

ELM

ver.1.2

1. Úvod do elektrického měření

1.1 Úvod

1.1.1 Zásady bezpečnosti práce

1.2 Základní pojmy a vlastnosti měřicích přístrojů

1.3 Volba měřicího přístroje a metody měření

1.3.1 Metody měření

1.4 Chyby měření

1.4.1 Chyby analogových měřicích přístrojů

1.4.2 Chyby číslicových měřicích přístrojů

2. Měřicí přístroje

2.1 Analogové měřicí přístroje

2.2 Číslicové měřicí přístroje

2.3 Osciloskop

2.3.1 Analogový osciloskop

2.3.2 Digitální osciloskop

2.3.3 Měření osciloskopem

2.4 Ostatní měřicí přístroje

3. Měření elektrických veličin

3.1 Měření elektrického napětí

3.2 Měření elektrického proudu

3.3 Měření elektrického odporu

3.3.1 Měření izolačního odporu

3.3.2 Měření zemního odporu

3.4 Měření frekvence a periody

3.5 Měření výkonu elektrického proudu

3.5.1 Měření výkonu stejnosměrného proudu

3.5.2 Měření výkonu střídavého proudu

3.5.3 Měření výkonu v trojfázové soustavě

3.6 Měření elektrické práce

3.7 Měření vlastní indukčnosti cívky

3.8 Měření kapacity

3.9 Měření impedance

3.10 Měření fázového posuvu

4. Praktická měření

4.1 Měření na transformátorech

4.2 Měření charakteristik polovodičových součástek

4.3 Měření na zesilovačích

5. Měření neelektrických veličin

4.1 Měření neelektrických veličin měřicími přístroji pro elektrotechniku

T1 Úvod do elektrického měření

1.1 Úvod

Měření – zjišťování informací o zájmové veličině. Pro měření veličin, které nejsou lidskými smysly zjistitelné (porovnatelné) používáme pomůcky – měřicí přístroje. Měřicí přístroje (dále jen mp) pro měření veličin v elektrotechnice využívají výhod elektrické energie a to je snadnost zpracování jako např. zesílení, digitalizace, transformace, popř. přeměna na jiný druh energie a další. Měřením získáme informaci o přibližné hodnotě (velikosti, úrovni) měřené veličiny. Vliv na přesnost měření má samozřejmě výběr mp a dále jeho správné nastavení a rovněž způsob měření. Problematika přesnosti měření a jejího zjišťování je poměrně široká a bude jí věnováno jedno z témat.

Použitím mp v obvodu vždy dojde k ovlivnění procesů v tomto obvodu, následkem je změna měřených veličin tzn. i ovlivnění přesnosti měření. Základní požadavek při měření jakékoli veličiny proto je co nejmenší ovlivnění měřeného obvodu ze strany mp. Toho se dá dosáhnout volbou vhodného mp a způsobu připojení. Přesnost měření vždy souvisí s účelem, za kterým se měření provádí. Jinou přesnost měření budeme požadovat při informativním zjišťování přítomnosti napětí například v zásuvce a vyšší požadavky budou kladeny na měření při laboratorních úlohách.

Z výše uvedeného je jasné, že dosažení použitelných výsledků při měření je závislé na dobrých teoretických znalostech a provedení vhodné přípravy na měření. Vždy je třeba si uvědomit účel, za jakým se měření provádí a k tomuto účelu zvolit odpovídající prostředky a vhodnou metodu měření.

1.1.1 Zásady bezpečnosti práce

- 1. Dodržuj pokyny učitele, které jsi dostal před započítím práce. Při jakýchkoli nejasnostech žádej vysvětlení a pomoc. Přidělenou práci vykonávej pečlivě, neruš při práci ostatní.**
2. Pokud nejsi z nějakého důvodu schopen vykonávat svěřenou práci, jsi povinen toto sdělit vyučujícímu.
3. Pracuj tak abys při práci neohrožoval zdraví své nebo ostatních. Pracuj s maximální opatrností a vědomím možného nebezpečí při vykonávané práci.
4. Žákům je dovoleno pracovat pouze se zařízením a vybavením na které byli proškoleni, před prací je třeba se přesvědčit o tom, že zařízení je funkční a nepoškozeno.
5. Svěřené pracoviště, nářadí a přístroje udržuj v řádném stavu a vyvaruj se činností, které mohou vést k jejich poškození.
6. Každou zjištěnou závadu jsi povinen ohlásit vyučujícímu, je zakázáno provádět opravy na vybavení školní dílny.
7. Je zakázáno odstraňovat ze zařízení bezpečnostní kryty a jiná ochranná zařízení.
8. Každý i sebemenší úraz svůj nebo ostatních jsi povinen nahlásit vyučujícímu.
- 9. V době vyučování a před ním je zakázáno požívat alkoholických nápojů, nebo jiných omamných látek.**
10. Dodržuj protipožární zásady a předpisy.

1.2 Základní pojmy a vlastnosti měřicích přístrojů

Základní pojmy v používané v elektrickém měření:

- 1) MĚŘENÍ – je to určování číselné hodnoty fyzikální veličiny (např. el. napětí).
- 2) POČÍTÁNÍ – určování počtu událostí stejného typu nebo předmětů v určitém časovém úseku (např. počet impulzů za sekundu).
- 3) ZKOUŠENÍ – zjišťování zda má zkoušený předmět předepsané vlastnosti a jsou-li tyto vlastnosti v předepsaných tolerancích (revize el spotřebičů)
- 4) KALIBROVÁNÍ – zjištění rozdílu mezi skutečnou hodnotou a hodnotou naměřenou měřicím přístrojem.
- 5) JUSTOVÁNÍ – nastavení ukazatele mp tak aby ukazoval správnou hodnotu.
- 6) KONTROLOVÁNÍ (cejchování) – úřední postup při ověření správnosti mp. Kontrola se potvrzuje označením přístroje značkou a u předepsaných přístrojů je třeba ji periodicky opakovat.

Základní vlastnosti měřicích přístrojů:

- 1) MĚŘÍCÍ ROZSAH ($M_{\max}$) – vyjadřuje rozmezí hodnot veličiny v němž přístroj měří s přesností, která odpovídá ustanovením normy.
- 2) CITLIVOST mp (C) – udává, jakou výchylkou ručky reaguje na jednotku měřené veličiny. Je to převrácená hodnota konstanty $c = 1/k$
- 3) KONSTANTA mp – je to převrácená hodnota citlivosti vyjadřuje velikost měřené veličiny na jeden dílek stupnice. $k = \frac{M_{\max}}{\alpha_{\max}}$ $k = \text{měřicí rozsah} / \text{počet dílků stupnice}$.
- 4) PŘESNOST MĚŘENÍ – vyjadřuje se třídou přesnosti T_p dle norem ČSN 0,05, až 5 čísla vyjadřují povolenou odchylku od skutečné velikosti v % z měřeného rozsahu. Nejpřesněji měříme při plné výchylce, se zmenšující se výchylkou skutečná chyba vzrůstá.
1,5 - T_p vyjádřena z rozsahu
 - T_p vyjádřena z počtu dílků na stupnici
 - T_p vyjádřena ze skutečné hodnoty
- 5) PŘETÍŽITELNOST – každý mp lze přetížit, tzn. připustit větší hodnoty, než je jeho rozsah. Přetížitelností, se rozumí násobek (překročení) jeho max. hodnoty, kterou vydrží přístroj po určitou dobu bez poškození.
a) dlouhodobá cca 1,2 násobku (20%)
b) krátkodobá cca 2 násobek (100%) .
- 6) VLASTNÍ SPOTŘEBA – mp při měření prochází el. proud a dochází tím k úbytku napětí v měřeném obvodu. Výkon potřebný k dosažení maximální výchylky ručky se nazývá „vlastní spotřeba“ (W, mW, VA). U stejnosměrných měř. přístrojů se vyjadřuje ve wattech (nepřímo vnitřním odporem R_i).

$$P = R_i \times I^2, P = \frac{U^2}{R_i} \quad [W]$$

U střídavých mp se vyjadřuje ve VA (nepřímo vnitřní impedancí).

$$S = Z_i \times I^2, S = \frac{U^2}{Z_i} \quad [VA]$$

1.3 Volba měřicího přístroje a metody měření

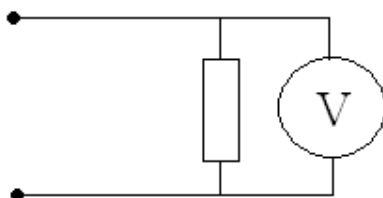
Správná volba měřicího přístroje je určující pro dosažení co nejpřesnějších výsledků měření. Volba mp je tedy v první řadě určována druhem měřené veličiny a požadavky na přesnost měření. Při volbě mp jsme dále vázáni zvolenou měřicí metodou, rušivými vlivy okolí a samozřejmě dostupným vybavením měřicího pracoviště.

1.3.1 Metody měření

Pro odpovídající přesnost měření je třeba kromě měřicího přístroje zvolit správně metodu měření. V závislosti na druhu měřené veličiny vybíráme měřicí metodu podle následujících kritérií:

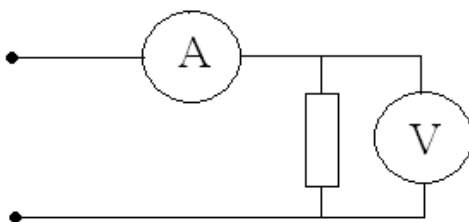
- přesnost měření
- dostupnost vybavení
- časové nároky

- a) metoda přímá - ke změření dané veličiny použijeme příslušný měřicí přístroj např. el. proud – ampérmetr; napětí – voltmetr; odpor – ohmmetr (obr.1).



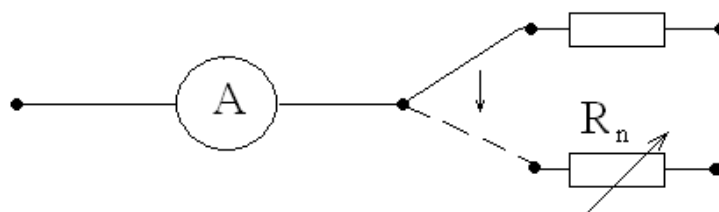
Obr. 1. Metoda přímá.

- b) metoda nepřímá - měřenou veličinu vypočítáme z naměřených hodnot jiných veličin, na kterých měřená veličina závisí. Např.: změříme napětí a proud, a podle Ohmova zákona vypočítáme $R = \frac{U}{I} [\Omega]$ (obr. 2).



Obr. 2. Metoda nepřímá.

- c) metoda porovnávací - měřenou hodnotu srovnáme se známou hodnotou měřené veličiny. Příklad měříme proud procházející obvodem (obr. 3) na odporové dekádě nastavíme takovou hodnotu odporu, aby hodnoty proudu v obou případech byly stejné. Pokud se rovnají hodnoty proudu je z Ohmova zákona jasné, že i hodnoty odporů jsou stejné. Nakonec stačí odečíst hodnotu odporu na odporové dekádě a dostáváme požadovanou hodnotu odporu neznámého rezistoru.



Obr. 3. Metoda porovnávací.

1.4 Chyby měření

Ani nejpřesnější mp nedokáže změřit veličinu zcela přesně, vždy se naměřený údaj liší od skutečné hodnoty. Na konečném výsledku se odráží nedokonalost měřicího přístroje, zvolená metoda měření, okolní podmínky, za kterých se měření provádí a samozřejmě chyba způsobená obsluhou mp. Cílem správného měření je, aby odchylka od skutečné hodnoty byla co nejnižší. Jak bylo napsáno v úvodu vždy záleží na účelu měření a tomu by měla odpovídat i požadovaná přesnost měření.

V praxi se však nezjišťuje ani tak samotná přesnost měření, ale velikost chyby daného měření. Správně určená (vypočtená) velikost chyby nám určuje interval, ve kterém se hodnota měřené veličiny nachází. Čím menší chyba měření, tím přesnější je naše měření. Z uvedeného vyplývá, že částečně lze přesnost měření zvýšit opakovaným měřením a dále za použití statistiky blíže určit meze, ve kterých se hodnota měřené veličiny nachází. Pro názornost uvedeme příklad:

Byla naměřena hodnota napětí $U = 10V$ výpočtem bylo zjištěno, že chyba se pohybuje v rozmezí $\pm 0,5V$. Z toho je jasné, že hodnota měřené veličiny se pohybuje v rozmezí 9,5 až 10,5V. Pokud budeme měření opakovat s jiným výsledkem výsledný interval se zmenší a celková přesnost měření se zvýší.

Obecně rozlišujeme několik druhů chyb ovlivňujících měření:

- 1) Chyby soustavné – to je například nepřesnost měřicího přístroje, nebo zvolené metody měření.
- 2) Chyby nahodilé – vyskytují se náhodně jejich vliv lze omezit opakovaným měřením.

1.4.1 Chyby analogových měřících přístrojů

Jsou definovány třídou přesnosti vyznačenou na mp v procentech (např. 1,5 = přesnost 1,5%), většinou je chyba vztažena k zvolenému rozsahu, ale může jít i o chybu ze skutečné hodnoty, nebo chybu z délky stupnice. Hlavní příčiny chyb analogových mp se nachází ve špatné kalibraci (nastavení), stárnutí materiálu a rušivé vlivy okolí hlavně magnetická, nebo elektrická pole. Chyby mp rozlišujeme:

Absolutní chyba – jde o rozdíl mezi skutečnou hodnotou X_S a naměřeným údajem X_N :

$$\Delta_X = X_S - X_N$$

Relativní chyba (procentní) – s tímto údajem se v praxi pracuje nejčastěji je to velikost absolutní chyby, která je vztažena ke skutečné hodnotě a udává se v procentech.

$$\delta_X = \frac{\Delta_X}{X_S} \cdot 100[\%]$$

Příklad:

V jakém rozmezí se pohybuje skutečná hodnota měřeného napětí?

Naměřená hodnota napětí $U_N = 1,55V$.

Třída přesnosti mp 1,5% z nastaveného rozsahu přístroje, rozsah je nastaven na 3V.

Hledaná hodnota měřené veličiny se tedy nachází v intervalu $U_N \pm 1,5\% \text{ z } 3V$. Absolutní hodnotu získáme výpočtem 1,5% z 3 tj.: $\Delta u = 3 \cdot 0,015 = 0,045$ převedeno do absolutních čísel se hledaná veličina U_S nachází v intervalu $1,505V \leq U_S \leq 1,595V$.

1.4.2 Chyby číslicových měřicích přístrojů

U těchto přístrojů je chyba měření především způsobena nutností převést měřenou veličinu do digitální (číslíkové) podoby, u některých číslicových mp se poté ještě převádí zpět do podoby analogové. Chyba měření u číslicových mp není definována třídou přesnosti jako u analogových měřicích přístrojů, ale rozdělujeme ji do dvou částí:

- a) Chyba úměrná hodnotě vstupní měřené veličiny (chyba v % z rozsahu)
- b) Pevná chyba

Přesnost měření se pak vyjadřuje jako součet chyby $\pm [\%]$ z měřené hodnoty a pevné chyby $\pm d$ z rozsahu (někdy vyjádřeno jako $\pm$ počet jednotek posledního místa tzv. digitů).

1.4.3 Rušivé vlivy

1) Mechanické vlivy – projevují se u některých typů analogových mp, jde například o tření v ložiscích otočných částí, polohu měřicího přístroje, nebo jeho otřesy. Těmto vlivům lze předejít dodržením polohy mp a zabráněním přenášení mechanických vibrací na mp.

2) Teplotní vlivy - jde především o nárůst odporu vlivem zvýšení teploty, u analogových mp dále změna geometrických rozměrů součástí měřicího ústrojí.

3) Vliv přechodového odporu – vznikajícího v místech spojení dvou vodičů, připojení sondy mp do místa měření a do měřicího přístroje. Takový odpor může dosáhnout až jednotek ohmů.

4) Termoelektrické napětí – vzniká v místech kde dochází ke spojení dvou kovů s různou vodivostí. Při zvýšení teploty v tomto místě může termoelektrické napětí dosáhnout až několika desetin voltů (tento princip se využívá ke měření teploty).

5) Vliv vnějšího elektrického a elektromagnetického pole – lze potlačit stíněním.

T2 Měřicí přístroje

Měřicí přístroje lze rozdělit do dvou základních skupin a to:

- 1) Analogové mp - zobrazují měřené hodnoty spojitě, většinou se hodnota odečítá ze stupnice prostřednictvím ukazatele (ručky) pohybující se podél stupnice. K analogovým měřicím přístrojům patří i osciloskopy a zapisovače. Používají se pro nepřetržité sledování stále se měnících veličin.
- 2) Číslicové (digitální) mp – zobrazují měřené hodnoty nespojitě po určitých krocích, nejčastěji v číselné podobě. Digitální měřicí přístroje umějí obvykle měřit více veličin, pak mluvíme o multimetrech. Kromě proudu a napětí dovedou měřit výkon na odporové zátěži, kapacitu, ohmický odpor, kmitočet, kladné i záporné pulsy, teplotu a přes nabídku

MENU je možné vybrat řadu dalších funkcí. Běžnou součástí multimetrů současné generace je i bargraf, který kreslí na displeji křivku podle naměřených hodnot.

2.1 Analogové měřicí přístroje

Analogové mp využívají ke své činnosti některý z účinků el. proudu, nebo působení elektrostatického pole. Výchylka – změna polohy ukazatele – se mění spojitě a teoreticky může dosáhnout nekonečného počtu hodnot. Převod na číselnou hodnotu zprostředkovává sám provozovatel, což může být zdrojem chyb a nepřesností. Většina analogových mp má tyto hlavní části:

- 1- stupnice (více druhů a nemusí vždy začínat nulou)
- 2- pouzdro
- 3- pohyblivá část
- 4- otočná cívka
- 5- vestavěné příslušenství

Při použití analogových mp se lze setkat s několika dalšími neméně důležitými pojmy:

- ukazatel neboli ručka, je pevně připojena na pohyblivou část mp.
- aretace – mechanické znehybnění otočné části měřicího ústrojí, používá se při transportu mp
- tlumení – důležitá část mp, využívá se pro co nejrychlejší ustálení ručky před stupnicí mp bez dlouhého kmitání. Tlumení se u analogových mp využívá několik druhů např. vzduchové, magnetické, nebo kapalinové.

Analogové mp se dělí do mnoha skupin podle způsobu měření, druhu použití apod. ale nejčastější rozdělení analogových měřicích přístrojů je podle provedení měřicího ústrojí:

- 1) **Magnetoelektrické mp** – v magnetickém poli permanentního magnetu je otočně uložena cívka. Přívody k cívce jsou provedeny přes spirálová péra a protéká-li proud cívku umístěnou v magnetickém poli, vzniká točivý moment. Pohyb cívky se ustálí, když jsou v rovnováze točivý moment s protisměrně působícím momentem spirálových per. Směr výchylky závisí na směru procházejícího proudu, velikost výchylky je úměrná velikosti procházejícího proudu. Tyto přístroje jsou především vhodné pro měření stejnosměrných proudů a napětí. Pro měření střídavých veličin je mp kalibrován v efektivních hodnotách sinusového proudu.

Výhody : - velká citlivost
- velká přesnost
- nepatrná spotřeba
- nepatrný vliv cizích magnetických polí
- možnost měřit střídavé veličiny po připojení diody
- nula může ležet uprostřed stupnice

Příloha č. 5. Magnetoelektrická měřicí soustava

- 2) **Elektromagnetická soustava** s otočným železem – je založena na vzájemném působení dvou feromagnetických látek v magnetickém poli. Směr síly a točivého momentu je určen směrem proudu. Uvnitř cívky je umístěn jeden pevný a jeden pohyblivý železný plátek. Působením magnetického pole se oba plátky zmagnetizují a navzájem se začnou odpuzovat. Proti této síle působí síla spirálové pružiny. Těmito mp lze měřit jak stejnosměrné, tak střídavé proudy.

Příloha č. 6. Elektromagnetická měřicí soustava.

- 3) **Elektrodynamické mp** využívají vzájemných elektrodynamických účinků el. proudu, jež prochází pohyblivými i nepohyblivými cívkami. Magnetické pole pohyblivé cívky se snaží cívku natočit do takové polohy, aby se směr jejího magnetického toku shodoval se směrem magnetického toku pevné cívky. Proud do pohyblivé cívky je opět přiváděn přes spirálovou pružinu, která vytváří řídicí moment.
- 4) **Indukční mp** jejich princip spočívá v tom, že ve vodivé otočné části (kotouč, bubínek) se indukují proudy střídavým magnetickým polem elektromagnetů. Působením těchto proudů vzniká pohybový moment. Tento mp pracuje pouze v obvodu střídavého proudu využívá se nejčastěji jako elektroměr pro měření el. práce.
- 5) **Rezonanční mp** princip těchto mp je v mechanickém vyladění kovových jazýčků na určitý kmitočet (délka jazýčku, provrtáním, kapkou cínu na konci jazýčku). Jazýčky se uvádějí do rezonance střídavým elektromagnetickým polem z nepohyblivých cívek. Nejvíce se rozkmitá ten jazýček, jehož mechanický kmitočet je v rezonanci s kmitočtem síly, tj. kmitočtem proudu procházející cívkou. Tyto přístroje slouží k měření kmitočtu střídavého proudu a napětí.

V současné době jsou především používány číslicové měřicí přístroje, to však neznamená, že na analogové mp ve své praxi nenarazíte. Uplatnění nalézají jako informativní panelové mp na rozvaděčích apod. Nezastupitelné místo mají analogové přístroje při měření veličiny, jejíž úroveň se často mění. Zde by bylo použití číslicových mp velmi obtížné. Některé z analogových mp mají i nezanedbatelnou výhodu v tom, že ke své práci nepotřebují napájecí zdroj.

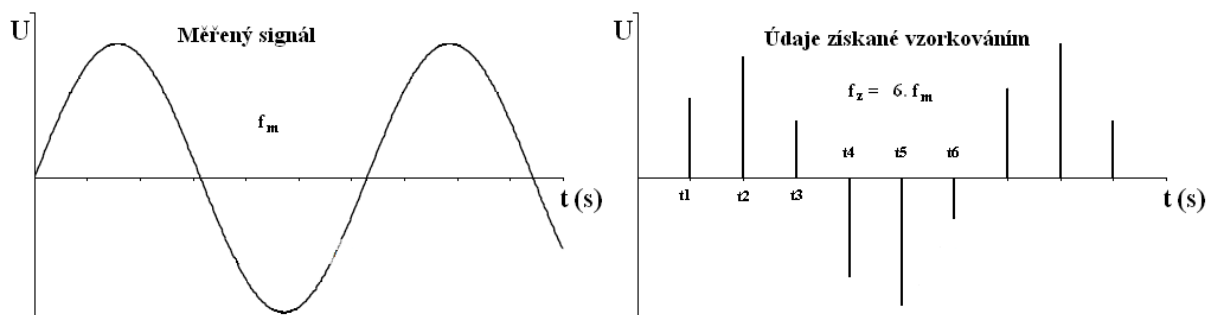
2.2 Číslicové měřicí přístroje

Číslicové měřicí přístroje pracují na principu převodu analogového signálu na číslicový, který dále zpracovávají. Výstupem může být zobrazená informace na displeji, nebo převod získané informace zpět do analogové podoby a její analogové zobrazení.

Další z možností dnes široce používanou je zpracování informací o měřené veličině a odeslání získaných informací např. na PC k zobrazení, ukládání, nebo dalšímu zpracování. Některé z dnes nabízených přístrojů proto nemusí být ani vybaveny vlastní zobrazovací jednotkou.

Princip převodu analogové veličiny do digitální podoby:

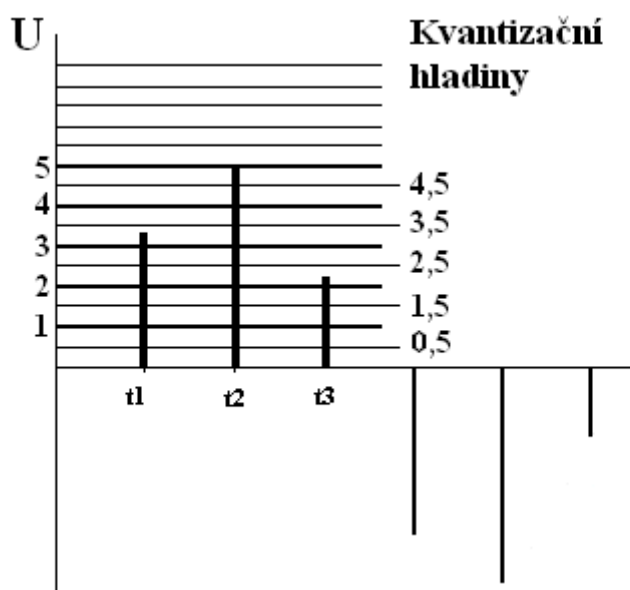
- 1) Prvním krokem ve většině číslicových mp je převod měřené veličiny na napětí.
- 2) Vzorkování – opakované měření úrovně sledovaného signálu, vzorkováním signálu získáme informace o jeho tvaru a úrovni, přesnost je závislá na frekvenci vzorkování viz obrázek 4. Čím větší je vzorkovací frekvence ve srovnání s frekvencí měřeného signálu tím menší je chyba ke které vzorkováním dochází.



Obr. 4. Vzorkování měřeného signálu.

- 3) Kvantování - je ve své podstatě zaokrouhlení hodnot získaných vzorkováním. Vzorkováním je teoreticky možno získat nekonečné množství hodnot, aby bylo možné pracovat s informacemi získanými vzorkováním, je počet omezen a každá naměřená hodnota získaná vzorkováním je přiřazena nejbližší kvantovací hladině. To vždy nutně vede ke ztrátě informací – zkreslení. Vzhledem k tomu, že je informace převáděna do dvojkové číselné soustavy jsou počty kvantizačních (n) hladin rovny n-té mocnině čísla 2 tzn. 2^n .

Příklad: vzorek získaný v čase t_1 udává hodnotu 3,28V, kvantovací hladiny jsou po 0,5. Kvantováním byl přiřazen k nejbližší kvantovací úrovni (hladině), kterou je 3,5V. Kdyby měl signál hodnotu např. 0,24V byl přiřazen ke kvantovací hladině 0V, pokud by však měl hodnotu 0,251V byl by přiřazen ke kvantovací hladině 0,5V. Rozlišitelnost je tedy v tomto případě 0,25V.



Obr. 5. Kvantování.

Výhodou číslicových měřicích přístrojů je rychlost měření, automatické přepínání rozsahů a odstranění chyby způsobené pozorovatelem, neboť zobrazují číselnou hodnotu a není nutné odečítat ze stupnice. Nezanedbatelná je i možnost dálkového řízení, odečtu, nebo sběru dat.

V praxi jsou číslicové mp nejčastěji vyráběny jako univerzální multimetry pro měření AC a DC napětí a proudu, dále většinou jsou schopny měřit odpor a vybavenější přístroje kmitočet, indukčnost, kapacitu apod.

2.3 Osciloskop

Osciloskop patří mezi nejdůležitější měřicí přístroje jeho hlavní činností je sledování a zobrazování probíhajících elektrických jevů v reálném čase. Mimo to je možno osciloskopem sledovat i jevy neelektrické a to takové, které je možné převést pomocí vhodných snímačů na elektrické napětí. Osciloskopy podobně jako ostatní měřicí přístroje lze rozdělit do dvou skupin:

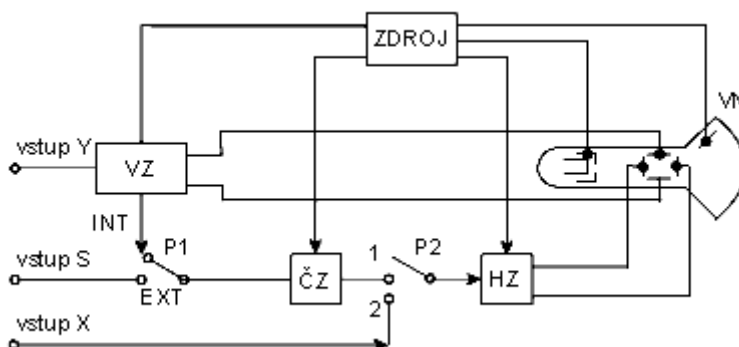
- a) Analogové osciloskopy
- b) Digitální osciloskopy

2.3.1 Analogový osciloskop

Osciloskopy obecně slouží, jak již bylo napsáno k zobrazení průběhu sledovaného signálu v čase. Dá se jimi sledovat změny signálu, stanovit okamžitou hodnotu v určitém čase apod. Analogové osciloskopy nejsou příliš vhodné pro sledování neperiodických signálů. Zvláštním druhem osciloskopů jsou dvoukanálové osciloskopy, se kterými lze sledovat, nebo porovnávat dva signály současně.

Hlavní části analogového osciloskopu:

- obrazová část
- vertikální Y-zesilovač
- časová základna, horizontální X-zesilovač
- síťový zdroj



Obr. 6. Blokové schéma analogového osciloskopu

Princip činnosti analogového osciloskopu:

Ve vakuové obrazovce je emitován paprsek elektronů, který dopadá na stínítko obrazovky a na vrstvě luminoforu zůstává po dopadu proudu elektronů světelná stopa. Samotné vykreslování průběhu se provádí zaostřeným paprskem, který je vychylován v horizontálním i vertikálním směru vychylovacím systémem tvořeným dvěma páry tzv. vychylovacích destiček. Vertikální zesilovač zesiluje sledovaný vstupní signál a vychyluje paprsek ve vertikálním $\updownarrow$ směru (tzv. Y vychylování). Horizontální zesilovač zesiluje signál z časové základny a vychyluje paprsek v horizontálním $\leftrightarrow$ směru (tzv. X vychylování – časová osa).

2.3.2 Digitální osciloskop

Digitální osciloskopy na rozdíl od analogových nezobrazují měřenou veličinu v reálném čase, ale měří signál jen v určité časové okamžiky. V digitálním osciloskopu jsou

vstupní signály digitalizovány, uloženy v paměti a teprve potom využity pro generování obrazu. Digitální osciloskop neznámá oproti analogovému osciloskopu kvalitnější zobrazování, umožňuje však i jiné druhy měření, zejména neperiodických signálů a přechodových dějů. Dokáže také zobrazit informace o sledovaném signálu jako například frekvenci, periodu a střidu signálu, vypočítat maximální, nebo střední hodnoty apod.

Hlavní části digitálních osciloskopů:

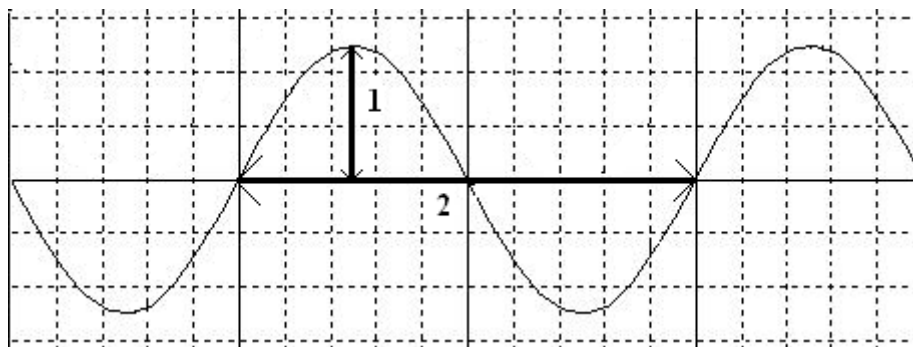
- obrazová část (LCD)
- časová základna
- vertikální zesilovač
- horizontální zesilovač
- síťový zdroj
- AD převodník
- DA převodník
- Digitální obrazovou paměť RAM

2.3.3 Měření osciloskopem

Měření napětí je jedním ze základních úkonů při práci s osciloskopem – měřené napětí přivádíme na vertikální vstup osciloskopu buď přímo, nebo častěji pomocí měřicí sondy, je-li třeba, zmenšíme jeho velikost odporovým děličem (přepínač na sondě 1:10).

Stručný postup pro výpočet maximální hodnoty sinusového napětí $U_{\max}$:

- na stínítku obrazovky odečteme počet dílků (na Obr. 7. naznačeno šipkou 1)
- počet dílků ve vertikální rovině vynásobíme hodnotou nastavenou na ovladači osciloskopu označeném VOLTS/DIV (regulátor zesílení vertikálního zesilovače)



Obr. 7. Měření napětí osciloskopem.

Příklad:

Počet dílků byl odečtením ze stínítka osciloskopu stanoven na 2,4 ovladač VOLTS/DIV je nastaven na hodnotu 0,1V. Výsledné $U_{\max}$:

$$U_{\max} = 2,4 \cdot 0,1 = 0,24V$$

Měření proudu – provádíme pomocí speciální proudové sondy nebo nepřímou metodou tak, že do obvodu zařadíme rezistor, na kterém změříme úbytek napětí a podle Ohmova zákona vypočteme velikost proudu. Pokud použitý rezistor má hodnotu 1Ω je podle Ohmova zákona

velikost napětí na tomto rezistoru rovna velikosti proudu a výsledné hodnoty není nutno přepočítávat.

Měření periody:

Na periodicky se opakujícím signále pod pojmem perioda rozumíme úplný průběh jednoho kmitu, odpovídající úhlu rozvinutí 360° . Počet dílků v horizontální rovině (na Obr. 7. naznačeno šipkou 2) vynásobíme konstantou časové základny (nastavení ovladače TIME/DIV). Postup výpočtu je tedy shodný s měřením napětí, jen se pracuje s dílkou v horizontální (vodorovné) rovině a násobitelem je údaj z nastavení ovládacího prvku TIME/DIV.

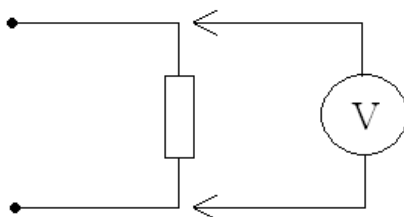
2.4 Ostatní měřicí přístroje

T3 Měření elektrických veličin

3.1 Měření elektrického napětí

Měření napětí:

- metodou přímou (mp se nazývají voltmetry) voltmetr se připojuje vždy paralelně (obr. 8).



Obr. 8. Měření napětí voltmetrem.

- metodou nepřímou například na rezistoru, u kterého je znám jeho odpor změříme protékající proud a dopočítáme napětí podle Ohmova zákona.

Měřicí přístroj – **voltmetr** by měl mít co nejmenší vliv na měřený obvod, měl by jím protékat co nejmenší proud a z toho vyplývá požadavek na co největší vnitřní odpor voltmetru v ideálním případě nekonečně velký. Měření napětí je velmi snadné, proto na něj často převádíme měření jiných veličin. Pozor analogové voltmetry jsou citlivé na překročení maximálního napětí, může dojít k poškození měřicího ústrojí protékajícím proudem. Z toho

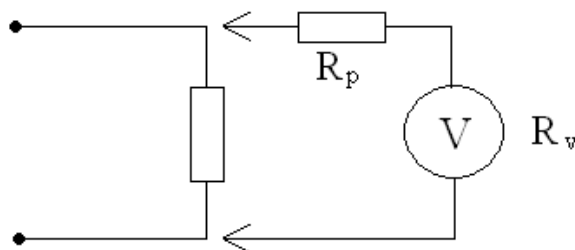
důvodu pokud si nejsme jisti alespoň přibližnou velikostí měřeného napětí nastavíme vždy nejvyšší rozsah voltmetru a postupně upravíme (snížíme) na rozsah, který je nejbližší vyšší k měřené hodnotě. U číslicových (digitálních) voltmetrů dojde při překročení rozsahu mp ve většině případů k zobrazení číslice 1 v levé části zobrazovací jednotky.

Změna rozsahu voltmetru:

- 1) předřadným rezistorem (předřadník)
- 2) měřícím transformátorem
- 3) předřadným kondenzátorem
- 4) kapacitním nebo odporovým děličem

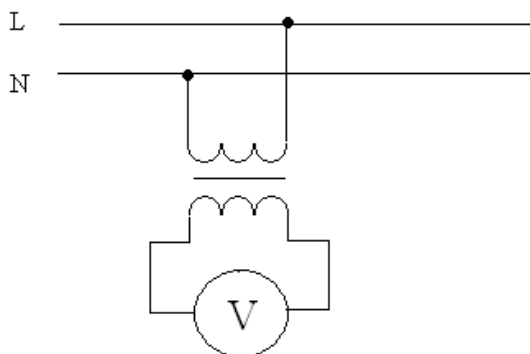
- 1) Předřadný odpor – předřadník je rezistor zapojený do série s mp a zvyšuje odpor mp v obvodu. Může být připojen samostatně před mp (obr. 9.), nebo pro přepínání rozsahů je použito několik rezistorů s různou hodnotou odporu uvnitř mp. Výpočet předřadníku pro n-násobné zvětšení rozsahu:

$$R_p = R_v (n-1) [\Omega] \quad n - \text{kolikrát je třeba zvýšit rozsah}$$



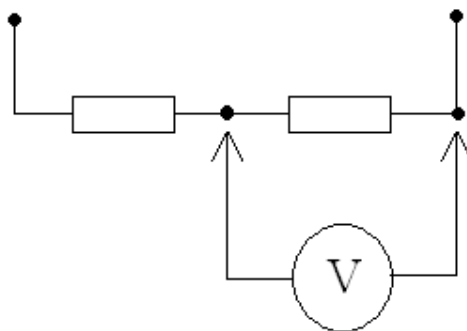
Obr. 9. Voltmetr s předřadníkem.

- 2) Měřící transformátor napětí se nejčastěji využívá pro měření střídavých napětí vyšších než 1kV na sekundárním vinutí se musí jedna ze svorek uzemnit (obr. 10.).



Obr. 10. Měřící transformátor napětí

- 3) Předřadným kondenzátorem (podobně jako předřadný rezistor) – používá se u elektrostatické měřicího přístroje.
- 4) Odporovým děličem pro měření stejnosměrných napětí (obr. 11.)



Obr. 11. Odporový dělič.

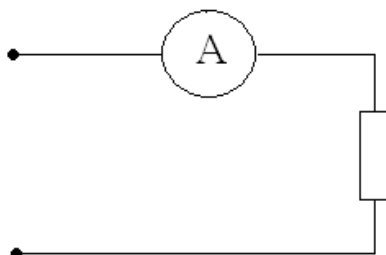
Poznámka:

Při měření střídavého (AC) napětí je třeba mít na paměti, že existují různé hodnoty střídavého napětí. Z praktického hlediska je nejzajímavější hodnota efektivní, vysvětlení jednotlivých hodnot střídavého napětí najdete v příloze č. 1.

3.2 Měření elektrického proudu

Měření el. proudu:

- metodou přímou (mp se nazývají ampérmetry) ampérmetr se připojuje vždy do série se zátěží (obr. 12.). S výjimkou klešťových ampérmetrů, fungujících na odlišném principu než klasické ampérmetry.



Obr. 12. Měření ampérmetrem.

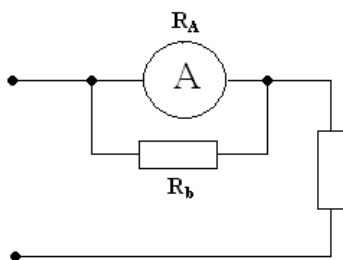
- metodou nepřímou například na rezistoru, u kterého je znám jeho odpor změříme napětí na tomto rezistoru a dopočítáme el. proud podle Ohmova zákona.

Měřicí přístroj by opět měl mít co nejmenší vliv na děje v obvodu v případě měřicího přístroje pro měření proudu – **ampérmetru** by jeho vnitřní odpor měl být co nejmenší v ideálním případě nulový (přesně opačně, než u voltmetru). Při měření proudu opět platí pravidlo, že měřit začínáme na nejvyšší rozsah a postupně přepínáme rozsahy, až máme nastavený nejbližší vyšší rozsah vzhledem k velikosti měřeného proudu. V případě zapojení ampérmetru je třeba dát pozor na správné zapojení mp, aby nedošlo k paralelnímu zapojení jako v případě voltmetru. V tomto případě by došlo ke zkratu a mohlo by dojít k poškození zdroje nebo ampérmetru. Pro měření větších proudů, než umožňuje použitý ampérmetr lze provést změnu rozsahu ampérmetru:

- 1) paralelním rezistorem (bočník)
- 2) měřicím transformátorem proudu
- 3) přepínáním proudové cívky
- 4) odbočkami z proudové cívky

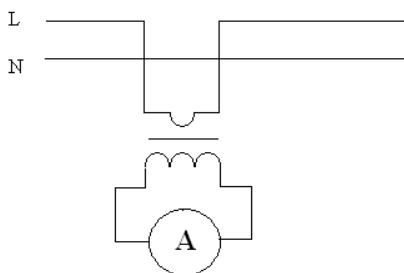
- 1) Bočník je zapojen paralelně s mp (obr. 13.) a snižuje odpor mp, měřicím přístrojem může zdánlivě protékat větší proud, aniž by hrozilo jeho poškození. U analogových přístrojů se přepínáním několika různých rezistorů-bočníků mění rozsah ampérmetru.

Výpočet bočníku: $R_b = \frac{R_A}{n-1} [\Omega]$



Obr. 13. Ampérmetr s bočníkem.

- 2) Měřicí transformátor proudu využívá se pro měření střídavých proudů velkých hodnot. Měřený proud protéká primárním vinutím často tvořeným jen jedním závitem (vodičem) s ohledem na co nejmenší ovlivnění měřeného obvodu. Ampérmetr je připojen k sekundárnímu vinutí (obr. 14). Tento způsob úpravy rozsahu lze použít jak k jeho zvětšení, tak i zmenšení.



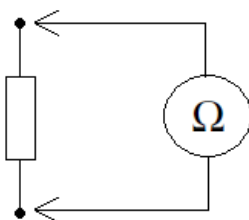
Obr. 14. Měřicí transformátor proudu.

- 3) Přepínání proudové cívky používá se u některých typů analogových mp, u kterých má přepínání rozsahu pomocí bočníku vliv na přesnost měření (mp mají větší spotřebu a projevuje se vliv teploty).
- 4) Odbočky z proudové cívky, použitelné pouze u některých analogových mp. Tyto přístroje jsou pro tento způsob úpravy rozsahu uzpůsobeny vyvedením odboček z měřicí cívky. Se změnou počtu závitů (zapojením určité odbočky) dochází ke změně rozsahu. Nejmenší počet závitů = nejvyšší rozsah.

3.3 Měření elektrického odporu

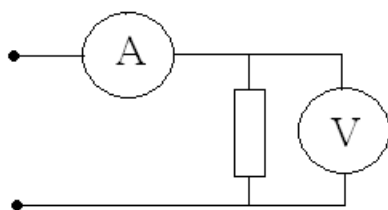
Metody měření elektrického odporu.

- metodou přímou měříme ohmmetrem takzvaný činný odpor, který vykazuje součástka v obvodu stejnosměrného (DC) proudu. Přístroj se k měřené součástce připojuje paralelně (obr. 15). Analogové ohmmetry mají většinou stupnici obrácenou tzn. na začátku je symbol ∞ a úplně vpravo je umístěna na stupnici 0. Pozor pokud měříme odpor například rezistoru v obvodu (nedoporučuje se s ohledem na ovlivnění měření jinými součástkami v obvodu) musí být obvod odpojen od napájení.

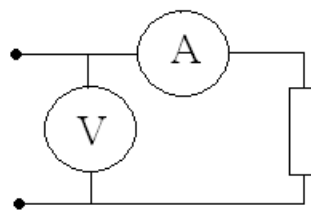


Obr. 15. Měření odporu ohmmetrem.

- metoda nepřímá (Ohmova metoda), používá se velice často ve dvou variantách pro měření malých a velkých odporů (velikost odporu se určuje v porovnání s vnitřním odporem voltmetru). Ohmova metoda je tedy založena na měření proudu a napětí. S využitím Ohmova zákona je pak dopočítán výsledný odpor. Pokud je odpor měřené součástky mnohokrát menší než vnitřní odpor voltmetru zapojíme mp do obvodu podle obr. 16a. Proud, který ukazuje ampérmetr je součtem proudů protékajících měřenou součástkou a voltmetrem (I. Kirchhoffův zákon). To znamená, že proud protékající voltmetrem ovlivňuje výsledek měření – ampérmetr ukazuje více, než kdyby byl obvod zapojen bez voltmetru. Pokud je hodnota odporu součástky srovnatelná s hodnotou odporu voltmetru musí být mp do obvodu zapojeny podle obr. 16b.

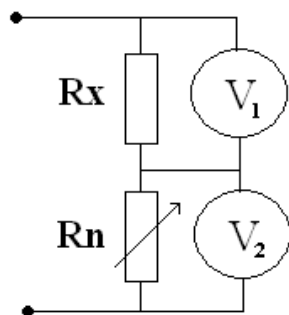


Obr. 16a.

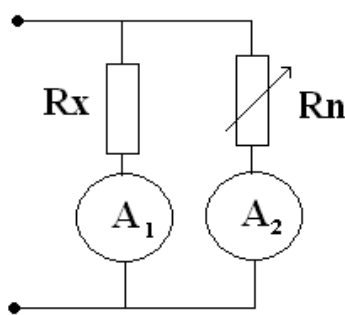


Obr.16b.

- metody porovnávací pracují na principu porovnávání odporu neznámé součástky, nejčastěji rezistoru s hodnotou odporu rezistoru známé velikosti (využívá se odporová dekáda). Opět existují dvě varianty zapojení podle toho, zda měříme odpor malé obr. 17a., nebo velké hodnoty obr. 17b.



Obr. 17a.

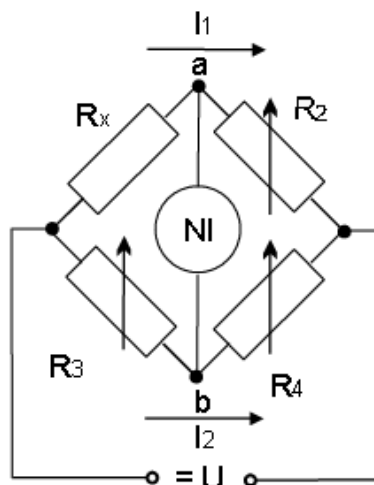


Obr. 17b.

Můstková metoda (Wheatsnův můstek). Cílem můstkové metody je vyvážení můstku (obr. 18.) tzn., aby použitým mp neprotékal žádný proud, jde o tzv. nulový indikátor NI. Toho se dosahuje změnou odporu R_2 , R_3 , R_4 , – nulový indikátor (NI) ukazuje nulu. Pro tento stav platí:

1. Mezi body a – b nesmí být napětí
2. Úbytek napětí na měřeném R_x se musí rovnat úbytku napětí na R_3 a současně úbytek na R_2 se musí rovnat úbytku napětí na R_4 ($U_{R1} = U_{R3}$, $U_{R2} = U_{R4}$) tzn. $R_1 I_1 = R_3 I_2$; $R_2 I_1 = R_4 I_2$. Rezistory R_3 a R_4 jsou provedeny tak, že jejich poměr je roven násobkům deseti. Výsledný vztah pro neznámý rezistor R_x potom je:

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



Obr. 18. Wheatsnův můstek

Poznámka:

Převrácenou hodnotou odporu je vodivost G [S] hodnotu G lehce získáme výpočtem ze vztahu: $G = \frac{1}{R}$ [S]

3.3.1 Měření izolačního odporu

Vzhledem k tomu, že žádný izolant není dokonalý, dochází k průchodu proudu i izolačními materiály. Přestože je tento proud velmi malý je nutno ho z bezpečnostních

důvodů v pravidelných intervalech měřit, neboť vlastnosti izolačních materiálů se vlivem okolí a vlivem stárnutí mění. Měření izolačního odporu se provádí:

- měření izolačního odporu mezi vodiči
- měření izolačního odporu mezi vodičem a zemí

Provádí se většinou na elektrických zařízeních bez napětí, speciálním k tomu určeným měřičem izolačních odporů. Izolační odpor by se měl měřit za stejných podmínek, za jakých je zařízení běžně provozováno. To znamená například u ručního nářadí po zahřátí na provozní teplotu.

3.3.2 Měření zemního odporu

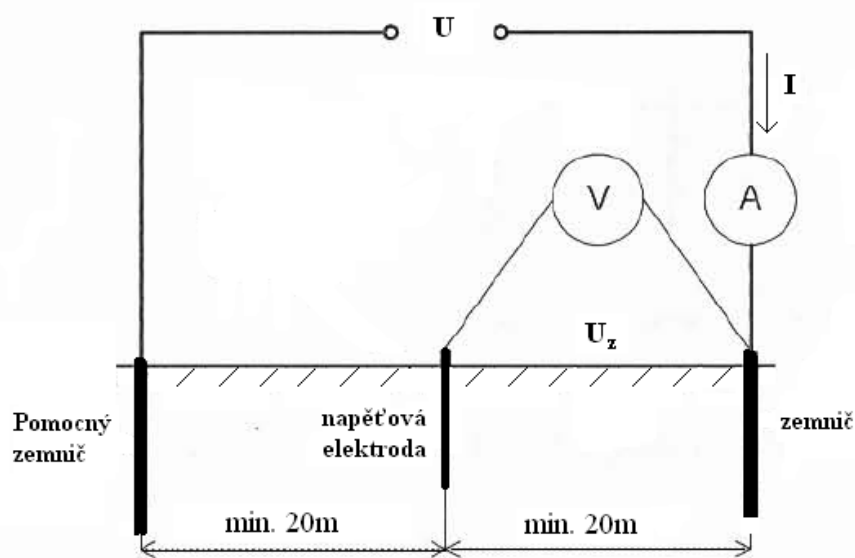
Měření zemního odporu se provádí ke zjištění přechodového odporu mezi zemničem a zemí. Požadavkem tedy je, aby tento odpor byl co nejmenší. To je důležité s ohledem na bezpečné provozování rozvodů elektrické energie. Výsledný zemní odpor je složen z několika do série řazených odporů:

- odpor připojovací svorky
- odpor svodu
- odpor zemniče
- přechodový odpor mezi zemničem a zemí
- odpor půdy obklopující zemnič do určité vzdálenosti

Pro měření se používá střídavého napětí většinou jiné frekvence než 50Hz, aby nedocházelo k ovlivnění měření. Principiální schéma je na obrázku 19. Celková hodnota zemního odporu se vypočítá podle vztahu:

$$R_z = \frac{U_z}{I}$$

Podle ČSN EN 62305-3 (tab. 7) by zemní odpor neměl překročit hodnotu 10Ω.



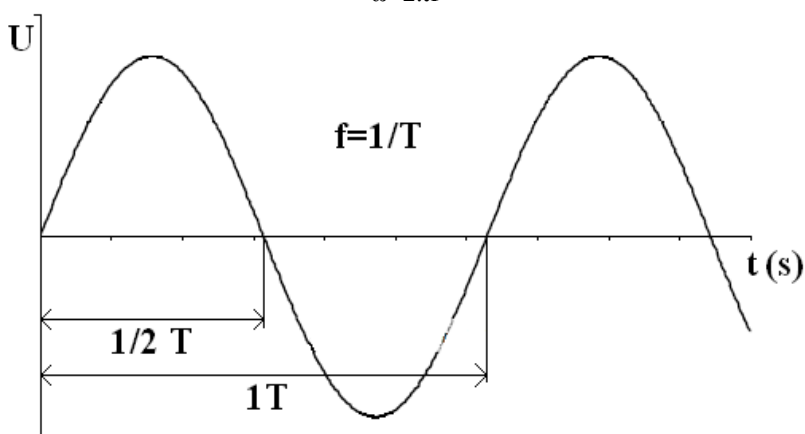
Obr. 19. Zapojení pro měření zemního odporu.

3.4 Měření frekvence a periody

Veličiny frekvence (kmitočet) a perioda spolu úzce souvisí. Perioda T je u opakujících se (periodických) veličin délka jednoho opakování v čase (udává se v sekundách) viz obr. 15. kde je vyznačena perioda sinusového signálu. Frekvence f je převrácenou hodnotou periody $f = 1/T$ [Hz], jde o počet opakování za jednotku času. V průmyslové síti je frekvence napětí 50Hz se sinusovým průběhem jako na obr. 20. Z toho vyplývá, že perioda tohoto napětí je $T = 1/f = 1/50 = 0,02s$. Frekvence se přímou metodou měří nejčastěji kmitoměry, nebo frekvenčními čítači, jsou to mp s vysokým vnitřním odporem, které se připojují do obvodu paralelně podobně jako voltmetry. Většina současných číslicových frekvenčních čítačů umožňuje současně měřit i délku periody. Za nepřímou metodu měření frekvence se dá považovat měření periody a následný výpočet frekvence pomocí osciloskopu. Osciloskopem lze měřit i přímo frekvenci, při této metodě porovnáváme dva signály, přičemž frekvence jednoho z nich je nám známa. Současné digitální osciloskopy zobrazují na zobrazovací jednotce frekvenci signálu většinou automaticky.

Poznámka:

Při popisu periodických dějů se často setkáte s pojmem úhlová frekvence ω [s^{-1}] její vzájemný vztah s frekvencí:

$$\omega = 2\pi f$$


Obr. 20. Perioda signálu.

3.5 Měření výkonu elektrického proudu

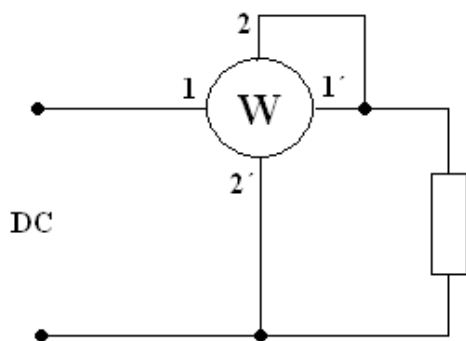
Výkon nám vyjadřuje množství vykonané práce za jednotku času. Rozlišujeme výkon stejnosměrného DC a střídavého proudu AC, který je pro měření a výpočet o poznání složitější.

3.5.1 Měření výkonu stejnosměrného proudu

Měření výkonu DC proudu je poměrně jednoduché, nejčastěji se využívá měření nepřímé (s využitím voltmetru a ampérmetru), přímé měření DC výkonu se provádí wattmetrem.

- metoda přímá – wattmetr se do obvodu zapojí tak, aby mohl měřit zároveň proud i napětí. Analogové wattmetry mají totiž vždy dvojici cívek jednu určenou pro měření napětí a druhou proudovou. Tyto cívky se nesmí navzájem zaměnit! Měřicí sondy má tedy wattmetr na rozdíl od ostatních

měřicích přístrojů čtyři dvě pro proudovou cívku označené 1,1' a dvě pro cívku napěťovou označené 2,2'. Zapojení je patrné z obr. 21.

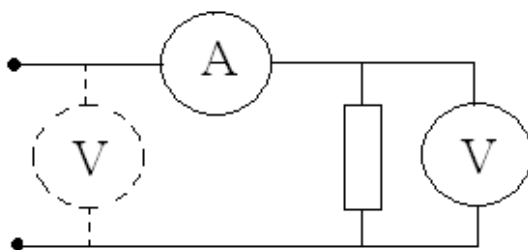


Obr. 21. Zapojení wattmetru

Poznámka:

Při měření wattmetrem se do obvodu připojuje ještě zvlášť ampérmetr a voltmetr, abychom mohli zabránit přetížení některé z cívek wattmetru. Je třeba mít na paměti, že přetížení jedné z cívek wattmetru neznamenaá vychýlení ukazatele na maximum!

- metoda nepřímá – zapojení je stejné jako u měření odporu Ohmovou metodou a to včetně uvažování vlivu měřicích přístrojů na měřený obvod obr. 22. Výsledný výkon je vypočítán podle jednoduchého vztahu: $P = U \cdot I$ [W]. Další možností pokud známe odpor zátěže (lze snadno změřit) je využití jednoho z následujících vztahů: $P = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$ [W]



Obr. 22. Měření výkonu nepřímou metodou

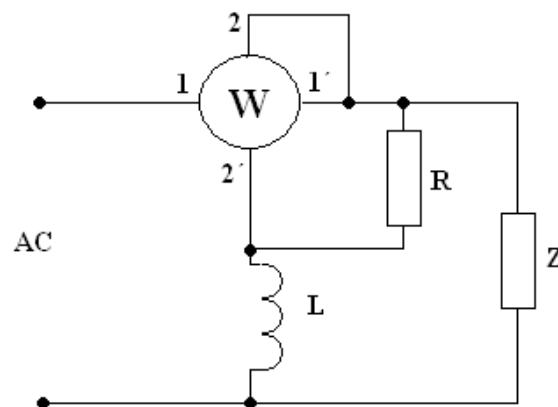
3.5.2 Měření výkonu střídavého proudu

U střídavého proudu rozlišujeme tři druhy výkonů, jedná se o poměrně složitou záležitost, popis výkonů střídavého proudu je v příloze č. 2. Pro nepřímá měření je s výjimkou zdánlivého výkonu S třeba znát také údaje o účinníku $\cos\phi$. Nejdůležitější je měření činného výkonu, neboť tento druh výkonu je přeměněn na užitečnou práci.

- Měření činného výkonu střídavého proudu - přímou metodou wattmetrem měří se pouze činný výkon jednofázového střídavého proudu, zapojení je stejné jako na obrázku č. 21. Nepřímou metodou lze činný výkon vypočítat po změření protékajícího proudu a napětí (viz. nepřímá metoda u výkonu stejnosměrného proudu). Pokud má zátěž pouze odporový charakter (např. topné těleso) je činný výkon roven zdánlivému a platí $P = S = U \cdot I$. To platí

pouze u odporové zátěže, pokud však má zátěž charakter induktivní (např. motor) nebo kapacitní (např. kondenzátor) je pro výpočet třeba znát účinník $\cos\varphi$. Potom platí $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$ [W] a je třeba mít na paměti, že v tomto případě už $P \neq S$. Pro výpočet se vždy používají efektivní hodnoty proudu a napětí!

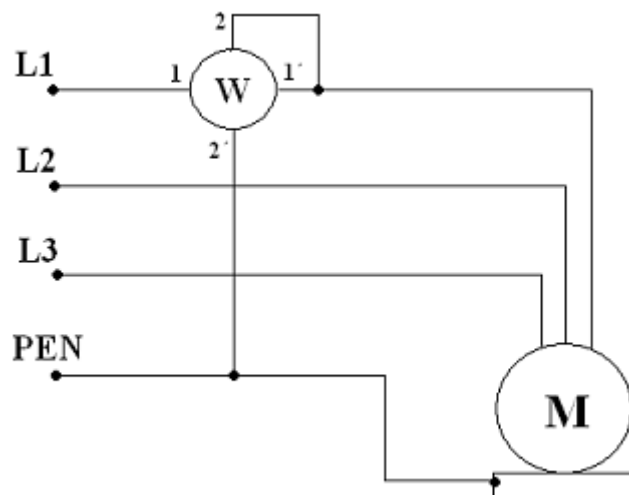
- Měření zdánlivého výkonu má většinou pouze informativní charakter a provádí se vždy metodou nepřímou tak jak je zobrazeno na obrázku 22.
- Měření jalového výkonu je důležité tam, kde je v provozu velké množství zařízení s indukčním, nebo kapacitním charakterem zátěže (např. stroje v továrnách). Jalový výkon je třeba omezit na nutné minimum ($\cos\varphi$ musí být v rozmezí 0,95-1), neboť velké množství jalového výkonu způsobuje ztráty. Měření je prováděno většinou přímou metodou přístroji nazývanými varmetry, což jsou upravené wattmetry s napětím posunutým o 90° . Toho se dosahuje připojením vhodné indukčnosti L a odporu R do obvodu napěťové cívky wattmetru viz obr. 23. Pro naše účely nám postačí nepřímé měření za použití vztahu $Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi$ [VAr], popřípadě za použití trojúhelníku výkonů (viz příloha č. 2.) kdy $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$ [VAr].



Obr. 23. Měření jalového výkonu.

3.5.3 Měření výkonu v trojfázové soustavě

Z pohledu měření v trojfázové síti je nejjednodušší situace, když máme tzv. symetrickou síť i zátěž. To znamená, že všechna napětí jsou si rovna (pouze jsou fázově posunuta) a rovněž všechny tři protékající proudy jsou shodné. Potom nám samozřejmě pro zjištění celkového výkonu P_c stačí změřit výkon v jedné fázi a vynásobit třemi: $P_c = 3 \cdot P_{L1}$ [W]. Pokud by se jednalo o soustavu pouze s fázovými vodiči bez vodiče PEN, musela by se vytvořit tzv. umělá nula z dvou rezistorů připojených do fází L2, L3.



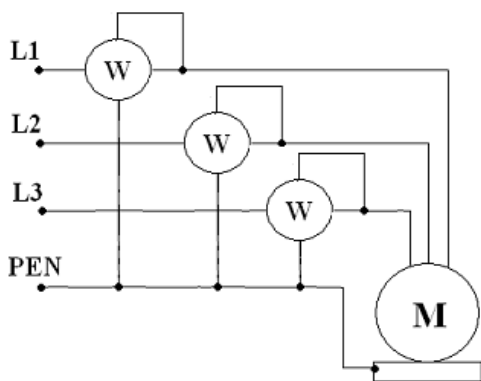
Obr. 24. Měření v symetrické 3f soustavě.

Pokud je zátěž nesymetrická nejjednodušší způsob bude použit zapojení se třemi wattmetry obr. 25a pro každou fázi zvlášť a výsledný P_c je roven součtu výkonů všech fází.

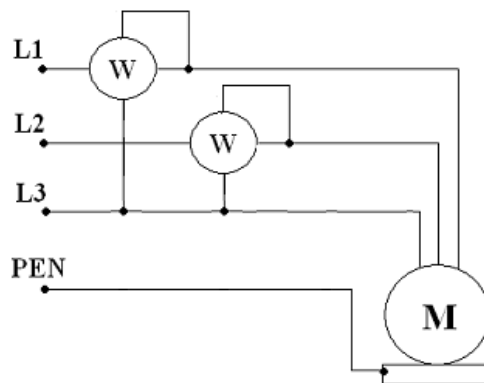
$$P_c = P_{L1} + P_{L2} + P_{L3}$$

Pro měření v nesymetrické soustavě, lze použít zapojení se dvěma wattmetry zapojenými podle tzv. Aronovo zapojení obr. 25b. Na rozdíl od předchozích zapojení, napěťové cívky wattmetrů jsou zapojeny na sdružené napětí U_{L1-L3} a U_{L2-L3} celkový výkon lze dostat ze součtu výkonů naměřených wattmetry.

$$P_c = P_1 + P_2$$



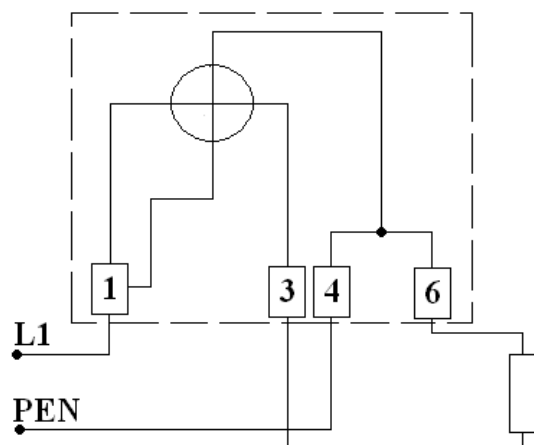
Obr. 25a. Zapojení se třemi wattmetry



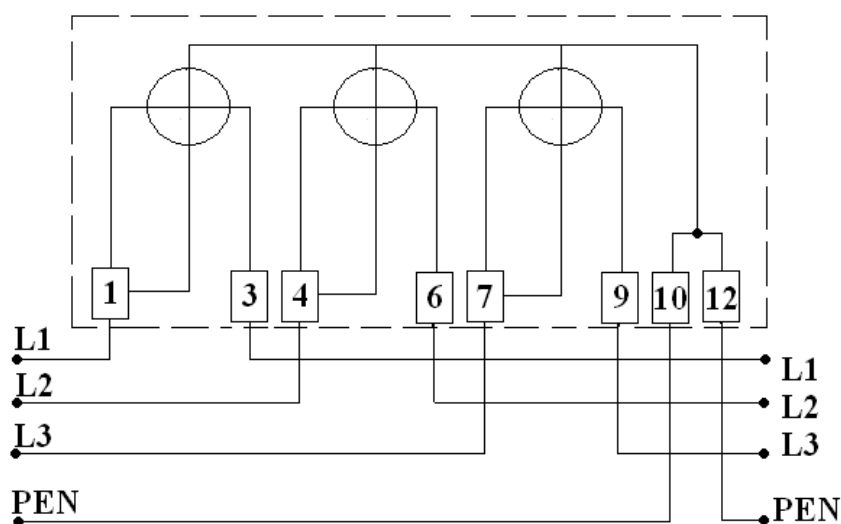
Obr. 25b. Aronovo zapojení

3.6 Měření elektrické práce

Elektrická práce (spotřeba elektrické energie) se měří elektroměry. Elektroměry se používají dvojího typu a to pro měření činné a jalové energie. Z hlediska konstrukce lze elektroměry rozlišovat na elektroměry indukční (známé elektroměry staršího provedení s kotoučkem) a moderní elektroměry elektronické, často provedené jako vícetarifní. Oba typy elektroměrů jsou v provedení jako jednofázové, nebo trojfázové. Způsoby zapojení elektroměrů jsou na obrázcích 26. a 27.



Obr. 26. Zapojení 1f elektroměru v síti TN-C.



Obr. 27. Zapojení 3f elektroměru v síti TN-C.

3.7 Měření vlastní indukčnosti cívky

Nejjednodušším způsobem, kterým lze změřit vlastní indukčnost cívky je použití měřicího přístroje zvaného RLC můstek. Tento mp je určen, jak z jeho názvu vyplývá k přímému měření odporu, indukčnosti a kapacity můstkovou metodou. Kromě toho lze vlastní indukčnost cívky změřit nepřímou metodou s nutností několika základních výpočtů. Zapojení s využitím ampérmetru a voltmetru je opět shodné s Ohmovou metodou pro měření odporu, včetně modifikace zapojení voltmetru pro měření menších, nebo větších indukčností.

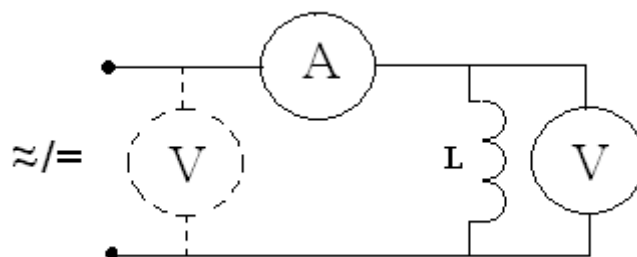
K zjištění vlastní indukčnosti měřené cívky výpočtem musíme znát její impedanci a činný odpor. Postup je následující:

- 1) Pro zjištění L je nutno změřit nejprve impedanci cívky a její činný odpor, obojí lze zjistit Ohmovou metodou obr. 28. Pokud cívku připojíme na zdroj střídavého napětí získáme z naměřených hodnot střídavého proudu a napětí výpočtem její impedanci $Z = \frac{U}{I}$. Změnou napájecího napětí na stejnosměrné dostaneme z naměřených údajů ze známého vztahu $R = \frac{U}{I}$ její činný odpor.
- 2) Nyní hledáme X_L , které dostaneme ze vztahu:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad \rightarrow \quad X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

3) Vlastní indukčnost L opět dostaneme výpočtem:

$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L \rightarrow L = \frac{X_L}{2\pi f}$$



Obr. 28. Měření vlastní indukčnosti nepřímou metodou.

Poznámka:

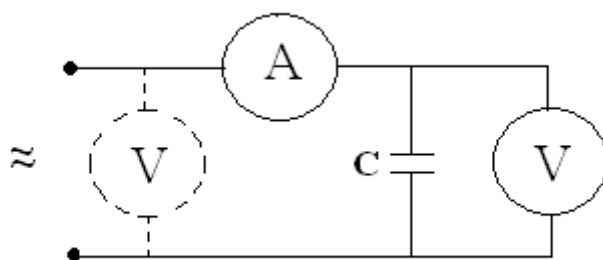
Pro měření popsanou nepřímou metodou je nutné znát frekvenci napájecího střídavého napětí, pokud k napájení použijeme transformátor je jeho frekvence samozřejmě shodná s frekvencí sítě nn tzn. 50Hz. Pokud je k napájení použit jiný zdroj je nutné ještě změřit frekvenci například elektronickým čítačem.

3.8 Měření kapacity

Přímé měření kapacity kondenzátoru lze opět provést již zmíněným RLC můstkem, je však třeba měřit **pouze vybité kondenzátory**, aby zbytkovým nábojem nedošlo k poškození měřicího přístroje. Nepřímá metoda spočívá opět v zapojení shodném s Ohmovou metodou a to včetně zapojení pro minimalizaci chyb při měření malých a velkých impedancí (odporů). Jako napájecí zdroj je nutno použít zdroj střídavého napětí. Celé měření vychází z předpokladu, že u kondenzátoru je jeho impedance $Z[\Omega]$ přibližně rovna jeho kapacitní reaktanci $X_c[\Omega]$, pro ideální kondenzátor platí $Z = X_c$. Potom tedy z naměřených hodnot napětí a proudu pro měřený kondenzátor platí: $Z = X_c = \frac{U}{I}$.

Ze známého vztahu pro výpočet kapacitní reaktance (při známé hodnotě frekvence) odvodíme vztah pro výpočet kapacity:

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \rightarrow C = \frac{1}{2\pi f X_c}$$



Obr. 29. Měření kapacity kondenzátorů nepřímou metodou.

Při použití této voltampérové metody je třeba mít na paměti, že velikost proudu protékajícího kondenzátorem je závislá na frekvenci a velikosti jeho kapacity podle vztahu $I = \frac{1}{2\pi f C U}$. Z toho důvodu by pro měření malých kapacit bylo vhodné zvýšit frekvenci napájecího napětí, aby protékající proud byl na měřitelné úrovni.

3.9 Měření impedance

Impedance představuje zdánlivý odpor součástky, zároveň poměr mezi jejími složkami popisuje fázový posuv mezi napětím a proudem na dané součástce. Skládá se ze dvou složek a to činného odporu R [Ω] a již několikrát zmíněné reaktance X [Ω], výsledná impedance je jejich vektorovým součtem $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$. Vliv na impedanci má také frekvence procházejícího proudu, neboť ta ovlivňuje hodnotu reaktance. Protože se impedance neprojevuje v obvodech stejnosměrného proudu (je zde pouze činný odpor), je pro její měření nutno použít střídavé napětí. U výsledku je pak nutno poznamenat pro jaký kmitočet (frekvenci) zjištěná hodnota impedance platí. Pro měření nepřímou metodou je možno použít již mnohokrát použitou Ohmovu metodu s napájecím zdrojem se střídavým napětím. Pokud by jako výsledek měření byl požadován i poměr mezi činným odporem a reaktancí lze pro zjištění činné složky použít měření stejnosměrným napětím a reaktanci dopočítat podle vztahu: $X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$. Stejný postup, včetně zapojení byl použit při měření vlastní indukčnosti cívky T2.6 a nemělo by smysl ho zde dopodrobna rozebírat znovu.

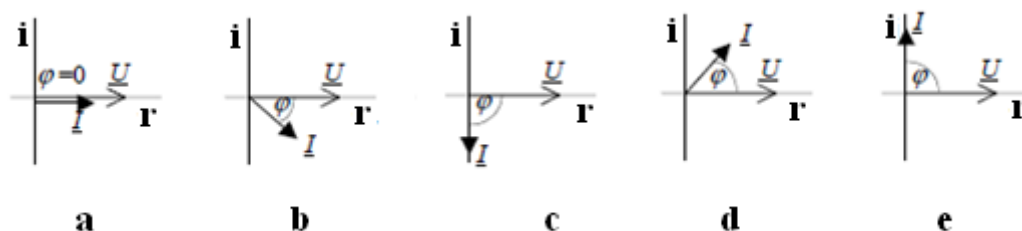
3.10 Měření fázového posuvu

S fázovým posuvem (rozdílem) se v elektrotechnice setkáme při porovnávání dvou většinou sinusových veličin. V praxi nás fázový posuv zajímá mezi napětími ve třífázové soustavě (120°), nebo častěji mezi napětím a proudem. Fázový posuv se udává v úhlových stupních, a cosinus úhlu ($\cos\varphi$) mezi napětím a proudem se nazývá účinník. Měřením fázového posuvu tedy nejčastěji zjišťujeme, o kolik stupňů se zpožďuje napětí za proudem (kapacita) nebo naopak (indukčnost). Na obrázku č. 30 je znázorněn posuv mezi napětím a proudem na prvcích R,L,C.

Obr. 30a představuje ideální rezistor, napětí i proud jsou ve fázi.

Obr. 30b,c představuje skutečnou (b) a ideální cívku (c) kde napětí předbíhá proud.

Obr. 30d,e představuje skutečný (d) a ideální kondenzátor (e) zde proud předbíhá napětí.

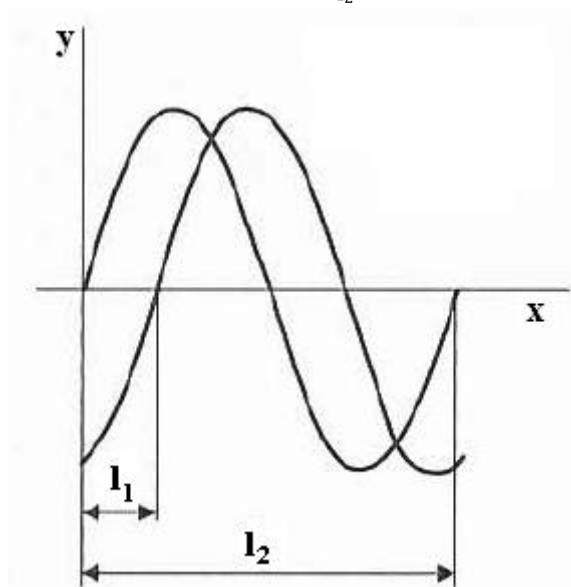


Obr. 30. Napětí a proud na prvcích RLC

Měřicí přístroje k měření fázového posuvu se nazývají fázoměry, tyto měřicí přístroje však na výstupu zobrazují nikoliv fázový posuv, ale přímo účinník. Vyrábějí se v jedno i trojfázovém provedení a mají proudovou a napěťovou cívku, podobně jako wattmetry.

Poměrně snadným způsobem měření fázového posuvu je měření pomocí dvoukanálového osciloskopu. Na stínítku osciloskopu se zobrazí dva sinusové průběhy, ze kterých odečteme hodnoty l_1 a l_2 naznačené na obrázku č. 31. Úhel φ se lehce dopočte dosazením do následujícího vztahu:

$$\varphi = 360 \cdot \frac{l_1}{l_2} [^\circ]$$



Obr. 31. Měření fázového posuvu pomocí osciloskopu.

T4 Praktická měření

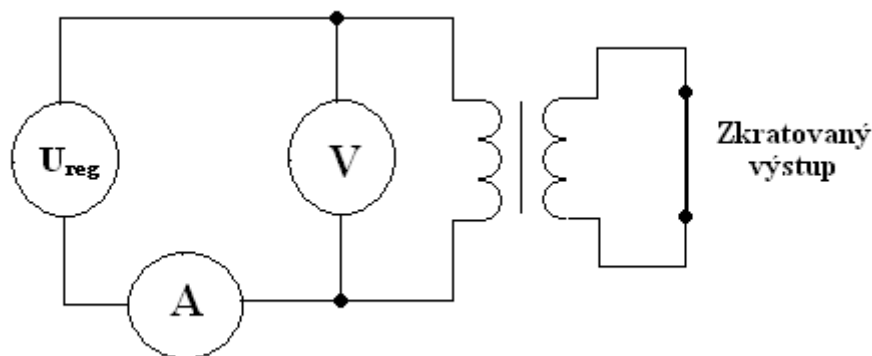
4.1 Měření na transformátorech

1) Měření napětí nakrátko

Napětí nakrátko je ukazatelem ztrát ve vinutí P_{Cu} (tzv. ztráty v mědi), velké napětí nakrátko znamená menší ztráty ve vinutí. Udává se v procentech ze jmenovitého napětí a určuje nám též tvrdost zdroje, malé zkratové napětí = tvrdý zdroj napětí.

Postup měření:

Primární (vstupní) strana transformátoru je připojena na regulovatelný zdroj střídavého napětí např. autotransformátor. Sekundární (výstupní) strana má svorky zkratovány. Napětí na primární straně zvyšujeme, dokud proud primární stranou nedosáhne jmenovité hodnoty U_n . Proud primární stranou kontrolujeme zapojeným ampérmetrem, zkratové napětí U_k odečteme z ukazatele voltmetru, viz obr. 32.



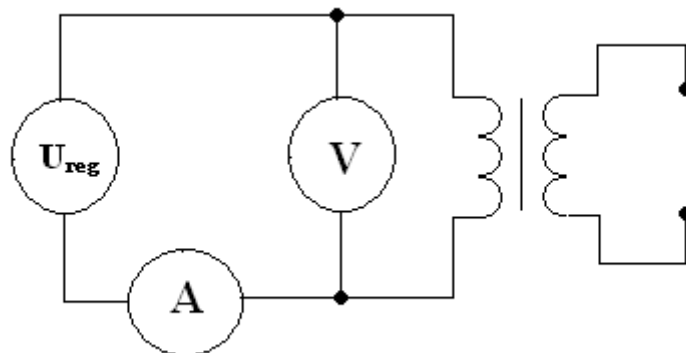
Obr. 32. Zapojení transformátoru pro měření nakrátko.

Procentní hodnotu napětí nakrátko u_k vypočítáme podle vztahu:

$$u_k = \frac{U_k}{U_n} \cdot 100 \quad [\%]$$

2) Měření proudu naprázdno

Proud naprázdno je indikátorem ztrát v magnetickém obvodu (tzv. ztráty v železe). Tyto ztráty nazývané též magnetizační jsou ztracená energie potřebná k přemagnetování feromagnetického materiálu při střídavém magnetování.



Obr. 33. Transformátor naprázdno

Postup měření:

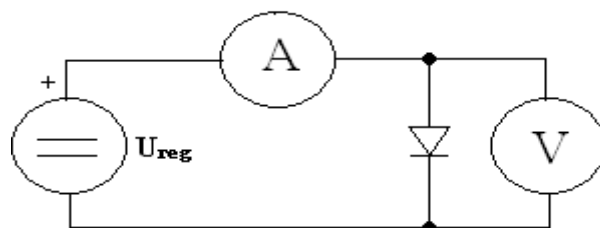
Připojíme transformátor vstupními svorkami na jmenovité napětí U_n . Z ampérmetru pak odečítáme proud naprázdno. Za pomoci účinníku vypočítáme činný výkon a ten lze s určitou chybou považovat za ztráty v železe P_{Fe} . K měření lze též použít wattmetr, který měří přímo odebíraný činný výkon.

4.2 Měření charakteristik polovodičových součástek

Voltampérová charakteristika (VACH) je grafické znázornění závislosti proudu na napětí. Jde o jednu ze základních charakteristik všech prvků (ne jen polovodičových). Podle tvaru průběhu VACH rozdělujeme na všechny součástky na lineární a nelineární.

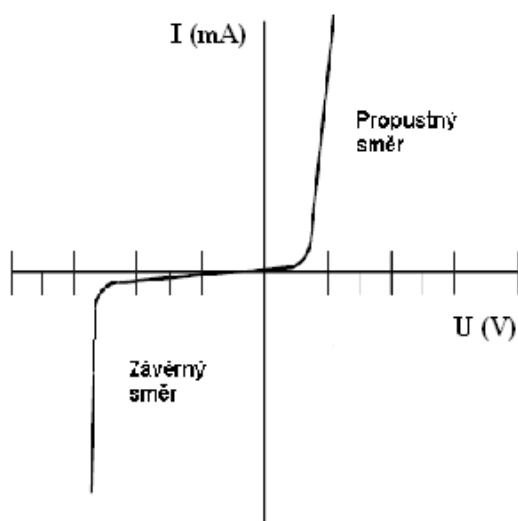
Postup měření VACH diody:

Na regulovatelný zdroj napětí připojíme polovodičovou usměrňovací diodu v závěrném směru (obr. 34). Na zdroji zvyšujeme napětí od 0V po skocích například 0,5V a na ampérmetru odečítáme hodnoty proudu.



Obr. 34. Měření VACH diody.

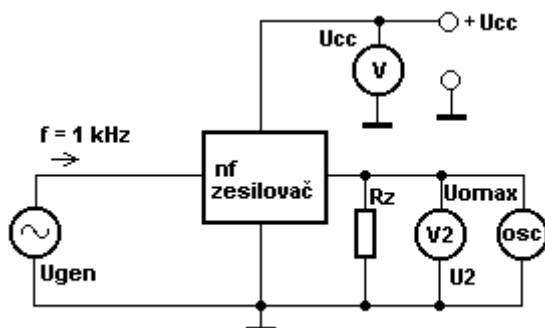
Naměřené hodnoty zapíšeme do tabulky a zpracujeme do grafu, na kterém je na ose X uvedeno napětí ve voltech a na ose Y je zanesen proud v miliampérech. Příklad je na obrázku 35, kde je znázorněn průběh VACH usměrňovací diody v propustném i závěrném směru.



Obr. 35. VACH usměrňovací diody.

4.3 Měření na zesilovačích

1) Měření výkonu (orientační). Maximální výstupní výkon měříme za podmínek konstantního napájecího napětí $+U_{cc}$ a konstantní zátěže R_z při signálu o sinusovém průběhu a kmitočtu f 1 kHz.



Obr. 36. Zapojení pro měření na zesilovači.

Jako zátěž R_z je použit výkonový rezistor o odporu odpovídající impedanci určené zátěže. Na výstupu generátoru je nastaven sinusový signál s nastavitelnou amplitudou $f=1\text{kHz}$.

Průběh měření:

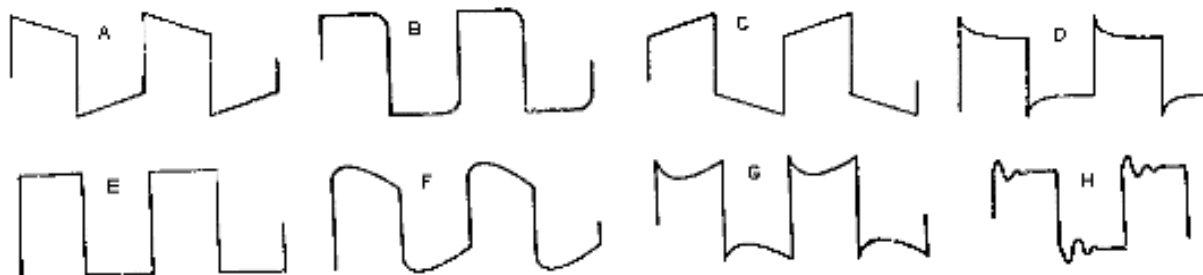
Na výstupu z generátoru nastavíme takovou amplitudu napětí, aby byla dosažena hodnota těsně před limitací na výstupu zesilovače. Měříme průběh napětí na výstupu ze zesilovače před limitací, výstupní výkon P_{out} vypočteme jako podíl efektivní hodnoty napětí a odporu zátěže $P_{out} = \frac{U^2}{R}$. Protože při nízkých frekvencích odebírá zesilovač největší příkon, je vhodné změřit výkon zesilovače stejným postupem i při $f=40\text{Hz}$ k posouzení kvality napájecího zdroje.

2) Měření mezních kmitočtů.

Horní mezní kmitočet. S tímto měřením souvisí zjištění mezního kmitočtu, který je zesilovač schopen přenést při všech výkonech. Z generátoru odchází obdélníkový průběh. Stálým zvyšováním frekvence se dostaneme k obrazu, kdy horní tečna s vrcholem se dotýká signálové křivky pouze v jednom bodu - původně obdélníkový signál se postupně změní v "pilový" - a tento stav určuje horní mezní (či limitní) kmitočet.

Dolní mezní kmitočet se zjišťuje stejným postupem jen kmitočet snižujeme směrem dolů.

3) Měření zkreslení



A – zesilovač málo zesiluje nízké kmitočty

B – zesilovač málo zesiluje vysoké kmitočty

C – zesilovač více zesiluje nízké kmitočty

D – zesilovač více zesiluje vysoké kmitočty

E – pravoúhlý obdélníkový signál

F – zesilovač špatně zesiluje vysoké i nízké f.

G – zesilovač více zesiluje vysoké i nízké f.

H – zesilovač má sklon k rozkmitání je nestabilní

T5 Měření neelektrických veličin

Měření neelektrických veličin elektrickými metodami je možný, pouze pokud jsme schopni měřenou veličinu převést na veličinu elektrickou, nejčastěji to bývá elektrické napětí. Tento způsob měření neelektrických veličin má několik výhod:

- velká citlivost
- vysoká přesnost
- rychlost měření
- možnost přenosu, ukládání, nebo dalšího zpracování
- využití v automatizaci

Měřicí sestava určená pro měření neelektrických veličin většinou obsahuje několik hlavních částí:

- senzor (snímač) umožňující převod sledované veličiny na elektrický signál
- měřicí obvod
- vyhodnocovací, nebo zobrazovací zařízení

Je zřejmé, že z pohledu měření neelektrických veličin je nejdůležitější částí senzor, který umožní převod neelektrické veličiny na elektrický signál.

Aktivní senzory – umožňují přímou přeměnu na elektrický signál, jsou tedy zdrojem elektrického napětí jako např. termoelektrické a fotovoltaiické články, nebo piezoelektrické snímače.

Pasivní senzory – tento druh senzorů mění vlivem neelektrických veličin své elektrické vlastnosti, např. změna odporu u termistorů. Ke své činnosti takový snímač potřebuje zdroj elektrické energie.

Rozdělení snímačů podle fyzikálního jevu, nebo principu snímání:

- mechanické veličiny – poloha, rychlost, otáčky, síla, točivý moment apod.
- tepelné veličiny – teplo, teplota, tepelný tok
- magnetické veličiny – magnetická indukce, intenzita magnetického pole
- radiační veličiny – intenzita viditelného, ultrafialového a infračerveného záření
- chemické veličiny – vlhkost, koncentrace určitých látek
- optické veličiny – jas, osvětlenost, druh světla
- akustické veličiny – akustický tlak, intenzita hluku
- veličiny hydraulických systémů – tlak, průtok
- biologické veličiny – krevní tlak, tep, teplota
- jaderné veličiny – druhy záření α, β, γ

5.1 Měření některých druhů neelektrických veličin elektrickými metodami

V následující části si uvedeme pouze několik málo příkladů využití měření neelektrických veličin elektrickými metodami v praxi. Většinou je zde uvedeno měření takových veličin, který se v praxi často používá v automatizaci a zabezpečovacích systémech.

1) Měření síly, tlaku a hmotnosti – tenzometry

Jde o odporové snímače nejčastěji ve formě kovových (nebo i polovodičových) pásků, sloužící k měření mechanického namáhání, např. statického, nebo dynamického namáhání nosných konstrukcí. Mechanický tlak má za následek změnu délky takového pásku a tím se mění jeho celkový elektrický odpor.

Piezoelektrický snímač tlaku

Využívá piezoelektrického jevu při deformaci krystalu vznikající působením tlaku, nebo tahu zvětšku. Využití především v aplikacích kde dochází k rychlé změně působícího tlaku.

2) Měření tepelných veličin – termočlánek

V místě spojení (sváru) dvou kovových vodičů s rozdílnou vodivostí vzniká při změně teploty elektrické napětí. Měření toho napětí se využívá u aktivních snímačů teploty. Takovéto snímače lze použít pro měření teplot ve velkém rozsahu od -600 až po cca +3000°C.

Měření tepelných veličin termistorem

Termistor je teplotně závislý rezistor, nárůstem teploty klesá (u negativně závislých NTC termistorů) nebo stoupá (u pozitivně závislých termistorů PTC) jeho elektrický odpor. Takové čidlo se často využívá pro měření teploty kapalin, v klimatizační technice, nebo např. jako teplotní čidlo v mikrovlnné troubě apod.

Odporové snímače teploty

Pracují na podobném principu jako předchozí snímače s termistory. Využívají skutečnosti, že všechny kovy jsou pozitivně teplotně závislé (s rostoucí teplotou roste jejich odpor) a el. odpor polovodiče je naopak negativně závislý na teplotě.

3) Měření osvětlenosti – luxmetry

Základem je selenový, nebo častěji křemíkový snímač, pracující na principu fotodiody. Takovýmto luxmetrem lze měřit osvětlení až do úrovně 200 000 luxů.

4) Snímače pohybu – PIR čidla

Snímače pohybu využívají pyroelektrická čidla, která reagují na tepelné záření vyzařované lidským tělem. Pro zvýšení citlivosti, nebo vymezení snímaného prostoru jsou umístěny

v ohnisku spojné čočky. Využití např. při automatickém osvětlení, nebo zabezpečovacích systémech.

5) Měření průtoku – indukční průtokoměry

Využívají Faradayova zákona elektromagnetické indukce. Při pohybu (průtoku) tekutiny magnetickým polem se indukuje el. napětí. Tímto způsobem lze samozřejmě měřit pouze vodivé kapaliny. Výhodou je, že měření je bezdotykové, nedochází k opotřebení zařízení, ani nedochází ke ztrátě tlaku, jako je tomu u většiny ostatních způsobů měření průtoku.

6) Měření otáček – tachodynamo

Tachodynamo je stejnosměrný stroj uzpůsobený pro měření otáček. V principu je to malý stejnosměrný motor s permanentními magnety. Měří se velikost napětí indukovaného v kotvě.

Impulzní snímače otáček

Základem je otáčející se kotouč, ve kterém jsou otvory, nebo zuby. Světelný zdroj přerušovaně osvětluje fotoelektrický snímač (fotoodpor, fotodioda apod.)

Stroboskopické snímače otáček

Záblesky osvětlovaný rotující kotouč se nám při frekvenci otáčení stejné jako je frekvence záblesků jeví, jako stojící jde o tzv. stroboskopický jev. Pokud známe frekvenci záblesků lze určit frekvenci otáčení kotouče.

7) Měření vzdálenosti – ultrazvukové

Vyslaný impuls (s frekvencí kolem 100kHz) se odráží od překážky a vrací se zpět. Měří se doba jeho návratu. Tato doba je přímo úměrná vzdálenosti.

8) Měření polohy a úhlového natočení

Používají se pro sledování přímočarých pohybů, nebo úhlu natočení

Odporové snímače, jsou to pasivní snímače podle konstrukčního provedení rozdělené na kontaktní - skoková změna hodnoty odporu a potenciometrické – působením měřené veličiny se mění poloha běžce potenciometru.

Indukční snímače polohy, měřená veličina zde způsobuje změnu indukčnosti. To je většinou realizováno pohybem jádra.

Kapacitní snímače, změna kapacity vlivem změny polohy je většinou zajištěna změnou vzájemné vzdálenosti elektrod, nebo změnou plochy jejich překrytí.

Příloha č. 1. Hodnoty střídavého napětí.

Střídavé napětí je takové, které periodicky mění svou velikost (v kladných i záporných hodnotách). Z toho důvodu není možné určit jedním číslem jeho hodnotu pro celý průběh (hodnota se neustále mění). Pro popis střídavého napětí se tak používá několik hodnot:

Maximální hodnota napětí (špičkové) $U_{\max}$ u sinusového harmonického průběhu se vyskytuje v $1/4$ a $3/4$ periody viz obrázek.

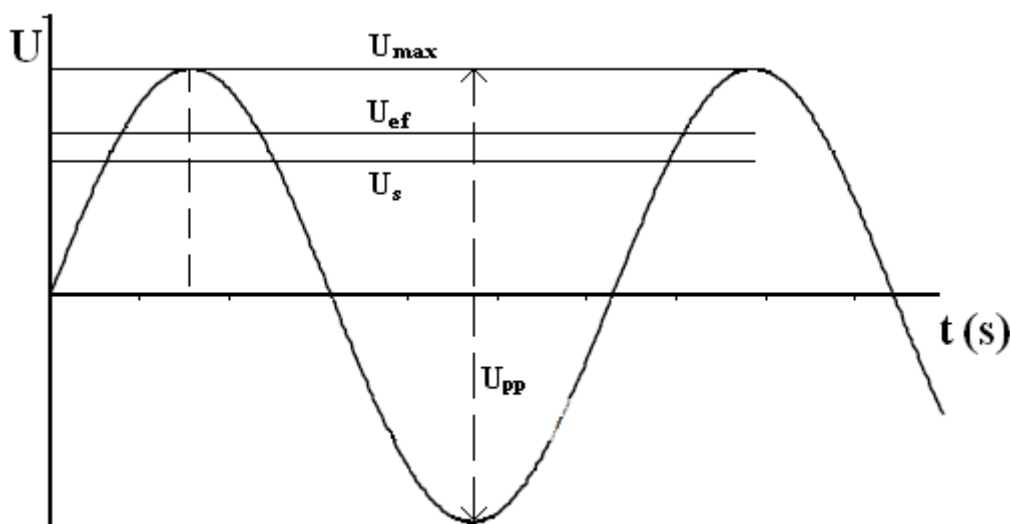
Střední absolutní hodnota napětí U_s většinou se nepoužívá je to střední (průměrná) hodnota v absolutních číslech.

Efektivní hodnota U_{ef} (nebo jen U) je to nejčastěji používaná hodnota pro popis střídavého napětí, tuto hodnotu nám ukazují měřicí přístroje. Udává hodnotu stejnosměrného napětí, které by na rezistoru vyvolalo stejný tepelný účinek. Někdy se pro efektivní hodnotu můžeme setkat s označení RMS.

Hodnota špička-špička U_{pp} – hodnota napětí mezi spodním a horním maximem.

Okamžitá hodnota u je hodnota napětí v daném čase t pro sinusový harmonický průběh platí:

$$u = U_{\max} \cdot \sin(\omega t)$$



Obr. P1. Hodnoty střídavého napětí.

Vzájemné vztahy platné pro harmonický sinusový průběh:

$$U_s = \frac{2U_{\max}}{\pi}$$

$$U_{ef} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$$

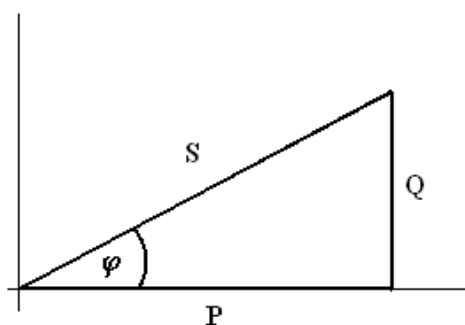
$$U_{pp} = 2U_{\max}$$

Příloha č. 2. Výkony střídavého proudu

Pro střídavý proud máme zavedené tři druhy výkonů:

- **Zdánlivý** **S** **(VA)**
- **Činný** **P** **(W)**
- **Jalový** **Q** **(Var)**

Výkon zdánlivý S (VA) – získáme ho jako součin napětí a proudu $S = U \cdot I$ a zahrnuje v sobě jak výkon činný, tak výkon jalový. Velikost zdánlivého výkonu lze také určit podle tzv. trojúhelníku výkonů $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$:



Obr. P2. Trojúhelník výkonů.

Činný výkon P (W) – tento výkon se ve spotřebiči přemění na jiný druh energie (např. mechanickou) koná tedy užitečnou práci. Lze ho získat ze vztahů:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = S \cdot \cos \varphi$$

rovněž ho lze získat podle trojúhelníku výkonů $P = \sqrt{S^2 - Q^2}$.

Pokud je zátěž ideální rezistor potom $\cos \varphi = 1$ a bez vlivu indukčnosti, nebo kapacity platí že $P = S$. Potom zde nutně musí platit $Q=0$ a to znamená, že na ideálním rezistoru máme pouze činný výkon.

Jalový výkon Q (Var) – jde o výkon, který se přesouvá bez využití mezi zdrojem a spotřebičem. Nekona tedy žádnou užitečnou práci, je však nezbytný pro vytvoření magnetického pole v indukčním prvku, nebo elektrického pole v kapacitním prvku. Výpočet jalového výkonu:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = S \cdot \sin \varphi$$

nebo opět z trojúhelníku výkonů $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$.

Velikost přenášeného jalového výkonu je nutno minimalizovat kvůli ztrátám to se realizuje pomocí tzv. kompenzace účinníku. Kompenzaci je nutno provádět tam kde je velký odběr jalového výkonu např. elektromotory v obráběcích strojích. V podmínkách provozovatele distribuční soustavy je požadavek na kompenzaci účinníku na úroveň $\cos \varphi = 0,95-1$.

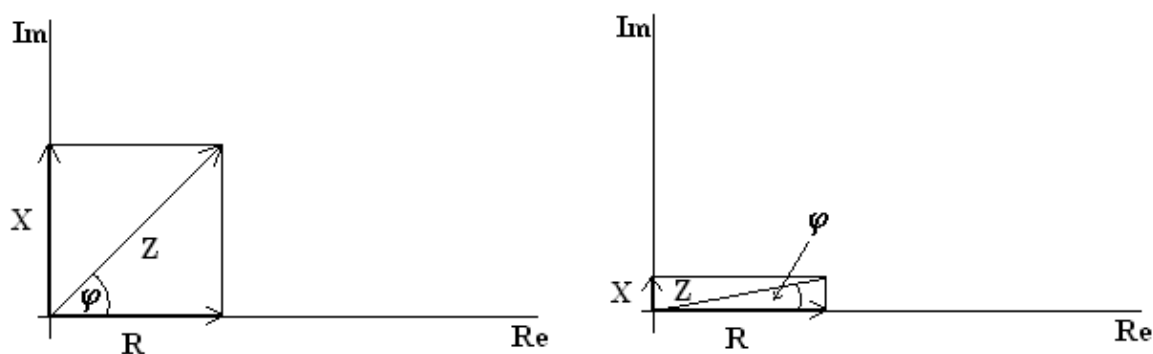
Příloha č. 3. Impedance a účinník

Účinník $\cos\varphi$ - na induktivní zátěži dochází k fázovému posuvu napětí před proudem (u kapacitní zátěže je tento posuv obrácený), velikost tohoto posunu (úhel φ) je závislá na poměru mezi činným odporem R a reaktancí X . Čím je úhel mezi napětím a proudem větší, tím nižší je účinník $\cos\varphi$ a tím větší je jalový výkon, který nevykonává užitečnou práci, způsobuje však ztráty ve vedení. Kompenzací se tento úhel zmenšuje na minimum, které je pro funkci zátěže potřebné většinou je snaha $\cos\varphi$ držet v intervalu 0,95-0,98. Kompenzace účinníku se u induktivní zátěže provádí připojením kompenzačních kondenzátorů, které zmenšují úhel mezi napětím a proudem. Velikost kapacity pro kompenzaci se určuje výpočtem, nejprve se určí potřebný jalový výkon kompenzačních kondenzátorů:

$$Q_c = P(\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_k)$$

a následně kapacita:

$$C = Q_c / (\omega \cdot U^2)$$



Obr. P3. Příklad změny fázového posuvu před a po kompenzaci.

Impedance Z (Ω)- charakterizuje vlastnosti prvku pro střídavý proud. Impedance je základní vlastností, kterou potřebujeme znát pro analýzu střídavých elektrických obvodů. Jde o komplexní veličinu (obsahuje reálnou a imaginární složku) popisující zdánlivý odpor součástky a fázový posuv napětí proti proudu při průchodu harmonického střídavého elektrického proudu dané frekvence. Imaginární složku představuje reaktance podle charakteru prvku je to reaktance induktivní X_L , nebo kapacitní X_C . Reálnou složku představuje činný odpor R . Výsledná impedance je jejich vektorovým součtem:

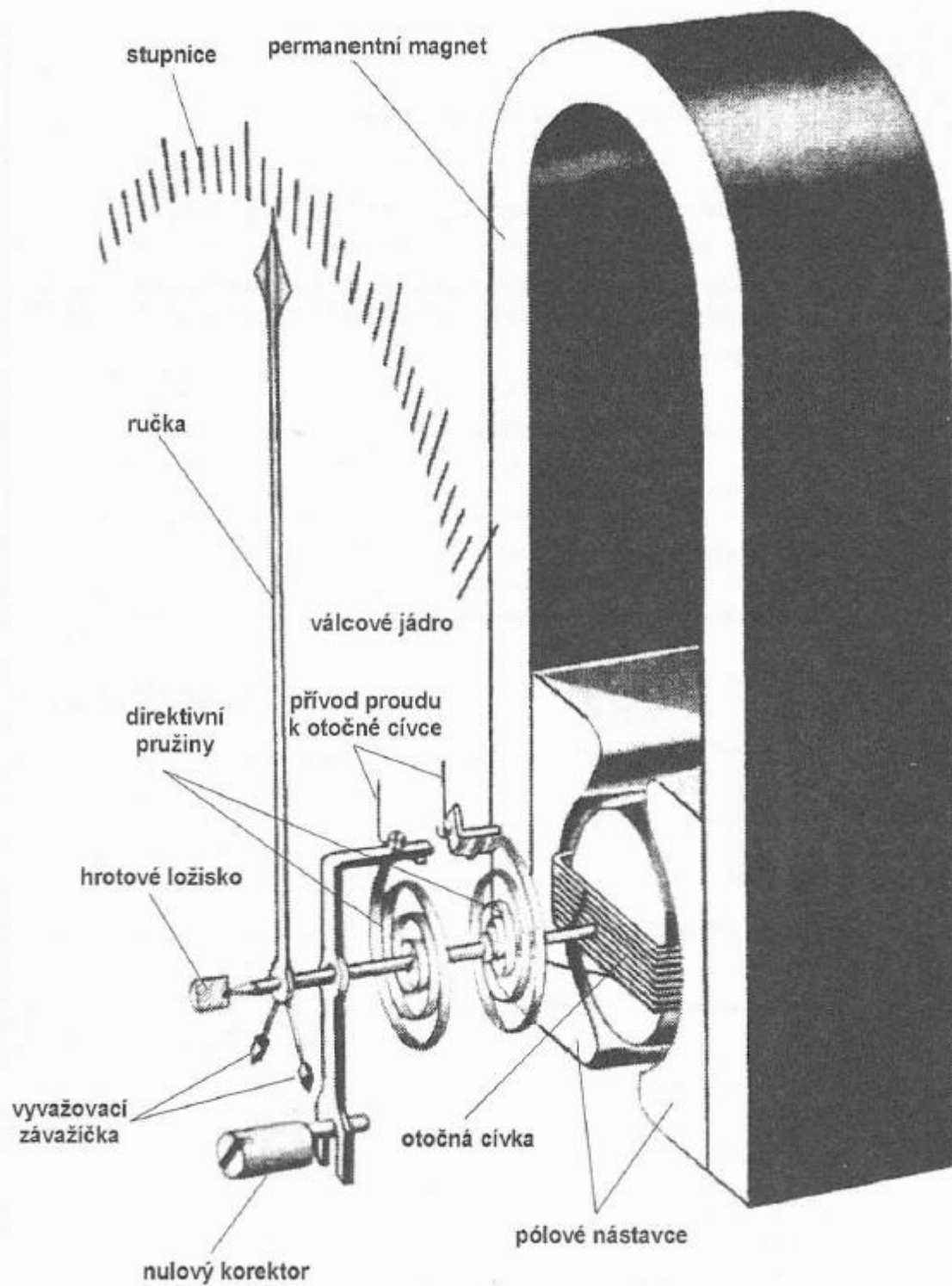
$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Příloha č. 4. Značky na měřicích přístrojích

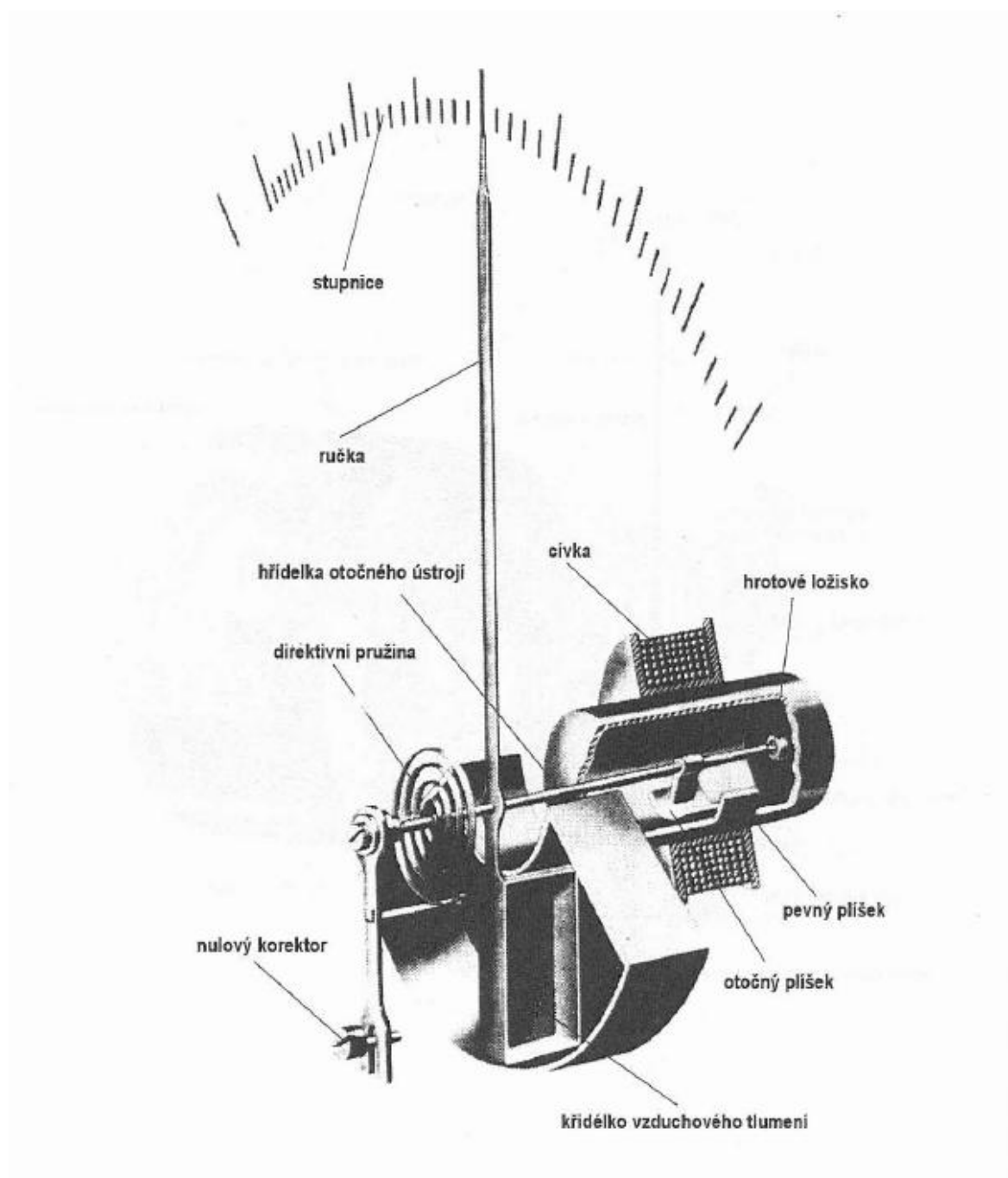
	stejnoseměrný proud	
	střídavý proud	
	stejnoseměrný a střídavý proud	
	trojfázový přístroj	
	magnetoelektrický přístroj	ampérmetry, voltmetry
	feromagnetický přístroj	ampérmetry, voltmetry
	elektrodynamický přístroj stíněný	wattmetry
	rezonanční přístroj	kmitoměry
	indukční přístroj	elektroměry
	elektrostatický přístroj	vysokonapěťové voltmetry
	číselník ve svislé poloze – kolmo k podložce	
	číselník ve vodorovné poloze	
	číselník se sklonem 60° vůči vodorovné rovině	
	zkušební napětí 500 V	
	zkušební napětí 2 kV (podle číslice uvnitř hvězdy)	
	zkouška elektrické pevnosti se neprováděla	
	elektrická pevnost přístroje nevyhovuje předpisům	
1,5	třída přesnosti (např. 1,5) vyjádřená z největší hodnoty měřicího rozsahu	
	třída přesnosti (např. 1,5) vyjádřená z délky stupnice	
	třída přesnosti (např. 1,5) vyjádřená ze skutečné hodnoty	
	uzemňovací svorka	
	upozornění – viz dokumentace přístroje	
	bočník	
	předřadník	

Příloha č. 5. Magnetoelektrická měřicí soustava

Magnetoelektrická soustava



Příloha č. 6. Elektromagnetická měřicí soustava



Příloha č. 7. Veličiny, jejich jednotky a násobky

Používané veličiny a jejich jednotky			
Veličina	Značka	Jednotka	Značka jednotky
elektrické napětí	U	volt	V
elektrický proud	I	ampér	A
elektrický odpor	R	ohm	Ω
elektrická vodivost	G	siemens	S
frekvence	f	hertz	Hz
perioda	T	sekunda	s
úhlová frekvence	ω	reciproká sekunda	s^{-1}
výkon DC proudu	P	watt	W
výkon AC proudu činný	P	watt	W
výkon AC proudu zdánlivý	S	voltampér	VA
výkon AC proudu jalový	Q	voltampér reaktanční	VAr
účinnost	$\cos \varphi$	-	-
impedance	Z	ohm	Ω
induktivní reaktance	X_L	ohm	Ω
kapacitní reaktance	X_C	ohm	Ω
indukčnost	L	henry	H
kapacita kondenzátoru	C	farad	F
admitance	Y	siemens	S
magnetický indukční tok	Φ	weber	Wb
magnetická indukce	B	tesla	T
intenzita magnetického pole	H	ampér na metr	A/m

Používané předpony jednotek soustavy SI				
předpona	značka	10^n	název	číselné vyjádření
Tera	T	10^{12}	bilion	1 000 000 000 000
Giga	G	10^9	miliarda	1 000 000 000
Mega	M	10^6	milión	1 000 000
kilo	k	10^3	tisíc	1 000
-	-	1	-	1
mili	m	10^{-3}	tisícina	0,001
mikro	μ	10^{-6}	miliontina	0,000001
nano	n	10^{-9}	miliardtina	0,000000001
piko	p	10^{-12}	biliontina	0,000000000001

Příloha č. 6. Ovládací prvky osciloskopu

NASTAVENÍ OSCILOSKOPU

CAL 2Vp-p - kalibrační signál 1kHz slouží ke kalibraci osciloskopu (kalibrace sond !).
INTEN - regulace světlosti stopy (intenzita)
FOCUS - zaostření stopy paprsku

NASTAVENÍ ČASOVÉ ZÁKLADNY:

TIME / DIV - přepínání časové základny, nastavení počtu ms (μ s) na jeden dílek stupnice.
X-Y - vypnutí časové základny
SWP UNCAL - zapínání jemné regulace časové základny
SWP.VAR. - jemná regulace časové základny
X10 MAG - desetinásobné zvýšení časové výchylky (lupa)
POSITION - nastavení zobrazeného průběhu v horizontální rovině.

OVLÁDACÍ PRVKY ZESILOVAČŮ:

VOLTS/DIV - regulace zesílení (přepínání počtu voltů na dílek)
VAR. - potenciometr pro jemné nastavení regulace zesílení
MODE - přepínání vstupního signálu CH1 – vstup z konektoru CH1 (X)
CH2 – vstup z konektoru CH2 (Y)
DUAL – zobrazuje oba kanály
ADD – sčítá (odečítá- INV) oba vstupy
AC DC - přepínač vazby, mezi vstupním signálem a zesilovačem
GND - vstup vertikálního zesilovače je odpojen a vstupní svorka uzemněna
HOLD OFF – používá se k synchronizaci průběhu signálu, nelze-li jej stabilně synchronizovat nastavením úrovně spouštění.
LEVEL (úroveň) – slouží k nastavení startovacího bodu pro průběh signálu.
LOCK – automatické udržování spouštěcí úrovně na optimální hodnotě.
COUPLING – (vazba) – volba vazby, mezi zdrojem spouštěcího signálu a spouštěným obvodem.
AC/DC – střídavá/stejnoseměrná vazba
HF REJ – Odstraňuje složky signálu nad 50kHz
SOURCE (zdroj) – nastavuje interní spouštěcí zdrojový signál.
CH1 – kanál 1
CH2 – kanál 2
LINE – spouštěcí signál je odvozen od napájecího napětí
EXT – použití vnějšího spouštěcího signálu přivedeného přes svorku EXT.
TRIGGER ALT. – přepíná mezi zdroji spouštěcího signálu při nastavení DUAL, nebo ADD.
SLOPE – výběr sklonu spouštění.

Použité zkratky a symboly:

AC – střídavá veličina (např. napětí)

ekv. $\approx$

DC – stejnosměrná veličina

ekv. =

L – označení fázového vodiče

mp – měřicí přístroj

M_{max} – měřicí rozsah

NI – nulový indikátor

nn – nízké napětí (napětí do 1000V)

periodický – opakující se v pravidelných intervalech

P_c – celkový výkon

PEN – vodič se sdruženou funkcí ochranného a středního vodiče

$s^{-1} = \frac{1}{s}$ = reciproká sekunda

střída – znamená poměr časů, kdy se signál nachází v jednotlivých úrovních

(u střídavých signálů) značí se D udává se v % nebo poměru např. 1:1

TN-C – síť s uzemněným uzlem zdroje, se sloučeným ochranným a středním vodičem (PEN)

TN-S – síť s uzemněným uzlem zdroje, s rozděleným ochranným a středním vodičem (PE+N)

true RMS – pokud je mp takto označen, měří skutečnou efektivní hodnotu dané veličiny

VACH – voltampérová charakteristika

1f – jednofázový

3f - trojfázový

Δ – delta (malé písmeno řecké abecedy) většinou symbolizuje rozdíl, nebo změnu veličiny

φ – fi (malé písmeno řecké abecedy) symbolizuje úhel, viz například trojúhelník výkonů

λ – lambda (malé písmeno řecké abecedy) označuje veličinu zvanou vlnová délka která se udává v metrech.