

Hrajeme si s elektrodynamickým wattmetrem a osciloskopem

Peter Žilavý

Univerzita Karlova v Praze, Matematicko-fyzikální fakulta

Abstrakt

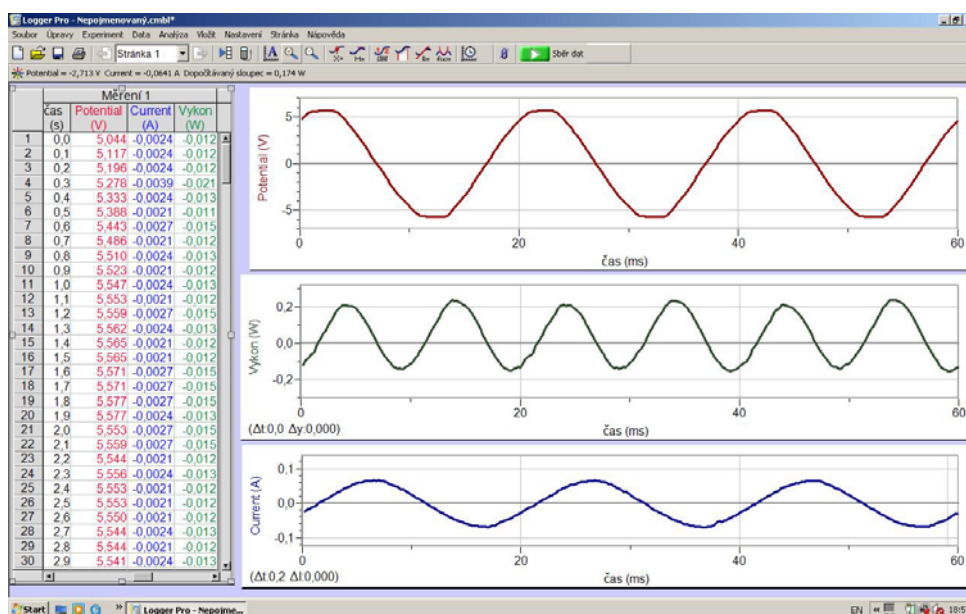
Článek popisuje jednu z aktivit umožňující experimentálně porozumět pojmu činný výkon jen na základě uvážení okamžitého výkonu jako součinu okamžité hodnoty proudu a napětí a jeho následného středování přes celou periodu. V této aktivitě měříme příkon obecných elektrických spotřebičů wattmetrem za současného zobrazení průběhů proudu a napětí osciloskopem.

Úvod

V běžném životě se setkáváme s množstvím elektrických spotřebičů připojovaných k elektrické síti, u kterých nás často zajímá jejich „spotřeba“ – elektrický příkon.

V případě stejnosměrných napětí a proudů je tento příkon dán jednoduše součinem napětí na spotřebiči a proudem tekoucím spotřebičem (rezistorem, žárovkou, elektromotorem...).

U střídavých obvodů (například případ naší elektrické sítě 230 V) se však příkon mění s časem – je dán součinem okamžité hodnoty napětí a okamžité hodnoty proudu. V případě čistě odporové zátěže – spotřebiče (rezistor, topná spirála, žárovka) je tento okamžitý příkon vždy nezáporný – „pulzuje“. Při indukční či kapacitní zátěži (cívka, kondenzátor, v praxi např. nezatížený transformátor či zářivkové svítidlo) je však (díky vzájemnému fázovému posunutí proudu a napětí) okamžitý příkon po určitou část periody kladný (energie „teče“ ze zdroje do spotřebiče) a po určitou část záporný (energie se vrací zpět do zdroje). Číslo charakterizující „spotřebu“ daného spotřebiče je ve všech těchto případech dáno jako střední hodnota okamžitého příkonu za dobu jedné periody napětí. Nazýváme jej činný výkon (příkon).



Obr. 1. Skutečné průběhy okamžité hodnoty napětí (nahore), proudu (dole) a výkonu (uprostřed) v případě reálné cívky připojené ke školnímu transformátoru.

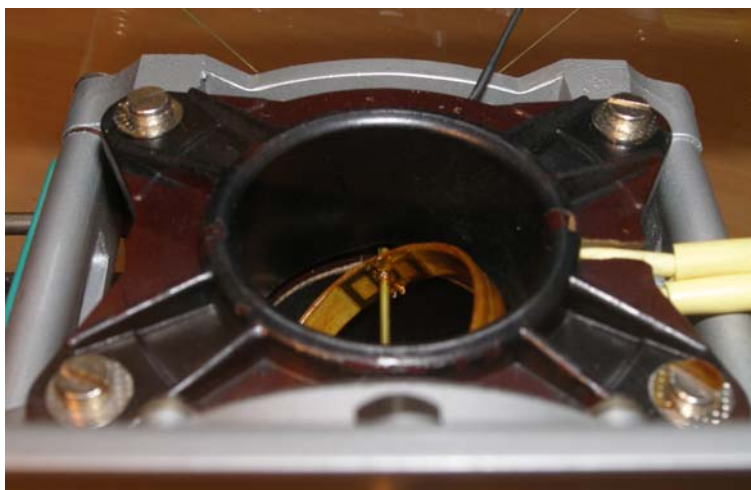
Měření příkonu „obecných“ spotřebičů pomocí wattmetru

Pro měření střední hodnoty okamžitého příkonu („činný výkon“) síťových elektrických spotřebičů jsme použili dnes už téměř historický (avšak svojí názorností zatím nepřekonaný) klasický analogový školní wattmetr Metra (s rozsahem 240 V, 2,5 A). Současně s měřením výkonu jsme pomocí osciloskopu s napěťovou a proudovou sondou zobrazili i skutečný průběh okamžitých hodnot napětí a proudu.

Elektrodynamický wattmetr

Použitý elektrodynamický wattmetr obsahuje dvojici vzduchových cívek, z nichž jedna je pevná (tzv. *proudová cívka*) a druhá pohyblivá (tzv. *napěťová cívka*). Napěťová cívka je otočně umístěná v dutině proudové cívky a je mechanicky spojena s ručičkou přístroje. Napěťová i proudová cívka jsou (prostřednictvím příslušných bočníků a předradníků pro dosažení požadovaného proudového a napěťového rozsahu) vyvedeny na svorky přístroje. Proudovou cívku zapojujeme do série s měřeným spotřebičem a napěťovou cívku paralelně ke spotřebiči.

Magnetické pole v dutině pevné (proudové) cívky je úměrné proudu procházejícímu touto cívkou. Celkový okamžitý moment magnetických sil působící na pohyblivou cívku s ručičkou je úměrný jak tomuto poli a tak i proudu v otočné cívce. Tento proud je úměrný napětí připojenému ke svorkám wattmetru. Okamžitý moment je tedy úměrný součinu okamžitých hodnot proudu a napětí připojených ke svorkám wattmetru. V závislosti na okamžitých znaménkách proudu a napětí může „otáčet systémem“ na obě strany – při velmi malé frekvenci zdroje napětí a fázově posunutém proudu a napětí bychom pozorovali výchylky ručičky na obě strany od nuly. Při síťové frekvenci 50 Hz však díky mechanické setrvačnosti měřicího systému nelze tyto rychlé změny pozorovat a „vidíme“ pouze střední hodnotu měřeného okamžitého výkonu. Například při čistě kapacitním „spotřebiči“ (kondenzátoru) bude tato střední hodnota (= činný výkon) rovna nule, wattmetr ukáže nulovou výchylku.



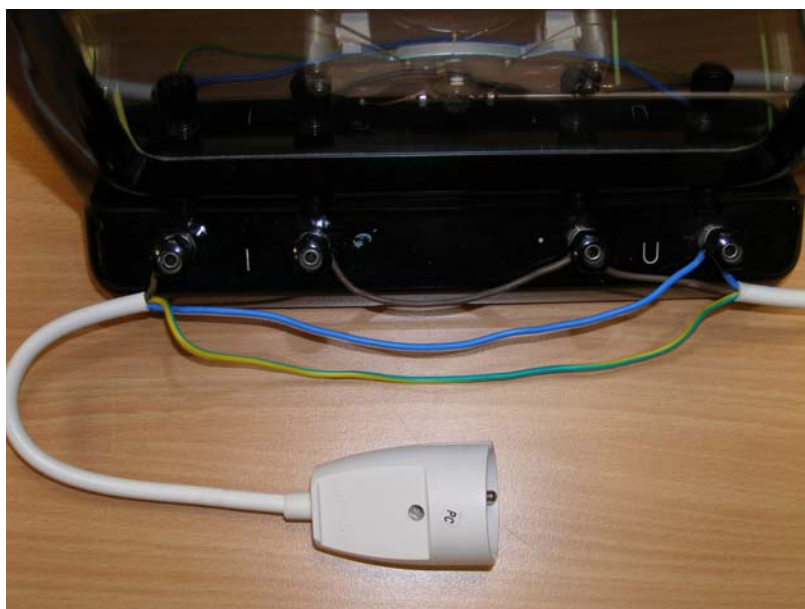
Obr. 2. Otočná napěťová cívka v dutině proudové cívky.

Upozornění: Oba obvody wattmetru (proudový i napěťový) mohou být nezávisle na sobě přetíženy. Může dojít k poškození přístroje i bez vychýlení ručičky za okraj stupnice. Údaj na stupnici závisí totiž nejen na skutečných hodnotách proudu a napětí, ale i na jejich vzájemném fázovém posunutí. Proto wattmetry obsahují nejen údaj o maximálním měřitelném výkonu, ale i o maximálních hodnotách proudu a napětí v měřeném obvodu.

Připojení měřených spotřebičů k wattmetru

Mnohé současně běžně dostupné elektronické wattmetry (tzv. „měřiče spotřeby“) jsou již přizpůsobeny k zasunutí do elektrické zásuvky a k připojení měřených spotřebičů standardním způsobem pomocí vidlice síťové šňůry spotřebiče.

Pro bezpečné, pohodlné a spolehlivé měření příkonu běžných elektrických spotřebičů wattmetrem Metra jsme použili upravenou prodlužovací šňůru. Kabel zakoupené běžné **třívodičové** prodlužovací šňůry s jednou zásuvkou v místě, kde chceme připojit wattmetr, v délce asi 30 cm zbavíme vnější izolace. **Pozor – nepoškodit izolaci samotných vodičů!** Žlutý/zelený vodič (ochranný – PE, spojený s ochranným kolíkem zásuvky či dutinkou vidlice) ponecháme nepřerušeny. Funkce ochranného kolíku (ochrana samočinným odpojením od zdroje) tím zůstane zachována – viz [1]. Modrý vodič (střední – N, spojený s pravou dutinkou zásuvky) v místě, které je asi 2 cm od neobnažené části kabelu směřující k vidlici, zbavíme v délce asi 2 cm izolace, vytvarujeme do tvaru U a uchytíme do pravé přístrojové svorky napěťové cívky wattmetru. Samotný vodič přitom nepřerušíme.



Obr. 3. Připojení upravené prodlužovací šňůry k wattmetru.

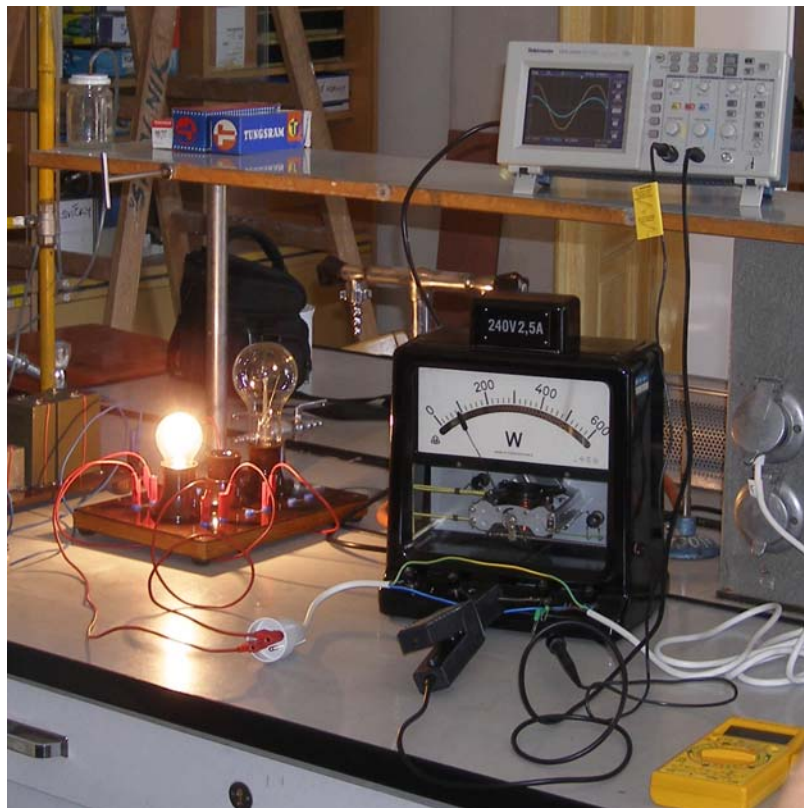
Podobně, avšak v trochu větší vzdálenosti od neobnažené části kabelu směřující k vidlici, postupujeme i s hnědým (fázovým – L) vodičem, který připojíme k levé přístrojové svorce napěťové cívky wattmetru. Napěťová cívka je tedy připojena mezi fázový a střední vodič. Hnědý (fázový) vodič pak přerušíme v místě uprostřed svorek proudové cívky, odizolujeme konce a připojíme je ke svorkám proudové cívky wattmetru. Proudová cívka je tedy připojena do série se spotřebičem. Odizolované části vodičů je po vytvarování do svorek vhodné pořádně pocínovat, aby se při manipulaci nerozplétaly.

Připojení osciloskopu

Pro zobrazení průběhu okamžité hodnoty proudu fázovým vodičem na osciloskopu jsme použili klešťovou proudovou sondu Tektronix A622 (umožňuje měřit stejnosměrné i střídavé proudy). Sonda se (podobně jako kolík na prádlo) obepne kolem vodiče, ve kterém chceme měřit proud. Při umístění sondy je třeba uvážit kladný smysl proudu vyznačený šipkou na sondě (jinak dostaneme fázové posunutí o 180°).

Pro zobrazení průběhu okamžité hodnoty napětí mezi fázovým a středním vodičem jsme použili standardní osciloskopickou napěťovou sondu. **Pozor – jeden pól sondy (vodič s krokosvorkou – zem) je prostřednictvím síťové šňůry osciloskopu spojen s ochranným kolíkem zásuvky a tím i s ochranným a středním vodičem elektrické sítě [1]. Připojení tohoto vodiče k fázi (hnědému vodiči) by znamenalo zkrat a pravděpodobné poškození osciloskopu.** Proto kvůli vyloučení omylu raději volíme pouze „jednopólové“ připojení sondy hrotem pouze k fázovému vodiči, „zem“ se sama propojí právě prostřednictvím zmíněného ochranného vodiče.

Měření příkonu obecných spotřebičů



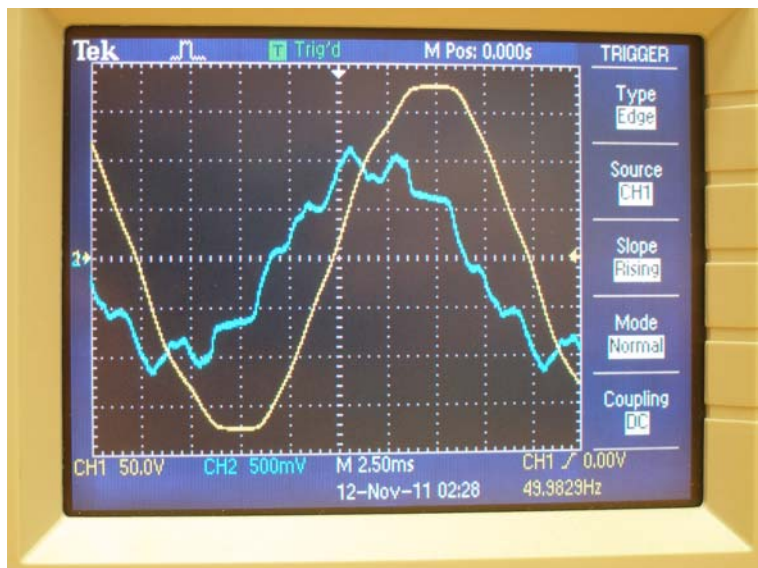
Obr. 4. Měření příkonu obecných spotřebičů, zobrazení průběhu proudu a napětí.

Nejdříve jsme k wattmetru připojili žárovku o příkonu 100 W. Wattmetr ukázal výchylku odpovídající tomuto příkonu, osciloskop zobrazil skutečné průběhy napětí a proudu ve **fázi**. Na zobrazeném průběhu síťového napětí i proudu byla přítomná zřetelná odchylka od harmonického průběhu – „oříznutí“ maxim sinusovky, která je vysvětlena v následujících odstavcích.

Následně jsme paralelně k žárovce postupně připojovali kondenzátory z připravené kondenzátorové baterie až do celkové kapacity 18 μF (při této kapacitě je proud kondenzátory přibližně 3x větší než proud 100 W žárovkou). **Pozor, kondenzátory musí být stavěné alespoň na maximální hodnotu napětí elektrické sítě a musí být vhodné k připojení na střídavé napětí.**

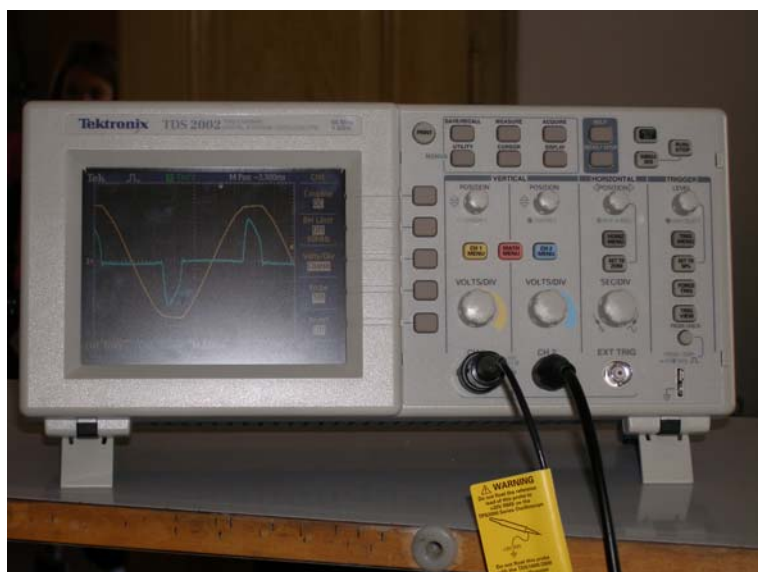
Na osciloskopu jsme pozorovali jak postupně zvětšování amplitudy celkového proudu, tak i zvětšující se fázový posuv mezi proudem a napětím. Přitom zobrazovaný výkon na wattmetru zůstal konstantní. Na průběhu okamžité hodnoty proudu bylo zřetelné „zašumění“ způsobené odchylkami skutečného průběhu okamžité hodnoty napětí sítě od

ideálního harmonického průběhu. (Proud kondenzátorem je úměrný časové derivaci připojeného napětí – sebemenší „zuby“ na průběhu okamžité hodnoty napětí se projeví jako „skoky“ v průběhu okamžité hodnoty proudu.)



Obr. 5. Zobrazení průběhu napětí a proudu při paralelní kombinaci žárovky a kondenzátorů

Nakonec jsme k wattmetru připojili starý počítačový monitor. Po jeho zapnutí vypínačem wattmetr opět ukázal nenulovou výchylku. „Překvapením“ byl ale průběh proudu zobrazený osciloskopem, ze kterého bylo patrné, že monitor (bez připojení signálu z počítače) odebíral proud ze sítě pouze v malé části periody síťového napětí v okolí jeho maxima. I takto neharmonický průběh musí wattmetr správně „zpracovat“ a zobrazit střední hodnotu příkonu spotřebiče. Uvedený průběh proudu si lze vysvětlit tím, že zařízení jako počítač, monitor, televizor a mnoho dalších zařízení mají ve svém napájecím zdroji hned na vstupu usměrňovač a k němu připojený filtrační kondenzátor. Takový zdroj odebírá ze sítě proud pouze v části periody síťového napětí v okolí maxima, kdy se dobíjí tento kondenzátor. Po zbylou část periody je zařízení napájeno z nabitého kondenzátoru.



Obr. 6. Zobrazení průběhu napětí a proudu tekoucího do staršího monitoru PC.

Při mnoha takových spotřebičích je pak elektrická síť zatěžována nerovnoměrně v čase, v okamžiku okolo maxima napětí odebírají spotřebiče (relativně vůči zbytku periody) mnohem větší proud. Tím se v tomto okamžiku mnohem více uplatní i úbytky napětí na vedení, což může způsobit pozorovanou deformaci průběhu okamžité hodnoty napětí sítě („oříznutí“ maxim).

Upozornění

Popsané měření zahrnuje práci se síťovým napětím 230 V. Proto je nezbytné promýšlet dopředu každý prováděný úkon a dbát při práci zvýšené opatrnosti.

Literatura

- [1] Žilavý P.: [*Co skrývá elektrická zásuvka?*](#), Matematika - fyzika - informatika, Vol. 17, 2007/2008, No.1, 2007, 29-39