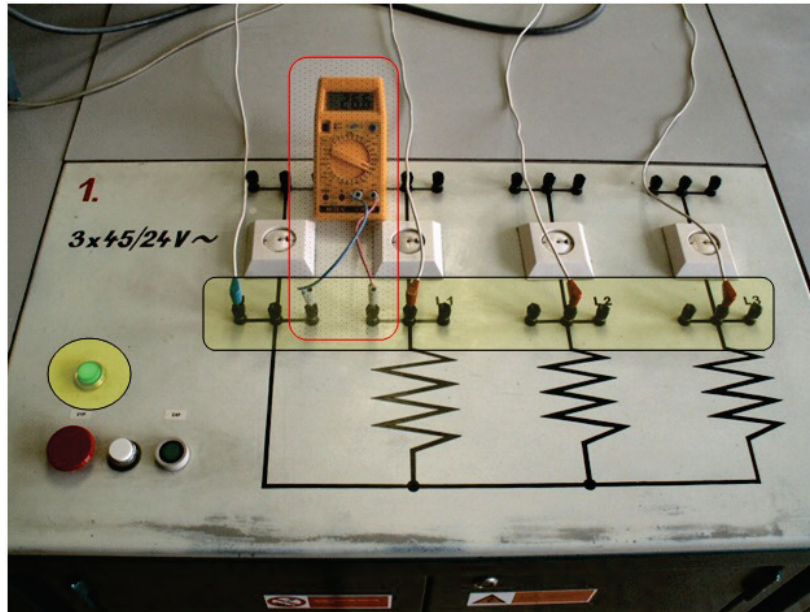
Obr. 4.4 Stav třífázového měřicího pultu před měřením - klidový stav.

Na obrázku 4.5 je zobrazen stav měřicího pultu při měření trojfázových střídavých obvodů ve stavu měření:

- kontrolka (zelená) zapnutý stav – svítí,



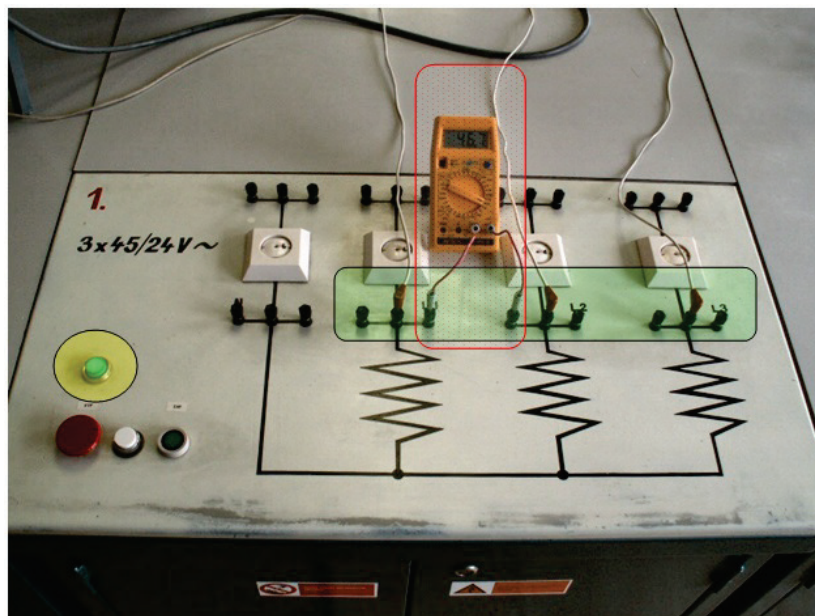
- ke svorkám fází (L1, L2, L3) i ke svorkám nulového vodiče (N),
- je připojen trojfázový spotřebič,
- měřicí přístroj měří **fázové napětí**, tj. mezi fázovým vodičem a N.



Obr. 4.5 Stav třífázového měřicího pultu při měření fázového napětí.

Na obrázku 4.6 je zobrazen stav měřicího pultu při měření trojfázových střídavých obvodů ve stavu měření:

- kontrolka (zelená) zapnutý stav – svítí,
- ke svorkám fází (L1, L2, L3) je připojen trojfázový spotřebič,
- měřicí přístroj měří **sdrúžené napětí**, tj. mezi fázovými vodiči.



Obr. 4.6 Stav třífázového měřicího pultu při měření sdrúženého napětí.

## 1.5 LITERATURA

Smejkal J, Elektrotechnika, VUT Brno,

TKOTZ K., Příručka pro elektrotechnika: Europa - Sobotáles cz. s.r.o., 2 vydání

Bastian P a kolektiv, Praktická elektrotechnika; Europa - Sobotáles cz. s.r.o., 2 vydání

Kolář V.: Počítače pro měření v laboratoři E329, učební text VŠB TU Ostrava, FEI, 2008

Stýskala V.: Popis digitálního multimetru a analogového wattmetru používaných v laboratořích katedry 452, popis měřících stolů v laboratoři E 329, učební text VŠB TU Ostrava, FEI, 2005

### *Internet*

Laboratorní úlohy do cvičení v předmětu Elektrotechnika:

[http://fei1.vsb.cz/kat420/index\\_stary.html](http://fei1.vsb.cz/kat420/index_stary.html)

Technická specifikace multimetru M3900:

[http://www.rss.tul.cz/ftppub/mt2/multimetr\\_dmm3900\\_specifikace.pdf](http://www.rss.tul.cz/ftppub/mt2/multimetr_dmm3900_specifikace.pdf)

Popis wattmetru EL 20:

<http://elm-fur.wz.cz/popis.pdf>



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA STROJNÍ**



# ELEKTROTECHNIKA - CVIČENÍ

---

## Měření parametrů stejnosměrných obvodů

Ing. Jan Vaňuš Ph.D.

Ing. Roman Hrbáč Ph.D.

Ing. Tomáš Mlčák Ph.D.

**Ostrava 2013**

© Ing. Jan Vaňuš Ph.D., Ing. Roman Hrbáč Ph.D., Ing. Tomáš Mlčák Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3048-3



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD



## OBSAH

<b>2</b>	<b>MĚŘENÍ PARAMETRŮ STEJNOSMĚRNÝCH OBVOD.....</b>	<b>3</b>
2.1	Měření parametrů stejnosměrných obvodů .....	4
2.2	Měření parametrů přechodových dějů v zapojeném sériovém <i>RC</i> obvodu .....	7
2.3	Literatura .....	12



## 2 MĚŘENÍ PARAMETRŮ STEJNOSMĚRNÝCH OBVD



### OBSAH KAPITOLY:

#### Měření parametrů stejnosměrných obvodů

- Ověřování základních zákonů elektrotechniky (I a II Kirchhoffovy zákony, Ohmův zákon).
- Ověřování chování reálného zdroje napětí.

#### Měření parametrů přechodových dějů v zapojeném sériovém RC obvodu

- Měření přechodových dějů při nabíjení v RC obvodu.
- Měření přechodového děje při vybíjení v RC obvodu.

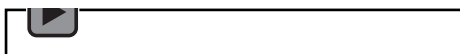


### MOTIVACE:

Studenti si ověří platnost I a II Kirchhoffova zákona a Ohmova zákona v obvodech napájených ze zdroje stejnosměrného napětí. V každodenním životě potřebujeme zdroj napětí pro napájení používaných spotřebičů (MP3 přehrávače, notebooky, iPody atd.). Jak se chová reálný zdroj stejnosměrného napětí, když je k němu připojena zátěž (spotřebič) si objasníme v tomto laboratorním cvičení. Při připojení nebo odpojení spotřebiče ke zdroji stejnosměrného napětí lze pozorovat, že spotřebič nezačne fungovat okamžitě, ale s určitým časovým zpožděním. Tyto přechodové děje budou pozorovány při připojení nebo odpojení zátěže, tvořené zapojením rezistoru a kondenzátoru do série ke zdroji stejnosměrného napětí. Dále budou objasněny metody používané pro určení časové konstanty.



#### Audio 2.1 Motivace



### CÍL:

Základní způsoby měření a zapojení voltmetru, ampérmetru,

reálný zdroj napětí, podmínka maximálního výkonu, přenášeného ze zdroje napětí do zátěže,

první a druhý Kirchhoffův zákon, Ohmův zákon,

přechodové děje při zapínání a vypínání spotřebiče,

časová konstanta, metody pro určení časové konstanty,

popis pracovních stolů.



## 2.1 MĚŘENÍ PARAMETRŮ STEJNOSMĚRNÝCH OBVODŮ (STEJNOSMĚRNÉ OBVODY - NÁVOD DO MĚŘENÍ)

### Cíl měření:

Osvojení základních dovedností při měření s elektrickými měřicími přístroji.

Ověření Ohmova a Kirchhoffových zákonů, ověření chování reálného zdroje s vnitřním odporem.

### Zadání:

1. **Paralelní zapojení.** Zapojte a změřte napětí, celkový proud a proudy ve větvích paralelního zapojení rezistorů a vypočítejte hodnoty odporů jednotlivých rezistorů. Měření proveďte pro dvě hodnoty napětí zdroje podle zadání učitele.
2. **Sériové zapojení.** Zapojte a změřte proud, napětí zdroje a úbytky napětí na odporech sériového zapojení rezistorů a vypočítejte hodnoty odporů. Měření proveďte pro dvě hodnoty napětí zdroje podle zadání učitele.
3. **Zatěžování reálného zdroje.** Zapojte obvod „Zatěžování reálného zdroje“ a měřte proudy a napětí při změně zatěžovacího odporu  $R_Z$ . Jako  $R_i$  volte určitou sériovou kombinaci z odporů  $R_1$ ,  $R_2$  a  $R_3$  podle zadání učitele ( $< 3 \text{ k}\Omega$ ), tuto kombinaci si запиšte. Počáteční napětí na zátěži nastavte pomocí zdroje na 24 V při maximálním  $R_Z$ . Potom potenciometr odpojte (to je jako by měla zátěž nekonečný odpor) a změřte hodnotu napětí naprázdno. Potenciometr opět připojte a postupně pomocí něho snižujte napětí po 2 V až do nuly. Vyneste graficky závislost  $U_Z = f(I_Z)$  – voltampérovou charakteristiku reálného zdroje. Vyneste graficky závislost  $P_Z = f(R_Z)$  graficky a ověřte podmínku maxima výkonu při  $R_Z=R_i$ . (Pro  $R_Z = \infty$  hodnotu do grafu nevynášejte – nejde to.)
4. Z výsledků měření 1 a 2 vypočítejte hodnoty jednotlivých odporů a odporu celkového. Ověřte platnost I. a II. Kirchhoffova zákona.

### Teoretický rozbor:

Základními zákony elektrotechniky jsou Ohmův zákon a I. a II. Kirchhoffův zákon.

**I. Kirchhoffův zákon.** Součet proudů jednotlivých větví připojených do uzlu je podle prvního Kirchhoffova zákona roven nule ( $\Sigma I=0$ ).

**II. Kirchhoffův zákon.** Součet úbytků napětí na sériově zapojených rezistorech a napětí na zdrojích je v uzavřené smyčce podle 2. Kirchhoffova zákona roven nule ( $\Sigma U=0$ ).

**Ohmův zákon** říká, že proud procházející rezistorem je přímo úměrný napětí. Odpor rezistoru můžeme tedy určit tzv. Ohmovou metodou. Změříme stejnosměrné napětí a proud procházející rezistorem. Odpor vypočítáme z Ohmova zákona:  $R = U / I$ .

Ohmův zákon ověříme tak, že změříme odpor při různých napětích a dostaneme stejný výsledek.

**Reálný zdroj elektrického napětí** se vyznačuje tím, že při zatížení (jestliže z něj odebíráme proud) jeho napětí klesá, a to přibližně lineárně s odebíraným proudem. Tento pokles je v náhradním schématu reprezentován vnitřním odporem  $R_i$ . Pokud je pokles napětí se zatížením velký, je velký vnitřní odpor zdroje a říkáme, že zdroj je napětěově měkký, je-li pokles malý, je malý i vnitřní odpor a zdroj nazýváme napětěově tvrdý.



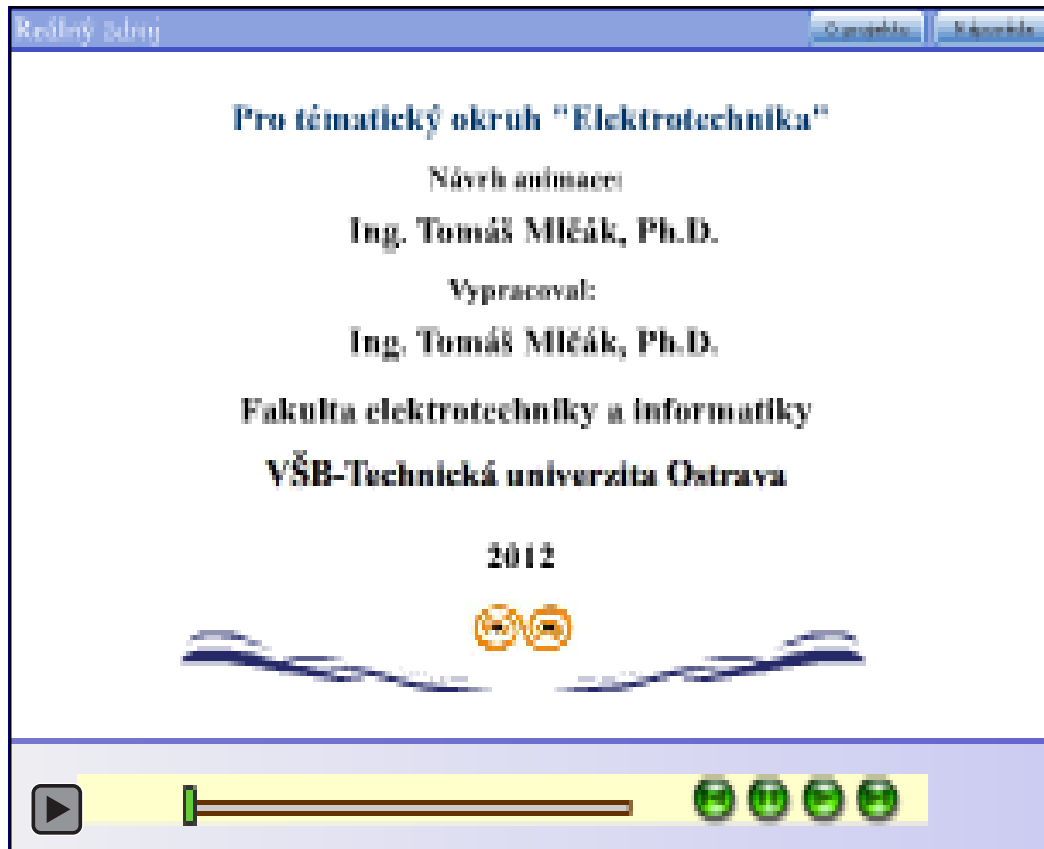
Jestliže připojíme napěťový zdroj s vnitřním napětím  $U_i$  a vnitřním odporem  $R_i$  na zátěž s odporem  $R_Z$ , bude zátěží protékat proud:  $I_Z = \frac{U_i}{R_i + R_Z}$ , na zátěži bude napětí:

$$U_Z = R_Z \cdot I = U_i \cdot \frac{R_Z}{R_i + R_Z}$$

výkon na zátěži bude:  $P_Z = U_Z \cdot I_Z = R_Z \frac{U_i^2}{(R_i + R_Z)^2}$

teoretické odvození,  
podle těchto vztahů  
v protokolu nepočítat

Výkon bude maximální při  $R_Z = R_i$ , a to:  $P_{Z_{\max}} = \frac{U_i^2}{4 \cdot R_i}$



V našem měření si vnitřní odpor zdroje uměle zvětšíme sériovým připojením rezistoru známé velikosti.

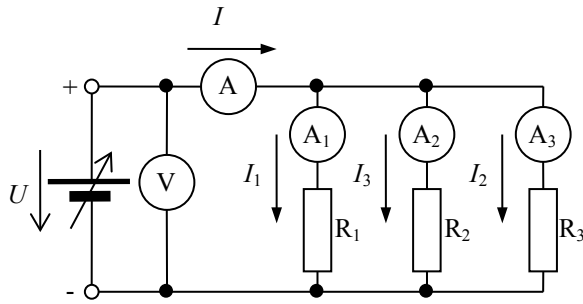
Výkony ve stejnosměrných obvodech se měří zpravidla pomocí stejnosměrného voltmetru a ampérmetru a výkon se vypočítá jako  $P = U \cdot I$ , tak budeme postupovat i při našem měření.

Výkon a velikost odporu zátěže spočítáme z naměřených hodnot proudu  $I$  a napětí  $U_Z$  podle následujících vztahů:

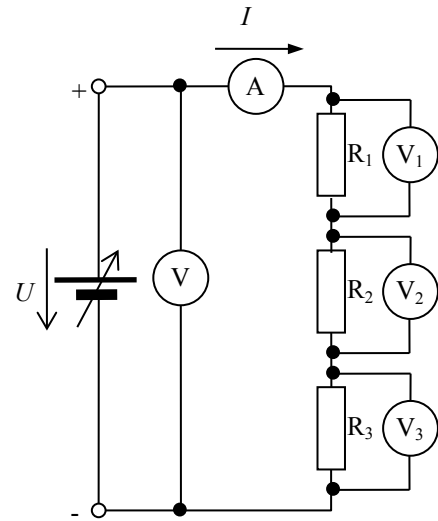
$$P_Z = U_Z \cdot I_Z \quad \text{a} \quad R_Z = \frac{U_Z}{I_Z}$$



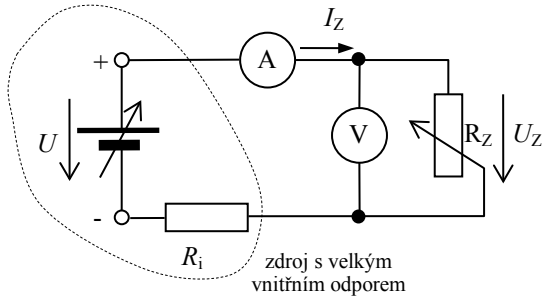
Schéma zapojení:



Obr. 5.1 Paralelní zapojení rezistorů.



Obr. 5.2 Sériové zapojení rezistorů.



Obr. 5.3 Zatěžování reálného zdroje.

Tabulky naměřených hodnot:

$$R_{\text{celk.}} = \frac{U_{\text{zd}}}{I} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Tabulka 5.1 Paralelní zapojení rezistorů

$U_{\text{zd}}$	$I$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_{\text{celk.}}$	$R_{\text{celk.}}$
(V)	(mA)	(mA)	(mA)	(mA)	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )

$$R_{\text{celk.}} = R_1 + R_2 + R_3$$

Tabulka 5.2 Sériové zapojení

$U_{\text{zd}}$	$I$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_{\text{celk.}}$	$R_{\text{celk.}}$
(V)	(mA)	(V)	(V)	(V)	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )

Tabulka 5.3 Zatěžování reálného zdroje

$R_i =$

	naprá zdno	při zatížení												
$U_Z$ (V)		24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2	0
$I_Z$ (mA)	0													
$R_Z$ ( $\Omega$ )	$\infty$													
$P_Z$ (W)	0													





Obr. 5.4 Ukázky grafických závislostí pro zadání 3 – zatěžování reálného zdroje.

## 2.2 MĚŘENÍ PARAMETRŮ PŘECHODOVÝCH DĚJŮ V ZAPOJENÉM SÉRIOVÉM RC OBVODU (NÁVOD DO MĚŘENÍ)

### Úkol:

Vypočtete, sledujte a určete časovou konstantu a dobu ustálení přechodového děje v obvodu, ve kterém jsou zapojeny do série rezistor a kondenzátor s proměnnými hodnotami odporu  $R$  a kapacity  $C$ . Ze známé hodnoty odporu  $R$  a časové konstanty  $\tau$  určete hodnotu kapacity  $C$ . Sledujte průběhy proudu obvodem  $i(t)$ , úbytku napětí na kapacitoru  $u_C(t)$  a na rezistoru  $u_R(t)$ .

### Zadání úlohy a postup měření:

1. V zapojení obvodu dle schématu a s pomocí analogových měřicích přístrojů sledujte průběhy napětí na kondenzátoru  $u_C(t)$  a na rezistoru  $u_R(t)$  a proudu protékajícího obvodem  $i(t)$  pro dva stavy tj.

a) po zapnutí ke zdroji,

b) při vybíjení nabitého kondenzátoru  $C$  přes rezistor  $R$

pro zadanou velikost odporu rezistoru  $R$  a neznámou kapacitu  $C$  kondenzátoru.

Před započítím měření ad a) se přesvědčte, je-li kapacitor  $C$  vybit na hodnotu  $u_C(0) = 0V$ .

2. Proveďte měření napětí  $u_R(t)$ ,  $u_C(t)$  a  $i(t)$  s pomocí PC - stejné měření jako v bodě I.
3. Změřené průběhy veličin sledujte na monitoru, zaznamenejte na flash disk a přetranformujte do tabulkového procesoru (např. Microsoft Excel). Je možné rovněž použít kopii obrazovky (obrázky ve formátu \*.gif resp. \*.bmp).

Sestrojte grafy a grafickou metodou určete hodnoty  $\tau$  (např. využitím známého faktu průběhu exponenciální funkce, tzn.  $1\tau \approx 0,632$  ustálené hodnoty – viz rozbor) a následně graficky vytyčte  $T_{UST}$ .

4. Podle uvedeného známého teoretického vztahu určete časovou konstantu obvodu  $\tau$  z naměřených hodnot pro případy ad Ia) (tj. nabíjení), ad Ib), (tj. vybíjení kondenzátoru) a doby ustálení  $T_{UST}$  dle technického kritéria  $T_{UST} = 5\tau$ . Tyto údaje запиšte do tabulek, porovnejte průběhy nabíjení a vybíjení a vypočtenou hodnotu kapacity  $C$  a zhodnoťte je. Srovnajte teoretické průběhy uvedené v rozboru s naměřenými. Případné rozdíly průběhů a hodnot  $\tau$  a  $C$  při nabíjení a vybíjení kondenzátoru vysvětlíte v závěru.

*K zápisu vypočtených a změřených hodnot použijte tabulku č. 2.*

**Obě měření (II. a III.) proveďte pro tyto hodnoty prvků:**

**Vyučující určí a zadá pro každou měřicí skupinku různé hodnoty rezistoru z rozsahu 90 – 180  $\Omega$  a příslušné hodnoty kapacitorů tak, aby byly časové konstanty obvodu velikostně rozlišitelné.**



**Stručný teoretický rozbor:**

Dojde-li v čase  $t = 0$  k připojení sériového obvodu  $RC$  ke zdroji konstantního stejnosměrného napětí  $U_1 = \text{konst.}$ , tak se nebudou úbytek napětí na svorkách kondenzátoru  $u_c(t)$ , proud protékající obvodem  $i(t)$  a úbytek napětí na rezistoru  $u_r(t)$  měnit skokově, ale plynule s časem  $t$ . Je to vlivem akumulace elektrického náboje na deskách kondenzátoru  $C$ . Mírou dynamiky nárůstu, resp. poklesu hodnot veličin vlivem přechodného děje je časová konstanta obvodu  $\tau$ . Její hodnota je dána parametry  $RC$  obvodu

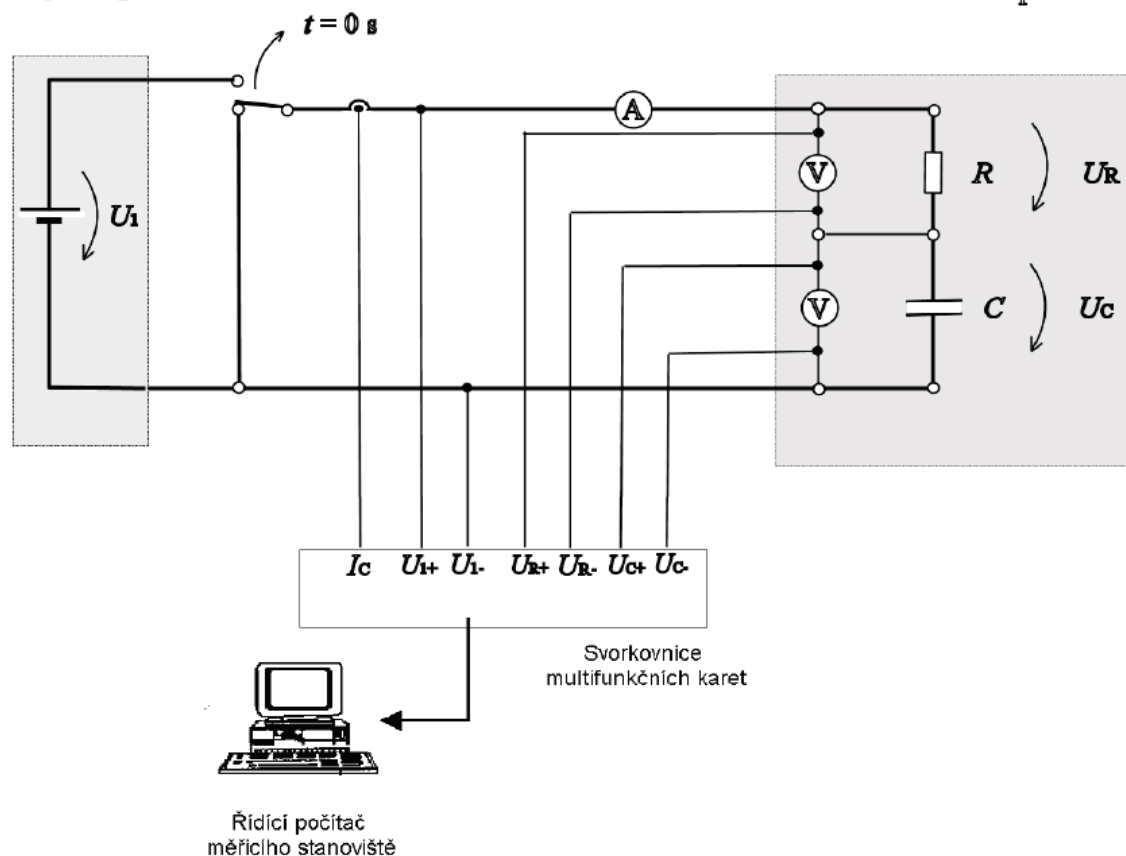
$$\tau = R \cdot C$$

Z průběhu změřených veličin (např. oscilografem nebo pomocí PC) se časová konstanta obvodu  $\tau$  určí graficky jako tečna k průběhu měřené veličiny, vedená z počátku ( $t = 0$ ). Bod udávající průsečík tečny s úrovní ustálené hodnoty měřené veličiny (v  $t = \infty$ ) určuje velikost  $\tau$ . V technické praxi je však často potřeba znát konkrétní dobu ustálení přechodového děje  $T_{\text{UST}}$ , tzn. dané měřené veličiny. Tomuto požadavku s dostatečnou přesností vyhovuje kritérium

$$T_{\text{UST}} = 5\tau, \quad \text{což odpovídá cca 99,3\% ustálené hodnoty.}$$

Zdroj ss napětí 15 V

Demonstrační panel



Obr. 6.1 Schéma zapojení pro měření parametrů přechodových dějů v  $RC$  obvodu.

**A) Odvozené vztahy pro elektrické veličiny v  $RC$  sériovém obvodu jsou:**

- a) po zapnutí se budou napětí  $U$  na kondenzátoru  $C$  a na odporu  $R$  a proud  $I$  protékající obvodem měnit v čase  $t$  podle následujících vztahů:



$$i(t) = \frac{U_1}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$u_C(t) = U_1 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$u_R(t) = U_1 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

b) při vybíjení plně nabitého kondenzátoru  $C$  přes rezistor  $R$  budou obvodové veličiny probíhat podle vztahů:

$$i(t) = -\frac{U_1}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$u_C(t) = U_1 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = -u_R(t)$$

*proud  $I$  teče obvodem opačně (vzhledem k situaci a)) a má klesající tendenci – časová konstanta obvodu je stejná.*

*Oba úbytky napětí mají klesající charakter, směr úbytku napětí na rezistoru je vzhledem k a) opačný z důvodů změny směru proudu při vybíjení.*

### **B) Pro určení časové konstanty $\tau$ lze použít následující tři metody:**

1. Metoda analytická,
2. Metoda tečny
3. Metoda určení změny 63 % z původní hodnoty (doporučená metoda).

Ad1) Metoda analytická

Metoda analytická spočívá v dosazení dvou bodů exponenciální nabíjecí příp. vybíjecí křivky např.:

$$u_C(t) = U_1 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

(tedy bodu A a B) s hodnotami  $t_A$ , respektive  $u_C(t_A)$  a  $t_B$ , resp.  $u_C(t_B)$  vzniknou dvě rovnice o dvou neznámých  $U_1$  a  $\tau$ .

**Výhodou této metody je, že nemusíme znát ustálenou hodnotu  $U_1$**

Ad2) Metoda tečny

Metoda tečny používá pro určení hodnoty časové konstanty  $\tau$  derivaci napětí  $u_C$  v závislosti na čase  $t$  podle následujícího vztahu

$$\frac{\delta u_C(t)}{\delta t} = \frac{\delta U_1 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})}{\delta t}$$

Pro určení směrnice tečny  $k$  z bodu  $t=0$ , dosadíme  $t=0$  do předchozího vztahu a získáme

$$k = \frac{U_1}{\tau}$$

Místo, kde tečna směrnice  $y(t)=k \cdot t$  protíná ustálenou hodnotu  $U_1$ , je rovno časové konstantě  $\tau$ .

**Nevýhodou této metody je nepřesné grafické stanovení tečny v bodě  $t=0$ .**

Ad3) Metoda změny





Metoda změny je založena faktu, že pro  $t = \tau$  nabývá vztah

$$u_c(t) = U_1 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = U_1 \cdot (1 - e^{-1}) \cong 0,63 \cdot U_1$$

tedy 63% napětí ustáleného.

Určíme-li tedy graficky 63% změny napětí a vyneseme-li ji rovnoběžně s osou  $t$ , pak průsečík této hodnoty s křivkou nabíjení resp. vybíjení určuje časovou konstantu  $\tau$ .

**Výhodou této grafické metody je relativně vysoká přesnost a malá pracnost. Tato metoda je pro určení časové konstanty  $\tau$  v tomto měření doporučována.**

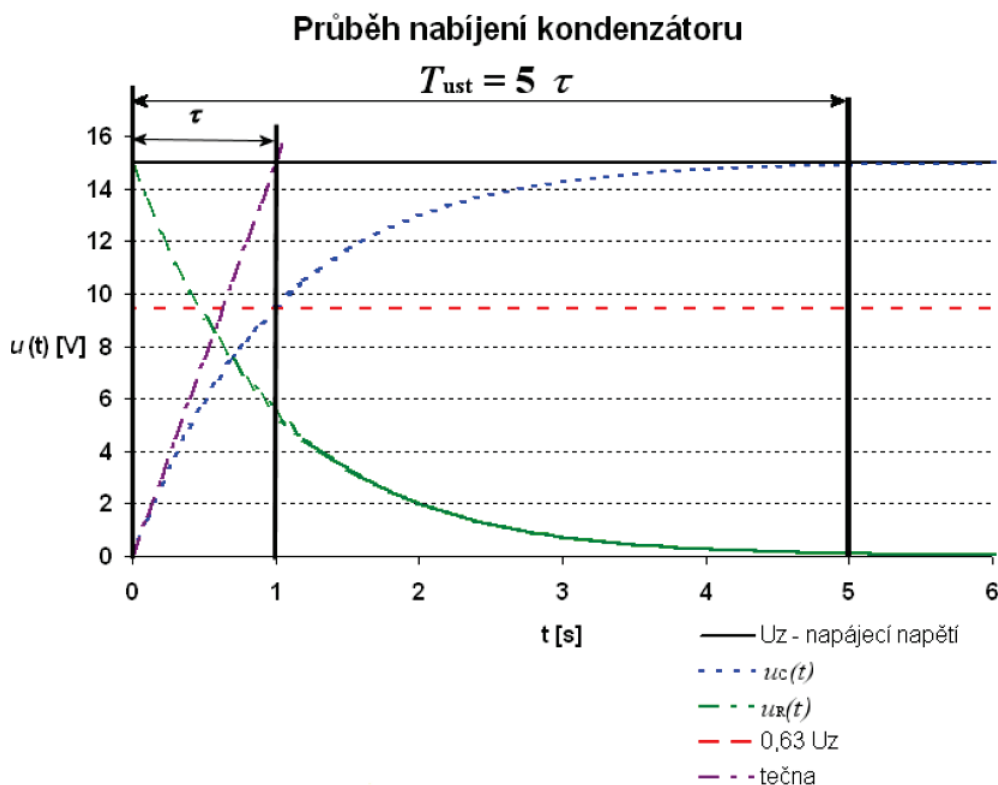
### C) Určení kapacity $C$

Kapacitu kondenzátoru  $C$  určíme ze vztahu  $\tau = R \cdot C$

**Z měření vypracujte protokol doplněný grafickou přílohou.**

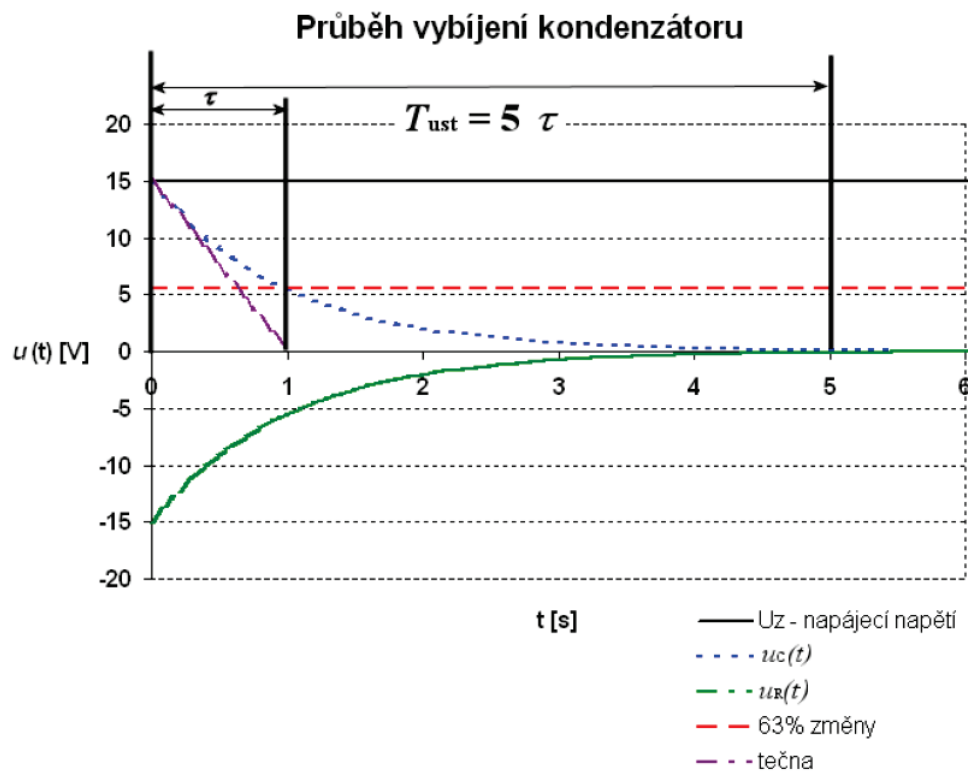
Tabulka 6.1

ZAPOJENÍ Pomocí PC z $u_c(t)$ nebo $u_R(t)$ ( $U_Z = 15V, ss$ )	$R$ $\Omega$	$C$ $\mu F$	$\tau$ s	$T_{UST}$ s
II. a) pro nabíjení				
II. b) pro vybíjení				



Obr. 6.2 Průběh naměřených veličin při nabíjení kondenzátoru.





Obr. 6.3 Průběh naměřených veličin při vybíjení kondenzátoru.

Prochodkový děj na kondenzátoru

**Pro tématický okruh "Elektrotechnika"**

Návrh animace:  
Ing. Tomáš Mlčák, Ph.D.

Vypracoval:  
Ing. Tomáš Mlčák, Ph.D.

Fakulta elektrotechniky a informatiky  
VŠB-Technická univerzita Ostrava

2012

Player controls: play, progress bar, stop, play, play, play, play

## 2.3 LITERATURA

Smejkal J, Elektrotechnika, VUT Brno,

TKOTZ K., Příručka pro elektrotechnika: Europa - Sobotáles cz. s.r.o., 2 vydání

Bastian P a kolektiv, Praktická elektrotechnika; Europa - Sobotáles cz. s.r.o., 2 vydání

Stýskala V., Kolář V.: Stejnoseměrné obvody, návod do měření VŠB TU Ostrava, FEI, kat 452, 2006

Stýskala V., Kolář V., Dudek J.: Přechodový děj ve ss obvodech, návod do měření VŠB TU Ostrava, FEI, kat 452, 2006

### *Internet*

Laboratorní úlohy do cvičení v předmětu Elektrotechnika:

[http://fei1.vsb.cz/kat420/index\\_stary.html](http://fei1.vsb.cz/kat420/index_stary.html)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA STROJNÍ**



## **ELEKTROTECHNIKA - CVIČENÍ**

---

### **Měření parametrů v jednofázových střídavých obvodech**

Ing. Jan Vaňuš Ph.D.

Ing. Roman Hrbáč Ph.D.

Ing. Tomáš Mlčák Ph.D.

**Ostrava 2013**

© Ing. Jan Vaňuš Ph.D., Ing. Roman Hrbáč Ph.D., Ing. Tomáš Mlčák Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3048-3



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

## OBSAH

<b>3</b>	<b>MĚŘENÍ PARAMETRŮ V JEDNOFÁZOVÝCH STŘÍDAVÝCH OBVODECH . 3</b>
<b>3.1</b>	<b>Měření parametrů jednofázových střídavých obvodů ..... 4</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Jednofázové střídavé obvody, výkon střídavého proudu... ..... 4</b>
<b>3.2</b>	<b>Literatura..... 10</b>



### 3 MĚŘENÍ PARAMETRŮ V JEDNOFÁZOVÝCH STŘÍDAVÝCH OBVODECH



#### OBSAH KAPITOLY:

##### Měření parametrů jednofázových střídavých obvodů

- Zapojení RLC obvodu.
- Kompenzace účinníku.



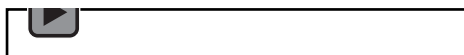
#### MOTIVACE:

Studenti si v laboratorních cvičeních ověří platnost I a II Kirchohoffova zákona a Ohmova zákona v obvodech napájených ze zdroje jednofázového střídavého napětí. Nejprve bude zapojen obvod s rezistorem, tlumivkou (reálná cívka) a kondenzátorem do série, jenž bude připojen ke zdroji jednofázového střídavého napětí

Pro zajištění dodávky střídavého napětí v distribuční síti v odpovídající kvalitě je nutno provádět mimo jiné kompenzaci účinníku. Na tomto cvičení bude provedena praktická ukázka realizace kompenzace účinníku v obvodu se zátěží s odporově induktivním charakterem (jednofázový indukční motor).



#### Audio 3.1 Motivace



#### CÍL:

první a druhý Kirchhoffův zákon, Ohmův zákon v obvodech napájených ze zdroje jednofázového střídavého napětí,

schéma zapojení RLC obvodu, připojeného ke zdroji jednofázového střídavého napětí, včetně zapojených měřicích přístrojů,

měření odporu tlumivky (reálné cívky),

vektorový diagram,

kondenzátor, reálná cívka, rezistor,

odpor reálné cívky,

kompenzace účinníku,

jalový výkon, činný výkon, zdánlivý výkon,

schéma zapojení obvodu pro kompenzaci účinníku, včetně zapojených měřicích přístrojů.



## 3.1 MĚŘENÍ PARAMETRŮ JEDNOFÁZOVÝCH STŘÍDAVÝCH OBVODŮ

### 3.1.1 Jednofázové střídavé obvody, výkon střídavého proudu, kompenzace jalového výkonu (Návod do měření)

#### Cíl měření:

- Praktické ověření vlastností reálných pasivních prvků rezistoru, cívky (reálného induktoru) a kondenzátoru (kapacitoru) v obvodech napájených střídavým harmonickým napětím.
- Ověření, že napětí a proudy ve střídavém obvodu je nutno počítat fázorově (vektorově), nikoli skalárně.
- Demonstrace a ověření principu kompenzace jalového odběru pomocí kompenzačního kondenzátoru.
- Praktické využití měření a vyhodnocování veličin pomocí PC s měřicí kartou a čidly napětí a proudů.

#### Zadání úlohy:

- 1) Měření v sériovém obvodu  $R-L-C$ .
  - a) Zapojte obvod podle schématu na obr. 7.3. Spotřebič bude tvořen sériovým spojením rezistoru, cívky s železným jádrem (tlumivky) a kondenzátoru. Pro jednu hodnotu napájecího napětí zadanou vyučujícím změřte proud protékající obvodem, činný výkon a úbytky napětí na jednotlivých pasivních prvcích. Průběhy veličin a fázorový diagram sledujte na PC pomocí program „fázoroskop“, a „osciloskop“. Fázorový diagram změřený počítačem uložte jako obrázek (případně i změřené hodnoty jako data).
  - b) Ohmmetrem změřte činný odpor použité cívky (podle obr. 7.4).
  - c) Následně s výsledky měření proveďte tyto úkony:
    - Z naměřených hodnot výpočtem určete:
      - fázový posuv  $\varphi$  mezi proudem a napětím,
      - indukční reaktanci  $X_L$  cívky a velikost indukčnosti  $L$ .
      - kapacitní reaktanci kondenzátoru  $X_C$  a velikost jeho kapacity  $C$ .
      - Sestrojte skutečný fázorový diagram sériového obvodu  $R-L-C$ .
      - Porovnejte vámi sestrojený fázorový diagram a fázorový diagram změřený počítačem.
- 2) Kompenzace jalového výkonu.
  - a) Zapojte obvod podle obr. 7.5 se střídavým motorkem (bez kompenzačního kondenzátoru). Po kontrole zapojení vyučujícím nastavte střídavé napájecí napětí na hodnotu zadanou vyučujícím (zhruba 40 V).
  - b) Pomocí měřicích přístrojů změřte napětí  $U$ , proud napájecího zdroje  $I_1$ , proud motorku  $I_2$ . Na PC sledujte fázorový diagram proudů a napětí. Z PC odečtěte hodnotu činného výkonu  $P$ . Fázorový diagram a hodnoty změřené pomocí PC uložte jako obrázek.
  - c) Do obvodu připojte kompenzační kondenzátor tak, aby obvod nebyl plně vykompenzovaný (z několika kondenzátorů v přípravku zvolte jeden z menších). Opakujte měření z bodu b)
  - d) Do obvodu připojte kompenzační kondenzátor, aby byl obvod ideálně vykompenzován (z kondenzátorů v přípravku zvolte takovou kombinaci, aby proud byl ve fázi s napětím). Opakujte měření z bodu b).



- e) Do obvodu připojte kompenzační kondenzátor tak, aby obvod byl překompenzován (z kondenzátorů v přípravku zapojte co nejvíce). Opakujte měření z bodu b).
- f) V protokolu na závěr zhodnoťte, jaký vliv mělo připojení kompenzačního kondenzátoru (stupňů 1, 2, a 3) na proud  $I_1$ ,  $I_2$  a činný výkon  $P$ , a kdy byl obvod nejlépe vykompenzován.

**! Na měření si přineste USB flashdisk!**

### Teoretický rozbor:

**Ad 1)** V obvodech napájených střídavým harmonickým napětím sestavených z reálných prvků dochází k fázovému posuvu  $\varphi$  mezi fázory proudu a napětí, proto je nutno veškeré výpočty realizovat pomocí symbolicko-komplexní metody, která střídavé proudy, napětí, ale i výkony nahrazuje odpovídajícími fázory. Ve střídavých obvodech je kromě činného výkonu i výkon jalový a jejich fázorovým součtem je dán výkon zdánlivý.

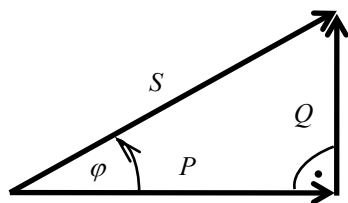
Mezi jednotlivými výkony platí následující vztahy (podle tzv. trojúhelníka výkonů - obr. 7.1):

$$P = S \cdot \cos \varphi, Q = S \cdot \sin \varphi \quad (7.1),$$

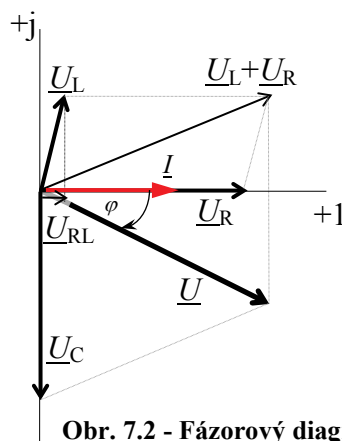
kde  $P$  je činný výkon (W),  $S$  zdánlivý výkon (VA),  $Q$  jalový výkon (var),  $\varphi$  fázový posuv mezi napětím a proudem ( $^\circ$ ).

Na obr. 7.2 je příklad fázorového diagramu pro sériový  $RLC$  obvod s reálnou cívku. Pro analýzu střídavých obvodů platí Ohmův zákon a I. a II. Kirchhoffův zákon. Zdroj střídavého napětí, rezistor i kondenzátor se v obvodech střídavého proudu průmyslového kmitočtu svými vlastnostmi přibližují ideálním obvodovým prvkům, ovšem reálnou cívku (tlumivku) je nutné vždy nahradit sériovým spojením ideálního induktoru a ideálního rezistoru (který tvoří ohmický odpor vodiče, z něhož je cívka navinuta). Tato sériová náhrada se pak projeví i ve fázorovém diagramu fázovým posunem mezi napětím a proudem, který u reálné cívky není celých  $90^\circ$ , ale méně.

Abychom mohli sestavit fázorový diagram obvodu s reálnou cívku, musíme nejdříve vypočítat úbytek napětí na jeho odporu, (ve fázorovém diagramu na obr. 7.2 označen jako  $\underline{U}_{RL}$ ). Vypočte se podle vztahu (7.2). Toto napětí nemůže být ve skutečnosti v obvodě změřeno, můžeme ho pouze vypočítat.



Obr. 7.1 Trojúhelník výkonů.



Obr. 7.2 - Fázorový diagram pro sériový obvod R-L-C (s reálnou cívku).



Postup výpočtu pro úlohu 1:

- a) Úbytek napětí (efektivní hodnotu) na odporu cívky  $U_{RL}$  je nutno vypočítat pomocí Ohmova zákona z hodnoty proudu a ohmického odporu cívky změřeného Ohmmetrem.

$$U_{RL} = R_L \cdot I \quad (\text{V}; \Omega, \text{A}) \quad (7.2)$$

- b) Velikost induktivní reaktance  $X_L$  se určí z hodnoty odporu cívky  $R_L$  a vypočítané velikosti impedance cívky  $Z_L$ , přičemž platí:

$$Z_L = \frac{U_L}{I} \quad (\Omega; \text{V}, \text{A}); \quad X_L = \sqrt{Z_L^2 - R_L^2} \quad (\Omega, \Omega, \Omega) \quad (7.3)$$

$$L = \frac{X_L}{\omega} \quad (\text{H}; \Omega, \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}); \quad \omega = 2\pi \cdot f \quad (\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}; -, \text{Hz})$$

Při napájení z běžné sítě je frekvence  $f = 50 \text{ Hz}$ .

- c) Výpočet kapacity kondenzátoru se provede analogicky s tím rozdílem, že kondenzátor se chová prakticky jako ideální prvek, takže do výpočtu nezahrnujeme jeho činný odpor:

$$X_C = Z_C = \frac{U_C}{I} \quad (7.4)$$

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_C} \quad (\text{F}; \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}, \Omega)$$

Celková impedance zátěže je dána poměrem v obvodu změřených efektivních hodnot:

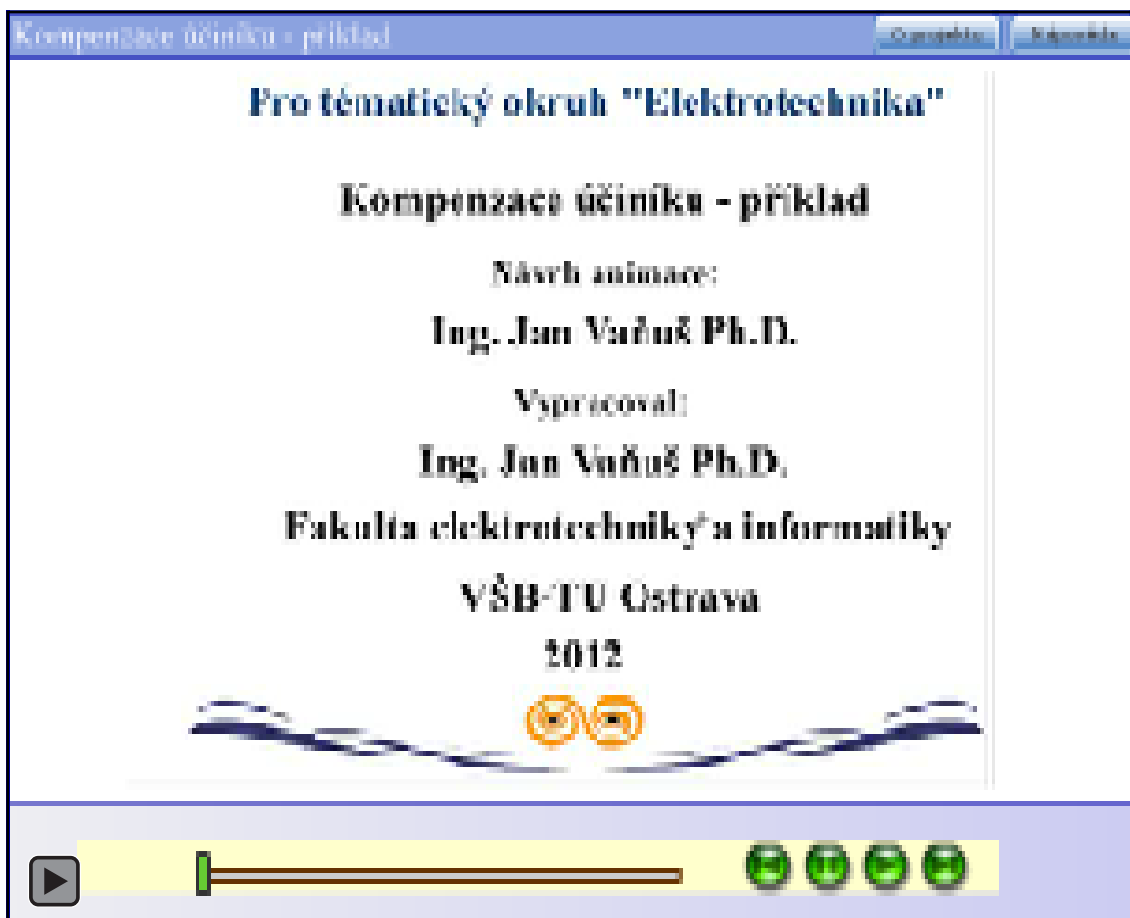
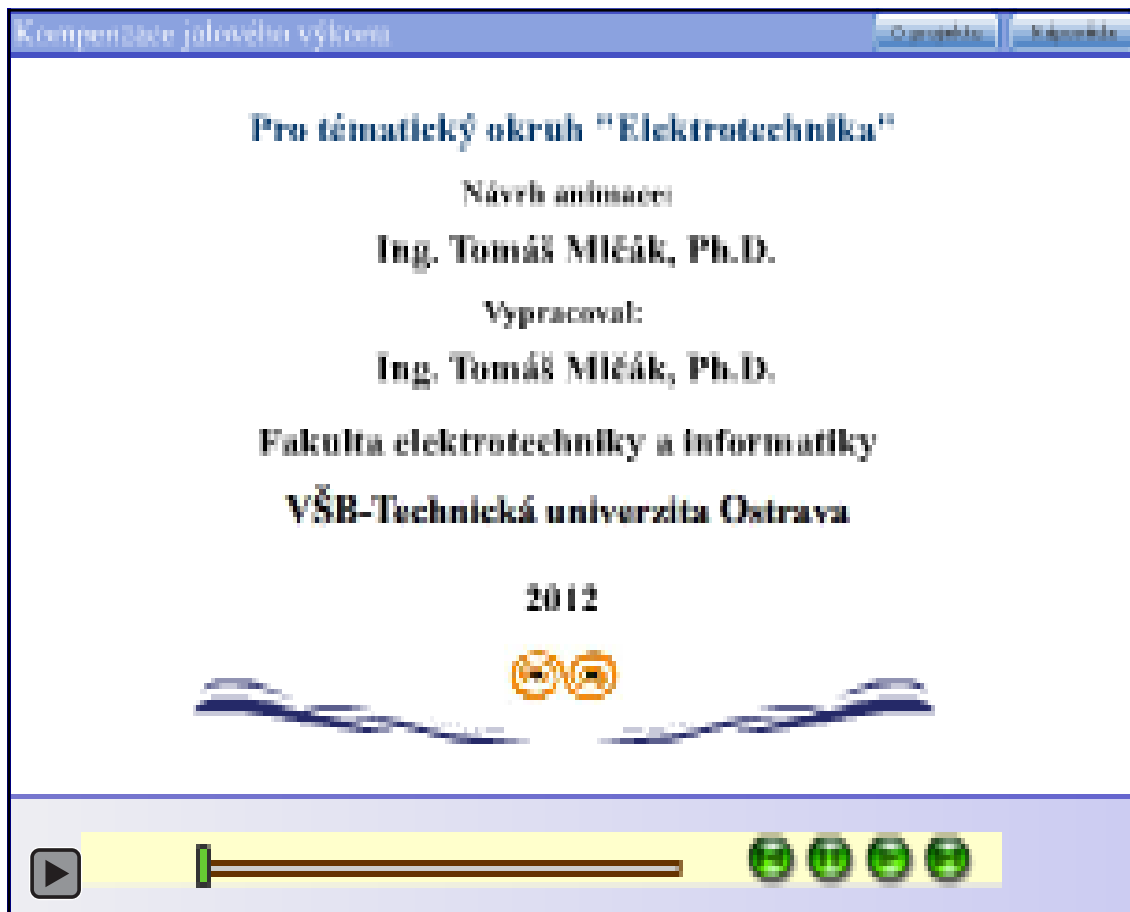
$$Z = \frac{U}{I} \quad (\Omega; \text{V}, \text{A}) \quad (7.5)$$

- d) Fázový posuv  $\varphi$  se určí z naměřených hodnot činného výkonu  $P$  a zdánlivého výkonu  $S$ , vypočteného z naměřených efektivních hodnot napětí  $U$  a proudu  $I$ :

$$\varphi = \arccos\left(\frac{P}{S}\right) = \arccos\left(\frac{P}{U \cdot I}\right) \quad (^\circ; \text{W}, \text{V}, \text{A}) \quad (7.6)$$

**Ad 2)** Kompenzací jalového příkonu spotřebiče s R - L charakterem (např. motor) pomocí několikastupňového kompenzátoru CK připojeného na jeho svorkách, snížíme nežádoucí velikost celkového přenášeného proudu po vedení II. Snížíme tedy hodnotu celkového zdánlivého příkonu  $S_1$ , zvyšujeme hodnotu účinníku  $\cos\varphi$ , zmenšujeme výkonové ztráty na vedení  $\Delta P$ . To vše při stejné hodnotě přeneseného činného výkonu  $P$  ze střídavého zdroje do spotřebiče (motoru).





Postup výpočtu pro úlohu 2:

a) Zdánlivé výkony

$$S_1 = U \cdot I_1$$

$$S_2 = U \cdot I_2$$

b) Účinník

$$\cos \varphi_1 = \frac{P}{S_1}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P}{S_2}$$

c) Fázový posun

$$\varphi_1 = \arccos(\cos \varphi_1)$$

$$\varphi_2 = \arccos(\cos \varphi_2)$$

d) Jalový výkon

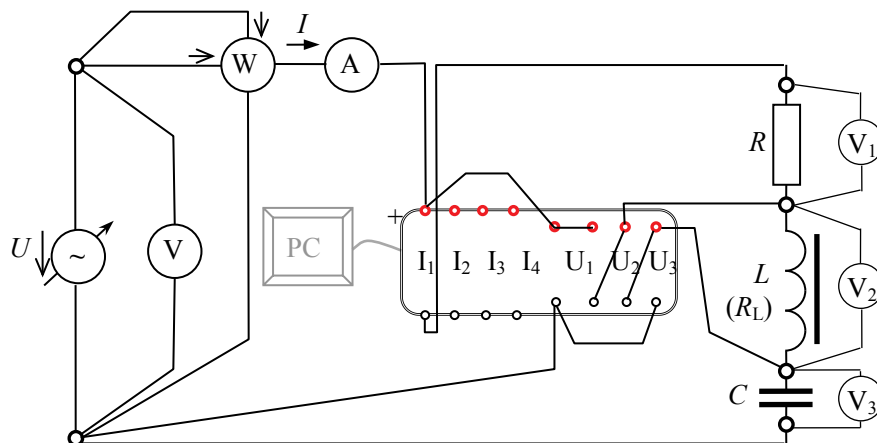
$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2}$$

$$Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P^2}$$

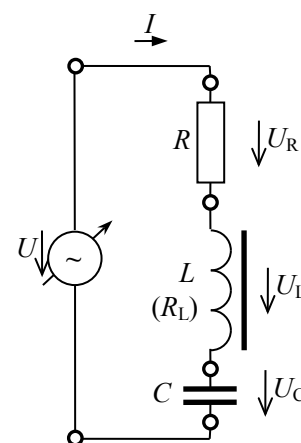
e) Kompenzační jalový výkon kompenzačního kondenzátoru

$$Q_K = Q_2 - Q_1$$

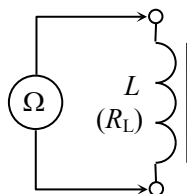
### Schéma zapojení pro úlohu 1 – sériový obvod RLC



Obr. 7.3 Schéma zapojení pro měření v sériovém R-L-C obvodě.



Obr. 7.4 Zjednodušené principiální schéma.



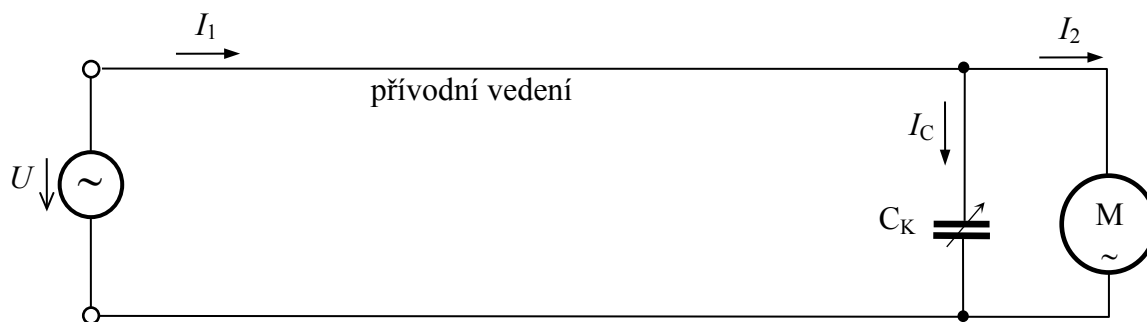
Obr. 7.5 – Měření činného odporu cívky ohmmetrem.

### Tabulky naměřených a vypočtených hodnot pro úlohu 1 – sériový obvod RLC:

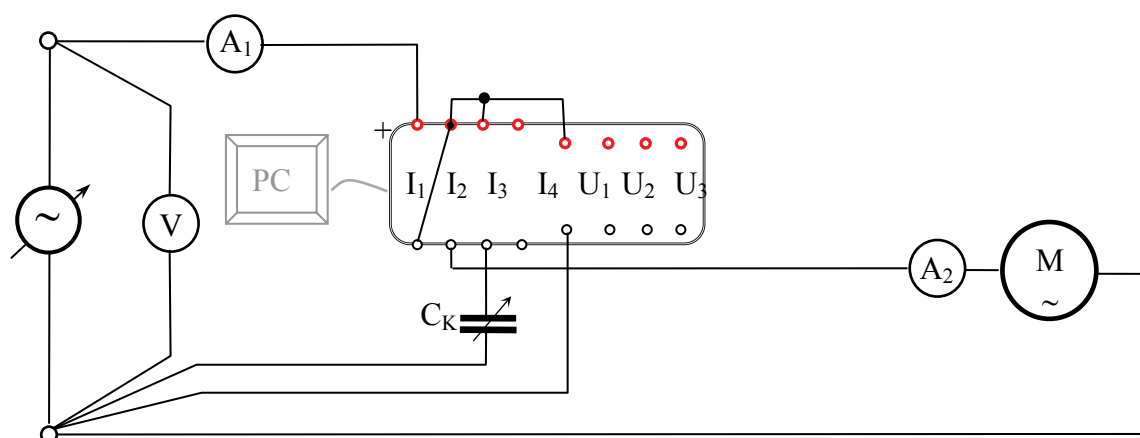
Naměřeno						Vypočteno								
$U$	$U_R$	$U_L$	$U_C$	$I$	$P$	$U_{RL}$	$Z_L$	$X_L$	$L$	$Z_C = X_C$	$C$	$Z$	$S$	$\varphi$
(V)	(V)	(V)	(V)	(A)	(W)	(V)	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(H)	( $\Omega$ )	(F)	( $\Omega$ )	(VA)	( $^\circ$ )

Odpor cívky změřený Ohmmetrem  $R_L$  ( $\Omega$ ):



**Schéma zapojení pro úlohu 2 – kompenzace jalového výkonu:**

Obr. 7.6 Zjednodušené principiální schéma kompenzace jalového výkonu.



Obr. 7.7 Schéma zapojení pro měření kompenzace jalového výkonu jednofázového spotřebiče.

**Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro úlohu 2 – kompenzace jalového výkonu:**

Měření					Vypočteno									Zapojení obvodu	
$U$	$I_1$	$I_2$	$P$	$C$	$S_1$	$S_2$	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_K$		
(V)	(A)	(A)	(W)	( $\mu\text{F}$ )	(V.A)	(V.A)	(-)	(-)	( $^\circ$ )	( $^\circ$ )	(var)	(var)	(var)		
															bez kompenzace
															malá kompenzace (nedokompenzováno)
															ideální kompenzace
															velká kompenzace (překompenzováno)



## 3.2 LITERATURA

Smejkal J, Elektrotechnika, VUT Brno,

TKOTZ K., Příručka pro elektrotechnika: Europa - Sobotáles cz. s.r.o., 2 vydání

Bastian P a kolektiv, Praktická elektrotechnika; Europa - Sobotáles cz. s.r.o., 2 vydání

Kolář V., Fiala M., Vrána V.: Elektrické obvody střídavého proudu, učební text VŠB TU Ostrava, FEI, kat 452, 2008

### *Internet*

Laboratorní úlohy do cvičení v předmětu Elektrotechnika:

[http://fei1.vsb.cz/kat420/index\\_stary.html](http://fei1.vsb.cz/kat420/index_stary.html)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA STROJNÍ**



## **ELEKTROTECHNIKA - CVIČENÍ**

---

### **Měření parametrů v trojfázových střídavých obvodech**

Ing. Jan Vaňuš Ph.D.

Ing. Roman Hrbáč Ph.D.

Ing. Tomáš Mlčák Ph.D.

**Ostrava 2013**

© Ing. Jan Vaňuš Ph.D., Ing. Roman Hrbáč Ph.D., Ing. Tomáš Mlčák Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3048-3



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

## OBSAH

<b>4</b>	<b>MĚŘENÍ PARAMETRŮ V TROJFÁZOVÝCH STŘÍDAVÝCH OBVODECH..</b>	<b>3</b>
<b>4.1</b>	<b>Měření parametrů střídavých střídavých obvodů .....</b>	<b>4</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Trojfázový obvod se spotřebičem zapojeným do hvězdy a do trojúhelníku ....</b>	<b>4</b>
<b>4.2</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>12</b>



## 4 MĚŘENÍ PARAMETRŮ V TROJFÁZOVÝCH STŘÍDAVÝCH OBVODECH



### OBSAH KAPITOLY:

#### Měření parametrů trojfázových střídavých obvodů

- Souměrný spotřebič zapojený do trojúhelníku, třívodičové zapojení, napájený ze souměrného zdroje třífázového napětí.
- Souměrný spotřebič zapojený do hvězdy, třívodičové zapojení, napájený ze souměrného zdroje třífázového napětí.
- Nesouměrný spotřebič zapojený do hvězdy, třívodičové zapojení, napájený ze souměrného zdroje třífázového napětí.
- Souměrný spotřebič zapojený do hvězdy, čtyřvodičové zapojení, napájený ze souměrného zdroje třífázového napětí.
- Nesouměrný spotřebič zapojený do hvězdy, čtyřvodičové zapojení, napájený ze souměrného zdroje třífázového napětí.

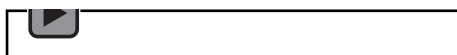


### MOTIVACE:

Studenti si v laboratorních cvičeních ověří platnost I a II Kirchohoffova zákona a Ohmova zákona v obvodech napájených ze zdroje trojfázového střídavého napětí. Pro přiblížení způsobů zapojení trojfázových spotřebičů (např. asynchronní motory pohánějící pilu, míchačku atd.) bude v praktických zapojeních ověřováno chování souměrných a nesouměrných trojfázových zátěží v zapojení do hvězdy nebo do trojúhelníku. Zdroj trojfázového napětí bude souměrný nebo nesouměrný. V jednotlivých obvodech a zapojeních budou také nasimulovány poruchy s popisem následků na chod el. zařízení v trojfázových soustavách



#### Audio 4.1 Motivace



### CÍL:

Souměrný, nesouměrný zdroj,  
souměrná a nesouměrná zátěž,  
třívodičové a čtyřvodičové zapojení trojfázových obvodů,  
spotřebič zapojený do hvězdy a do trojúhelníku,  
sdružené napětí, fázové napětí, fázorový diagram.





## 4.1 MĚŘENÍ PARAMETRŮ STŘÍDAVÝCH STŘÍDAVÝCH OBVODŮ

### 4.1.1 Trojfázový obvod se spotřebičem zapojeným do hvězdy a do trojúhelníku

#### Cíl měření:

- Praktické ověření poměrů proudů, napětí a výkonů v trojfázových obvodech zapojených do hvězdy a do trojúhelníku (souměrných a nesouměrných). Seznámení se metodami měření výkonů v trojfázových obvodech.

#### Zadání úlohy:

1. Na měřicím panelu zapojte trojfázový obvod se zátěží zapojenou do trojúhelníka podle obr. 8.3. V každé fázi zátěže jsou sériově spojeny dvě žárovky a rezistor. Změřte napětí, proudy a výkony. Fázorový diagram změřený počítačem uložte.
2. Na měřicím panelu zapojte trojfázový obvod se **souměrnou zátěží** zapojenou do hvězdy podle obr. 8.3. V každé fázi zátěže jsou sériově spojeny dvě žárovky a rezistor. Změřte napětí, proudy a výkony. Měření proveďte nejprve pro čtyřvodičové, pak pro třívodičové zapojení (přepojení mezi čtyřvodičovým a třívodičovým zapojením se provede přepnutím měřicího přístroje zapojeného ve středním vodiči z ampérmetru na voltmetr, viz schéma zapojení). Fázorové diagramy změřené počítačem uložte.
3. Opakujte měření z bodu 2 pro **nesouměrnou zátěž** (nesouměrná zátěž vznikne přemostěním jedné žárovky ve fázi L1 krátkým vodičem).
4. Opakujte měření z bodu 2 pro **souměrnou zátěž a nesouměrný zdroj** (nesouměrný zdroj vznikne odpojením vodiče fáze L2 od zdroje i měřicího přípravku PC).
5. Z naměřených hodnot vypočítejte velikost impedance zátěže, činný, zdánlivý a jalový výkon pro zapojení z bodů 1 až 4.
6. Z naměřených hodnot pro dvě určená měření sestrojte fázorové diagramy napětí a proudů. Srovnajte nakreslené fázorové diagramy a ty, které změřil počítač.
7. Porovnejte velikost výkonů u souměrného spotřebiče v zapojení do hvězdy a do trojúhelníka.

**! Na měření si přineste USB flashdisk!**

#### Teoretický rozbor:

Trojfázový zdroj dodává tři střídavá napětí stejné velikosti, vzájemně fázově posunutá o  $120^\circ$  ( $2\pi/3$ ).



Zdroj trojfázového napětí

esf evropský sociální fond Investice do lidské kapacity  
Evropská unie  
MŠMT  
IT Vzdělávání pro konkurenceschopnost  
VŠB-TU Ostrava

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Zdroj 3f napětí**  
Návrh animace:  
**Ing. Jan Vaňuš Ph.D.**  
Vypracoval:  
**Ing. Jan Vaňuš Ph.D.**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**VŠB-TU Ostrava**  
Vypracováno v rámci projektu  
**CZ.1.07/2.2.00/15.0463**



▶



Zapojení impedancí trojfázových spotřebičů (ale i vinutí zdrojů) může být provedeno do hvězdy (Y) (viz obr. 8.1) nebo do trojúhelníku ( $\Delta$ ) (viz obr. 8.2).



Zápojení trojfázové sítě


Pro tematický okruh "Elektrotechnika"






**Spotřebič zapojený do hvězdy**

Návrh animace:  
Ing. Jan Vaňuš Ph.D.

Vypracoval:  
Ing. Jan Vaňuš Ph.D.

Fakulta elektrotechniky a informatiky  
VŠB-TU Ostrava  
2012



▶     

Zápojení trojfázové sítě


Pro tematický okruh "Elektrotechnika"






**Spotřebič zapojený do trojúhelníku**

Návrh animace:  
Ing. Jan Vaňuš Ph.D.

Vypracoval:  
Ing. Jan Vaňuš Ph.D.

Fakulta elektrotechniky a informatiky  
VŠB-TU Ostrava  
2012



▶     



Je-li zdroj zapojen do hvězdy, může být z jejího uzlu vyveden střední (dříve nazývaný nulový) vodič N. Fázové vodiče se označují L.

V trojfázovém obvodu se setkáváme se dvěma hodnotami napětí a proudů, (viz obr. 8.1 a 8.2):

- fázové napětí  $U_f$  - napětí mezi fázovým a středním vodičem (v zapojení do Y je rovno napětí na fázi zátěže),
- sdružené napětí  $U_s$  - napětí mezi fázovými vodiči (v zapojení do  $\Delta$  je rovno napětí na fázi zátěže),
- fázový proud  $I_f$  - proud jednou fází zátěže (v zapojení do hvězdy je totožný s proudem v přívodním vodiči),
- sdružený proud  $I_s$  - při zapojení do trojúhelníka je to proud v přívodním vodiči.

Pokud je trojfázový zdroj souměrný, platí pro všechna tři sdružená napětí

$$U_s = U_f \cdot \sqrt{3} \quad (8.1)$$

V zapojení do trojúhelníka, jsou-li zdroj i zátěž souměrné (ve všech fázích stejné), platí

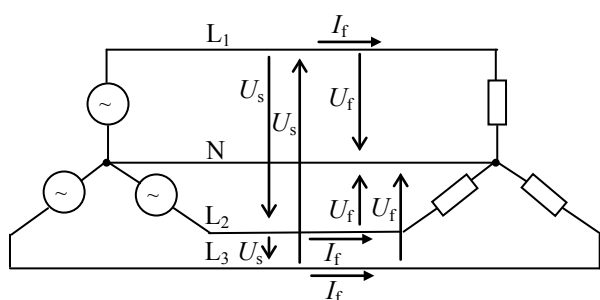
$$I_s = I_f \cdot \sqrt{3} \quad (8.2)$$

Je-li zátěž zapojena do hvězdy, může být ke zdroji připojena třívodičově (bez středního vodiče), nebo čtyřvodičově. Pokud je zátěž i zdroj souměrný, neprotéká středním vodičem proud. V praxi je za normálních okolností trojfázový zdroj souměrný, zátěž ovšem souměrná být nemusí. V případě nesouměrnosti teče středním vodičem určitý proud (vyrovnávací proud), který vyrovnává rozdíly mezi proudy jednotlivých fází.

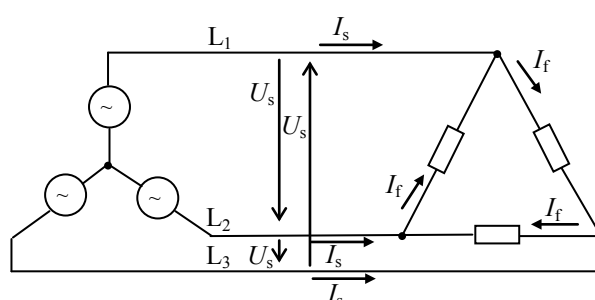
Protože při souměrné zátěži středním vodičem neprotéká žádný proud, někdy není nutné tento vodič vůbec připojovat a používá se třívodičové zapojení. Tak se například zapojuje vinutí trojfázových motorů.

Pokud jsme si jisti, že zátěž je souměrná, můžeme k měření proudu, napětí a výkonu v trojfázovém obvodu použít voltmetr, ampérmetr a wattmetr pouze v jedné fázi. Celkový trojfázový výkon bychom pak spočítali jako:

$$P_{\text{trojfázový}} = 3 \cdot P_{\text{jednofázový}}. \quad (8.3)$$



Obr. 8.1 Poměry v trojfázovém obvodě při zapojení spotřebiče do hvězdy.



Obr. 8.2 Poměry v trojfázovém obvodě při zapojení spotřebiče do trojúhelníka.

Podobně by to platilo i pro jalový a zdánlivý výkon.

Pokud není obvod souměrný, použijeme k měření tři voltmetry, ampérmetry a wattmetry, jak je nakresleno na obr. 8.3. Potom platí

$$P_{\text{trojfázový}} = P_1 + P_2 + P_3 \quad (8.4)$$



Přitom pro jalový a zdánlivý výkon v jedné fázi platí, stejně jako v jednofázovém střídavém obvodu:

$$S = U \cdot I \quad (8.5)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (8.6)$$

Za  $U$  a  $I$  musíme dosadit efektivní hodnoty napětí a proudu v jedné fázi zátěže, tedy u trojúhelníka sdružené napětí a fázový proud, u hvězdy fázové napětí a fázový proud.

#### **Postup výpočtu:**

Při výpočtu hodnot do tabulek je třeba dát pozor na některé skutečnosti:

Při zapojení do  $\Delta$  se měří sdružený, nikoli fázový proud, pro výpočet  $S$  a  $Z$  ale musíme použít fázový proud. Fázový proud vypočítáme ze sdruženého pomocí rovnice (8.2). Pak pro výpočet velikosti impedance, zdánlivého a jalového výkonu ve hvězdě a v trojúhelníku dostaneme vztahy:

spotřebič do Y

$$Z = \frac{U_f}{I_f}$$

$$S = U_f \cdot I_f$$

spotřebič do  $\Delta$

$$Z = \frac{U_s}{I_f} = \frac{U_f \cdot \sqrt{3}}{I_s / \sqrt{3}} = \frac{U_f}{I_s} \cdot 3$$

$$S = U_s \cdot I_f = U_f \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{I_s}{\sqrt{3}} = U_f \cdot I_s$$

spotřebič do Y i do  $\Delta$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Tyto vztahy jsou odvozeny pro konkrétní zapojení v tomto měření a označení veličin (indexy) tak jak jsou označeny v tabulkách 8.1 až 8.7! Nezaměňujte se vztahy při jiném označení veličin (např. různé příklady ve sbírkách)!

Při výpočtu může nastat následující komplikace.

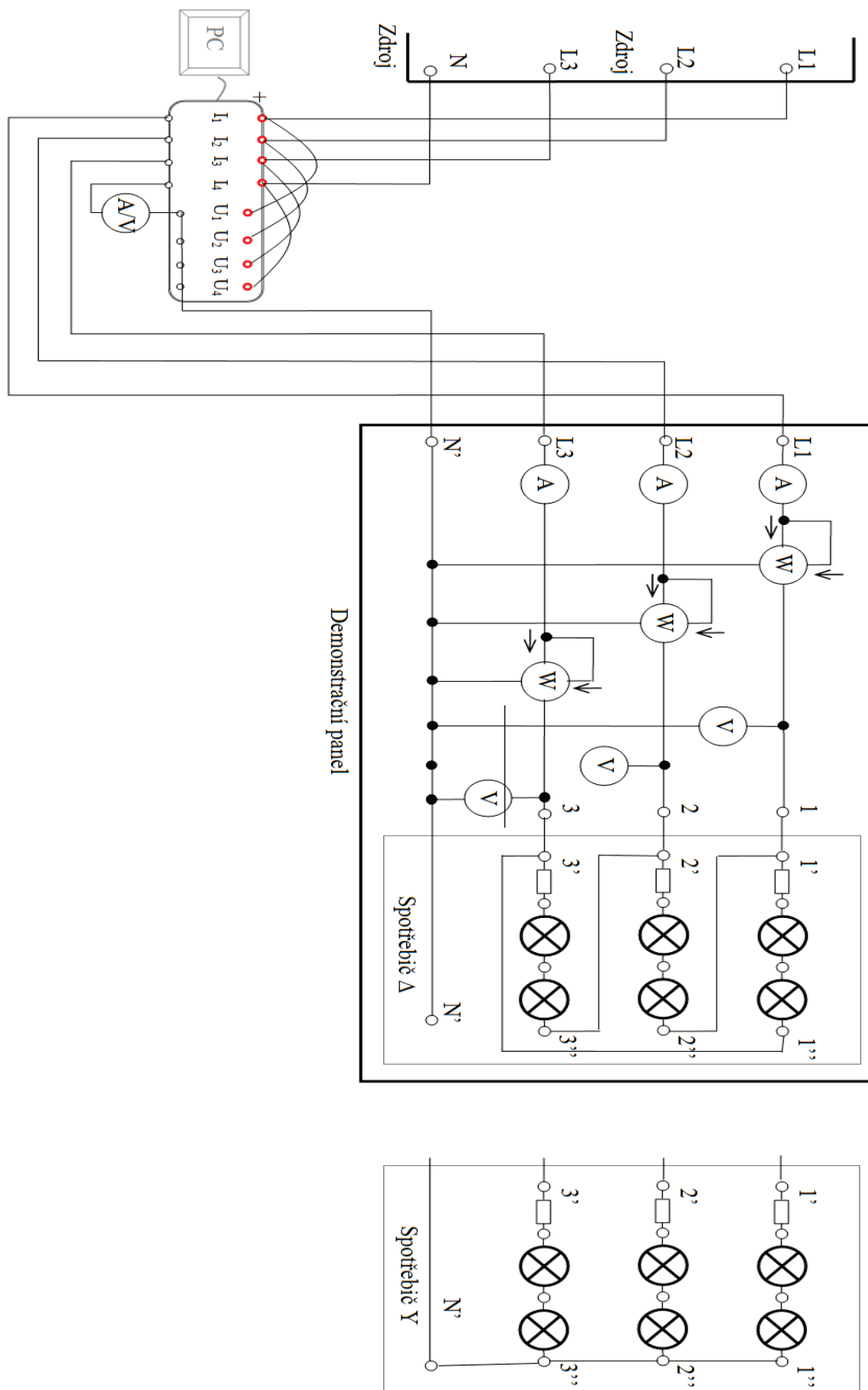
Protože spotřebičem jsou žárovky, které se chovají jako odpor, vzniká na nich pouze činný výkon  $P$  a žádný jalový výkon  $Q$ . Potom  $P=S$ . (To je zcela v pořádku, tak to má být.)

Kdyby měření bylo zcela přesné, tak výraz  $S^2 - P^2$  bude roven 0 a při výpočtu by vyšlo  $Q=0$ .

Ale vlivem nepřesnosti měření může vyjít  $S^2 - P^2$  jako malé kladné číslo, potom nám vyjde malá hodnota  $Q$ , což je sice chyba, způsobená nepřesností měření, ale lze takto postupovat.

Vlivem nepřesnosti měření může někdy vyjít i  $S^2 - P^2$  jako malé záporné číslo. Potom samozřejmě  $\sqrt{S^2 - P^2}$  nelze vypočítat. Pokud při výpočtu nastane tato situace, napište do tabulky  $Q = 0$ , což je ve skutečnosti pravda.





Obr. 8.3 Schéma zapojení.



**Tabulky naměřených a vypočtených hodnot****Tabulka 8.1 pro úlohu 1 (zapojení do trojúhelníka):**

							celkové výkony		
fázový vodič	naměřeno			vypočteno			$P = \sum P_i$	(W)	
	$U_f$	$I_s$	$P$	$Z$	$S$	$Q$			
	(V)	(mA)	(W)	( $\Omega$ )	(VA)	(var)	$Q = \sum Q_i$	(var)	
L1							$S = \sum S_i$	(VA)	
L2									
L3									

**Tabulka 8.2 pro úlohu 2 (zapojení do hvězdy, souměrný zdroj, souměrná zátěž, čtyřvodičové zapojení):**

čtyřvodičové zapojení				$I_{(N)}$ (mA):			celkové výkony		
fázový vodič	naměřeno			vypočteno			$P = \sum P_i$	(W)	
	$U_f$	$I_s$	$P$	$Z$	$S$	$Q$			
	(V)	(mA)	(W)	( $\Omega$ )	(VA)	(var)	$Q = \sum Q_i$	(var)	
L1							$S = \sum S_i$	(VA)	
L2									
L3									

**Tabulka 8.3 pro úlohu 2 (zapojení do hvězdy, souměrný zdroj, souměrná zátěž, třívodičové zapojení):**

třívodičové zapojení				$U_{(N)}$ (V):			celkové výkony		
fázový vodič	naměřeno			vypočteno			$P = \sum P_i$	(W)	
	$U_f$	$I_s$	$P$	$Z$	$S$	$Q$			
	(V)	(mA)	(W)	( $\Omega$ )	(VA)	(var)	$Q = \sum Q_i$	(var)	
L1							$S = \sum S_i$	(VA)	
L2									
L3									

**Tabulka 8.4 pro úlohu 3 (zapojení do hvězdy, souměrný zdroj, nesouměrná zátěž, čtyřvodičové zapojení):**

čtyřvodičové zapojení				$I_{(N)}$ (mA):			celkové výkony		
fázový vodič	naměřeno			vypočteno			$P = \sum P_i$	(W)	
	$U_f$	$I_s$	$P$	$Z$	$S$	$Q$			
	(V)	(mA)	(W)	( $\Omega$ )	(VA)	(var)	$Q = \sum Q_i$	(var)	
L1							$S = \sum S_i$	(VA)	
L2									
L3									



Tabulka 8.5 pro úlohu 3 (zapojení do hvězdy, souměrný zdroj, nesouměrná zátěž, třívodičové zapojení):

třívodičové zapojení		$U_{(N)}$ (V):					celkové výkony		
fázový vodič	naměřeno			vypočteno			$P = \sum P_i$	(W)	
	$U_f$	$I_s$	$P$	$Z$	$S$	$Q$			
	(V)	(mA)	(W)	( $\Omega$ )	(VA)	(var)	$Q = \sum Q_i$	(var)	
L1							$S = \sum S_i$	(VA)	
L2									
L3									

Tabulka 8.6 pro úlohu 4 (zapojení do hvězdy, nesouměrný zdroj, souměrná zátěž, čtyřvodičové zapojení):

čtyřvodičové zapojení		$I_{(N)}$ (mA):					celkové výkony		
fázový vodič	naměřeno			vypočteno			$P = \sum P_i$	(W)	
	$U_f$	$I_s$	$P$	$Z$	$S$	$Q$			
	(V)	(mA)	(W)	( $\Omega$ )	(VA)	(var)	$Q = \sum Q_i$	(var)	
L1							$S = \sum S_i$	(VA)	
L2									
L3									

Tabulka 8.7 pro úlohu 4 (zapojení do hvězdy, nesouměrný zdroj, souměrná zátěž, třívodičové zapojení):

třívodičové zapojení		$U_{(N)}$ (V):					celkové výkony		
fázový vodič	naměřeno			vypočteno			$P = \sum P_i$	(W)	
	$U_f$	$I_s$	$P$	$Z$	$S$	$Q$			
	(V)	(mA)	(W)	( $\Omega$ )	(VA)	(var)	$Q = \sum Q_i$	(var)	
L1							$S = \sum S_i$	(VA)	
L2									
L3									





## 4.2 LITERATURA

Smejkal J, Elektrotechnika, VUT Brno,

TKOTZ K., Příručka pro elektrotechnika: Europa - Sobotáles cz. s.r.o., 2 vydání

Bastian P a kolektiv, Praktická elektrotechnika; Europa - Sobotáles cz. s.r.o., 2 vydání

Stýskala V., Kolář V.: Trojfázový obvod se spotřebičem zapojeným do hvězdy a do trojúhelníku, učební text VŠB TU Ostrava, FEI, 2011

### *Internet*

Laboratorní úlohy do cvičení v předmětu Elektrotechnika:

[http://fei1.vsb.cz/kat420/index\\_stary.html](http://fei1.vsb.cz/kat420/index_stary.html)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA STROJNÍ**



## **ELEKTROTECHNIKA - CVIČENÍ**

---

### **Měření parametrů jednofázových neřízených usměrňovačů**

Ing. Jan Vaňuš Ph.D.

Ing. Roman Hrbáč Ph.D.

Ing. Tomáš Mlčák Ph.D.

**Ostrava 2013**

© Ing. Jan Vaňuš Ph.D., Ing. Roman Hrbáč Ph.D., Ing. Tomáš Mlčák Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3048-3



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

## OBSAH

<b>5</b>	<b>MĚŘENÍ</b>	<b>PARAMETRŮ</b>	<b>JEDNOFÁZOVÝCH</b>	<b>NEŘÍZENÝCH</b>	
	<b>USMĚRŇOVAČŮ</b>	.....			<b>3</b>
<b>5.1</b>	<b>Měření parametrů</b>	<b>jednofázových usměrňovačů</b>	.....		<b>4</b>
<b>5.2</b>	<b>Literatura</b>	.....			<b>11</b>



## 5 MĚŘENÍ PARAMETRŮ JEDNOFÁZOVÝCH NEŘÍZENÝCH USMĚRŇOVAČŮ



### OBSAH KAPITOLY:

#### Měření parametrů jednofázových neřízených usměrňovačů

- Jednocestný, jednofázový usměrňovač s odporovou, odporově induktivní a odporově kapacitní zátěží.
- Dvoucestný jednofázový usměrňovač s odporovou, odporově induktivní a odporově kapacitní zátěží.

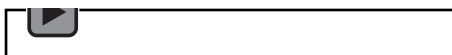


### MOTIVACE:

K provozu četných elektronických zařízení (MP3 přehrávač, notebooky, mobily atd.) je zapotřebí stejnosměrné napětí. K jeho získání se používají síťové usměrňovače, které mění střídavé napětí na stejnosměrné.



Audio 5.1 Motivace



### CÍL:

Jednofázové jednopulsní, jednocestné usměrňovače s odporovou, odporově kapacitní a odporově induktivní zátěží,

jednofázové dvoupulsní, dvoucestné můstkové usměrňovače s odporovou, odporově kapacitní a odporově induktivní zátěží,

schéma zapojení,

průběh a popis naměřených veličin napětí a proudu na vstupu a na výstupu usměrňovače,

střední hodnota napětí a proudu,

efektivní hodnota napětí a proudu.



## 5.1 MĚŘENÍ PARAMETRŮ JEDNOFÁZOVÝCH USMĚRŇOVAČŮ

### Cíl měření:

- Ověření činnosti jednofázových usměrňovačů včetně časových průběhů proudů a napětí.

### Zadání úlohy:

1. Seznamte se se zapojením laboratorních přípravků a pultu, zapojte obvod dle obr. 9.2. Vstupní napětí  $U_1$  nastavujte do hodnoty  $U_1 = 10V$ .
2. Změřte hodnoty obvodových veličin ( $U$  a  $I$ ) a uložte jejich časové průběhy pro zapojení jednopulzního (jednocestného) usměrňovače se zátěží:
  - odporovou ( $R$ ), (jako odpor použijte rezistor  $200 \Omega$ ),
  - odporovou se zapojeným filtračním kondenzátorem,
  - odporovou a induktivní ( $R + L$ ), (odpor tvoří odpor tlumivky + rezistor  $18 \Omega$  na přípravku tlumivky),
  - odporovou a induktivní se zapojenou nulovou diodou  $D_0$ .
3. Změřte hodnoty obvodových veličin ( $U$  a  $I$ ) a uložte jejich časové průběhy pro zapojení dvoupulzního (dvoucestného) můstkového usměrňovače se zátěží:
  - odporovou ( $R$ ), (jako odpor použijte rezistor  $200 \Omega$ ),
  - odporovou se zapojeným filtračním kondenzátorem,
  - odporovou a induktivní ( $R + L$ ), (odpor tvoří odpor tlumivky + rezistor  $18 \Omega$  na přípravku tlumivky).
4. Pro obě zapojení usměrňovačů ověřte pomocí výpočtu velikost výstupního napětí při odporové zátěži bez filtračního kondenzátoru.
5. Porovnejte naměřené a vypočtené hodnoty včetně zdůvodnění jejich rozdílů.
6. Do protokolu vytiskněte uložené časové průběhy  $U$  a  $I$  a okótuje u nich amplitudy a dobu periody.

**! Na měření si přineste USB flashdisk!**

### Teoretický rozbor:

Měnič elektrické energie mění energii určitých parametrů. Polovodičový měnič je statické zařízení, které využívá ke své činnosti odporů, indukčností, kapacit a spínacích vlastností polovodičových prvků. Měnič je elektrický obvod s nelineárními součástkami, proto musí při jeho řešení docházet k určitým zjednodušením. V měniči se přeměna energie na jiné parametry výstupního napětí, proudu, kmitočet apod. děje s minimálními ztrátami a tím s poměrně vysokou účinností.

Základní druhy polovodičových měničů jsou:

- usměrňovače,
- střídače,
- fázově řízené měniče střídavého napětí (softstartéry),
- pulsní měniče, (spínané zdroje),
- střídavé měniče kmitočtu.

### **Usměrňovač**

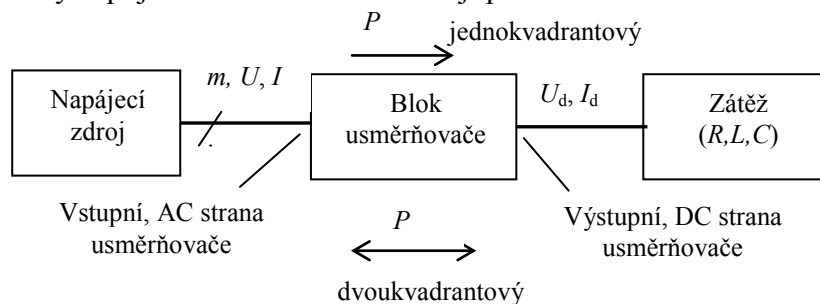
Jedná se o druh výkonového polovodičového měniče používaného k přeměně střídavého proudu na stejnosměrný (AC/DC). Tento o druh provozní jednotky elektronické výkonové přeměny je sestaven z následujících bloků:

- Napájecí zdroj ( $m$ -fázová střídavá napájecí síť- popř. transformátor),
- Vlastní blok usměrňovače obsahující výkonové polovodičové součástky (VPS),



- Zátěž sestávající z kombinace zapojení prvků obvodu  $R, L, C$  popř i s protinapětím  $U_i$ .

Parametry a varianty zapojení těchto bloků ovlivňují provozní vlastnosti usměrňovačů.



**Obr. 9.1** Sestava polovodičového usměrňovače.

Rozdělení usměrňovačů je možno provést na základě různých kritérií (hledisek):

1. *Podle druhu napájecího zdroje (počtu fází):*
  - jednofázové , ( $m=1$ ), třífázové, ( $m=3$ ) ,  $m$ -fázové
2. *Podle charakteru výstupních (stejnoseměrných) veličin:*
  - neřízené, osazené neřiditelnými polovodičovými spínacími součástkami - diodami;
  - řízené, osazené řiditelnými polovodičovými součástkami (tyristory, tranzistory), které podle způsobu provozu (směru toku energie-výkonu) dále dělíme na:
    - jednokvadrantové (energie je přenášena pouze ze zdroje do zátěže);
    - dvoukvadrantové (energie je přenášena ze zdroje do zátěže a naopak).
3. *Podle počtu pulzů (počet komutací z jedné větve na jinou během jedné periody):*
  - jednopulzní , dvoupulzní, trojpulzní, šestipulzní, dvanácti a vícepulzní ( $q = 1, 2, \dots$ )
4. *Podle zapojení měniče (uspořádání jeho výkonového obvodu) z hlediska tvaru proudu na vstupní straně(svorkách) bloku usměrňovače*
  - jednocestné (proud na vstupních svorkách je jednosměrný),
  - dvoucestné (proud na vstupních svorkách je obousměrný).

### **Příklady provedení neřízených usměrňovačů v jednocestném (uzlovém) zapojení** **Jednofázový jednopulsní jednocestný(uzlový) usměrňovač**

Jednofázový jednopulzní usměrňovač


Pro tématiký okruh "Elektrotechnika"


Návrh animace:  
Ing. Tomáš MIČÁK, Ph.D.

Vypracoval:  
Ing. Tomáš MIČÁK, Ph.D.

Fakulta elektrotechniky a Informatiky  
VŠB-Technická univerzita Ostrava

2012



▶ 

Jednofázový dvupulzní usměrňovač

Pro tématiký okruh "Elektrotechnika"

Návrh animace:  
Ing. Tomáš MIČÁK, Ph.D.

Vypracoval:  
Ing. Tomáš MIČÁK, Ph.D.

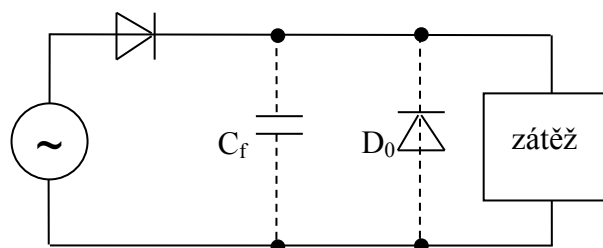
Fakulta elektrotechniky a Informatiky  
VŠB-Technická univerzita Ostrava

2012



▶ 

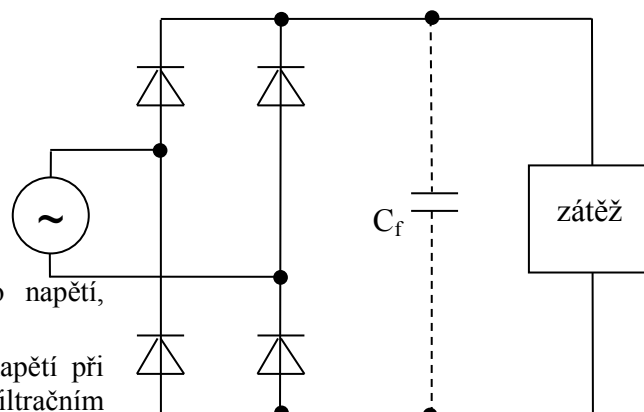




Filtrační kondenzátor  $C_f$  slouží k vyhlazení výstupního napětí, nemusí být v usměrňovači vždy.

Nulová dioda  $D_0$  slouží k odstranění záporných špiček napětí při indukivní zátěži, používá se pouze, je-li to potřeba. S filtračním kondenzátorem je většinou nulová dioda zbytečná a u dvoupulzního usměrňovače se nepoužívá (ostatní diody její funkci nahradí).

Obr. 9.2 Principiální zapojení jednopulzního usměrňovače.



Obr. 9.3 Principiální zapojení dvoupulzního usměrňovače.

### Usměrněné napětí

Průběh okamžité hodnoty usměrněného napětí  $u_d$  se vyznačuje střídavou složkou nasuperponovanou na jeho střední hodnotu  $U_d$ . Při vlastním usměrnění střídavé vstupní veličiny vybírá usměrňovač jen určitou část jeho křivky tak, aby výstupní napětí přiváděné na zátěž bylo stejnosměrné. Z hlediska zvlnění výstupního dc napětí vychází příznivě usměrnění vícefázového vstupního napětí, kdy jsou z jednotlivých fází vybírány ze sinusového průběhu jen části a to v oblasti maxima. Střední hodnotu usměrněného napětí naprázdno  $U_{d0}$  je závislá na zapojení usměrňovače

### Usměrněný proud

Okamžitá hodnota usměrněného proudu je označována  $i_d$ . Průběh  $i_d$  je dán průběhem usměrněného napětí  $u_d$  a zátěží. Obecná zátěž může obsahovat  $R$ ,  $L$ ,  $C$  popř. protinapětí  $U_i$ . Usměrněný proud bude zvlněný a pokud v průběhu periody vstupního napětí nedosáhne nulové hodnoty nazývá se jako nepřerušovaný (spojitý).

Vztahy pro výpočet střední hodnoty výstupního napětí usměrňovače. (Platí pouze pro odporovou zátěž bez filtračního kondenzátoru bez uvažování úbytku na diodách):

Tabulka 9.1 vztahy pro výpočet  $U_d$  na odporové zátěži pro jednopulzní a dvoupulzní usměrňovač.

Zapojení	Jednopulzní	Dvoupulzní
Střední hodnota usměrněného napětí	$U_d = 0,45 \cdot U_1$	$U_d = 0,9 \cdot U_1$

Kde  $U_1$  je efektivní hodnota vstupního napětí usměrňovače.

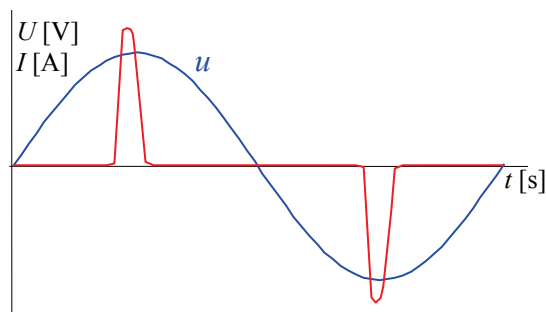
### Zpětné vlivy polovodičových měničů

Elektrické obvody, které obsahují pouze rezistory, indukory a kapacitory, respektive zátěže, jejichž chování lze popsat náhradním schématem obsahujícím pouze tyto prvky, se nazývají *lineární*. Jestliže tyto lineární zátěže jsou připojeny k napájecí síti s harmonickým průběhem napájecího napětí, odebírají ze sítě rovněž harmonický proud a napětí v síti tak nezkrslují. Kromě lineárních zátěží jsou však do napájecí sítě připojeny rovněž takové spotřebiče, jejichž odebíraný proud z napájecí sítě není harmonický a tím napětí v síti více či méně zkrslují. Mají tedy negativní účinky na napájecí síť, ke které jsou připojeny a rovněž i na další zařízení k této síti připojená (jejich vlivem může docházet např. k poruchové činnosti nebo dokonce

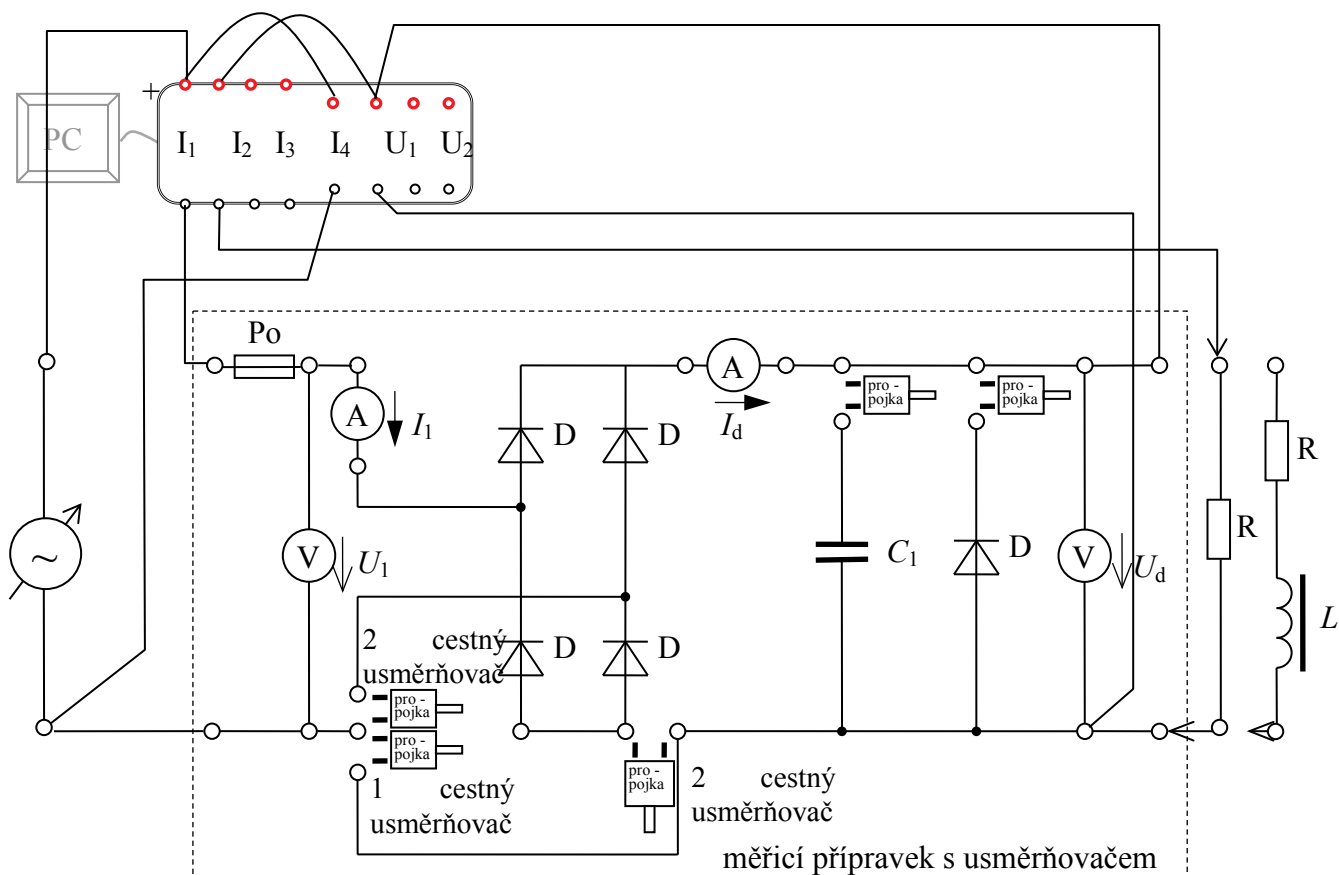




selhání citlivých zařízení, ke snížení přesnosti některých měřících přístrojů, k proudovému přetěžování, zvýšeným vibracím a akustickému hluku zařízení, k přetěžování a nadměrnému přehřívání středního vodiče atd.). Tyto zátěže se pak nazývají *nelineární* a patří sem takové zátěže, které mají ve svých strukturách polovodičové měniče, například usměrňovače (jako jsou např. elektrické regulované pohony či zařízení výpočetní techniky a elektroniky, osvětlení se zářivkami a výbojkami, elektrické obloukové pece, svařovací stroje).



**Obr. 9.4** Časový průběh proudu a napětí, odebraného zařízeními s usměrňovačem na vstupu.



**Obr. 9.5** Schéma zapojení měřícího přípravku.

Poznámka:



- Při zapojení jednopulzního (jednocestného) usměrňovače zasuňte propojku do zdířek pro jednocestný usměrňovač, jak je naznačeno na panelu, při tomto zapojení usměrňuje pouze dioda  $D_1$ .
- Při zapojení dvoupulzního (dvoucestného) usměrňovače jsou dvě propojky ve zdířkách pro dvoucestný usměrňovač, tentokrát usměrňují všechny čtyři diody, jde o můstkové zapojení.
- Měříme-li na usměrňovači s filtračním kondenzátorem, nebo nulovou diodou, připojíme tyto prvky příslušnou propojkou.
- Propojky nikdy nepřepojujte pod napětím! Před každým přepojováním vypněte zdroj. (stačí stáhnout regulátor na 0).



Tabulka 9.2 Naměřené a vypočtené hodnoty pro jednopulzní a dvoupulzní usměrňovač:

zátěž	naměřeno						vypočteno		informativní obrázky časových průběhů napětí a proudů v usměrňovači	
	na měřicích přístrojích				na počítači		$f$ (Hz)	$U_d$ (V)		
	$U_1$ (V)	$I_1$ (A)	$U_d$ (V)	$I_d$ (A)	$U_{1m}$ (V)	$U_{7m}$ (V)				$T$ (s)
1 pulzní usměrňovač										
R										
R + Cf							×			
R + L							×			
R+L+D0							×			
2 pulzní usměrňovač										
R										
R + Cf							×			
R + L							×			

$U_1$  efektivní hodnota vstupního napětí, měří se střídavým voltmetrem.

$I_1$  efektivní hodnota vstupního proudu, měří se střídavým ampérmetrem.

$U_d$  střední hodnota výstupního napětí, měří se stejnosměrným voltmetrem.

$I_d$  střední hodnota výstupního proudu, měří se stejnosměrným ampérmetrem

$U_{1m}$  maximální hodnota vstupního napětí, odečítá se z počítače

$U_{7m}$  maximální hodnota výstupního napětí, odečítá se z počítače

$T$  doba periody, odečítá se z počítače



## 5.2 LITERATURA

Smejkal J, Elektrotechnika, VUT Brno,

TKOTZ K., Příručka pro elektrotechnika: Europa - Sobotáles cz. s.r.o., 2 vydání

Bastian P a kolektiv, Praktická elektrotechnika; Europa - Sobotáles cz. s.r.o., 2 vydání

Stýskala V., Kolář V., Kocman S.: JEDNOFÁZOVÉ NEŘÍZENÉ USMĚRŇOVAČE, učební text VŠB TU Ostrava, FEI, 2011

### *Internet*

Laboratorní úlohy do cvičení v předmětu Elektrotechnika:

[http://fei1.vsb.cz/kat420/index\\_stary.html](http://fei1.vsb.cz/kat420/index_stary.html)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA STROJNÍ**



## **ELEKTROTECHNIKA - CVIČENÍ**

---

### **Simulace ovládání pásové dopravy**

Ing. Jan Vaňuš Ph.D.

Ing. Roman Hrbáč Ph.D.

Ing. Tomáš Mlčák Ph.D.

**Ostrava 2013**

© Ing. Jan Vaňuš Ph.D., Ing. Roman Hrbáč Ph.D., Ing. Tomáš Mlčák Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3048-3



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

## OBSAH

<b>6</b>	<b>SIMULACE OVLÁDÁNÍ PÁSOVÉ DOPRAVY .....</b>	<b>3</b>
<b>6.1</b>	<b>Ovládání pásové dopravy .....</b>	<b>4</b>



## 6 SIMULACE OVLÁDÁNÍ PÁSOVÉ DOPRAVY



### OBSAH KAPITOLY:

#### Simulace ovládání pásové dopravy

- Kontaktní ovládání.
- Bezkontaktní ovládání.

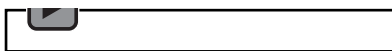


### MOTIVACE:

Pro logické řízení provozně technických funkcí jednotlivých technologií v průmyslu lze použít elektromagneticky ovládané kontaktní spínací přístroje nebo bezkontaktní elektronické spínače. Kontaktní nebo bezkontaktní řízení lze realizovat na základě slovního popisu podmínek fungování technologie v průmyslu (např. hutní, strojní atd.).



#### Audio 6.1 Motivace



### CÍL:

Simulace kontaktního a bezkontaktního ovládání pásových dopravníků,  
princip činnosti relé,  
princip činnosti stykače,  
PLC,  
ovládací schéma zapojení,  
liniové schéma zapojení,  
způsob provádění reverzace asynchronního motoru.

## 6.1 OVLÁDÁNÍ PÁSOVÉ DOPRAVY

### Cíl měření:

- Praktické ověření kontaktního ovládání pohonů a ukázka ovládání pohonu programovatelným automatem.

### Zadání úlohy:

Navrhněte schéma zapojení ovládacích obvodů pro níže uvedené varianty pohonů s asynchronními motory. Činnost ovládacích obvodů ověřte na zkušebním panelu. (Zapojovat budete pouze ovládací obvody. Silové obvody jsou již zapojeny.)

#### Úloha č. 1

Ovládání dopravního pásu M1 dvěma tlačítky (start a stop). Chod bude signalizován světelnou signálkou.

#### Úloha č. 2

Ovládání reverzačního dopravního pásu M2 tlačítky pro oba směry (vlevo, vpravo a stop) se vzájemným blokováním. Chod bude opět signalizován světelnými signálkami.

Po stisknutí levého tlačítka se pás rozjede doleva a rozsvítí se levá signálka, prostředním tlačítkem se pás vypne, po stisknutí pravého tlačítka se rozjede doprava a rozsvítí se pravá signálka. Při chodu pásu vlevo nesmí být možno spustit pás vpravo bez předchozího vypnutí a naopak.

#### Úloha č. 3

Ovládání dvou na sebe navazujících dopravníků tak, aby byla vyloučena možnost zavalení dopravní cesty. Pás M1 je jako první, na něj navazuje M2, který může běžet oběma směry. Ovládání bude provedeno tlačítky. (Každý motor má svá ovládací tlačítka). Chod motorů bude signalizován signálkami. Jedná se o kombinaci zapojení 1 a 2 s tím, že obvod dovolí zapnout nejprve pouze pás M2, pak teprve M1. Při zastavení pásu M2 se automaticky zastaví i pás před ním. (Tak bude vyloučeno zavalení dopravní cesty).

#### Úloha č. 4. Ukázka ovládání pohonu programovatelným automatem.

Zapojte obvod podle schématu s programovatelným automatem LOGO!. V automatu je nahrán program, který plní funkci zapojení z úlohy 3 s některými vylepšeními. Vyzkoušejte jeho funkci.

### Teoretický rozbor:

Kontaktní logické řízení využívá kontaktních spínacích prvků, jak ovládaných ručně (různá tlačítka) tak automaticky (relé, stykače, časová relé). Základním stavebním prvkem je stykač, nebo relé. Funkce stykače a relé je podobná. Jde o elektromagneticky ovládaný spínač. Má cívku, do které se přivede proud a ta způsobí přitažení feromagnetického jádra, které sepne kontakty.

Stykače mívají hlavní kontakty na větší proud (podle typu 10 - 420 A) a pomocné na menší proud (podle typu zhruba do 20 A), relé mívají pouze kontakty na menší proudy do 20 A.

Obvody řízené logickým řízením zpravidla dělíme na dvě části:

- Hlavní (také „silový“ nebo „výkonový“) obvod. Slouží k napájení samotného ovládaného stroje. Nejčastěji je trojfázový ale může být i jednofázový, případně i stejnosměrný – podle toho jaký stroj řídíme.

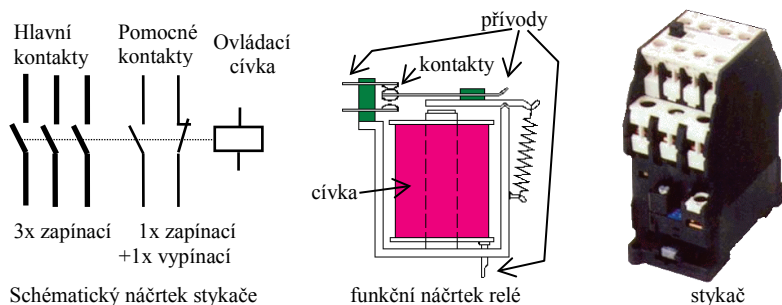




- Ovládací (také „řídící“ nebo „pomocný“) obvod. Slouží k ovládání. Bývá střídavý jednofázový nebo stejnosměrný, může být i na menší napětí než hlavní obvod. Používají se napětí 230V~, 24V~, 24V=, případně i jiné.

Často se kreslí schéma hlavního a ovládacího obvodu na samostatné výkresy.

Ovládací obvody se často kreslí do řádků – takzvané řádkové nebo liniové schéma.

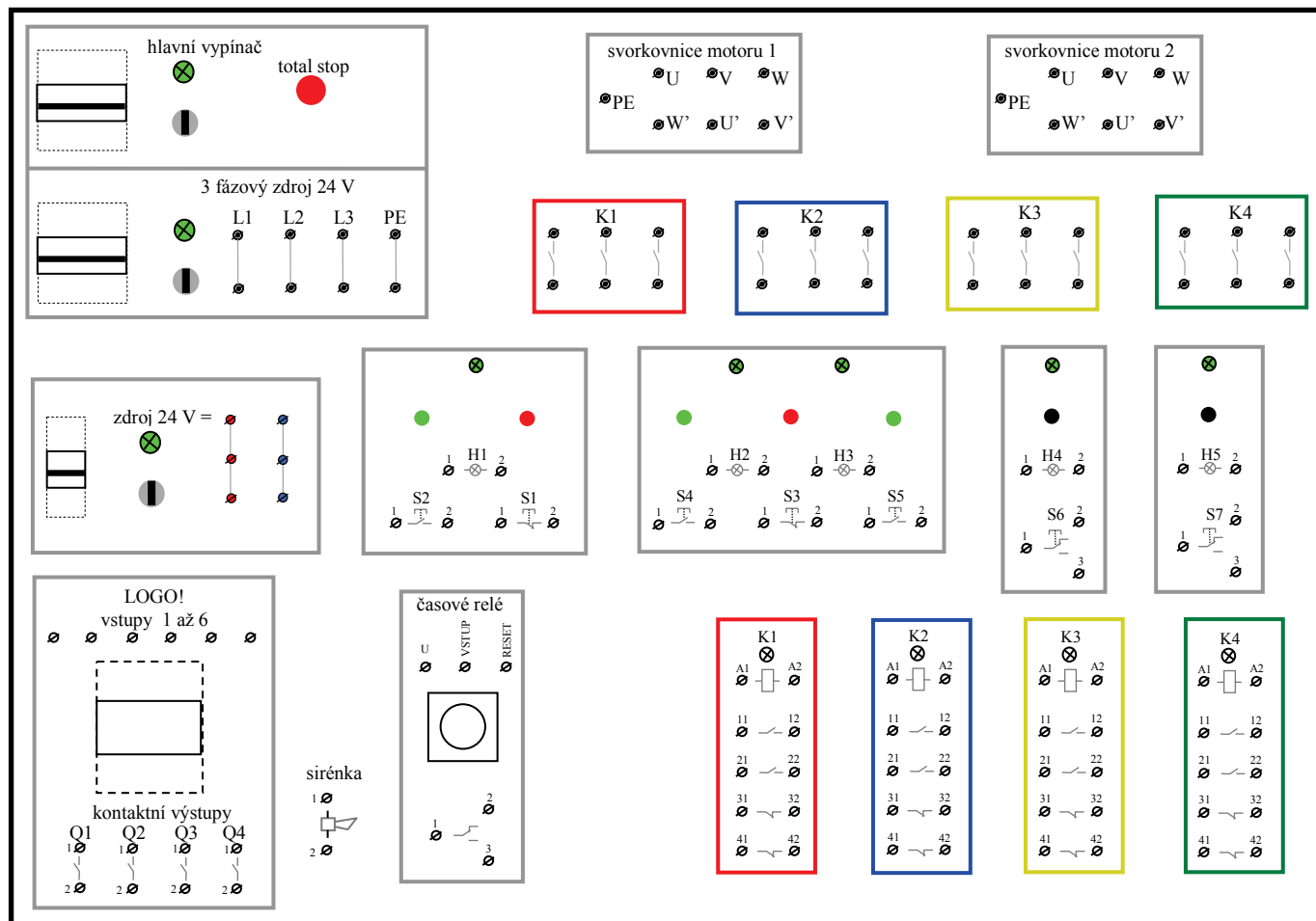


Obr. 10.1 Relé a stykače.

### Programovatelné automaty

Programovatelné automaty jsou moderní elektronické přístroje, které v posledních letech vytlačují stykačové a reléové ovládací obvody. Programovatelný automat má několik digitálních vstupů, které mohou být použity pro připojení ovládacích tlačítek, nebo koncových spínačů signalizujících například otevření dveří stroje a podobně. Kromě toho může mít také analogové vstupy, které slouží pro připojení analogových čidel například hmotnosti, teploty a podobně. Automat má několik digitálních (kontaktních) výstupů, které mohou být použity pro spínání malých spotřebičů. Potřebujeme-li ovládat větší výkon (trojfázový motor a podobně) řeší se to tak, že programovatelný automat spíná stykač a ten pak spíná samotný motor. Ve speciálních případech mohou mít programovatelné automaty i jiné výstupy, např. analogové. Samotnou logickou funkci ovládání realizuje program v automatu, který se většinou vytváří pomocí počítače PC.

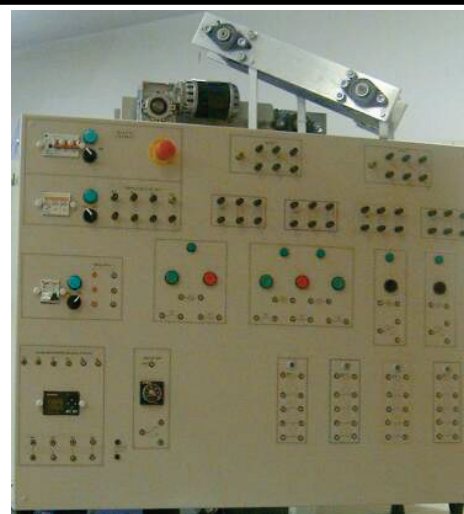
Funkce ovládání může být velmi složitá, na jejíž realizaci by jinak bylo potřeba velké množství různých relé, takže použití programovatelného automatu přinese zjednodušení zapojení, úsporu těchto prvků a také zvýšení spolehlivosti. V této laboratorní úloze je použit programovatelný automat LOGO!, který patří mezi nejjednodušší.



#### legenda

- ⊙ ⊙      zdířky (obyčejná a šroubovací)
- ⊗ ⊗      kontrolky (barva znamená skutečnou barvu)
- ●      tlačítka (barva znamená skutečnou barvu)
- ⎓      jistič
- LOGO!

Obr. 10.2 Nákres a fotografie zkušební panelu.



#### Popis zkušební panelu:

V panelu jsou umístěny zdroje bezpečného malého napětí a to střídavý trojfázový 24 V, pro napájení silových obvodů (motorků) a stejnosměrný 24 V pro napájení ovládacích obvodů. Dále tlačítka a kontrolky, stykače, programovatelný mikrosystém LOGO!, a několik dalších drobných prvků. Na panelu jsou funkční modely pásových dopravníků s trojfázovými asynchronními motorky.

Celý panel je uspořádán tak, aby jeho zapojování bylo co nejjednodušší. Zdířky, ovládací tlačítka a signálky, které spolu souvisejí, jsou společně orámovány čarami. Nákres a fotografie panelu je na obrázku 10.2.

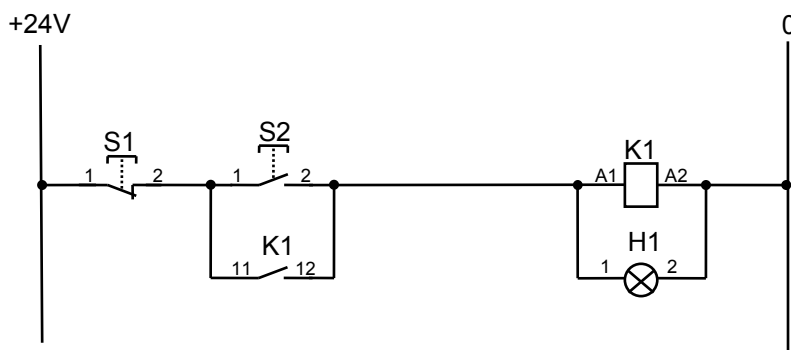


**Schémata zapojení jednotlivých úloh:**

Z časových důvodů budete zapojovat pouze ovládací obvody (silové jsou předem zapojené), ale pro úplnost je zde i schéma silového obvodu.

Poznámka 1: Při praktickém použití by v zapojení musely být navíc jističí prvky (pojistky, jističe nebo nadproudová relé), v naší laboratorní úloze je pro jednoduchost nezapojujeme.

Poznámka 2: Signalizační žárovka má za úkol signalizovat chod pásu. V naší úloze je pro jednoduchost připojena paralelně k cívce stykače. To ale není korektní řešení. V případě poruchy stykače nebo motoru by mohla svítit, i když by pás stál. Proto se v praktických aplikacích signálka zapojuje k samostatnému kontaktu stykače, nebo ještě lépe k čidlu, které snímá, jestli se pás skutečně pohybuje.

**Úloha č. 1**

Obr. 10.3 Liniové schéma zapojení ovládacího obvodu.

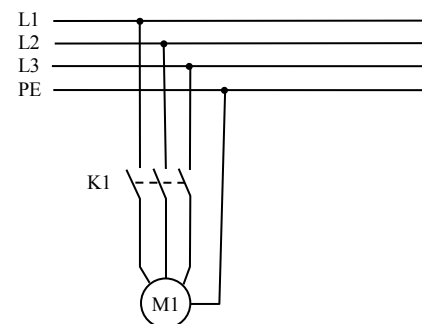
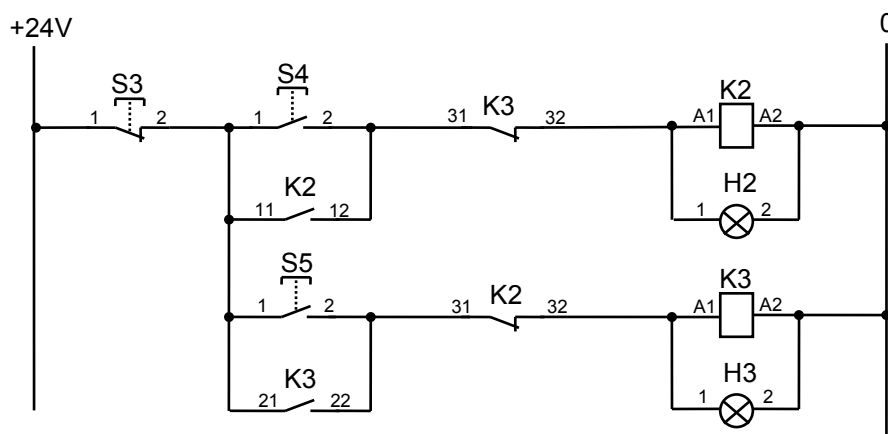


Schéma zapojení silového obvodu.

**Úloha č. 2**

Obr. 10.4 Liniové schéma zapojení ovládacího obvodu.

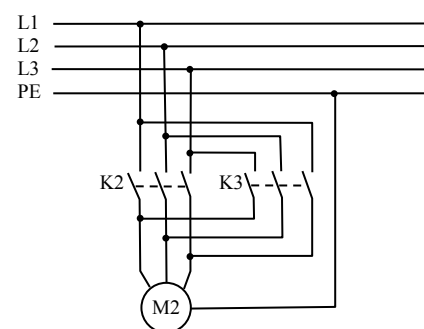


Schéma zapojení silového obvodu.



Úloha č. 3

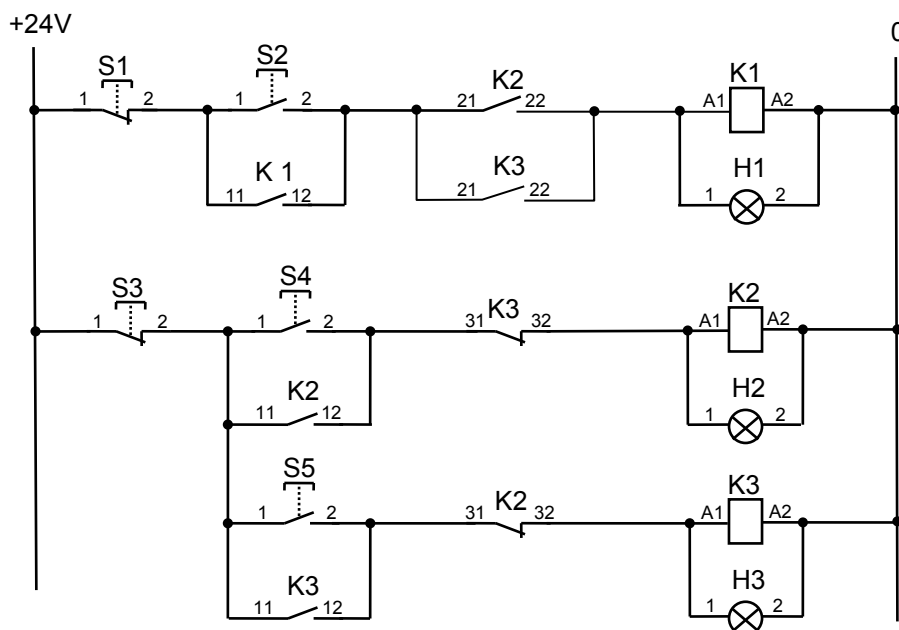


Schéma zapojení silového obvodu je spojením obou zapojení z úloh 1 a 2. Není nutné ho znovu kreslit.

Obr. 10.5 Liniové schéma zapojení ovládacího obvodu.

Úloha č. 4

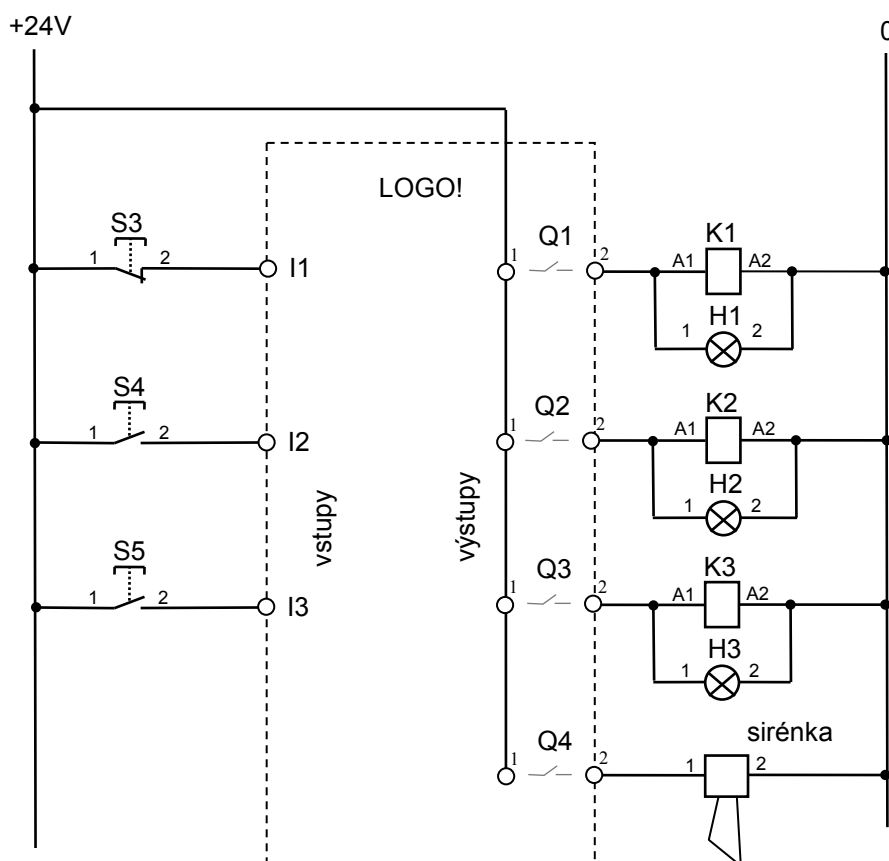


Schéma zapojení silového obvodu je stejné jako u úlohy 3.

Obr. 10.6 Schéma zapojení ovládacího obvodu.



## 6.2 LITERATURA

Smejkal J, Elektrotechnika, VUT Brno,

TKOTZ K., Příručka pro elektrotechnika: Europa - Sobotáles cz. s.r.o., 2 vydání

Bastian P a kolektiv, Praktická elektrotechnika; Europa - Sobotáles cz. s.r.o., 2 vydání

Kolář V.: Počítače pro měření v laboratoři E329, učební text VŠB TU Ostrava, FEI, 2008

Stýskala V.: Popis digitálního multimetru a analogového wattmetru používaných v laboratořích katedry 452, popis měřících stolů v laboratoři E 329, učební text VŠB TU Ostrava, FEI, 2005

### *Internet*

Laboratorní úlohy do cvičení v předmětu Elektrotechnika:

[http://fe1.vsb.cz/kat420/index\\_stary.html](http://fe1.vsb.cz/kat420/index_stary.html)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA STROJNÍ**



## **ELEKTROTECHNIKA - CVIČENÍ**

---

### **Měření parametrů jednofázového transformátoru**

Ing. Jan Vaňuš Ph.D.

Ing. Roman Hrbáč Ph.D.

Ing. Tomáš Mlčák Ph.D.

**Ostrava 2013**

© Ing. Jan Vaňuš Ph.D., Ing. Roman Hrbáč Ph.D., Ing. Tomáš Mlčák Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3048-3



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

## OBSAH

<b>7</b>	<b>MĚŘENÍ PARAMETRŮ JEDNOFÁZOVÉHO TRANSFORMÁTORU.....</b>	<b>3</b>
<b>7.1</b>	<b>Měření na jednofázovém transformátoru (návod do měření).....</b>	<b>4</b>
<b>7.1.1</b>	<b>Měření naprázdno .....</b>	<b>4</b>
<b>7.1.2</b>	<b>Měření nakrátko.....</b>	<b>5</b>
<b>7.1.3</b>	<b>Měření při zatížení .....</b>	<b>6</b>
<b>7.2</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>8</b>



## 7 MĚŘENÍ PARAMETRŮ JEDNOFÁZOVÉHO TRANSFORMÁTORU



### OBSAH KAPITOLY:

#### Měření parametrů jednofázového transformátoru

- Zapojení transformátoru naprázdno.
- Zapojení transformátoru se zátěží.
- Zapojení transformátoru nakrátko.

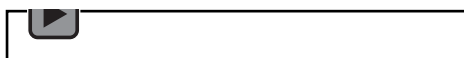


### MOTIVACE:

Elektrické stroje slouží k výrobě, přeměně a využití elektrické energie. V elektrárnách vyrábějí generátory elektrickou energii přeměnou z mechanické energie. Aby bylo možné přenést elektrickou energii z elektrárny až do zásuvky v pokoji, je nutné mimo jiné také použít transformátory, které mění elektrickou energii na formu vhodnou pro přenos nebo využití. Jednofázové transformátory přeměňují jednofázový střídavý proud na jednofázový střídavý proud téhož kmitočtu, ale jiného napětí.



#### Audio 7.1 Motivace



### CÍL:

Princip činnosti transformátoru, převod, příkon, výkon, výkonové ztráty,  
provoz transformátoru v zapojení naprázdno - napětí naprázdno,  
provoz transformátoru v zapojení nakrátko - napětí nakrátko,  
provoz transformátoru v zapojení se zátěží - napětí na sekundárním vinutí zatíženého transformátoru.





## 7.1 MĚŘENÍ NA JEDNOFÁZOVÉM TRANSFORMÁTORU (NÁVOD DO MĚŘENÍ)

Transformátory jsou netočivé elektromagnetické stroje, které při své činnosti převádějí bez pohybu elektromagnetickou indukci střídavé nebo přerušované proudy, přiváděné do jedné obvodu (primárních) ve střídavé proudy nebo proudové impulzy odebrané z druhých obvodů (sekundárních). Při této činnosti je frekvence v primárních i sekundárních obvodech stejná. Přenos elektrické energie transformátorem je možný v obou směrech, většinou je transformátor používán v jednom směru energie.

Podle počtu fází se dělí na: a) jednofázové (zpravidla menších výkonů),  
b) třífázové.

Postup při měření na jednofázových transformátorech je odlišný od měření na třífázových.

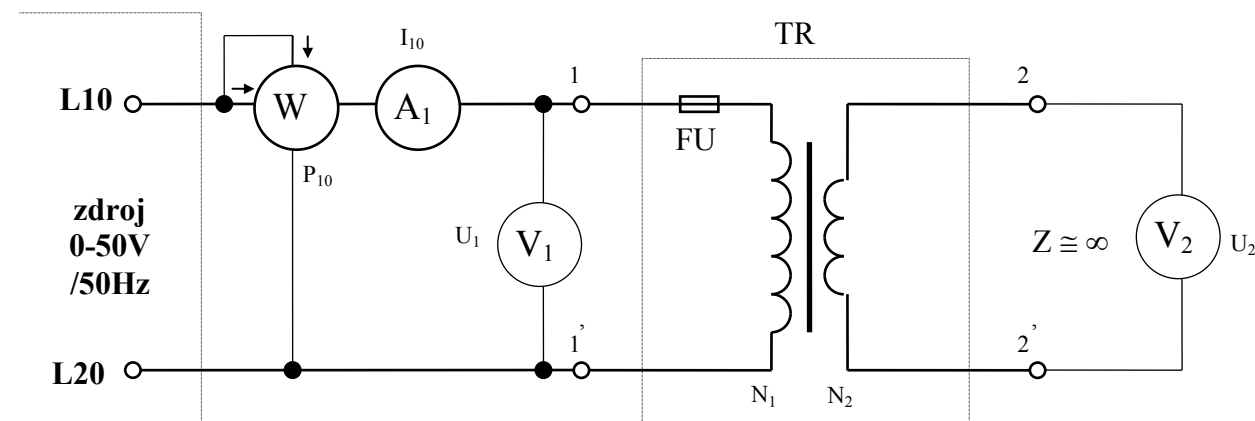
### Zadání úlohy:

1. Měřením naprázdno zjistíte **zdánlivý příkon, činné ztráty, účinník a převod transformátoru**, zakreslete požadované závislosti Požadované závislosti ( $P_{10}=f(U_1)$ ,  $I_{10}=f(U_1)$ ,  $\cos \varphi_{10}=f(U_1)$ ) vyjádřete graficky.
2. Měřením nakrátko určete **procentní napětí nakrátko, procentní impedanci nakrátko, skutečný ustálený zkratový proud v primárním i sekundárním vinutí**. Měření doplňte požadovanými grafickými závislostmi.
3. Při zatěžování transformátoru změnou rezistoru  $R_L$ , zjistíte **zdánlivé a činné výkony, účinník v primárním obvodě, účinnost transformátoru a velikost zatěžovacího odporu  $R_L$** . Požadované závislosti ( $U_2=f(I_2)$ ,  $P_2=f(R_L)$ ,  $\cos \varphi_1=f(I_2)$  a  $\eta=f(I_2)$ ) vyjádřete graficky.

### 7.1.1 Měření naprázdno

Před měřením si opišeme údaje ze štítku měřeného transformátoru.

Obvod zapojíme podle schématu na obr. 1. Voltmetr na sekundárním vinutí transformátoru musí mít velký vnitřní odpor  $R_i$  (dodržení podmínky  $Z_L = \infty$ ), všechny digitální multimetry této podmínce vyhovují.



Obr. 11.1 Schéma zapojení transformátoru pro měření ve stavu naprázdno.

Plynule budeme nastavovat hodnoty napětí zdroje  $U_1$  až do hodnoty  $U_{1N}$ . V primárním obvodu zapojeným wattmetrem měříme příkon naprázdno  $P_{10}$ , ampérmetrem  $A_1$  měříme proud naprázdno transformátoru  $I_{10}$ , voltmetrem  $V_1$  napětí naprázdno. Výpočtem určíme velikost zdánlivého příkonu naprázdno  $S_{10}$  a následně účinník naprázdno  $\cos \varphi_{10}$ . To tabulky



zapišeme údaje o napětí v sekundárním obvodu  $U_{20}$  z voltmetru  $V_2$  a určíme dle níže uvedeného vztahu hodnotu převodu transformátoru  $k$ .

Z jmenovitých hodnot napětí je možné určit jmenovitý převod transformátoru při zatížení  $k_N$  (nebudeme určovat).

Do grafů zakreslíme požadované závislosti  $P_{10} = f(U_1)$ ,  $I_{10} = f(U_1)$  a  $\cos \varphi_{10} = f(U_1)$ .

Ztráty naprázdno  $P_{10}$  představují ztráty v železe  $P_{dFe}$  a ztráty vzniklé v ohmickém odporu primárního vinutí

$$P_{10} = P_{d0} = P_{dFe} + R_1 \cdot I_{10}^2 \quad (\text{W, W, W, } \Omega, \text{ A})$$

Účinník naprázdno určíme ze vztahu

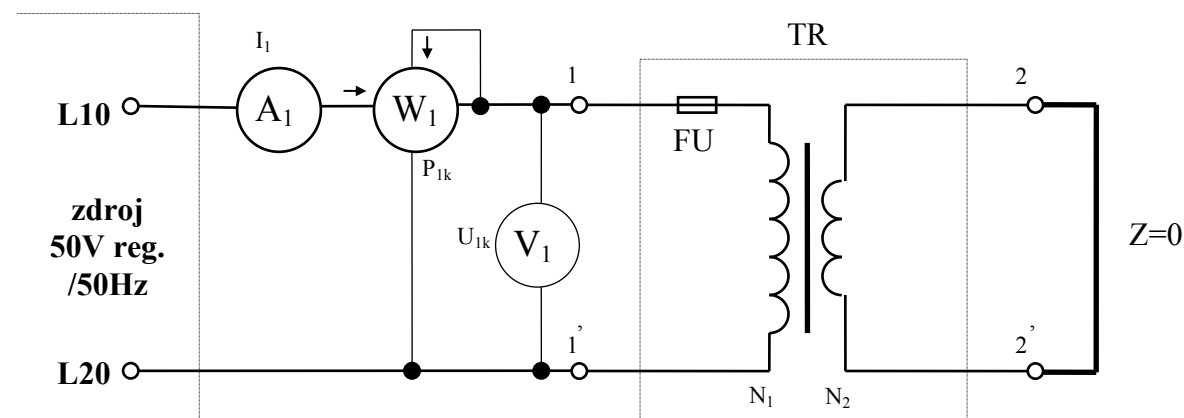
$$\cos \varphi_{10} = \frac{P_{10}}{S_{10}} = \frac{P_{10}}{U_1 \cdot I_{10}} \quad (-, \text{ W, V, A})$$

zanedbáme-li úbytky napětí (ve stavu naprázdno jsou velmi malé), vypočítáme převod transformátoru ze vztahu:

$$k = \frac{U_{1N}}{U_{20}} = \frac{N_1}{N_2} \quad (-, \text{ V, V, -, -, -})$$

### 7.1.2 Měření nakrátko

Spojením sekundárních svorek transformátoru bezimpedanční spojkou ( $Z_L = 0$ ) dosáhneme stavu nakrátko, viz obr. 11.2. Měřicí přístroje  $A_1$ ,  $V_1$  a  $W_1$  zapojujeme do primárního obvodu dle schématu, proud v sekundárním vinutí neměříme, neboť bychom vnitřním odporem ampérmetru nepříznivě ovlivnili měření ( $R_{iA} > 0$ ).



Obr. 11.2 Schéma zapojení transformátoru pro měření ve stavu nakrátko.

Transformátor smí být připojen v tomto případě ke zdroji napětí jen při velmi malém napětí ( $U_1 \Rightarrow 0\text{V}$ ). Při vyšších napětích by došlo vlivem prudkého nárůstu ztrát k zahřívání vinutí a k poškození transformátoru!!!

Při měření postupujeme tak, že opatrným zvyšováním napájecího napětí  $U_1$  z hodnoty  $0\text{V}$ , nastavíme proud  $I_1$  tak, aby jeho velikost dosáhla jmenovité hodnoty  $I_{1N}$ . Současně měříme primární napětí  $U_{1k}$  a ztráty  $P_{1k} = P_{d1k}$ . Měření provádíme co nejrychleji.

K určení zbývajících hodnot použijeme následující vztahy:

Procentní napětí nakrátko  $u_k$  určíme výpočtem:

$$u_k = \frac{U_{1k}}{U_{1N}} \cdot 100 = \frac{Z_{1k} \cdot I_{1k}}{Z_{1N} \cdot I_{1N}} \cdot 100 = \frac{Z_{1k}}{Z_{1N}} \cdot 100 = z_k \quad (\%, \text{ V, V, } \Omega, \Omega, \%)$$



Z výše uvedeného je zřejmé, že při splnění podmínky  $I_{1k} = I_{1N}$ , je procentní napětí nakrátko  $u_k$  číselně rovno procentní impedanci nakrátko  $z_k$ .

Skutečný ustálený zkratový proud  $I_{1k}$ , který by protékal primárním vinutím při napájení jmenovitým napětím  $U_{1N}$  určíme

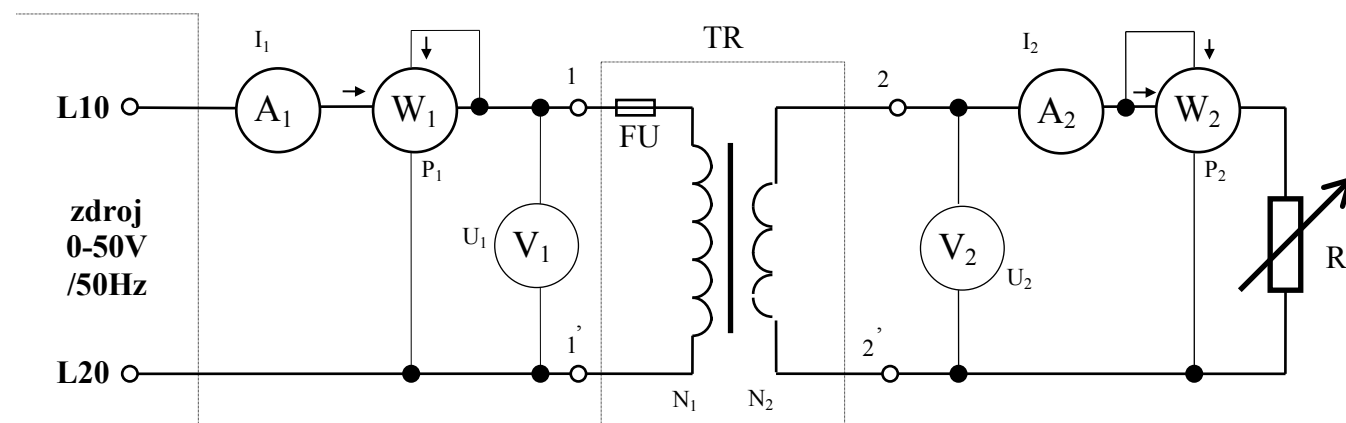
$$I_{1k} = \frac{I_{1N}}{u_k} \cdot 100 \quad (\text{A, A, \%})$$

a skutečný zkratový proud v sekundárním vinutí, pokud ho neměříme, určíme přibližně

$$I_{2k} = k \cdot I_{1k} \quad (\text{A, -, A})$$

### 7.1.3 Měření při zatížení

Zátěž bude představovat proměnný rezistor  $R_L$  (reostat). Je připojen spolu s ampérmetrem  $A_2$  ke svorkám sekundárního vinutí dle schématu na obr. 11.3.



Obr. 11.3 Schéma zapojení transformátoru pro měření ve stavu při zatížení.

Měření provádíme při na počátku nastavené jmenovité hodnotě primárního napětí ( $U_{1N} = \text{konst.}$ ), při  $R_L$  odpojeném.

Postupnou změnou velikosti rezistoru  $R_L$  měníme zatěžovací proud  $I_2$  tak, abychom nepřekročili více jak 1,2 - násobek  $I_{2N}$ . Údaje naměřené měřicími přístroji  $A_2$ ,  $W_1$ ,  $V_2$ ,  $A_1$ ,  $W_2$  zapisujeme do tabulky, vypočteme požadované hodnoty veličin, hodnota napětí  $U_1$  se s rostoucím zatížením bude podobně jako  $U_2$  zmenšovat. Do grafů vyneseme požadované závislosti  $U_2 = f(I_2)$ ,  $P_2 = f(R_L)$ ,  $\cos \varphi_1 = f(I_2)$  a  $\eta = f(I_2)$ .

Účinnost transformátoru je vysoká a je definována poměrem činného výkonu  $P_2$  odebíraného z výstupních svorek spotřebičem ( $R_L$ ) k příkonu  $P_1$  na vstupních svorkách, odebíraného z napájecího zdroje nebo sítě pro známé zatížení a známý účinník zátěže.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \quad (\%, \text{W, W})$$

#### Poznámka

Při provozu energetických transformátorů, musí existovat vždy určitá rezerva ve výkonu, ze které je možno krýt nárůst spotřeby el. energie, takže transformátor pracuje většinou s proměnlivým zatížením podstatně menším než 100% a proto je z ekonomického hlediska nutné, aby účinnost transformátoru byla největší právě při tomto zatížení a nikoliv při plném zatížení.



**Tabulky****Tabulka 11.1 Měření naprázdno.**

Číslo měření	naměřené hodnoty				vypočtené hodnoty		
	$U_1 = U_{10}$ (V)	$I_{10}$ (A)	$U_{20}$ (V)	$P_{10}$ (W)	$S_{10}$ (V.A)	$\cos \varphi_{10}$ (-)	$k$ (-)
1.	5						
2.	10						
3.	15						
4.	20						
5.	25						
6.	30						
7.	35						
8.	40						
9.	45						
10.	48						

**Tabulka 11.2 Měření nakrátko.**

$$I_{1N} = 1,65 \text{ A}$$

Číslo Měření	naměřené hodnoty			vypočtené hodnoty				
	$I_1$ (A)	$U_{1k}$ (V)	$P_{1k}$ (W)	$S_{1k}$ (V.A)	$u_k$ (%)	$\cos \varphi_{1k}$ (-)	$I_{1k}$ (A)	$I_{2k}$ (A)
1.	$I_1 = I_{1N} = 1,65 !$							

**Tabulka 11.3 Měření při zatížení.**

Číslo měření	naměřené hodnoty						vypočtené hodnoty					
	$U_1$ (V)	$I_2$ (A)	$P_1$ (W)	$U_2$ (V)	$I_1$ (A)	$P_2$ (W)	$R_L$ ( $\Omega$ )	$S_1$ (V.A)	$\cos \varphi_1$ (-)	$S_2$ (V.A)	$\eta$ (%)	
1.	$U_{1N} = 48V$	0										
2.	48	1,4										
3.	48	1,7										
4.	48	2,0										
5.	48	2,3										
6.	48	2,6										
7.	48	2,9										
8.	48	3,2										
9.	48	3,5										
10.	48	3,8										



## 7.2 LITERATURA

Smejkal J, Elektrotechnika, VUT Brno,

TKOTZ K., Příručka pro elektrotechnika: Europa - Sobotáles cz. s.r.o., 2 vydání

Bastian P a kolektiv, Praktická elektrotechnika; Europa - Sobotáles cz. s.r.o., 2 vydání

Kolář V.: Počítače pro měření v laboratoři E329, učební text VŠB TU Ostrava, FEI, 2008

Stýskala V.: Popis digitálního multimetru a analogového wattmetru používaných v laboratořích katedry 452, popis měřících stolů v laboratoři E 329, učební text VŠB TU Ostrava, FEI, 2005

### *Internet*

Laboratorní úlohy do cvičení v předmětu Elektrotechnika:

[http://fei1.vsb.cz/kat420/index\\_stary.html](http://fei1.vsb.cz/kat420/index_stary.html)

Technická specifikace multimetru M3900:

[http://www.rss.tul.cz/ftppub/mt2/multimetr\\_dmm3900\\_specifikace.pdf](http://www.rss.tul.cz/ftppub/mt2/multimetr_dmm3900_specifikace.pdf)

Popis wattmetru EL 20:

<http://elm-fur.wz.cz/popis.pdf>

