

Střídavý proud v experimentech

ZDENĚK POLÁK

Jiráskovo gymnázium v Náchodě

Úvod

Jak jednoduše a rychle naměřit veličiny v obvodech se střídavým proudem a využít je k zadávání úloh s předem známým (naměřeným) výsledkem? Co všechno lze změřit vhodným měřičem spotřeby energie?

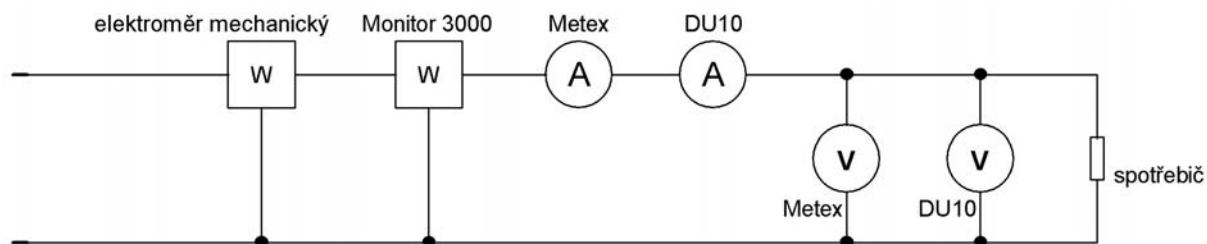
Při měření elektrických veličin charakteristických pro různé elektrické spotřebiče nás zajímá především napětí, proud a výkon, který odebírají. V případě stejnosměrného proudu konstantní hodnoty není o čem diskutovat. V případě střídavého proudu harmonického průběhu je také situace docela jasná. Jakmile jde ale o neharmonický střídavý proud, či dokonce střídavý proud se stejnosměrnou složkou je situace mnohem složitější.

Čím můžeme ve škole měřit? Obvykle jsou k dispozici klasické ručkové měřicí přístroje a nějaké novější digitální. Pro měření výkonu a odebrané energie nalezneme možná ve sbírkách starý wattmetr nebo mechanický elektroměr. Nově lze zakoupit některý z moderních digitálních přístrojů pro sledování odběru elektrické energie. Např. Energy Monitor 3000, nebo některý podobný zásuvkový elektroměr. Tyto komplexně koncipované přístroje obvykle umožňují měřit více veličin najednou. Co vlastně měří, jak věrohodně a jak využít naměřené hodnoty ve výuce?

Měření Energy Monitorem 3000

Tento přístroj umožňuje kromě jiného měřit napětí, proud, činný a zdánlivý výkon, účinník, celkově odebranou energii za dobu měření a u skokově zapínaných spotřebičů (lednička, světlo, ...) také poměr doby, po kterou byl odebírán proud ku celkové době připojení. Aby bylo možné ověřit, do jaké míry jsou naměřené hodnoty validní, bylo provedeno několik měření s různými spotřebiči. Monitor 3000 byl zapojen do obvodu na obr. 1.

Digitální přístroje byly zdvojeny analogovými, aby bylo možno více kontrolovat, zda naměřené údaje jsou věrohodné. Přístroje a spotřebič byly propojeny pomocí přípravku, který je popsán dále.



Obr. 1: Schéma zapojení obvodu pro kontrolu přístrojů a měření na spotřebiči

Pro různé spotřebiče jsou naměřené hodnoty uvedeny v tabulce:

Měření	Spotřebič	METEX		Monitor 3000					DU10	
		U[V]	I[mA]	U[V]	I[mA]	P_{ξ} [W]	P_z [VA]	cosφ	U[V]	I[mA]
1	ž 15 W	238	62	238	62	14,7	14,7	1	238	60
2	ž 40 W	239	190	239	189	45,2	45,2	1	238	188
3	ž 60 W	237	258	238	258	61,3	61,3	1	236	256
4	ž 300 W	236	1320	236	1315	310	310	1	236	1300
5	ž 40 W+L	239	140	239	140	23,4	33,6	0,69	238	138
6	ž 40 W+C	238	148	238	146	22,1	34,7	0,63	238	145
7	zář+L	238	167	238	167	17,7	40,2	0,44	238	165
8	L	239	201	239	203	8,5	48,5	0,17	238	200
9	C	239	187	239	192	0,1	46	0	240	186
10	zář+L+C	239	82	239	86	17,6	20,6	0,83	238	80
11	šetřivka	240	40	240	79	10,8	19,1	0,56	239	50
12	PC klid	239	68	238	75	12,7	18,2	0,67	239	70
13	PC provoz	237	730	237	1005	197	236	0,78	235	770

Tab.1

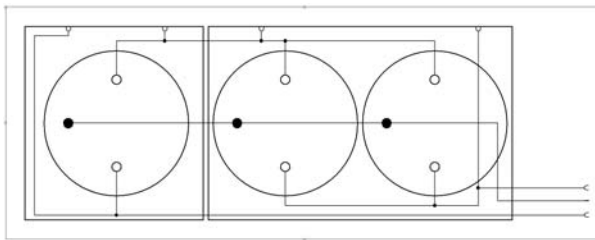
1. až 4. řádek: spotřebičem je klasická žárovka o jmenovitém výkonu 15 W až 300 W
5. řádek: žárovka 40 W v sérii s tlumivkou
6. řádek: žárovka 40 W v sérii s kondenzátorem.
7. řádek: zářivka DZ11 W v sérii s tlumivkou
8. řádek: jen tlumivka
9. řádek: jen kondenzátor
10. řádek: zářivka DZ11 W v sérii s tlumivkou a paralelně kondenzátor
11. řádek: šetřivka 11 W, tj. kompaktní zářivka s elektronickým předřadníkem
12. řádek: vypnuté PC s monitorem
13. řádek: zapnuté PC s monitorem

Všechny žárovky jsou na 230 V, kondenzátor je 2,5 μ F/ 250 V \approx a tlumivka je určena pro trubcové zářivky 7 až 11 W, má odpor vinutí $R_L = 180 \Omega$ indukčnost cca 3 H.

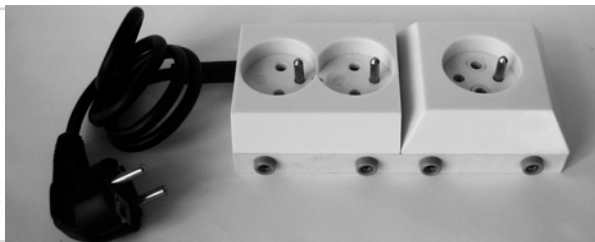
Z měření vyplývá, že pokud se měří harmonické střídavé veličiny (řádky tabulky 1 až 10) tak všechny přístroje ukazují vzájemně odpovídající hodnoty. V případě spínaných zdrojů (řádky 11 až 13), kde odebíraný proud má neharmonický průběh, se přístroje v údajích značně rozcházejí. Nelze o odebírané hodnotě proudu mnoho říci. Stejně nesmyslné jsou údaje o účinnosti. Při porovnání hodnot odebrané energie se však mechanický elektroměr a Monitor 3000 v mezích možných chyb shodovaly. Po cca 3 hodinách provozu PC s monitorem byla naměřena spotřeba cca 0,5 kW·h. V tabulce jsou uvedena měření napětí na kombinacích spotřebičů, které byly spojeny pomocí speciálního přípravku.

Přípravek pro měření napětí a proudu na spotřebičích

V podstatě jde o dvě zásuvky spojené do série s třížilovým vývodem zakončeným zástrčkou. K zásuvkám jsou připojeny zdířky, umožňující měřit napětí na každé z nich. Aby bylo možné případně vytvářet různé kombinace spotřebičů je jedna ze zásuvek zdvojená. Viz schéma zapojení na obr. 2 a obr. 3.



Obr. 2: Schéma zapojení přípravku



Obr. 3: Přípravek se zásuvkami v sérii

Jak postupujeme při měření? Do jedné ze zásuvek zapojíme spotřebič, na její svorky voltmetr a do druhé zásuvky (nebo k ní příslušným svorkám) zapojíme ampérmetr. Pak zástrčku zasuneme do další vypínatelné zásuvky, zkontrolujeme obvod a pak teprve zapneme proud.

Do jednotlivých zásuvek můžeme připojovat různé elektrické spotřebiče a vytvářet jejich sériovo–paralelní kombinace. Nejlépe je možné takto kombinovat lampičky, vařiče o různém výkonu, ale i tlumivky a kondenzátory. V případě sériového zapojení dvou spotřebičů však již není možné připojit ampérmetr a je nutno použít další stejný přípravek. Měřené prvky budou zapojeny v jednom a ten připojíme do dalšího, ve kterém je již místo pro ampérmetr.

Různé variace zapojení umožní pak řadu prakticky zadaných početních úloh. Typická takto zadaná úloha spočívá v tom, že zapojíme obvod, sdělíme některé hodnoty z naměřených veličin a další necháme dopočítat s tím, že jejich hodnoty známe, ale sdělíme je až po výpočtu a provedeme diskusi. Je samozřejmé, že dále navržené úlohy lze libovolně obměňovat variací zadaných hodnot.

Náměty na některé úlohy

1. K Monitoru 3000 připojíme žárovku se známými nominálními parametry (napětí a výkon), sdělíme žákům okamžité hodnoty dvou ze tří U , I , P a požadujeme hodnotu třetí. Případně účinník, činný a zdánlivý výkon. Porovnáme s naměřenými hodnotami. Tab. ř. 1 až 4.
2. K Monitoru 3000 připojíme kondenzátor. Sdělíme žákům U , I , f . Požadujeme P_{c} , P_{z} , $\cos\varphi$, X_{c} , C . Kondenzátory dobře splňují podmínku ideální kapacity, účinník naměříme skutečně nulový. Tab. ř. 9.
3. K Monitoru 3000 připojíme tlumivku ze zářivky. Sdělíme U , I , f , $\cos\varphi$ a požadujeme P_{c} , P_{z} , Z , R_{L} , X_{L} , L . Každá tlumivka má reálný odpor R_{L} , který změříme ohmmetrem. Místo tlumivky můžeme použít primární vinutí malého transformátoru. Tab. ř. 8.
4. K monitoru 3000 pomocí přípravku připojíme sériovou kombinaci žárovky (nebo známého rezistoru) a kondenzátoru. V tomto případě navíc změříme voltmetrem napětí U_{R} a U_{C} . Pak již můžeme zadat libovolnou nutnou kombinaci naměřených veličin U , I , f , $\cos\varphi$, P_{c} , P_{z} , Z , R , X_{C} , C a nechat dopočítat zbývající hodnoty. Tab. ř. 6 a navíc $U_{\text{R}} = 147 \text{ V}$ a $U_{\text{C}} = 183 \text{ V}$.

5. K monitoru 3000 pomocí přípravku připojíme sériovou kombinaci žárovky (nebo známého rezistoru) a tlumivku, jejíž parametry už známe. Dál postupujeme jako v bodě 4. Tab. ř. 5. a navíc $U_R = 133 \text{ V}$ a $U_L = 177 \text{ V}$.
6. K monitoru 3000 pomocí přípravku připojíme sériovou kombinaci trubcové zářivky a tlumivku, jejíž parametry už známe. Změříme napětí na cívce i zářivce. Ukážeme, že i tomto případě není celkové napětí rovno prostému součtu jednotlivých napětí. Tab. ř. 7 a navíc $U_{zář} = 87 \text{ V}$ a $U_L = 210 \text{ V}$.
7. K monitoru 3000 pomocí přípravku připojíme sériovou kombinaci trubcové zářivky s tlumivkou a paralelně k této kombinaci připojit známý kondenzátor. Odebíraný proud z sítě výrazně poklesne a účinník vzroste. Demonstrujeme vyrovnání fázového posunu mezi proudem a napětím. Tab. ř. 10.

Při zapojování žárovek nezapomínejme, že vlákna žárovek v chladném stavu mají mnohonásobně nižší odpor než za provozu při jmenovitém výkonu. Teplota vláken při zapojení narůstá u různých žárovek různě v závislosti na výkonu a tepelné kapacitě vláken. Odpor topných spirál ve vařičích a varných konvicích se v podstatě nemění. Konkrétně u žárovky 230 V/100 W vzroste odpor z 36Ω na 530Ω , u varné konvice s příkonem 2 kW zůstává neměnný 27Ω .

Při všech měřeních mějme vždy na paměti, že **pracujeme se nebezpečným síťovým napětím 230 V!** Všechny použité prvky musí být dostatečně dimenzovány a živé části maximálně chráněny před náhodným dotykem. Vždy pracujeme s vypínatelným přívodem proudu, nejlépe ještě samostatně jištěným malou pojistkou. Při všech demonstračních měřeních se síťovým napětím používejte bezpečnostní oddělovací transformátor! Rozhodně se nepokoušejte vytvářet obvody, kde jsou cívka s kondenzátorem v sérii! Napětí na jednotlivých prvcích může dosáhnout několikanásobku napětí sítě!!

Technická data Energy Monitor 3000:

Rozsah měřitelných výkonů	1,5 W– 3000 W s rozlišením 0,1 W
Napájecí napětí	230 V, 50 Hz $\pm 10\%$
Vlastní spotřeba	1,8 W
Max. proud	13 A

Literatura

[1] Návod k obsluze Měřiče spotřeby elektrické energie Energy Monitor 3000: