

Program pro výpočet celkového harmonického zkreslení

Protože se mě při výrobě čtyřpásmového parametrického korektoru (podle modelu UREI 546) vyskytla potřeba změřit jeho celkové harmonické zkreslení (THD) udělal jsem zde popisovaný program pro jeho výpočet v prostředí GNU Octave (ve verzích 10.2 a 10.3). Octave je tzv. zadarmo (narozdíl od Matlabu) a je volně ke stažení na: <https://octave.org>. Aby program v prostředí Octave fungoval, je ještě potřeba stáhnout a do prostředí Octave instalovat rozšiřující balíček Signal. Různé rozšiřující balíčky pro Octave jsou ke stažení na: <https://gnu-octave.github.io/packages/>, balíček Signal je konkrétně na: <https://gnu-octave.github.io/packages/signal/>. Po stažení je nejprve třeba programovací prostředí Octave nainstalovat do počítače spuštěním jeho staženého instalačního souboru, potom v prostředí Octave v uchu „Command Window“ do něj nainstalovat balíček Signal příkazem: `pkg install signal-1.4.6.tar.gz`, kde za příkazem `pkg install` je jméno staženého balíčku, v tomto případě verze 1.4.6. Samozřejmě, aby ho Octave našlo, musí být umístěn v právě aktivním adresáři, nastaveném ve Filé Brouseru prostředí Octave, nebo by musel být uveden včetně cesty, ale to jsem nezkoušel.

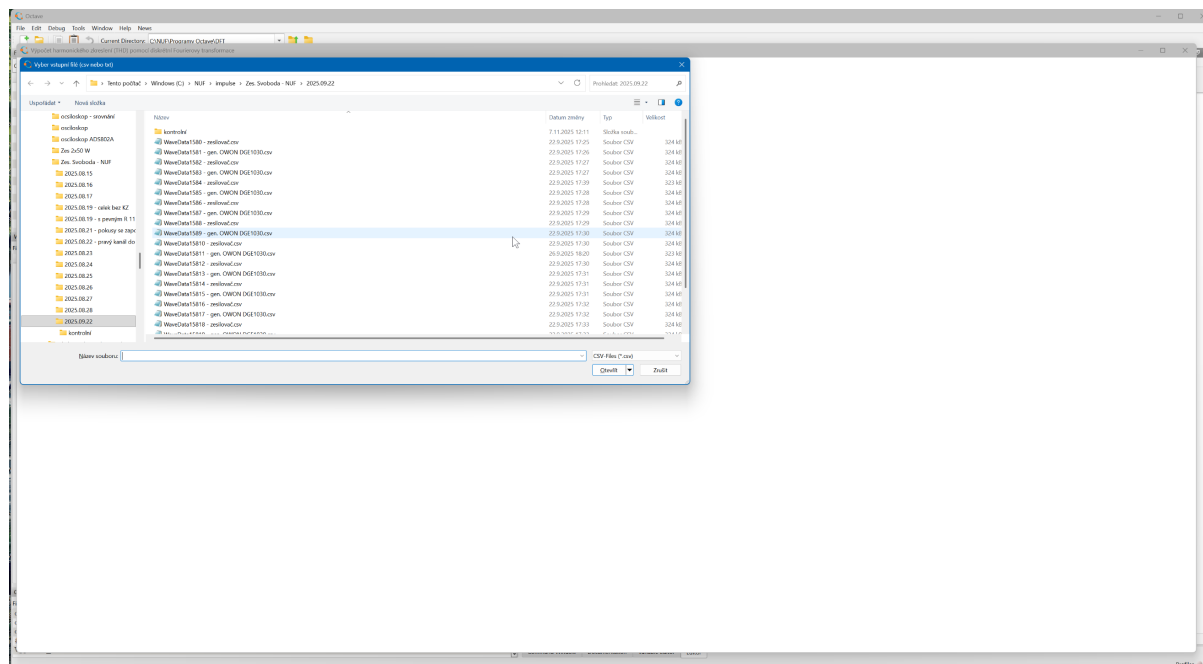
Zdrojový soubor programu se jmenuje „**Vypocet_DFT.m**“.

Protože v prostředí Octave jsem nenašel jednoduchou možnost, jak program přeložit do spustitelného tvaru (.exe – ono to nějak, né moc jednoduše možná jde, nevím) je zde uveden a k dispozici ke stažení jako tzv. .m soubor, což jsou soubory, které Octave čte, jsou to textové soubory čitelné kdekoli, což je na jednu stranu dobře, protože je do nich vidět, ovšem na druhou stranu to může způsobit problémy s nechtěnými, třeba náhodně provedenými změnami programu v prostředí Octave nebo jiném editoru, a potom by program buď nemusel fungovat vůbec anebo špatně. Proto důrazně doporučuji si po jeho stažení udělat záložní kopii, a tu nespouštět, jen ji v případě potřeby překopírovat do jiného adresáře a odsud ji spustit.

Ze začátku jsem měl problémy s velikostí okna programu (figury), protože se mě na počítači se dvěma monitory nedařilo nastavit jeho velikost tak, aby vyhovovala při spuštění na počítači s jedním monitorem. Bylo to proto, že jsem v Oktávě nenašel nějaký příkaz, který by vrátil rozlišení používaného monitoru v tzv. logických pixelech, což jsou pixely fyzického rozlišení monitoru přepočítané na ve Windows použité měřítko zvětšení pro obrazovku (v nastavení Windows je to v: Systém/Obrázovka). Časem se mě za pomoci IÁ, pardon AI, tedy tzv. umělé inteligence podařilo udělat funkci pro Octave, která to umí zjistit přes příkazy PowerShellu, takže by problémy s velikostí figury už být neměly, i když program to zase umí jen když je Oktáva spuštěná na Windows (10 nebo 11), takže kdyby byla Oktáva spuštěná na jiném OS nebo se při zjišťování monitoru vyskytla chyba kterou se mě nepodařilo zachytit bude při každém spuštění program vyžadovat zadání parametrů monitorů ručně, doufám, že se to stávat nebude. V případě vadného ručního zadání rozlišení se může stát, že se figura otevře přes oba monitory, typicky s neviditelným hlavním menu (je mimo monitory) je možné provést opravu buď klepnutím do viditelné části okna pravým tlačítkem myši a zobrazením kontextového menu, a zde klepnout na položku „Zavřít toto okno“ a po jeho zavření při novém spuštění programu zadat rozměry správně (mezi tím si je zjistiti).

Protože ve figuře (okně) ve které je výstup programu se při měnění jeho velikosti upravují také textové výstupy (nevím, jak tomu zamezit, aby to místo změn přidalo tzv. „taháky“, třeba jako to umí Visual Basic 🤪) je zde změna velikosti okna pod určitou mez omezena, aby se texty nepřekrývaly a okno se po změně velikosti pod tuto mez automaticky překreslí na minimální velikost (může krátkou chvíli trvat a bliknout).

Program po spuštění vypadá takto:



a nabídne volbu souboru, za kterého má THD počítat – popis souborů viz dále.

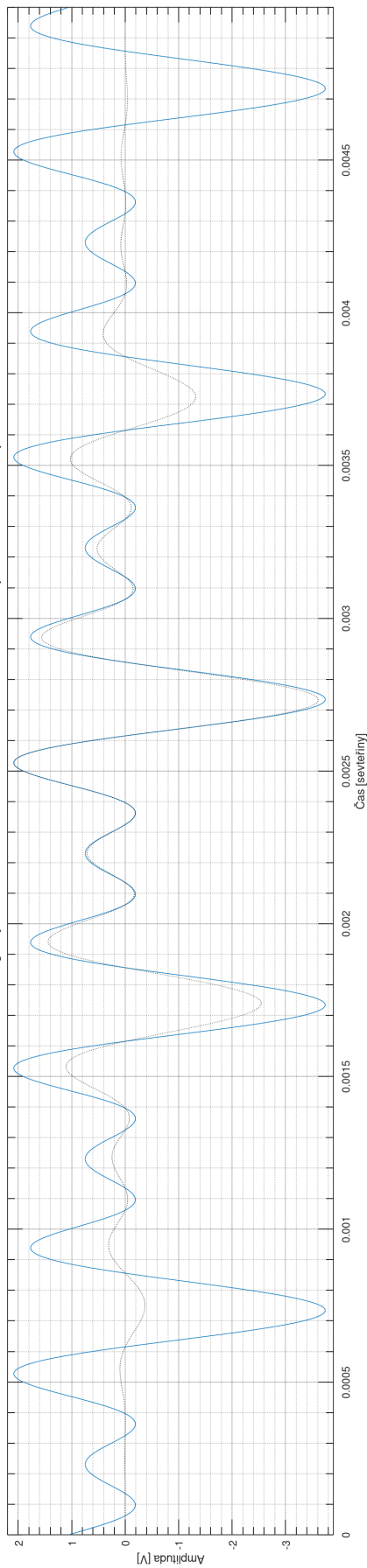
Po zadání „jedlého“ souboru pro výpočet program zobrazí průběh jeho dat a zeptá se na popis měření, který se jen zobrazuje ve výpočtu pro lepší identifikaci. Potom už zobrazí kompletní výpočet, který může vypadat třeba jako příklad na následující stránce.

V tomto příkladě byl výpočet proveden pro kontrolní soubor uměle vytvořený výpočtem v jiném programu jako simulace s následujícími parametry:

celkový signál je součet celkem tří sinusových průběhů:

- základní harmonická: sinus 1 kHz, max. amplituda 1 V, fázový posuv od začátku souboru 0° , 5 kmitů
- 2. harmonická: sinus 2 kHz, max. amplituda 1,5 V, fázový posuv od začátku souboru 100°
- 3. harmonická: sinus 3 kHz, max. amplituda 1,25 V, fázový posuv od začátku souboru 200°

Jak je vidět, tak vypočtené hodnoty jednotlivých harmonických v případě zpracování celého souboru odpovídají hodnotám, ze kterých byl spočítán. V případě, že by se použila některá možnost programu pro výběr a zpracování celých kmitů, nebudou výsledky harmonických přesně odpovídat, protože takový výběr má mj. podstatný vliv na fázi zpracovaného signálu, viz další text.



Výpočet harmonického zkreslení (THD) pro simulovaný signál:

Je zpracováno celé **filé**; celkem 5 kmitů.

Stejnoseměrná složka:

THD zpracovaný průběh

THD vypočítané jen z 2. a 3. harmonické:

Výpis harmonických (zde jen do 10 harm

Zákl. harmonická:	1000 0 Hz
Frekvence	

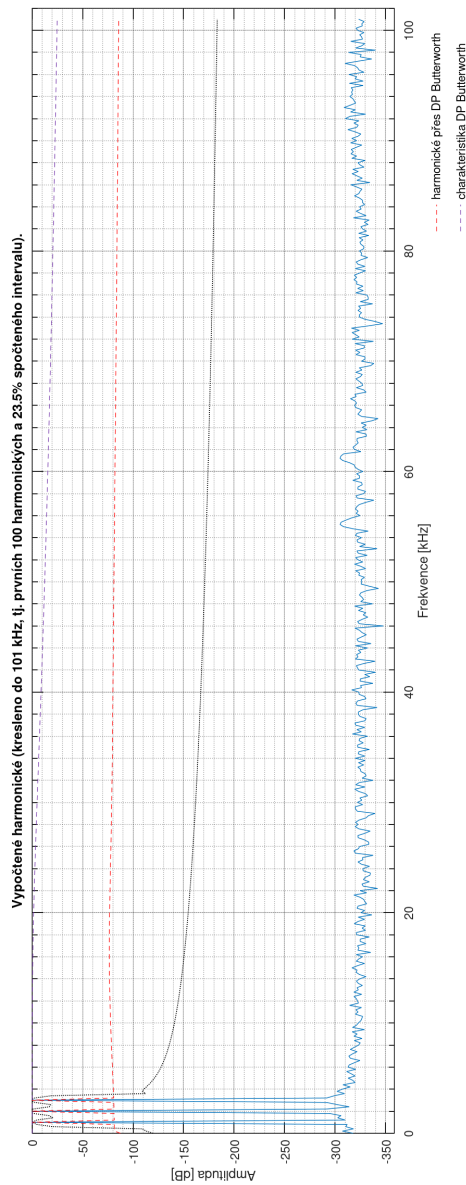
2. harmonická: 2000.0 Hz

4. harmonika: 4000.0 Hz

6. harmonika: 6000.0 Hz

8. harmonická: 8000,0 Hz

10. harmonická: 10000 Hz



Vstupní data

Program předpokládá vstup signálu změřeného digitálním osciloskopem a (v něm) uloženého do textového souboru buď s rozšířením .csv nebo .txt, nejlíp na USB „flašku“. Soubor může také být vytvořen nějakým programem, za předpokladu, že bude stejný jako soubory z osciloskopu.

Postupem času jsem si pořídil digitální osciloskopy dva, protože první osciloskop HANTEK DSO 4102 C se svým 8bitovým AD převodníkem se mě zdál slabý, a protože asi za 5 let od jeho pořízení se už daly najít osciloskopy s 12bitovým AD převodníkem za přijatelnou cenu, tak jsem si koupil ještě osciloskop s 12bitovým převodníkem OWON ADS802A. Program tedy umí zpracovat soubory obou osciloskopů a pravděpodobně i jiných osciloskopů, které vytvářejí stejné soubory. U Hanteku teď přesně nevím, jaké typy by to mohly být, u Owonu by to mohla být celá řada ADS800/900, ale nemám možnost to vyzkoušet. Ukládání do csv souborů však nebylo ani u jednoho z uvedených osciloskopů bez problémů, jak popíši dále.

Osciloskop HANTEK DSO 4102 C

Mám digitální osciloskop HANTEK DSO 4102 C, který nebyl (relativně) moc drahý, což je na něm vidět: jednak má jen osmibitový AD převodník, to mě při nákupu zdálo jako vyhovující, protože osciloskopy s lepšími převodníky (10 – 14 bitů) jsou patřičně dražší, a až při používání mě došlo, že 8 bitů znamená jen 256 výstupních úrovní a to je (asi) dost málo. Proto se mě u tohoto osciloskopu osvědčilo zaznamenávat u průběhů více kmitů signálu (cca okolo 20), protože třeba výpočet THD ze 4 kmitů vychází vyšší než z těch 20. Druhá a hlavně, tento osciloskop do výstupních souborů přidává jakési „koniny“ (což je ovšem chyba tohoto typu), které evidentně ve změřeném signálu být nemohou. Podle mých zkušeností to dělá při záznamu do souboru s použitím hloubky paměti 20 K, tedy když se ukládá 20 064 měření, kdy téměř vždy posledních 16 hodnot na konci souboru obsahuje „hausnumera“, viz konec jednoho změřeného souboru okopírovaný sem z „Poznámkového bloku“ (vadné hodnoty z konce jsou zde uvedeny jen první tři, ale vždy je jich 16):

1.00E-03,0.240
1.00E-03,0.400
1.00E-03,0.320
1.00E-03,-2506.480
1.00E-03,2501.200
1.00E-03,2506.720

Je jasné vidět, že hodnoty se liší v několika řádech od předchozích 3 „jedlých“, měřena byla sinusovka s maximy asi 4 V a ne okolo 2500, ovšem takový rozdíl není vždy, falešné hodnoty mohou být i okolo nuly, ale vždy na změřený signál nenavazují. A aby to bylo ještě „lepší“, osciloskop někdy (ale ne tak často) uloží do souboru i vadné hodnoty na jeho začátek. V programu pro výpočet THD s tím nic nedělám jen se data nakreslí, takže je upravuji v „Poznámkovém bloku“ ručně.

Další chyba záznamu osciloskopu HANTEK DSO 4120 C je už vidět z předchozího příkladu: jedno měření je vždy uloženo do jednoho řádku s tečkou jako desetinným oddělovačem a čárkou jako oddělovačem hodnot. První položka je vždy čas v sevrteřinách, který uběhl od začátku měření, druhá je změřená hodnota ve V. Záznam do souboru asi dělali u Hanteku nějakí „čičmundi“ a „mát'alové“ kterým nedošlo, že vyjádření času na tři platné číslice

je málo, brzy tzv. přeteče a potom má hromada dat stejný čas, což je konina. Toto program opravuje tak, že interval měření spočítá jako rozdíl prvních dvou hodnot časů v souboru a časové hodnoty podle toho opraví (vypočítá) a předpokládá se, že interval vzorkování je konstantní. Z toho vyplývá, že první dvě hodnoty MUSÍ být různé, rostoucí a obsahující správný časový interval vzorkování osciloskopu pro daný záznam. V případě rozdílu 0 (při stejných hodnotách) by se program tzv. nedopočítal časů.

Toto jsou tedy mnou zjištěné nedostatky záznamu do csv u osciloskopu Hantek, a už nějak nepředpokládám, že by se mě je podařilo odstranit přehráním firmware osciloskopu což by pomohlo, pokud by to bylo v nové verzi opraveno, jenže za celých asi 5 let co osciloskop mám, se mě žádné firmware pro osciloskop nepodařilo najít, ani na stránkách firmy. Protože jsem tento osciloskop koupil přes alíbabu (<https://www.aliexpress.com/>) a závady se dají odstranit (třeba vadné hodnoty signálu jejich odstraněním v poznámkovém bloku i když to u každého měření otravuje) nereklamoval jsem je.

Začátek souboru vypadá takto (zde je jen prvních 10 řádků):

```
#timebase=20000000(ps)
,#voltage=2000000(mv/100)
#size=20064
5.00E-08,0.240
1.00E-07,0.240
1.50E-07,0.240
2.00E-07,0.320
2.50E-07,0.240
3.00E-07,0.320
3.50E-07,0.240
```

řádky s čísly pokračují a mají stejnou syntaxi až do konce souboru

Soubor obsahuje na začátku 3 řádky začínající znaky # a ,# mají různé hodnoty a používám (zatím) jen druhý, začínající ,#voltage=... to je svislý rozsah osciloskopu (tedy přes celé stínítko) a po vynásobení číslem 1e-5 je ve Voltech (v souboru je to v setinách milivoltu). Další řádky jsou jednotlivá měření uložená do jednoho řádku s tečkou jako desetinným oddělovačem a čárkou jako oddělovačem hodnot a opakují se až do konce, jejich počet je podle nastaveného vzorkování osciloskopu, v příkladu je na třetím řádku vidět, že to bylo 20064 měření, přičemž počet měření (záznamů) v programu počítám a třetí řádek nepoužívám kvůli výše popsanému vkládání konin na konec a začátek – po jejich ručním odstranění bude záznamů méně.

Osciloskop OWON ADS802A

Tento osciloskop jsem koupil u firmy Banggood (<https://www.banggood.com/cs/>) 22.10.2025 protože se mě líbila jejich cena, a to i přes to, že ho posílali z Číny. Osciloskop byl v pořádku doručen 11.11.2025. Po jeho vyzkoušení jsem však zjistil jednu pro mě podstatnou závadu: při ukládání změřených dat typu wawe do souboru .csv data uložil dobře jen do souboru s nejmenším počtem dat, tedy pro nastavení Acquire/Depth 1k, což do souboru ukládá 1000 dat. Pro nastavení 10k ukládal dobře jen malý kousek od začátku a zbytek byly buď hodnoty blízké nule nebo nesmysly. Po podrobnějším prověření jsem zjistil, že pro větší hloubky, které jsem zkoušel, ukládal dobře jen prvních 2047 dat, což je samozřejmě jedlé jen při nejmenší hloubce 1000 dat, a to bylo pro mě málo. Časy ukládal ve všech nastavených hloubkách dobře.

Proto jsem asi do týdne po dodání (tj. 17.11.2025) závadu reklamoval na dvou místech v Číně, protože jsem osciloskop koupil u firmy Banggood:

- 1) Přímo u firmy Owon (i když tam jsem ho nekoupil, ale co kdyby...) na obecné adrese z jejich stránek: info@owon.com.cn ovšem, jak jsem předpokládal, naprosto BEZ jakékoliv odezvy (tedy do 21.1.2026).
- 2) U firmy Banggood na stránce, kde jsem osciloskop koupil, samozřejmě po přihlášení k mému účtu u nich: <https://www.banggood.com/cs/> a tady byl přístup dost vstřícný, v podstatě, když pomínou některá specifika lidí i nastavení jejich stránek, tak díky jejich firmě jsem za dobu delší než jeden měsíc (24.12.2025) fungující upgrade dostal. Ze "zvláštností" je asi nejdůležitější, že MUSÍ být ze strany zákazníka nějaká aktivita během 7 DNÍ a když nebude, (jako třeba v mém případě, když jsem čekal na jejich reakci, a to i přesto, že psali, že mám počkat až pošlou upgrade a že to bude chvíli trvat) tak KONVERZACE ZAVŘOU... Pravda, můj osciloskop měl při koupení verzi firmwaru osciloskopu V1.0.1.0.17 (s nefungujícím zápisem do csv) a v prvním kole mě z Banggood poslali upgrade na verzi V1.0.1.7.1 které se mi nepovedlo hned nainstalovat kvůli chybnému pojmenování zaslaného souboru (jak jsem soubor dostal, tak jsem ho zkusil instalovat, osciloskop upgrade poznal, ale po jeho spuštění hlásil "Parse error") no a když se to po jeho přejmenování povedlo, tak zápis do csv zase nefungoval... Nakonec mě z Banggood poslali emailovou adresu na konkrétní paní z firmy OWON (nevím, jestli ji tady můžu uvést), a této paní jsem 11. prosince 2025 poslal popis závady včetně videa znovu a paní napřed, i když ne hned po poslání emailu odpověděla (16.12.2025), že to prošetří a že musím počkat, no a potom toho 24.12.2025 mě poslala (jako dárek??) upgrade na verzi V1.0.1.7.2 a to FUNGUJE, hurrrááá... (i když zase to má nějaké "muchy", například, jak je vidět ze zde dále uvedeného výpisu začátku csv souboru, je tam pořád hrdě verze firmwaru V1.0.1.7.1 a ne V1.0.1.7.2 kterou byl soubor nahraný...).

Z toho je vidět, že se v Číně (možná někdy) reklamovat dá, chce to trpělivost, nepodlehnout jejich „zvláštnostem“ a psát si s nimi třeba anglicky jako já, protože nevím, jak bych dopadl s češtinou, no možná by si to nějak překládali.

Začátek souboru osciloskopů OWON řady ADS800/900 vypadá takto:

Model,ADS802A

Firmware Version,V1.0.1.7.1

Horizontal Units,s

TimeBase,0.0000100

Horizontal,0.0

Sample Interval,2.0E-7

Record Length,100000

Channel,CH1,CH2

Probe attenuation,1.0X,1.0X

Vertical Offset,0.00div,0.00div

vertical Scale,50.00mV,100.0mV

Label,?,?

Frequency,1.000kHz,872.7Hz

Period,1.000ms,1.145ms

PK-PK,316.5mV,409.0mV

Average,335.9μV,375.0μV

Vertical pos,0,0

Per ADC value,50.000000,100.000000

TIME(Units:s),CH1(Units:V),CH2(Units:V),

-0.0100000,0.003,-0.003

-0.0099998,0.004,-0.003

-0.0099996,0.003,-0.003

-0.0099994,0.002,-0.006

řádky s čísly pokračují a mají stejnou syntaxi až do konce filé

Použitelnost programu pro celou řadu ADS 800/900 jen předpokládám, protože mám osciloskop ADS802A a soubory z jiných osciloskopů této řady jsem (zatím) neměl možnost vyzkoušet, ale snad budou stejné.

Zde může být jeden až deset kanálů, i když osciloskop tohoto typu může mít max. čtyři analogové kanály. Program předpokládá, že data jsou do souboru uložena jako typ "Wave" a jako zdroj byly nastaveny libovolné kombinace kanálů, ale NE typy MATH, DIR a FFT, ty jsem zatím nezkoušel. V příkladu je soubor se dvěma kanalizacemi.

Filé obsahuje na začátku 22 řádků s textem popisujícím typ a nastavení a některé změřené hodnoty osciloskopu, jejichž význam je ze souboru celkem jasný. Já (zatím) používám jen hodnoty "Channel,..." což je identifikace zaznamenaných kanálů, "Model," což je model osciloskopu, "(Units:" za tím jsou jednotky pro jednotlivá zaznamenaná data a "vertical Scale,...", což je nastavená vertikální citlivost osciloskopu v uvedených jednotkách na 1 vertikální dílek stínítka, a protože stínítka má celkem 8 dílků vertikálně, tak tuto hodnotu po vynásobení 8 uvádím ve výstupu programu pro osciloskopy OWON jako rozsah osciloskopu.

Řádky se změřenými daty mají jako oddělovač hodnot čárku, desetinný oddělovač je tečka. První číslo je čas vzorkování od začátku [v severtinách] a druhé a případná další čísla (za čárkou) jsou změřené hodnoty jednotlivých kanálů.

Protože osciloskop umožňuje do souboru i zápis více kanálů ve formě dalších přidaných hodnot na každém řádku (ADS802A/ADS812A/ADS822A jsou dvoukanálové a ADS804A ADS814A ADS824A jsou čtyřkanálové), program se v případě, že zjistí v souboru kanálů více, zeptá, který má zpracovat a tento kanál se bude dále zpracovávat.

Textový soubor generovaný jiným programem

Textový soubor generovaný jiným programem na základě souborů osciloskopu Hantek DSO4102C, např. s vypočítaným signálem pro zkoušky tohoto programu. Takový soubor začíná např. takto:

```
#timebase=19000000000(ps)
, #vltbase=2.5(V); je simulováno rozlišení AD převodníku 12 bitů z rozsahu ±10 V
#size=19000
0,0.002442
1E-06,0.01709
2E-06,0.03175
```

řádky s čísly pokračují a mají stejnou syntaxi až do konce souboru

anebo takto:

```
#timebase=10000000000(ps)
, #vltbase=10(V); je simulováno výpočtem s max. možnou přesností simul. programu.
#size=19000
0,0
5.26315789473684E-08,0.00330693957508402
1.05263157894737E-07,0.0066138787885261
```

řádky s čísly pokračují a mají stejnou syntaxi až do konce souboru

Poznámky k ukázce jsou stejné jako u popisu souboru pro osciloskop Hantek DSO4102C, a může zde být také jen jeden kanál.

Soubor obsahuje na začátku 3 řádky začínající znaky # a , # podobně jako u osciloskopu Hantek DSO4102C, rozdíl je v textu přidaném za středníkem v druhém řádku. Já jsem program na výrobu takového souboru udělal v MS Visual studiu, text tam přidává automaticky.

Program simulaci hledá podle klíčového slova "simulováno" (bez uvozovek) v druhém řádku, a tedy pokud to je osciloskopem neměřený, ale jinak generovaný signál MUSÍ tam toto slovo být včetně diakritiky, a potom program předpokládá, že to simulace je.

Příklady simulace jsou tu dva:

- první, kde za klíčovým slovem je text obsahující mj. dvě čísla: první definuje na kolik bitů je kvantován (rozdělen) vypočítaný signál, tedy jaké je simulováno rozlišení AD (analogově - digitálního) převodníku, a druhé číslo udává rozsah, ze kterého se kvantuje (rozsah AD převodníku). Tyto dvě čísla ve v příkladě uvedeném pořadí (jejich pořadí je podmínka správného určení) program ze souboru čte a vypisuje do výstupu. Jak je v příkladu vidět, první zaznamenaná hodnota signálu není nula, a hodnoty jsou zaznamenány na menší počet platných číslic než v druhém příkladě,

protože v tomto případě bylo simulováno rozlišení 12 bitů, tj. rozsah AD převodníku je rozdělen na 4096 úrovní. Pozn.: při často používaném rozlišení AD převodníků levnějších osciloskopů 8 bitů má signál jen 256 úrovní.

- druhý, kde za klíčovým slovem žádné číslo není, a proto program předpokládá, že jde čistě o vypočítaný signál na max. přesnost programu, který jej spočítal. Maximální přesnost je vidět i na počtu číslic, na který jsou hodnoty zapisovány.

Úprava změřených dat a výpočty

Program počítá celkové harmonické zkreslení THD pro všechny vyšší harmonické (které je schopen zjistit) a jejich počet i s kmitočtem poslední harmonické uvede ve výpisu v řádce položky „THD zprac. průb. ...“. Signál, ze kterého se FFT počítá je napětí, takže harmonické jsou také napětí a THD potom je:

$$THD_u = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} * 100 [\%]$$

Harmonické zkreslení program počítá pomocí Fourierovy transformace. V Octave je na to funkce `fft(..)`, která (následuje překlad z nápovědy v Octave) počítá diskrétní Fourierovu transformaci průběhu(x) pomocí algoritmu rychlé Fourierovy transformace (FFT).

Fourierova transformace převádí signály z časové domény do frekvenční domény. Například záznam z osciloskopu, u něhož jsou měřené hodnoty ukládány tak jak byly změřeny, tj. s nějakým konstantním časovým krokem a nezávisle proměnná je čas, převádí na hodnoty v závislosti na kmitočtu, kde nezávisle proměnná je frekvence. Definice Fourierovy věty říká, že „Každá jednoznačně určená **periodická funkce**, která má v intervalu konečný počet extrémů a nespojitostí, může být vyjádřena nekonečnou geometrickou řadou sinusových průběhů s amplitudami A_n , fázovými posuvy ϕ_n a úhlovou frekvencí ω_n (kde „n“ je příslušná harmonická), které jsou celistvými násobky úhlové frekvence ω původní periodické funkce“. Fourierův rozvoj neboli amplitudový rozklad lze tedy použít na každou jednoznačně určenou **periodickou funkci** $F(t)$ s periodou T a frekvencí f mající v uzavřeném intervalu periodicity délky T jen konečný počet extrémů a nespojitostí prvního druhu.

No a s periodicitou signálu změřeného osciloskopem HANTEK jsem měl od začátku dost potíže, protože jsem nepřišel na způsob, jak osciloskopu říct, že má zaznamenávat jen celé kmity – asi to ani neumí, není to až tak jednoduché, jak by se mohlo zdát, ale osciloskop OWON ADS802A, který jsem si koupil později data ukládá s celkem jedlými periodami, i když ne vždy. V případě, že signál zpracováváný pomocí FFT obsahuje buď na začátku nebo na konci, nebo v obou případech nějaký kousek který se neopakuje, vypočítané harmonické ani THD z harmonických nebudou přesně odpovídat změřenému signálu, protože z tohoto „wocasu“ vzniknou další harmonické které v původním signálu nejsou, nebo budou ovlivněny harmonické už v signálu existující.

Aby se tyto nežádoucí „wocasy“ odstranily, anebo aspoň potlačil jejich význam, tak např. u osciloskopů, které mohou zobrazovat průběhy FFT snímaného signálu se běžně používají tzv. okna, což je zpracování měřeného signálu (ještě před výpočtem FFT) průchodem přes matematické filtry, které různým způsobem utlumí měřený signál na začátku a na konci průběhu buď do nuly, anebo ho výrazně redukuje, přičemž uprostřed snímaného průběhu má signál zachovány původní hodnoty. Okna je více druhů, každé má nějaké vlastnosti, kvůli kterým s k něčemu hodí lépe a k něčemu jinému hůře, například u mých osciloskopů jsou

to například typy Hanning, Flattop a Rectangular. Okna Hanning a Flattop se mají lépe hodit ke zpracování periodických průběhů – Hanning má být lepší pro frekvence a Flattop pro amplitudy –, pravoúhlé okno (Rectangular) má být lepší pro pulsní průběhy. Prostředí Octave má v balíku Signal možnosti pro počítání těchto oken celkem dost, já jsem pro porovnání do programu zabudoval možnost upravit vstupní signál přes okno Blackman, upravený signál a harmonické z něho spočítané jsou v grafech kresleny černou tečkovanou čarou, výpočet THD z něj je uveden v jednom řádku ve výsledcích.

Další možnost odstranění „wocasů“ je upravit změřený signál na celé kmity, přičemž pro výpočet THD je jedno, kde průběh začíná a končí (ale musí to být stejné místo průběhu), ale začátek signálu má podstatný vliv na fázi všech složek. Protože jsem tento program navrhoval pro použití při výpočtech THD z měření provedených na akustických zařízeních (zesilovače, korektory atp.) a zde se nějak nepředpokládá THD v řádu desítek procent a vyšší, použil jsem v programu jako hlavní metodu omezení průběhu na celé kmity od prvního průchodu signálu nulou. Program obsahuje ještě další dva způsoby výběru celých kmitů: od prvního maxima signálu a od začátku souboru. Těmito metodami se dají dosáhnout o něco menší THD než u výpočtů přes okna, ale mají i svoje nevýhody: i když jsou v programu udělané omezení na celé kmity, jak se mi to nejlíp podařilo, ve výsledcích vždy celé kmity nemusí být dobře vybrané, to je nutno zkontrolovat z grafu změřeného signálu. Je to způsobeno tím, že výběry fungují pro víceméně sinusové signály až do nějakého jejich zkreslení, respektive fungují tehdy, když signál má předvídatelný tvar a směr jeho průběhu (klesající / stoupající) je nějak určitelný, třeba i po průchodu signálu nějakým filtrem potlačujícím šum. Např. u průběhů z osciloskopu HANTEK (má jen 8bitový AD převodník) se šum projevuje tak, že průběhy jsou dost „chlupaté“, tj. hodnoty kolísají kolem nějaké úrovně několikrát podle strmosti průběhu, ovšem zdá se, že pro takový signál program výběr zvládá. Dále doporučuji, aby průběhy měřené osciloskopy s „chlupatým“ průběhem (8bitový AD převodník) měly pro zpracování tímto programem cca okolo 20 kmitů, protože pro takový počet period vychází THD o něco málo menší než třeba pro 4 kmity.

Program neumí zjistit celé kmity třeba u průběhu z příkladu na kontrolu jeho funkce uvedeném zde na začátku a složeném z 3 amplitudově srovnatelných kmitů, protože obsahuje více změn průběhu, než odpovídá správnému počtu kmitů, a v takovém případě program v menu tyto výběry neumožní a v menu budou tyto položky začínat „NELZE – „. Další podmínky, aby program tyto výběry umožnil jsou, že jeden kmit musí mít nejméně 300 změřených bodů, nebo průběh musí mít minimálně 3 kmity anebo vypočítané THD musí být menší než 25 %. Pokud by někdo chtěl průběh, který těmto podmínkám nevyhovuje a nezačíná a nekončí ve stejném místě programem zpracovat tak, aby zpracování jeho periodicitě odpovídalo, musel by si soubor sám upravit v nějakém jiném programu (Excel, Poznámkový blok), program (zatím) ručně vybírat interval dat ke zpracování neumí.

Co se týká výsledného THD doporučuji následující postup: protože se THD počítá z nějakého osciloskopem změřeného průběhu který se získá tak, že signál generovaný generátorem, který má také svoje harmonické zkreslení se nechá projít měřeným zařízením, tak je celkem logické, že výsledné THD takto měřeného signálu bude součet THD signálu generátoru a THD měřeného zařízení a také se mohou k THD přidat rušení indukovaná do připojovacích vodičů (i když by správně moc neměly). Předpokládám, že nejlepší postup je ke každému změřenému THD celé soustavy generátoru se zařízením změřit ještě za stejných podmínek (propojit vstup osciloskopu s výstupem generátoru a uzemnění nechat připojené k zapnutému zařízení) signál z generátoru a také pro něj spočítat THD. Toto zopakovat pro každý bod, ve kterém se THD zařízení měří. Potom výsledné THD pro každý bod bude:

$$THD_{\text{zařízení}} = THD_{\text{celého řetězce}} - THD_{\text{generátoru}}$$

Popisovaný postup neuvažuje chyby, které do výpočtu může zavádět osciloskop a výpočty v tomto programu, ale předpokládám, že budou v obou měřeních velmi podobné, takže by se měly odečtením eliminovat a nemusely by mít na výsledek podstatný vliv.

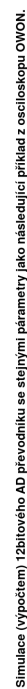
Při měření THD tímto způsobem je ale nutné, aby frekvenční průběh měřeného zařízení byl ovlivňován jen tím, co se chce měřit, tedy aby v zařízení nebyly zapojené např. nějaké omezující filtry které by byly pro THD nežádoucí. Tuto zkušenost jsem udělal s měřením THD parametrického korektoru skládajícím se ze čtyř říditelných parametrických filtrů a z horní a dolní propusti. U propustí se dal sice řídit jejich zisk a bod zlomu, ale nedaly se odpojit. No, a protože se pro výpočet THD uplatňují jen vyšší harmonické vadilo to, že dolní propust měla nejvyšší nastavitelný bod zlomu cca 25 kHz s poklesem 12 dB/oktávu, a při měření celé soustavy (korektor s touto propustí + generátor) vycházelo THD soustavy menší než THD samotného generátoru (generátor nebyl omezen žádnou dolní propustí), takže celkové THD bylo záporné, což je samozřejmě konina. Příčina byla v tom, že signál procházející korektorem měl výšky omezeny jeho dolní propustí, zatímco u signálu z generátoru takové omezení nebylo, jeho signál obsahoval vyšší harmonické s větší amplitudou, a tudíž měl větší THD. Pomohlo udělat pasívní dolní propust stejného řádu a průběhu jako byla ta v korektoru a přes ni signál z generátoru měřit.

Na základě této zkušenosti jsem do programu zabudoval volitelnou možnost „prohnat“ signál přes programovou Butterworthovu dolní propust jejíž řád a kmitočet zlomu v bodě -3 dB se dají v nějakém rozmezí nastavovat. THD spočítané přes tuto propust je ve výpočtech na zvláštním řádku pro porovnání. V grafu harmonických jsou průběhy harmonických přes tuto DP kresleny čárkovaně červeně a její charakteristika (frekvenční průběh) je zde kreslena čárkovaně fialově. Průběhy jsou zde kresleny jen když se vypočtené harmonické ze základního signálu (modrá čára) liší od harmonických přes DP aspoň tak, aby se průběhy z nějaké části nekryly a „neschovávaly se“ za sebe.

Podle mých pokusů s DP v programu (a také podle logiky výpočtu THD) by její kmitočet zlomu měl být zvolen větší, než je alespoň 3. harmonická základního měřeného signálu, protože pokud bude menší budou i příslušné harmonické (3. a 2.) menší a takto vypočítané THD se bude dost rozcházet se skutečností, ale je zde otázka, co se od měření požaduje. Zajímavé ovšem je, že při měření generátoru přes fyzickou DP se zlomem cca 25 kHz jsem přes ni změřil THD generátoru např. i na základním kmitočtu 20 kHz a vypočtené hodnoty vypadaly reálně, takže zatím nevím, v čem byl rozdíl a používání DP v programu je na každém.

Rozdíl mezi osciloskopy s 8 a 12bitovými AD převodníky

I když výše popsaná metodika výpočtu THD by měla dále popisované zkreslení eliminovat, pro zajímavost zde uvádím změřené THD stejného signálu s 8 a 12bitovými AD převodníky. Protože 8bitový převodník rozdělí (kvantuje) analogový signál (jen) na 256 úrovní a 12bitový na 4096 úrovní, je samozřejmě rozdíl v přesnosti takto snímaných signálů. Počet úrovní je vždy z nastaveného celkového vertikálního rozsahu osciloskopu a měřený signál bude vždy menší než vertikální rozsah, takže nejistota vztažená k měřenému signálu bude větší. Následují příklady výpočtem simulovaného signálu jako 12bitový převodník a signálů snímaných osciloskopy s 8 a 12bitovými převodníky. V obou případech byl použit signál z generátoru OWON DGE1030, který má podle dokumentace harmonické zkreslení pro rozsah od DC do 1 MHz < -65 dBc, to převedeno na % je 0,05623 % (podle stránek <https://sengpielaudio.com/calculator-thd.htm>).



Vst. soubor je zpracován od záznamu 1 do 95000 a má celkem 95000 záznamů.

Je zpracováno celé flé: celkem 19 kmitů.

Efektivní hodnota (RMS) celého zpracovaného signálu:

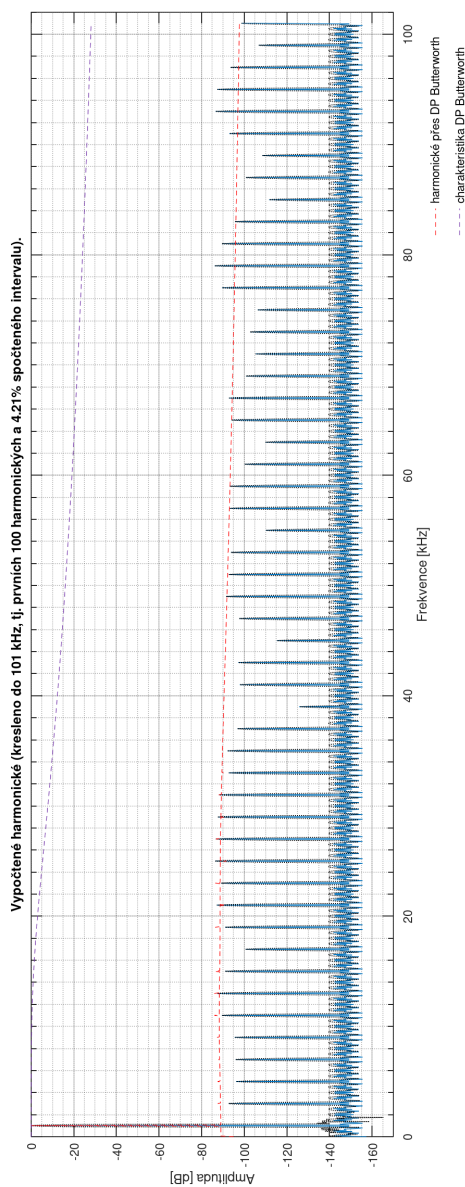
THD zprac. průb. 2374 harmonických, posl. 2375 kHz:

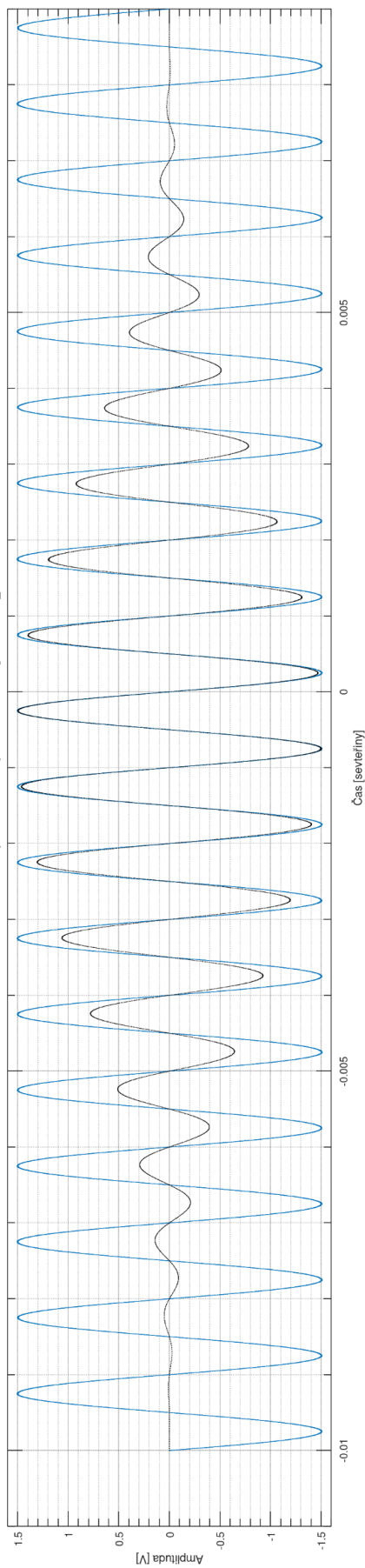
THD zprac. průb. přes DP Butterworth 2.řádu, Fo 20 kHz:

Výpis harmonických (zde jen do 10. harmonické):

	Frekvencia	Amplitúd	Fázis
1. Zsík, harmonikák:	1000,0 Hz	1,5000 V	0,0000 °
2. harmonikák:	2000,0 Hz	4,1128e-08 V	270,00 °
3. harmonikák:	3000,0 Hz	3,4613e-05 V	358,91 °
4. harmonikák:	4000,0 Hz	4,1128e-08 V	270,00 °
5. harmonikák:	5000,0 Hz	2,3176e-05 V	181,63 °
6. harmonikák:	6000,0 Hz	4,1128e-08 V	270,00 °
7. harmonikák:	7000,0 Hz	2,3575e-05 V	358,40 °
8. harmonikák:	8000,0 Hz	4,1128e-08 V	270,00 °
9. harmonikák:	9000,0 Hz	2,4960e-05 V	181,51 °
10. harmonikák:	10000 Hz	4,1128e-08 V	270,00 °

© Luděk Ruffer lruffer@volny.cz verze programu z 2. února 2026





Výpočet harmonického zkreslení (THD) pro osciloskop OWON ADS802A:

Vst. soubor je zpracován od záznamu 592 do 95591 a má celkem 100000 záznamů.

Nejvyšší použitelná F (Nyquist) je 2500 kHz, rozsah osciloskopu 4 V, kanál CH1

Jsou zpracovány celé kmity od prvního průchoodu nulou; celkem 19 kmitů.

Efektivní hodnota (RMS) celého zpracovaného signálu:

Stejnoseměrná složka:

THD zprac. průb. 2374 harmonických, posl. 2375 kHz:

THD zpracovaný průběh přes okno Blackman:

THD zprac. průb. přes DP Butterworth 2.řádu, Fo 20 kHz;

THD vypočítané jen z 2. a 3. harmonické:

Výpis harmonických (zde jen do 10. harmonické):

	Frekvence	Amplituda	Fáze
Základ. harmonická:	1000,00 Hz	1,5025 V	179,85 °
2. harmonická:	2000,0 Hz	9,5570e-05 V	279,49 °
3. harmonická:	3000,0 Hz	8,6200e-05 V	140,79 °
4. harmonická:	4000,0 Hz	9,7538e-05 V	19,765 °
5. harmonická:	5000,0 Hz	3,0538e-04 V	356,64 °
6. harmonická:	6000,0 Hz	2,5127e-04 V	77,708 °
7. harmonická:	7000,0 Hz	5,5003e-05 V	173,66 °
8. harmonická:	8000,0 Hz	1,5822e-04 V	116,39 °
9. harmonická:	9000,0 Hz	1,1735e-04 V	358,41 °
10. harmonická:	10000,0 Hz	6,5950e-05 V	113,92 °

© Luděk Ruffer lruffer@volny.cz verze programu z 2. února 2026

© Luděk Ruffer

| truffer@volny.cz | verze programu z 2. února 2026 |
