



Středoškolská technika 2012

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Analýza oscilogramů pro silnoproudé aplikace

Jakub Fojtík, Marek Červinka, Jan Chaloupka

Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola
elektrotechnická Františka Křížíka
Praha 1, Na Příkopě 16

Anotace

Z průběhů digitalizovaných vzorků se určuje činný, jalový a zdánlivý výkon, efektivní hodnota, střední hodnota, účinník, činitel výkyvu a další. Cílem projektu je vytvořit metodiku pro vyhodnocení sejmутých vzorků napětí a proudu a jejich zpracování na další veličiny, pro které nemáme vždy vhodné přístroje, zejména u neharmonických průběhů.

Obsah

1	Řešený problém.....	3
2	Hypotéza	3
3	Postup práce.....	3
3.1	Ověření definic veličin	3
4	Závěr.....	5
5	Přílohy	6
5.1	Příloha 1	6
5.2	Příloha 2	7
5.3	Příloha 3	8
6	Použitá literatura	14

1 Řešený problém

Při měření neharmonických průběhů (proud odebíraný počítačem ze sítě, proud zářivkového svítidla) selhávají některé digitální přístroje v naší školní laboratoři. Naopak klasické analogové přístroje měří dobře.

Chtěli jsme ověřit, zda by nebylo možné měření neharmonických průběhů provádět pomocí digitálního osciloskopu. Z naměřených vzorků průběhů by pak mělo být možné určit nejen napětí a proudy, ale i řadu dalších veličin.

2 Hypotéza

Digitální osciloskop vzorkuje měřený průběh. My se pokusíme na základě definic z nasnímaných vzorků vypočítat efektivní a střední hodnoty, výkony, účinník a pod. tam, kde běžně používané přístroje selhávají nebo ani nejsou k dispozici.

3 Postup práce

Nejprve jsme ověřili klasické definice pro efektivní hodnotu, střední hodnotu, výkony apod. na sinusovém průběhu v tabulkových procesorech Excel a Calc.

Pak jsme totéž provedli na reálně změřeném průběhu napětí a proudu počítače, kde jsme měli zároveň k dispozici i výsledky měření klasickými přístroji. Pro účely této práce jsme vybrali jeden typický případ kvazistacionárního stavu, půvab metodiky by měl ale vyniknout tam, kde měření lze jinak jen těžko provádět klasicky – u přechodových jevů, například při zapnutí počítače, startu zářivkového svítidla apod. I tato měření jsme ověřovali.

Hodnoty byly měřeny různými přístroji (viz Příloha 1) a současně byly vzorky změřené digitálním osciloskopem ukládány pro zpracování v tabulkovém procesoru. V definicích jsme použili nejjednodušší obdélníkové metody pro provádění integrace. Schema je též v Příloze 1.

Při měření na zdroji počítače se ukázalo, že u ampérmetrů zapojených v sérii každý z nich ukazuje něco jiného (to je dáno ale i různými principy přístrojů, jak lze nalézt i v učebnicích) a digitální wattmetr dokonce neukazoval proud vůbec. Výsledky konkrétního měření jsou v tabulce v Příloze 2.

Porovnání s výsledky, získanými z osciloskopu je velmi zajímavé: některé hodnoty z přístrojů odpovídají vypočítaným údajům z osciloskopu, jiné nikoli.

Z toho vznikl nápad, abychom prozkoumali, zda se nedá navzorkovaných průběhů z osciloskopu použít nejen pro napětí a proud, ale také pro další veličiny, pro které nemáme přístroje k dispozici.

3.1 Ověření definic veličin

Na začátku jsme si zopakovali základy elektrotechniky. Modelový případ byl: 100 vzorků z periody sinusových průběhů napětí 230 V a proudu 20 A (efektivní hodnoty). Zkoušeli jsme i různé fázové posuny.

Po úvaze, zda by nešlo zjistit ještě další veličiny, jsme hledali v literatuře. Jaký byl výsledek?

Mohli jsme určit efektivní a střední hodnoty napětí a proudu, ale také podle definic činný, jalový a zdánlivý výkon. To ale nebylo vše. Mohli jsme například určit i průběh okamžitého výkonu, činitel výkyvu apod.

Výsledky výpočtů nás překvapily. Dosáhli jsme vysoké přesnosti na několik desetinných míst, a to i při nejjednodušším postupu integrace 100 vzorků z periody průběhů obdélníkovou metodou.

Některé, byť známé výsledky, které by mohly posloužit jako názorný výukový příklad, uvádíme v Příloze 3.

Pro výpočet bylo nutné definice přepsat do tvaru sumace vhodné pro integraci. Protože se ukázalo, že tabulkový procesor Excel verze 2007 a 2010 nedokáže správně načíst vzorce z verze 2003 (soubor .xls a ne .xlsx), což nám komplikovalo práci při přenášení dat, je použit při výpočtech kancelářský balík OpenOffice, kde tyto problémy nejsou. Odlišnost je pouze v tom, že nejsou „počestěné“ všechny funkce, tak jako je to v MS Excelu.

Tyto definice uvádí následující tabulka:

Tabulka 1. Srovnání některých klasických definic a použitých výpočtů v tabulkovém procesoru OpenOffice Calc.

(Sloupec A jsou vzorky času, sloupec B napětí, sloupec D proud, sloupec E okamžitý výkon. Perioda je pro řádky 2 až 101.)

Počítaná veličina	Definice	Vzorec pro tabulkový procesor Calc
Střední hodnota	$I_{AV} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt$	=SUM(D2:D51)*(A43-A42)/0,01 (zde se počítá jen půlka periody, jinak by dalo nulu)
Efektivní hodnota	$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$	=SQRT((C99-98)/0,02*SUMSQ(D2:D101))
Činný výkon	$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) i(t) dt$	=SUM(D2:D51)*(A43-A42)/0,01
Zdánlivý výkon	$S = U_{RMS} I_{RMS}$	
Činitel výkyvu (Crestfactor)	$CF = \frac{I_{MAX}}{I_{RMS}}$	
Okamžitý výkon	$p(t) = u(t) i(t)$	=B96*D96 (součin okamžitých hodnot napětí a proudu)
Účinník	$\lambda = \frac{P}{S}$	

Činný výkon je vlastně střední hodnota okamžitého výkonu za periodu, obdobné je to i u ostatních veličin. Jak vypadají tyto průběhy u lineárních prvků ukazují grafy v Příloze 3, které nám posloužily také k názornému zopakování a lepšímu pochopení definic ze základů elektrotechniky.

V tabulce uvedené rozdíly, například (A43-A42) odpovídají diferenci času, nahrazující dt v integrálu. U výkonu je dvojnásobný kmitočet, proto je perioda jen 0,01 s.

Pro určení činného výkonu je možné využít i funkci skalárního součinu SUMPRODUCT pro buňky napětí a proudu. Výpočty je možné dokonce provádět i ručně na kalkulačce, ale je to mnohem pracnější a bez grafu.

Zde se jednalo ale jen o modelové případy. Jak to bude ale s přesností u reálného měření? (Zde máme ještě dost prostoru pro podrobnější zkoumání).

Měli jsme k dispozici jen skromnější vybavení pro výpočty – digitální osciloskop HP54603B s osmibitovým A/D převodníkem a proudové sondy – viz Příloha 1. Přesnost výpočtu ze vzorků oscilogramů je nepříznivě ovlivněna jednak možnostmi samotného vzorkování (převodníky 8 bitů) a dále přesností napěťové a proudové sondy. Nejistota měření se tak pohybuje odhadem v řádu několika procent. Možnost zpřesnění výpočtu použitím nějaké přesnější metody numerické integrace, například pomocí Simpsonova vzorce, jsme zatím neřešili. Důvodem je kromě složitosti nejistota znalosti o skutečném průběhu mezi dvěma vzorky oscilogramu, zvláště u hodně „špičatých“ průběhů.

Výsledky nejsou sice nijak zvlášť přesné, přesto ale úspěšně konkurují změřeným hodnotám, které mají značný rozptyl.

Při podrobnějším rozboru vzniku možných chyb přichází v úvahu i otázka vlivu magnetického obvodu proudové sondy. Posun o úhlovou chybu 1° , která je uvedena v parametrech použité sondy, pro silně zkreslený tvar křivky proudu (proud počítače) způsobuje chybu ve výkonu cca 5%, což jsme ověřili opět uvedenou metodou výpočtu v tabulkovém procesoru. Rogowského sonda, která je bez železa má sice menší úhlovou chybu, ale vlivem většího rozptylu nebude tak přesně měřit velikost proudu. Proto jsme s ní zatím měření neprováděli.

Škola získala nově dvanáctibitový osciloskop, se kterým jsme se zatím jen seznamovali, takže do budoucna lze očekávat podstatně lepší přesnost.

4 Závěr

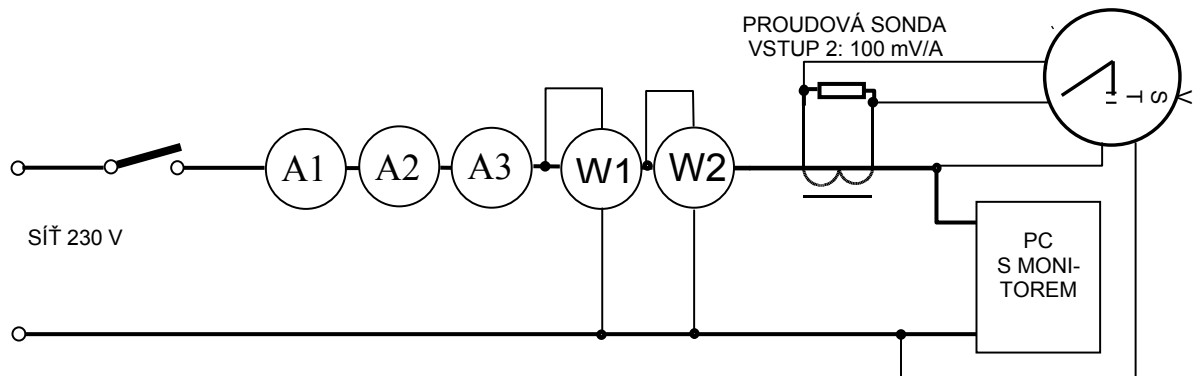
Popsaná ověřovaná metoda měření přináší spolehlivé výsledky už pro desítky vzorků na periodu průběhu. Pro další vylepšení hodláme použít nový dvanáctibitový digitální osciloskop, takže dosažená přesnost bude vyšší, než u speciálních přístrojů. Je tu prostor hlavně pro měření přechodových jevů, které lze jinak těžko zjišťovat bez osciloskopu a pro harmonickou analýzu, která je však obvykle ve výbavě osciloskopu.

Potvrzuje se nám zároveň, že například u použitého digitálního wattmetru je pro neharmonický průběh měření nevěrohodné, i když činitel výkyvu je v povolených mezích. V návodu je sice uvedeno „Crest factor max. 2 at full scale“, ale pro hodnotu okolo 2 již neměří.

Práce nám hodně pomohla také v tom, že jsme museli podrobně pochopit definice veličin, což podle samotné výuky a bez experimentů není vždy úplně snadné.

5 Přílohy

5.1 Příloha 1



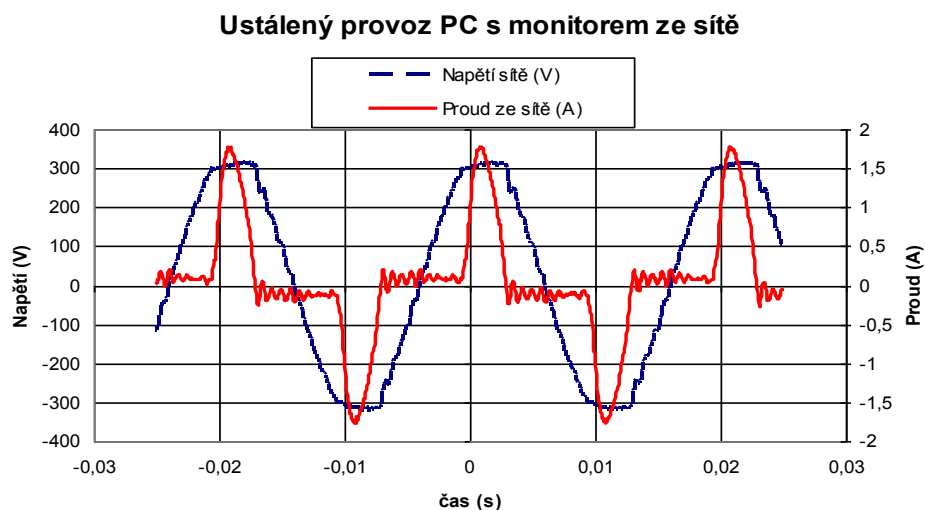
Obrázek 1. Schéma zapojení pro měření přechodového jevu a ustáleného chodu počítače s monitorem.

A1 – magnetoelektrický ampérmetr s usměrňovačem Metrix, A2 – elektromagnetický Metra, A3 – elektromagnetický Metra starší typ, W1 – elektrodynamický wattmetr Metra, W2 – digitální wattmetr ISW 8000 Powertek, proudová Hallova sonda HAMEG HZ56, výstupní napětí 100 mV/A, maximální proud 20 A RMS, digitální osciloskop HP54603B.

Měřený PC: Starší typ - Pentium III + 15" monitor ADI MICROSCAN.

Naměřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce v Příloze 2.

5.2 Příloha 2



Obrázek 2. Časový průběh napětí a proudu ze sítě pro ustálený provoz sestavy počítače a monitoru ze sítě.

Tabulka 2. Naměřené hodnoty pro schéma a použité přístroje dle Přílohy 1.

Měřeno přístroji			Vypočteno z oscilogramu
Digitální Wattmetr ISW 8000 [W2]	U (V)	230	234,32
	I (A)	neměří	
Elektrodynamický wattmetr METRA [W1]	P (W)	140	122,44
Ampérmetr METRIX [A1]	I (A)	0,54	0,445
Elektromagnetický A METRA [A2]	I (A)	0,83	
Elektromagnetický A METRA starší typ [A3]	I (A)	0,90	0,736
Zdánlivý výkon z 0,83 A [údaj A2]	S (VA)	190,90	
Zdánlivý výkon z 0,90 A [údaj A3]	S (VA)	207,00	172,43
Účinník z 0,83 A [údaj A2]	$\cos \lambda = P/S$	0,73	
Účinník z 0,90 A [údaj A3]	$\cos \lambda = P/S$	0,68	0,710

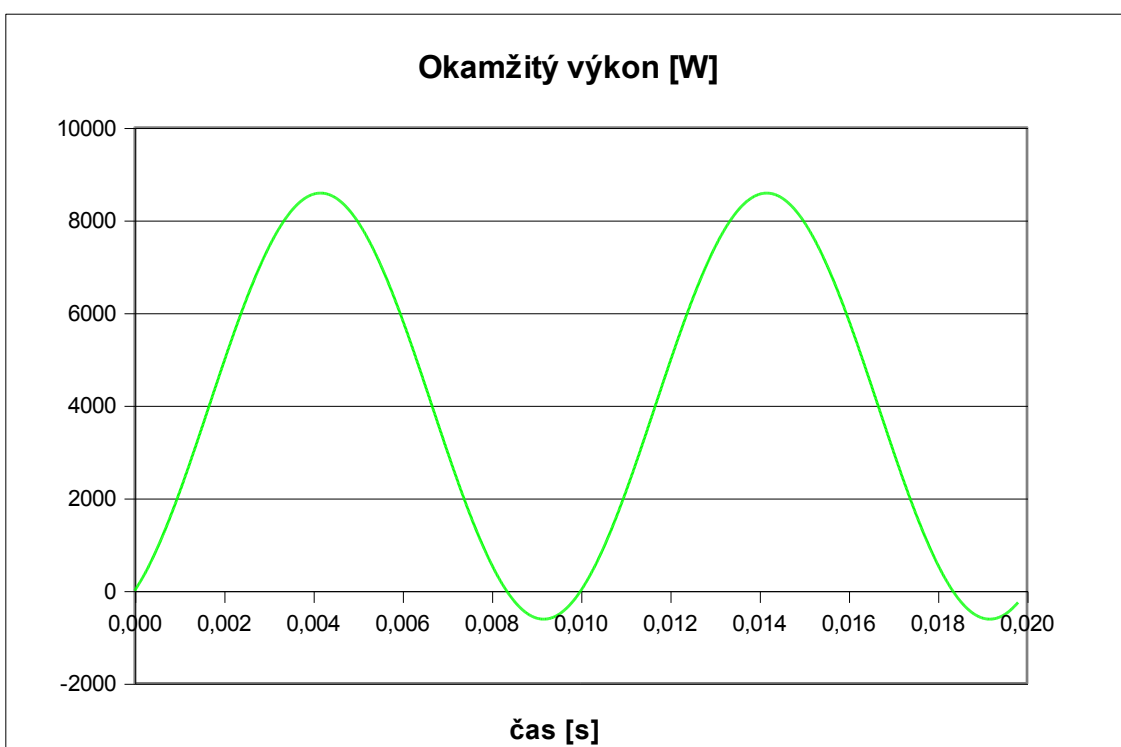
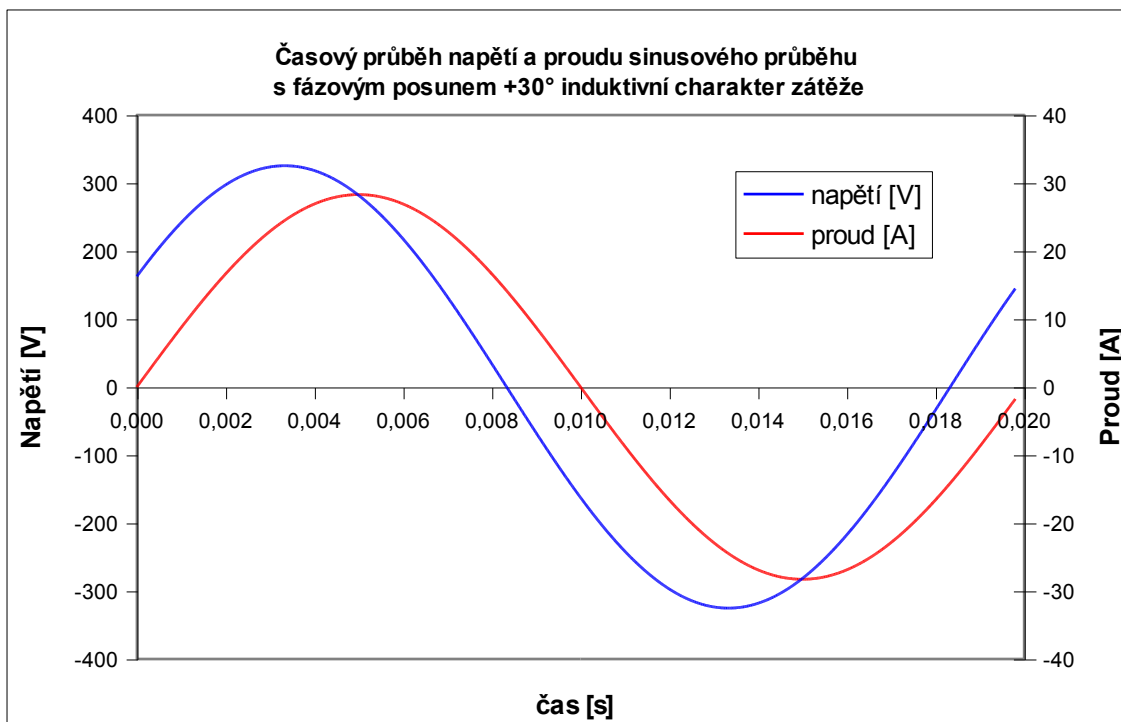
5.3 Příloha 3

Tabulka 3. srovnání vypočtených hodnot pro modelový příklad sinusovek 230 V / 20 A.

Modelový případ v tabulce je pro induktivní charakter zátěže s fázovým posunem $\varphi = 30^\circ$ a 100 vzorků na periodu průběhu.

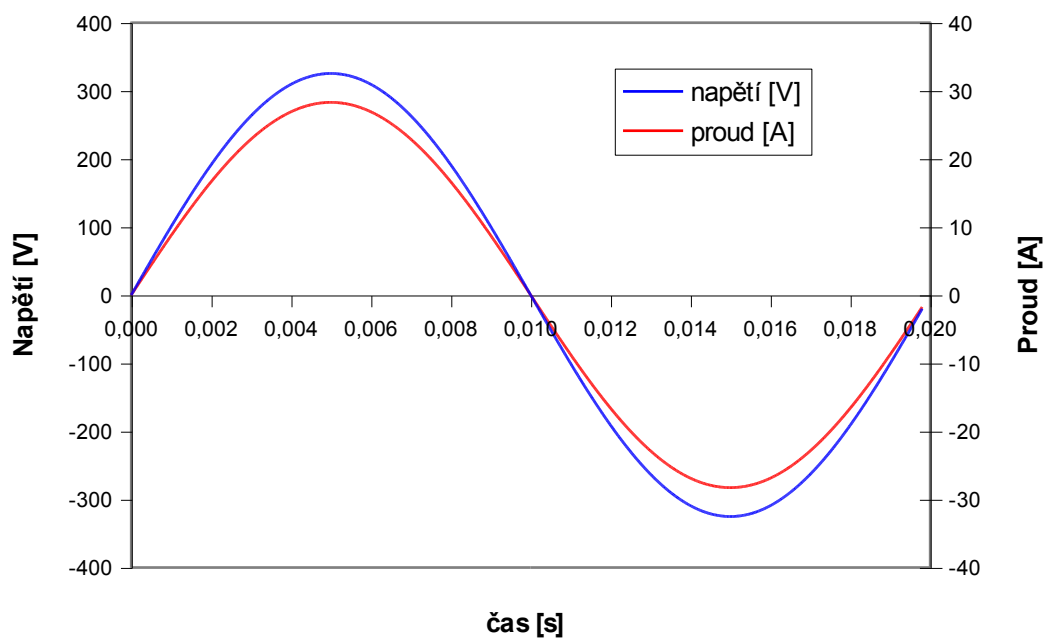
Počítaná veličina	Přesná hodnota	Určeno výpočtem ze 100 vzorků na jednu počítanou periodu
Efektivní hodnota	230 V	230,00000 V
	20 A	20,00000 A
Maximální hodnota	325,26912 V	325,19778 V
	28,28427 A	28,28427 A
Činný výkon	3983,716857 W	3983,71686 W
Zdánlivý výkon	4600 VA	4600,00000 VA
Činitel výkyvu (Crestfactor)	1,4142136	1,4139034 napětí
	1,4142136	1,414213 proud
Účinník	0,8660254	0,866025

Na následující stránce je grafický výstup pro popisovaný modelový příklad.

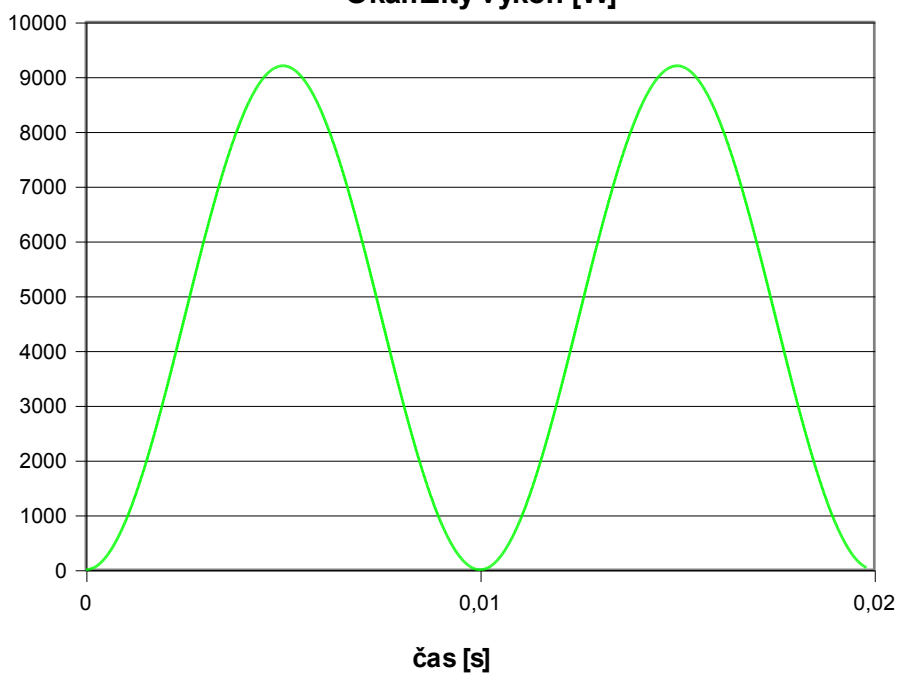


Obrázek 3. Časové průběhy napětí, proudu a okamžitého výkonu pro modelový případ z tabulkového procesoru: 230 V, 20 A, fázový posun 30°.

Časový průběh napětí a proudu sinusového průběhu u, i - odporová zátěž

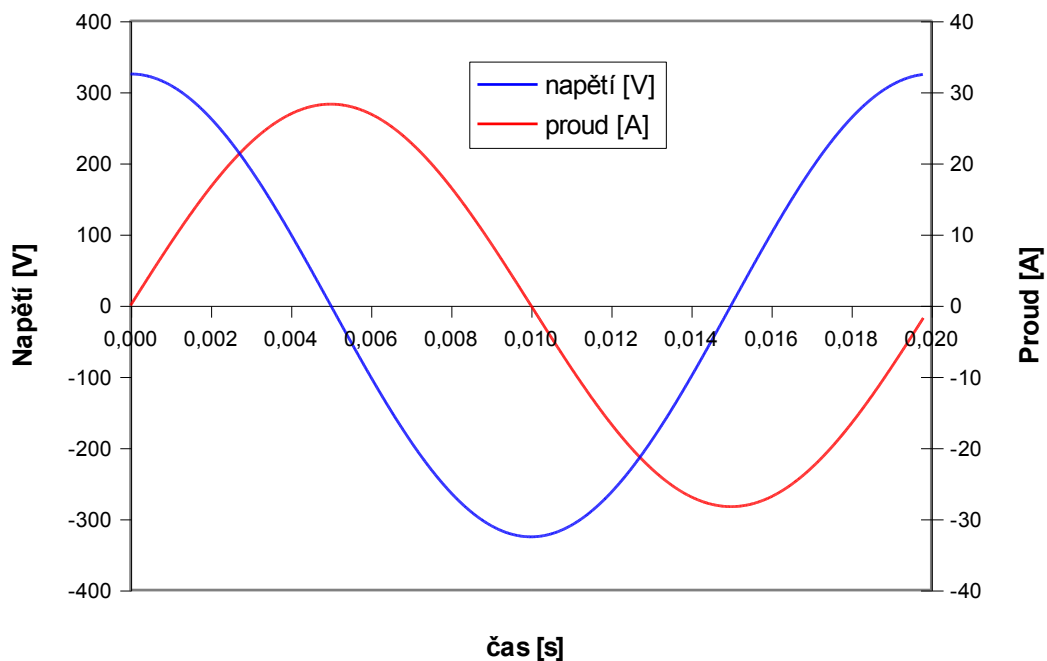


Okamžitý výkon [W]

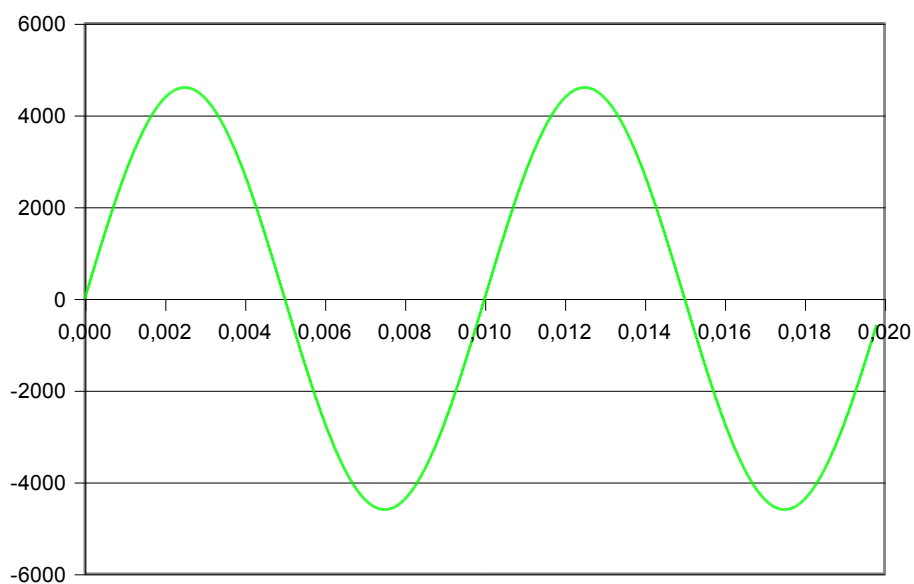


Obrázek 4. Časové průběhy napětí, proudu a okamžitého výkonu pro modelový případ z tabulkového procesoru: 230 V, 20 A, fázový posun 0° - čistě odporová zátěž.

Časový průběh napětí a proudu sinusového průběhu s fázovým posunem $+90^\circ$ - ideální indukčnost



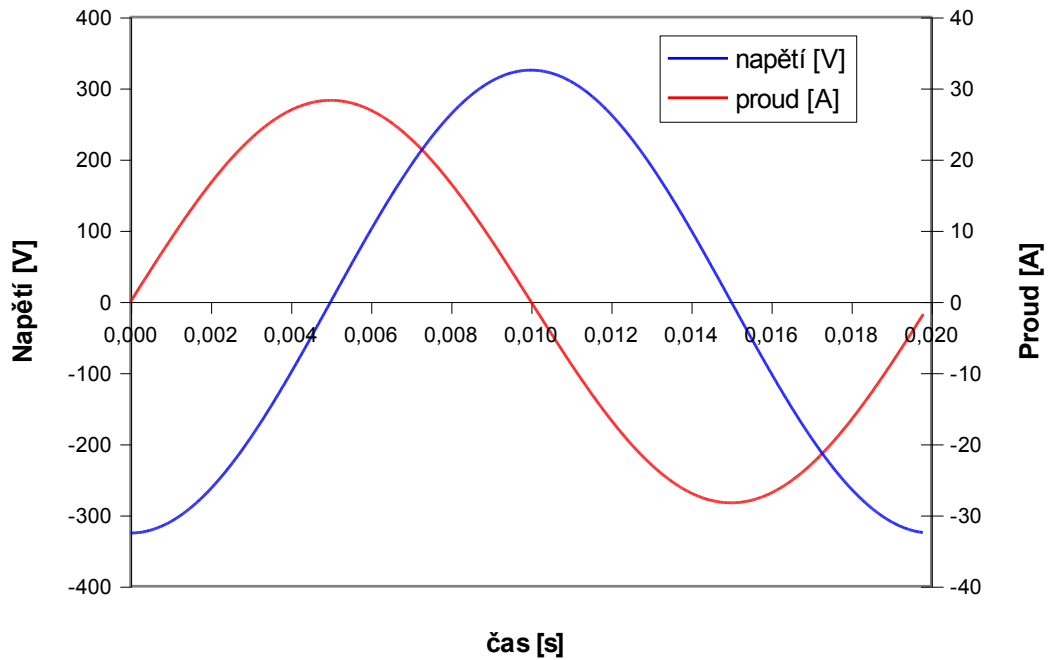
Okamžitý výkon [W]



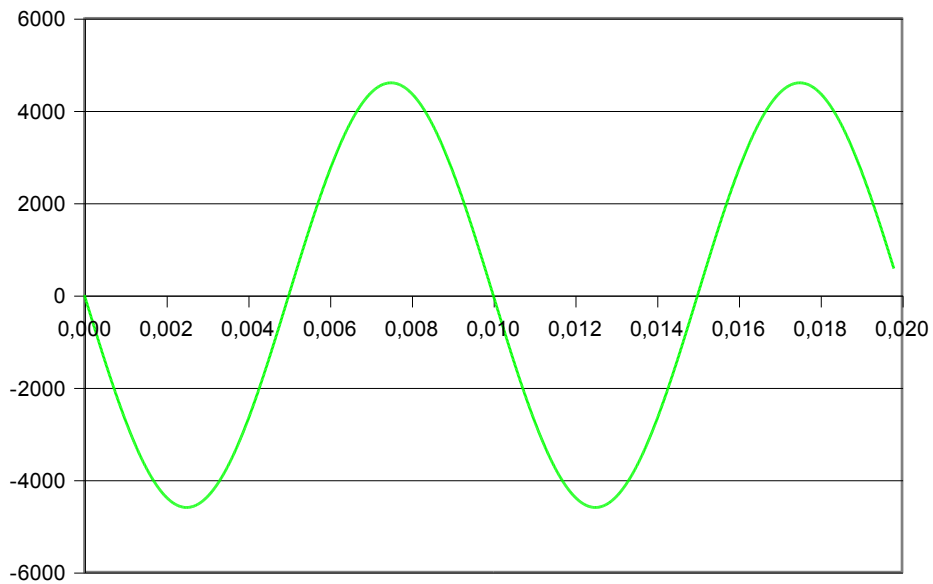
Obrázek 5. Časové průběhy napětí, proudu a okamžitého výkonu pro modelový případ z tabulkového procesoru: 230 V, 20 A, fázový posun 90° - ideální indukční zátěž.

Střední hodnota výkonu je samozřejmě nulová.

Časový průběh napětí a proudu sinusového průběhu s fázovým posunem -90° - ideální kapacita

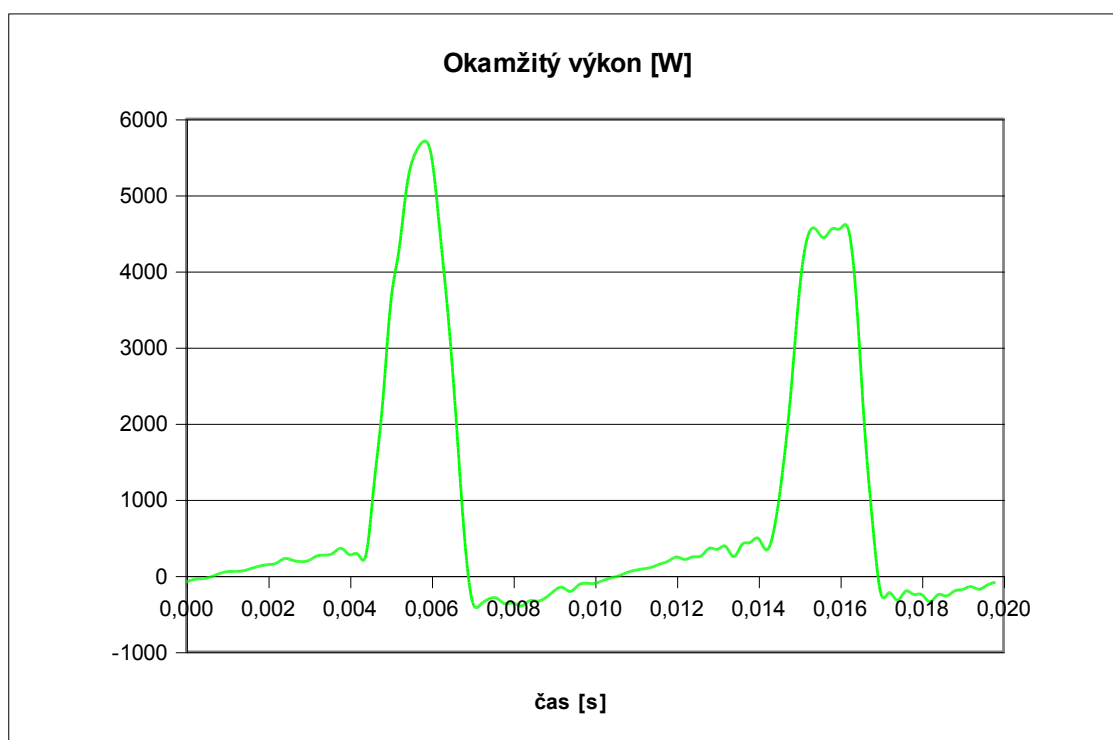
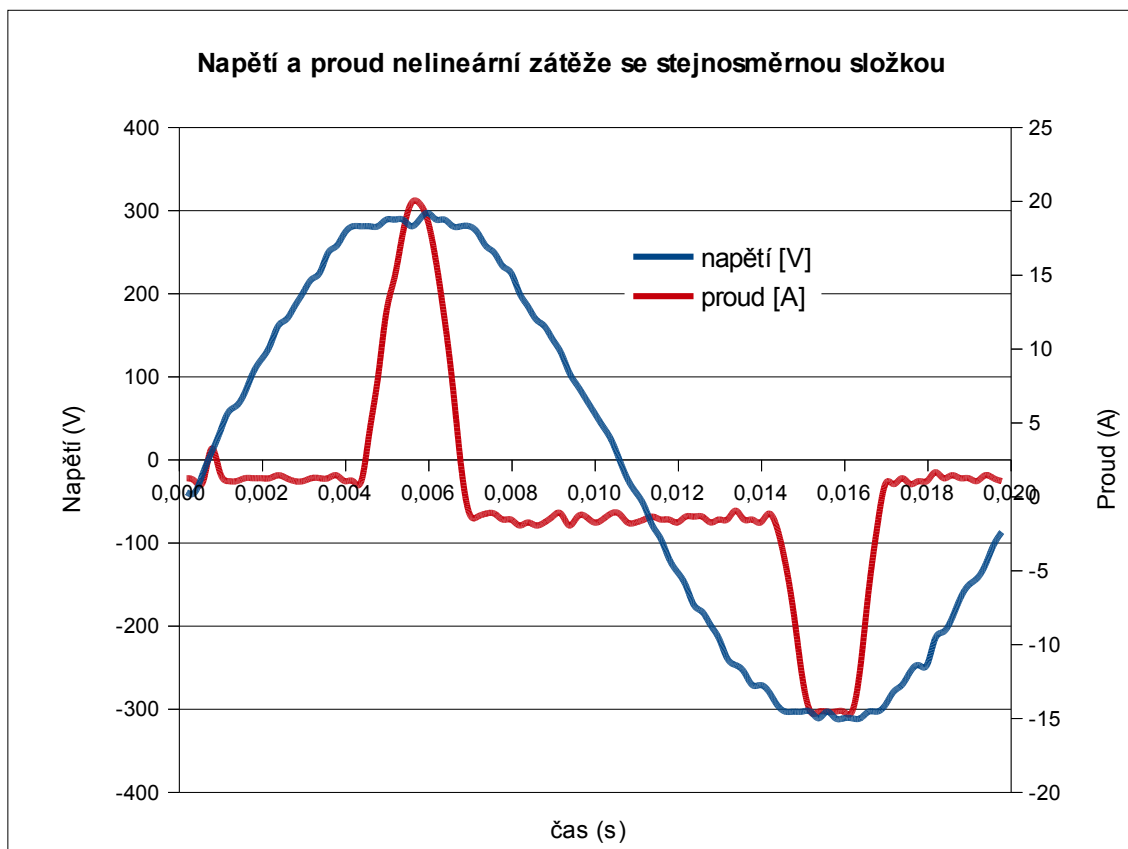


Okamžitý výkon [W]



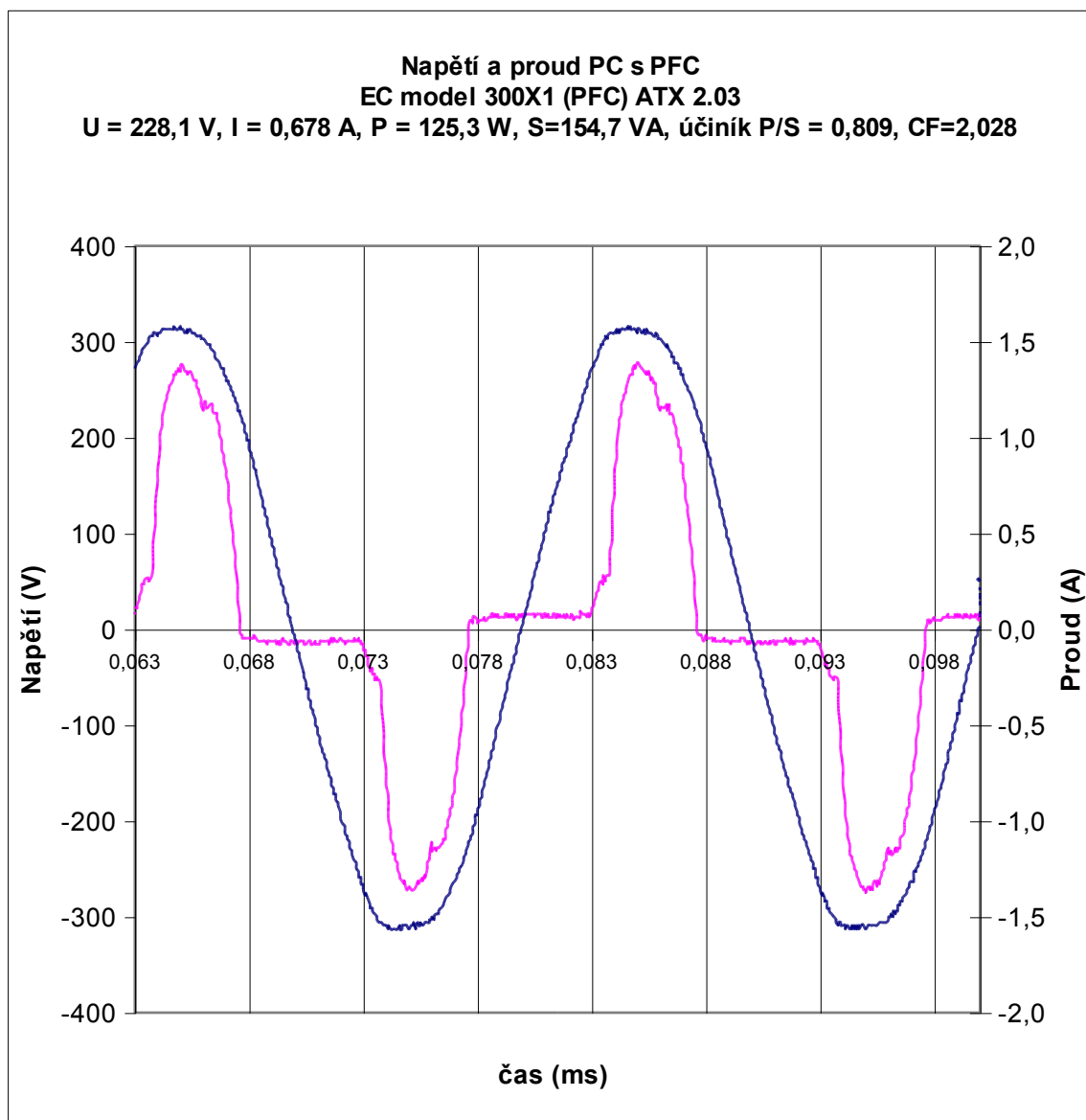
Obrázek 6. Časové průběhy napětí, proudu a okamžitého výkonu pro modelový případ z tabulkového procesoru: 230 V, 20 A, fázový posun -90° - ideální kapacitní zátěž.

Střední hodnota výkonu je samozřejmě nulová.



Obrázek 7. Časové průběhy napětí, proudu a okamžitého výkonu, tentokrát pro skutečnou nelineární zátěž – zatížený záložní zdroj UPS v laboratoři.

Na průběhu je zřetelná stejnosměrná složka proudu a jeho nesouměrný průběh. Týden po měření došlo k poruše měřeného zdroje. Vypočtené parametry: efektivní hodnoty: 217,416 V, 6,484 A, $P=856,767$ W, $S=1409,62$ VA, účinník $\lambda=0,6078$, činitel výkyvu $CF=1,398$.



Obrázek 8. Časové průběhy napětí a proudu počítače, který má mít aktivní kompenzaci účinníku na jednotkovou velikost. Jak je z uvedených vypočtených hodnot zřejmé, není to pravda.

Změřené parametry jsou uvedeny v záhlaví obrázku.

6 Použitá literatura

- [1] KALUŠ, E. *Meranie striedavých veličín – postrach elektrotechniky?*
<http://hw.cz/teorieapraxe/dokumentace/art2600-meranie-striedavych-velicin-postrach-elektrotechniky.html>
- [2] Manuál k digitálnímu wattmetru ISW8000 Powertek
- [3] TRNKA, Z. *Teoretická elektrotechnika*. Praha: SNTL, 1972