6.1. Úvod

Při měření výkonu předpokládáme, že známe jmenovité napětí zdroje, k němuž je zátěž připojena, a orientačně rozsah proudu, tekoucího do zátěže. Použijeme-li k měření univerzální klešťový přístroj, je třeba zkontrolovat, zda jeho napěťové a proudové rozsahy odpovídají těmto hodnotám. Použitý klešťový přístroj používá jak pro měření efektivních hodnot napětí a proudu, tak pro měření výkonu vzorkovací metodu měření. To znamená, že časové průběhy napětí a proudu se ovzorkují a převedou na posloupnost okamžitých hodnot napětí a proudu. Příslušné veličiny se pak vypočtou ze vzorců odvozených diskretizací definičních integrálů efektivní hodnoty a činného výkonu.

V současné době se ale stále ještě používají (na rozdíl od voltmetrů a ampérmetrů, kde se již vesměs používají číslicové multimetry) analogové wattmetry. Při měření činného výkonu pomocí ručkového wattmetru jsme zpravidla omezeni proudovým rozsahem wattmetru a při zátěži, která odebírá větší proud, než je proudový rozsah wattmetru, musíme pro měření použít měřicí transformátor proudu (MTP) s vhodným převodem.

6.2. Domácí příprava

6.2.1. Jak vypočtete nejistotu měření při měření výkonu ručkovým wattmetrem a měřicím transformátorem proudu?

$$P_m = P_W p_I = k_W \alpha p_I$$
 $P_W = k_W \alpha$ $k_W = \frac{U_N I_N}{\alpha_{max}}$ $p_I = \frac{N_2}{N_1}$

 U_N,I_N napěťové a proudové rozsahy W, α_{max} maximální výchylka W, P_W údaj W, k_W konstanta W, α výchylka W, p_I převod MTP, P_m výkon odebíraný zátěží

$$u_{P_m} = \sqrt{\left(\frac{\partial P_m}{\partial P_W} u_{P_W}\right)^2 + \left(\frac{\partial P_m}{\partial p_I} u_{p_I}\right)^2} = \sqrt{\left(p_I u_{P_W}\right)^2 + \left(P_W u_{p_I}\right)^2}$$

6.2.2. Jak se vypočtou z ovzorkovaného průběhu napětí a proudu efektivní hodnoty a činný výkon?

$$P = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N} u_k i_k \qquad U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N} u_k^2} \qquad I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N} i_k^2}$$

6.2.3. Proč je nutné měřit napětí na sekundárním vinutí MTP a jak zjistíte, není-li překročeno jeho dovolené zatížení?

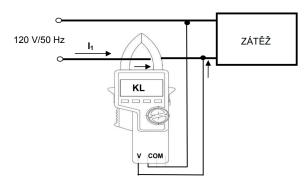
při tomto měření pracujeme s veličinami překračijícími rozsah měřícího přístroje, MTP užijeme, abychom veličiny převedli do mezí tohoto rozsahu, transformátor převede I_1 z primárního vinutí na I_2 na sekundárním vinutí a platí $I_1:I_2=N_2:N_1=p_I;$ abychom mohli použít MTP nesmíme překročit jmenovitou hodnotu zdánlivého výkonu S_j , který je odebírán v sekundárním obvodu MTP, a musí platit vztah $Z_2=\frac{U_{kl}}{I_2}\leq \frac{S_j}{I_{2j}^2},$ kde Z_2 je velikost impedance připojené k sekundárnímu vinutí MTP, U_{kl} úbytek napětí na svorkách k-l, I_2 měřený sekundární proud

6.3. Úkol měření

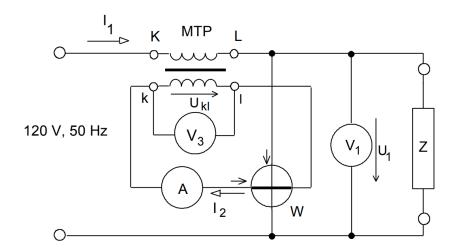
- **6.3.1.** Změřte činný výkon, účiník a zdánlivý výkon jednofázové zátěže. K měření použijte univerzální klešťový přístroj s číslicovým zobrazením, činný výkon změřte rovněž pomocí ručkového wattmetru a měřicího transformátoru proudu (MTP) a vypočtěte účiník. Při měření činného výkonu určete v obou případech rozšířenou nejistotu typu B $(k_r = 2)$. U výsledků měření pomocí ručkového wattmetru korigujte chybu metody, chybu úhlu MTP zanedbejte. Posuďte, zda rozdíl hodnot měřených oběma přístroji odpovídá jejich uvedené přesnosti.
- **6.3.2.** Změřte napětí na sekundárním vinutí MTP a zkontrolujte, není-li překročeno dovolené zatížení transformátoru.
- **6.3.3.** Dobrovolné!!! Pomocí analyzátoru výkonu RohdeSchwarz HMC8015 změřte příkon jednofázové zátěže, V grafickém režimu zobrazte současně průběh napětí, proudu a výkonu a stanovte THD.

Zátěž neponechávejte připojenou ke zdroji déle než 2 minuty - není dimenzována na trvalý provoz!!

6.4. Schéma zapojení



Obr. 6.1. Měření činného výkonu, účiníku a zdánlivého výkonu pomocí univerzálního klešťového přístroje



Obr. 6.2. Zapojení pro měření činného výkonu jednofázové zátěže pomocí ručkového wattmetru

6.5. Poznámky k měření

6.5.1. Měření klešťovým přístrojem

Přístroj se zapne otočením přepínače volby měřené veličiny do polohy, při které žlutá značka na hmatníku ukazuje na symbol měřené veličiny. Po zapnutí proběhne autotest, při němž se krátkodobě zobrazí všechny segmenty zobrazovacího displeje. Dále následuje autokalibrace, kdy se na displeji zobrazí nápis "CAL". Během autokalibrace, trvající asi 15 s, se provádí i kompenzace zbytkového magnetického pole v obvodu kleští, jimiž přitom nesmí procházet vodič s proudem. Po autokalibraci se přístroj nastaví do automatické volby měřicího rozsahu daného polohou přepínače a na displeji je zobrazena funkce "AUTO".

Měření skutečné efektivní hodnoty (TRMS) v případě proudu nebo napětí je na displeji indikováno jako "AC + DC". Pokud nelze okamžitě odečítat údaj měřené veličiny, je možno aktuální měřenou hodnotu uchovat stisknutím tlačítka "HOLD". Stav se zruší následným stisknutím tohoto tlačítka, přičemž se obnoví měření. Pokud je měřená veličina mimo rozsah přístroje, objeví se na displeji L L L L.

Měření proudu se provede po ukončení autokalibrace, kdy se v poloze přepínače A čelistmi přístroje obepne vodič s měřeným proudem. Znaménko údaje bude odpovídat skutečnosti, pokud měřený proud bude vstupovat do magnetického obvodu čelistí ve směru šipky vyznačené na pouzdru přístroje v prostoru magnetického obvodu. Citlivost přístroje lze zvětšit ovinutím měřeného vodiče kolem čelistí magnetického obvodu. Skutečnou hodnotu měřeného proudu pak získáme dělením údaje displeje počtem průchodů vodiče magnetickým obvodem čelistí.

Při měření napětí je přepínač volby měřené veličiny v poloze "V" a měřené napětí se přivádí vodiči do svorek označených symboly "V" a "COM".

Při měření činného, popř. zdánlivého výkonu je přepínač volby měřené veličiny v poloze kW, popř. kVA. Bude-li napěťová svorka "V" spojena při měření činného výkonu ve správné vzhledem k vodiči, který prochází kleštěmi, a proud vstupuje do magnetického obvodu ve směru šipky (viz označení šipek na obr. 6.1), bude údaj na displeji s kladným znaménkem, jedná-li se o odběr energie, a se záporným znaménkem, jedná-li se o dodávku. Bude-li vstup jedné z veličin obrácený, změní se znaménko údaje na minus. Také v tomto případě lze zvětšit citlivost měření analogicky jako při měření proudu zvětšením počtu závitů vodiče procházejícího kleštěmi a údaj na displeji dělit počtem závitů.

Při měření účiníku je přepínač měřené veličiny v poloze "cos φ " a přístroj je zapojen stejně jako pro měření výkonu (obr. 6.1). V analogickém zapojení proudového a napěťového obvodu jako v předchozím případě bude kladné znaménko údaje odpovídat odběru energie a záporné dodávce. Symbol L nebo C na poslední pozici údaje znamená indukčnostní nebo kapacitní charakter zátěže. Vzhledem k tomu, že přístroj měří účiník při proudech větších než 40 A, je při menších měřených proudech zátěží potřeba zvětšit počet průvleků vodiče kleštěmi tak, aby jejich součin s procházejícím proudem převyšoval tuto hodnotu.

6.5.2. Měření ručkovým wattmetrem

Zdroj napětí 120 V, 50 Hz (mezi dvěma svorkami sítě 3 × 120 V na rozvaděči).

Protože při napájecím napětí 120 V protéká zátěží proud větší než 5 A, musí být při měření pomocí ručkového wattmetru použit měřicí transformátor proudu (MTP).

Při provozu nesmí být sekundární obvod měřicího transformátoru proudu rozpojen. Primární i sekundární obvod MTP zapojujte vodiči s dostatečným průřezem s použitím svorek, které zaručují minimální přechodové odpory.

6.3.1

klešťovým přístrojem K jsme naměřily hodnoty I=12.26 A, P=0.927 kW, S=1.557 kVA; účinník se naměřit nepodařilo, a tak jej určíme metodou nepřímou dle vztahu $\cos\phi=\frac{P}{S}$

$$u_{I} = \frac{\delta/100 \cdot M}{\sqrt{3}} = \frac{1/100 \cdot 39.99}{\sqrt{3}} \text{ A} = 0.23 \text{ A} \sim 1.9\%$$

$$u_{P} = \frac{\delta/100 \cdot M}{\sqrt{3}} = \frac{2/100 \cdot 3.999}{\sqrt{3}} \text{ kW} = 0.046 \text{ kW} \sim 5.0\%$$

$$u_{S} = \frac{\delta/100 \cdot M}{\sqrt{3}} = \frac{2/100 \cdot 3.999}{\sqrt{3}} \text{ kVA} = 0.046 \text{ kVA} \sim 3.0\%$$

$$\cos \phi = \frac{P}{S} = \frac{0.927 \text{ kW}}{1.557 \text{ kVA}} = 0.595$$

$$u_{\cos \phi} = \sqrt{\left(\frac{\partial \cos \phi}{\partial P} u_{P}\right)^{2} + \left(\frac{\partial \cos \phi}{\partial S} u_{S}\right)^{2}} = \sqrt{\left(\frac{u_{P}}{S}\right)^{2} + \left(\frac{-Pu_{s}}{S^{2}}\right)^{2}} = 0.035 \sim 5.8\%$$

na ručkovém wattmetru byla výchylka $\alpha=62$ při maximální vých
zlce $\alpha_{max}=120$

$$k_W = \frac{U_N I_N}{\alpha_{max}} = \frac{120 \text{ V} \cdot 5 \text{ A}}{120} = 5 \text{ W} \qquad P_W = \alpha k_W = 62 \cdot 5 = 310 \text{ W}$$

$$u_{P_W} = \frac{T_p/100 \cdot M_U \cdot M_I}{\sqrt{3}} = \frac{0.5/100 \cdot 120 \cdot 5}{\sqrt{3}} \text{ W} = 1.7 \text{ W} \sim 0.6\%$$

$$p_I = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_{1j}}{I_{2j}} = \frac{15}{5} = 3 \qquad P_m = p_I P_W = p = 3 \cdot 310 \text{ W} = 0.930 \text{ kW}$$

$$u_{P_m} = \sqrt{(p_I u_{P_W})^2 + (P_W u_{p_I})^2} = \sqrt{\left(p_I \frac{T_p M_U M_I}{100\sqrt{3}}\right)^2 + \left(P_W \frac{T_p p_I}{100\sqrt{3}}\right)^2} = 0.006 \text{ kW} \sim 0.6\%$$

rozdíl naměřených hodnot $\Delta_P=|P_m(\mathbf{W})-P(\mathbf{K})|=3$ W je menší, nežli maximální odchylka $u_{\Delta_P,max}=u_{P_m(\mathbf{W})}+u_{P(\mathbf{K})}=52$ W, tudž tento rozdíl vyhovuje jejich uvedené přesnosti

T.6.1. Výsledky měření 6.3.1

1.0.1. (Jaroding interests office					
	X	u_X	$u_{X,k_r=2}$	$u_{X(rel)}$ [%]	
I(K)[A]	12.26	0.23	0.46	1.9	
S(K) [kVA]	1.557	0.046	0.092	5.0	
$\cos \phi(K)$	0.595	0.035	0.069	5.8	
P(K) [kW]	0.927	0.046	0.092	3.0	
$P_m(W)$ [kW]	0.930	0.006	0.012	0.6	
$P_w(W)$ [W]	310	1.7	3.5	0.6	

6.3.2

na sekundárním vinutí MPT byl ampérmetrem A naměřen proud $I_2=4.10$ A a voltmetrem V2 naměřeno napětí $U_{kl}=0.80$ V; známe hodnoty transformátoru $I_{2j}=5$ A, $S_j=5$ VA; ověříme, zdali MTP nebyl přetížen pomocí nerovnosti $Z_2=\frac{U_{kl}}{I_2}\leq \frac{S_j}{I_{2j}^2}$

$$Z_2 = \frac{0.80}{4.10} \le \frac{5}{25} \sim 0.195 \le 0.2$$

nerovnost po dosazení platí, tudíž jsme nepřekročili dovolené zatížení MTP, ale hodnoty nerovnosti si jsou velmi podobné, takže by bylo vhodné pro příští měření použít většího převodu MTP

6.6. Seznam použitých přístrojů a obvodvých prvků

zn	přístroj/prvek	specifikace	
V1	voltmetr	$M = 240 \text{ V}; T_P = 1.5; R_{IN} = 5 \text{ k}\Omega$	
V2	voltmetr	$M = 2.4 \text{ V}; T_P = 1.5; R_{IN} = 5 \text{ k}\Omega$	
A	ampémetr	$M = 5 \text{ A}; T_P = 0.5$	
W	wattmetr	$M = (120 \text{ V}, 5 \text{ A}); T_P = 0.5; 60 \text{ V-2 k}\Omega \Rightarrow R_{IN} = 4 \text{ k}\Omega$	
	klešťový	$M = 39.99 \text{ A; } Ac_{I(AC)} = \pm (1\% \text{ range})$	
K	multimetr	$M = 3.999 \text{ kW}; \text{Ac}_{P(AC)} = \pm (2\% \text{ range})$	
	PK 430.1	$M = 3.999 \text{ kVA}; \text{Ac}_{S(AC)} = \pm (2\% \text{ range})$	
Т	transformátor	$T_p = 0.5$; AMP. PRIMSEK. 15-5; $S_j = 5$ VA;	

6.7. Závěrečné vyhodnocení

měření na sekundárním vinutí proběhlo úspěšně (nebylo překročeno dovolené zatížení MTP); relativní chyba měření čínného výkonu byla pro nepřímé měření s MTP asi desetkrát menší, nežli pro měření přímé s klešťovým multimetrem; rozdíl obou měření činného výkonu byl v porovnání s jejich nejistotami zanedbatelný