

## Šum AD24USB a možnosti střídavé modulace

Vstup USB měřicího modulu AD24USB je tvořen diferenciálním nízkošumovým zesilovačem s bipolárními operačními zesilovači. Charakteristickou vlastností těchto zesilovačů je šum typu  $1/f$ , díky kterému šum směrem k nižším frekvencím narůstá. Proto se na vstupu nanovoltmetrů používají zesilovače se střídavou modulací - „chopper zesilovače“, které uvedeným neduhem netrpí. Nevýhodou těchto zesilovačů je kromě větší složitosti i delší doba ustálení po skoku vstupního napětí, takže zesilovač tohoto typu není vhodný pro aplikace s multiplexovanými vstupy.

AD24USB tento problém řeší poněkud jiným způsobem. Na vstupu diferenciálního zesilovače je dvojitý přepínač, který umožňuje prohození vstupů, ovšem demodulace a následná filtrace se neprovádí analogově nýbrž číslicově – AD24USB provede odměr napětí pro obě polarity vstupu a oba výsledky od sebe odečte. Tyto rozdíly jsou dále akumulovány s volitelným počtem odměrů a průměrovány. Výsledek je tedy totožný jako u klasického modulačního zesilovače ale toto uspořádání má následující výhody: odpadá demodulační část zesilovače, počet vzorků, z nichž se počítá průměr, je jednoduše proměnný a určuje celkovou dobu převodu a zároveň i šířku pásma a tedy i velikost výsledného šumu. Rovněž je možno bez jakéhokoliv zpoždění přepínat vstupy pomocí vstupního multiplexeru. Nevýhodou tohoto řešení je nutnost používat bipolární vstupní rozsahy a poměrně nízká modulační frekvence. Při použití AD24USB je vhodné volit základní dobu integrace 20 ms, modulační frekvence je pak cca 24 Hz. Použití delších dob integrace je možné ale snižuje se modulační frekvence pod 10 Hz a zde již narůstá vliv šumu  $1/f$ , naopak při použití kratší doby integrace již klesá rozlišení AD převodníku a není potlačen kmitočet 50 Hz a jeho násobky. Díky eliminaci šumu  $1/f$  je možno velmi snadno volit optimální kompromis mezi celkovou dobou převodu a šumem, přičemž pro mezivrcholovou hodnotu šumu  $u$  [nV] pro danou dobu převodu  $t$  [s] platí:

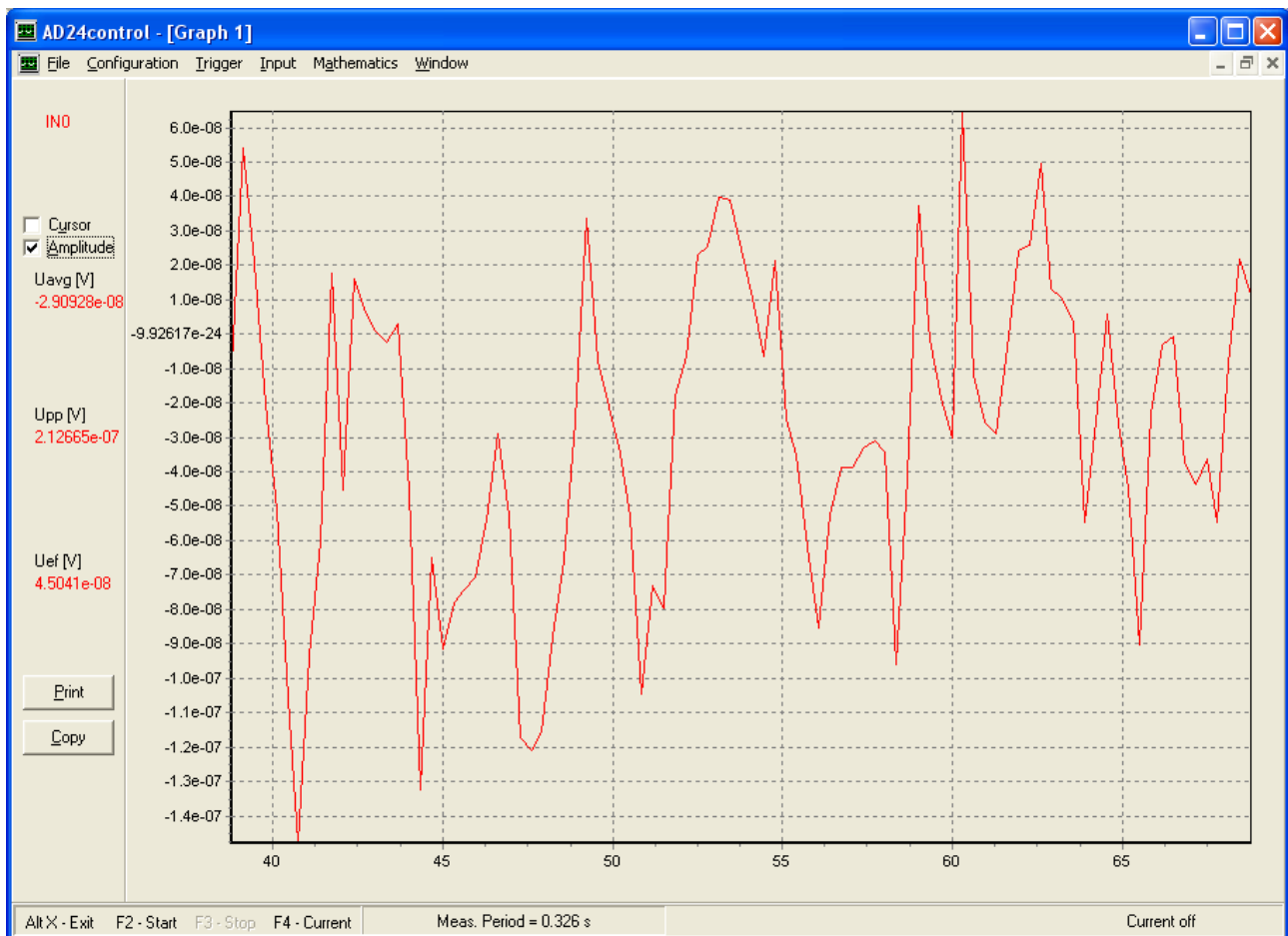
$$u = 15\sqrt{t}$$

Střídavá modulace vstupu účinně snižuje šum a ofset zesilovače ale neřeší další zdroj chyb při měření malých napětí - parazitní termoelektrická napětí na vstupu modulu a v připojovacích vodičích. Proto je AD24USB volitelně vybaven přepínatelným zdrojem napětí nebo proudu. Napěťový zdroj je vhodný pro měření s nejrůznějšími můstky - typicky tenzometrickými, zdroj proudu je ideální pro přesná měření malých odporů např Pt100 apod nebo HALL snímačů. Bližší popis viz samostatný dokument. Díky modulaci budicího signálu dojde k úplné eliminaci ofsetů v přívodních vodičích i na vstupu modulu a dosažitelný ofset klesne pod 10 nV.

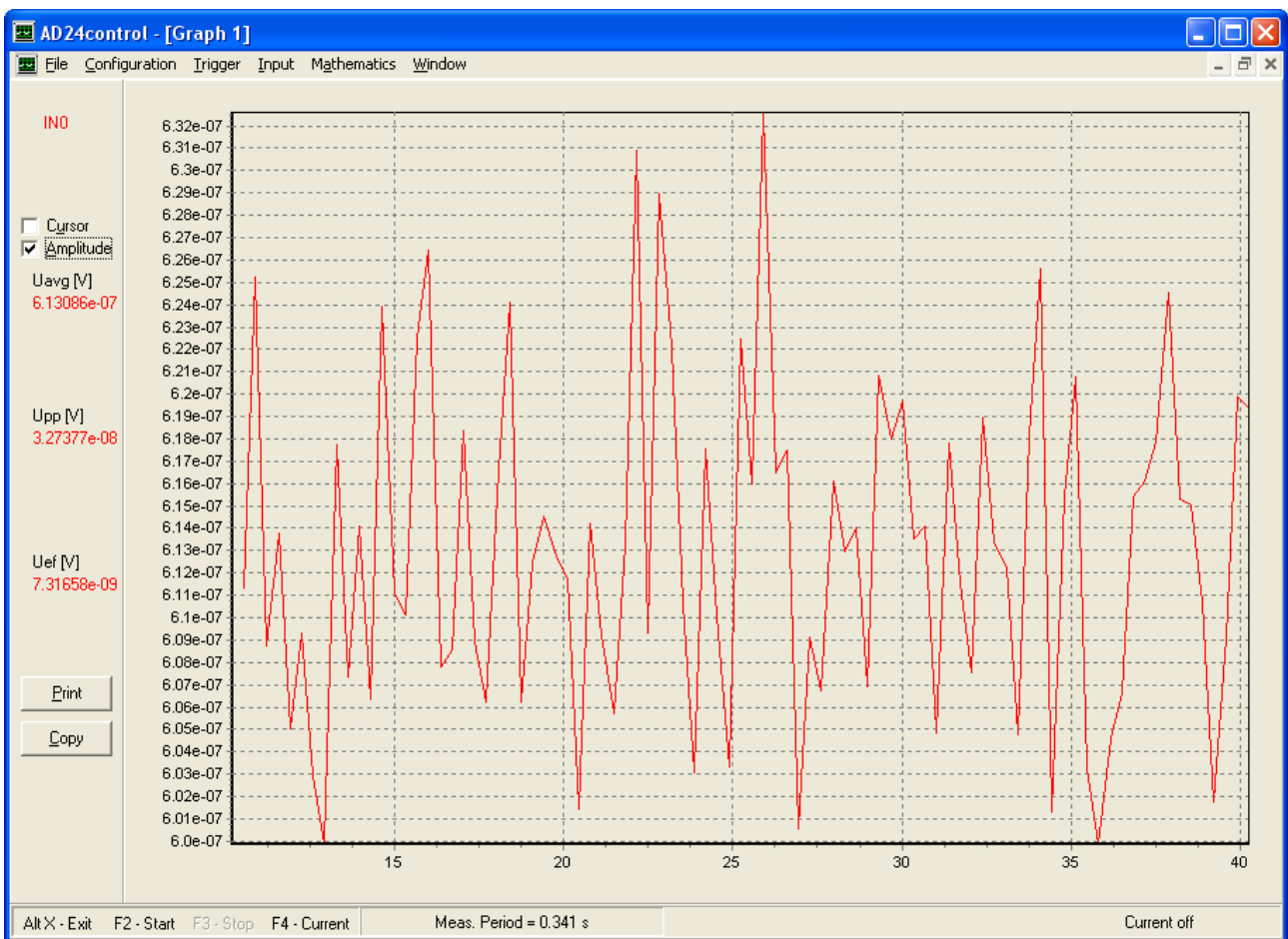
Výše popsané platí jen pro AD24USB diferenciální verzi. SE verze neumožňuje střídavou

modulaci vstupu ale vlastní šum je díky jedinému zesilovači na vstupu  $\sqrt{2}$  krát menší. Pro extrémní nároky na šum je možno použitím ultra nízkošumových zesilovačů a úpravami vstupu šum ještě cca dvakrát snížit - pro bližší informace kontaktujte výrobce.

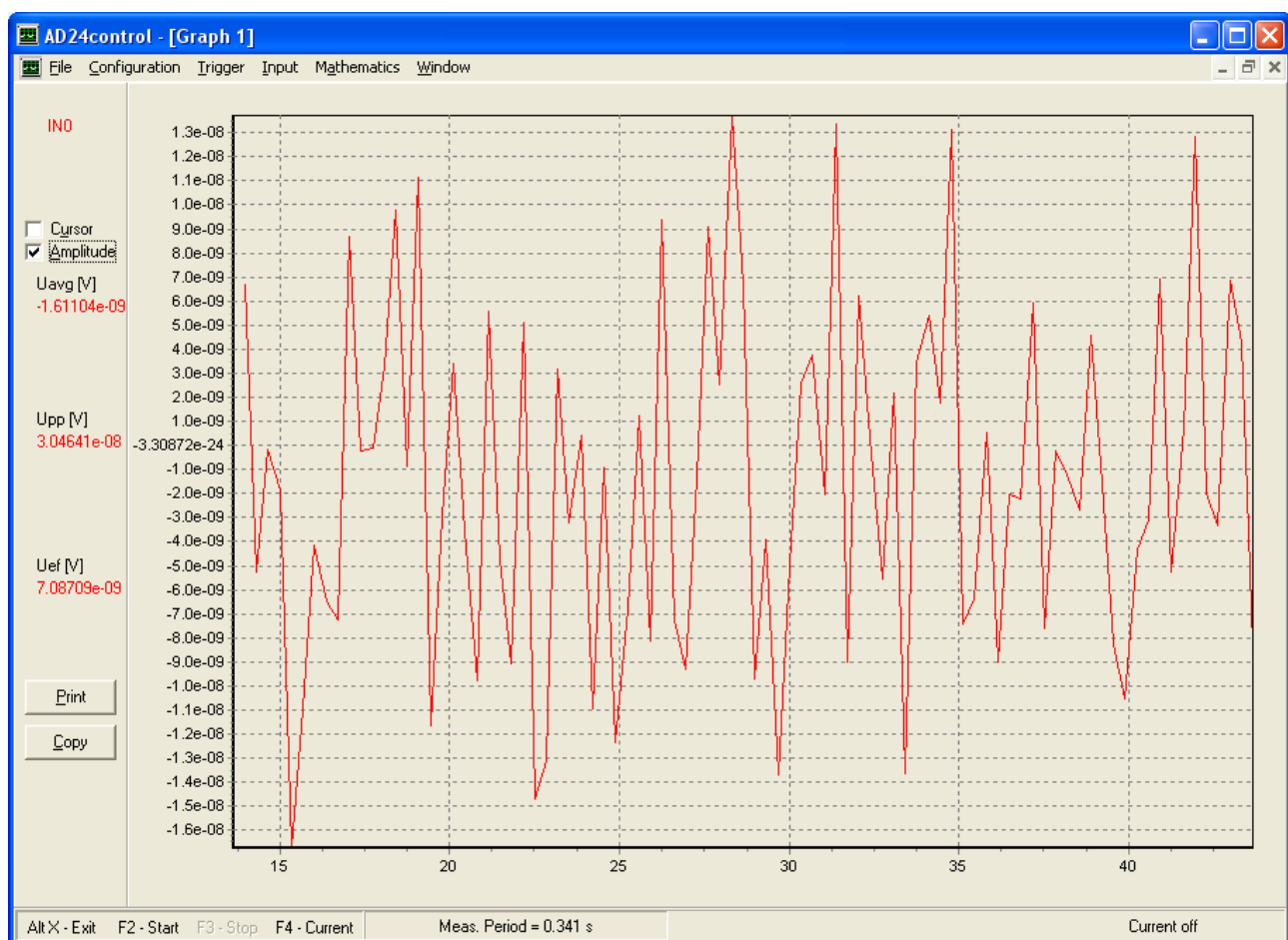
Dále jsou uvedeny konkrétní hodnoty šumu naměřené na AD24USB a to jak bez modulace, tak i pro oba druhy střídavé modulace pomocí dodávaného software ADcontrol. Vždy byla zvolena doba měření 30 s. Z naměřených hodnot je patrné, že šum bez modulace je cca 210 nVšš při nejdelší době integrace. Pro střídavou modulaci se stejnou dobou měření je šum jen cca 30-33 nVšš, (7.1-7.3 nVef) navíc offset pro modulaci výstupu je cca 1.6 nV, z obr. 4 je patrné, že prodloužením doby převodu na 1 sec dojde k poklesu až na 13 nVšš (3 nVef). Na zbývajících obrazcích jsou hodnoty šumu pro rozsahy +-49 a 128 mV. Pozor! Vzhledem k náhodnému charakteru šumu se naměřené mezivrcholové hodnoty mohou lišit o desítky procent i při opakovaném měření téhož modulu! Efektivní hodnoty jsou mnohem lépe reprodukovatelné.



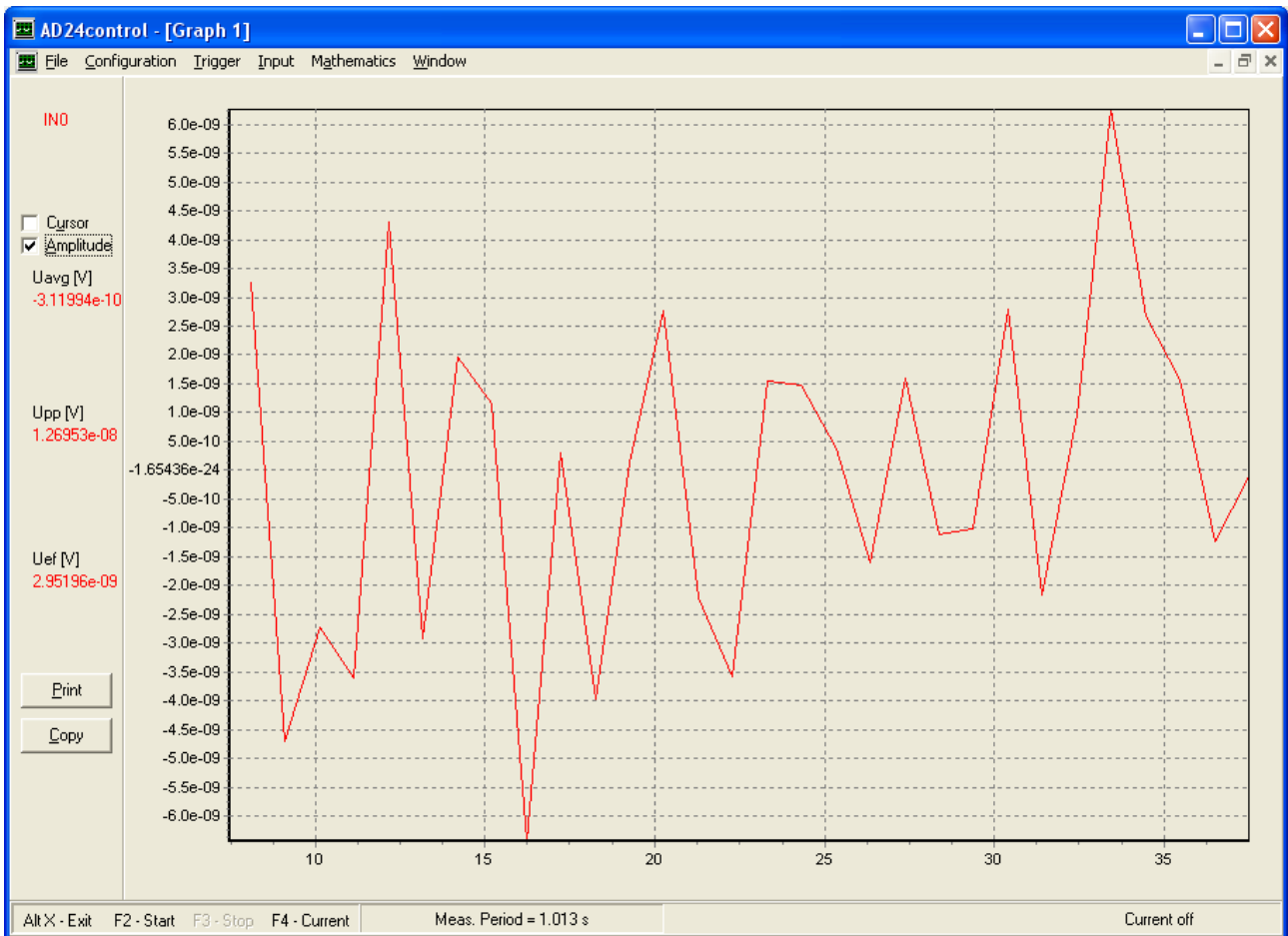
Obr 1. Šum karty bez modulace při Tint 320 ms, rozsah +-10 mV



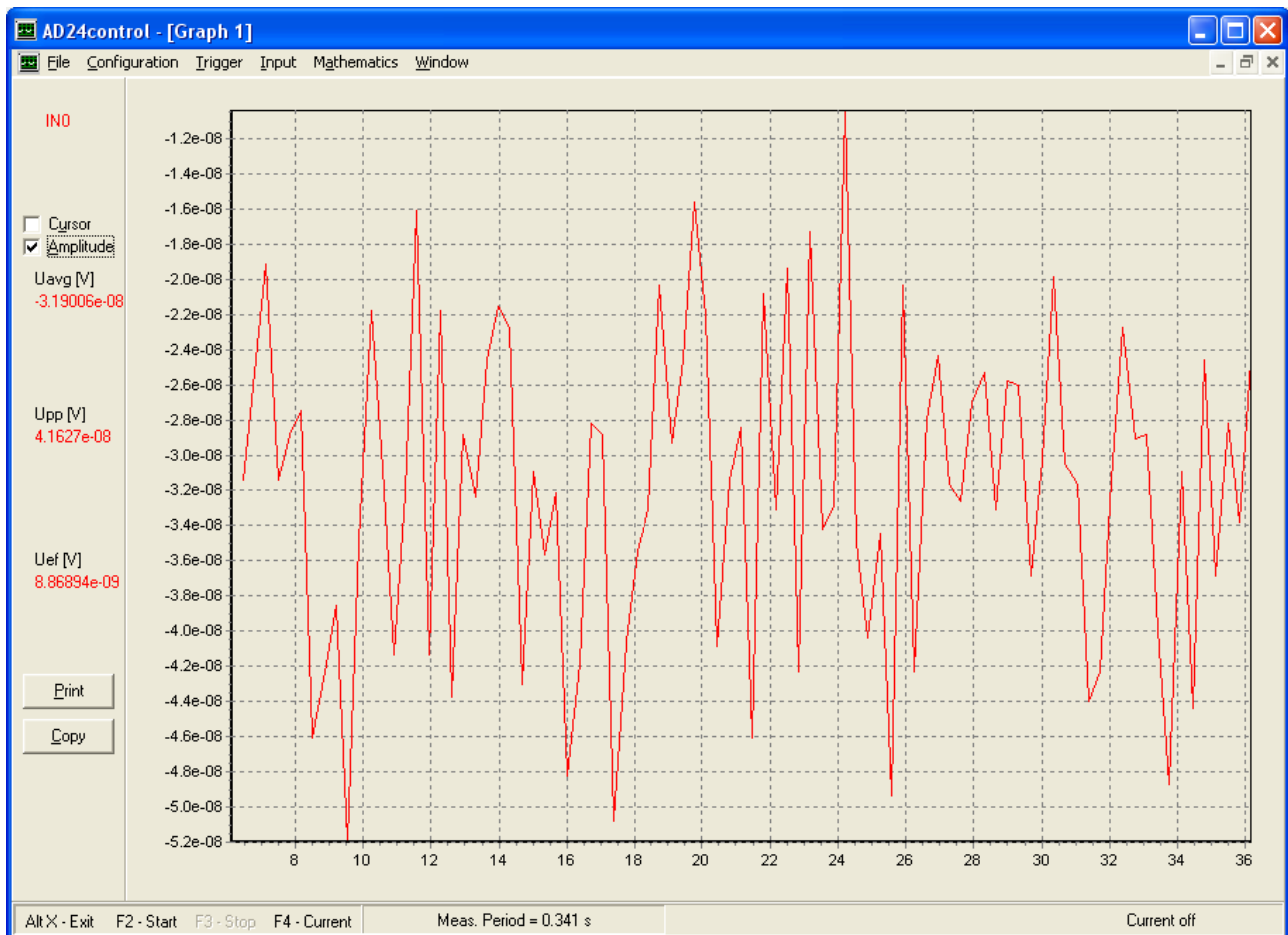
Obr. 2. Šum při zapnuté střídavé modulaci vstupu 16 x 20 ms, rozsah  $\pm 10$  mV



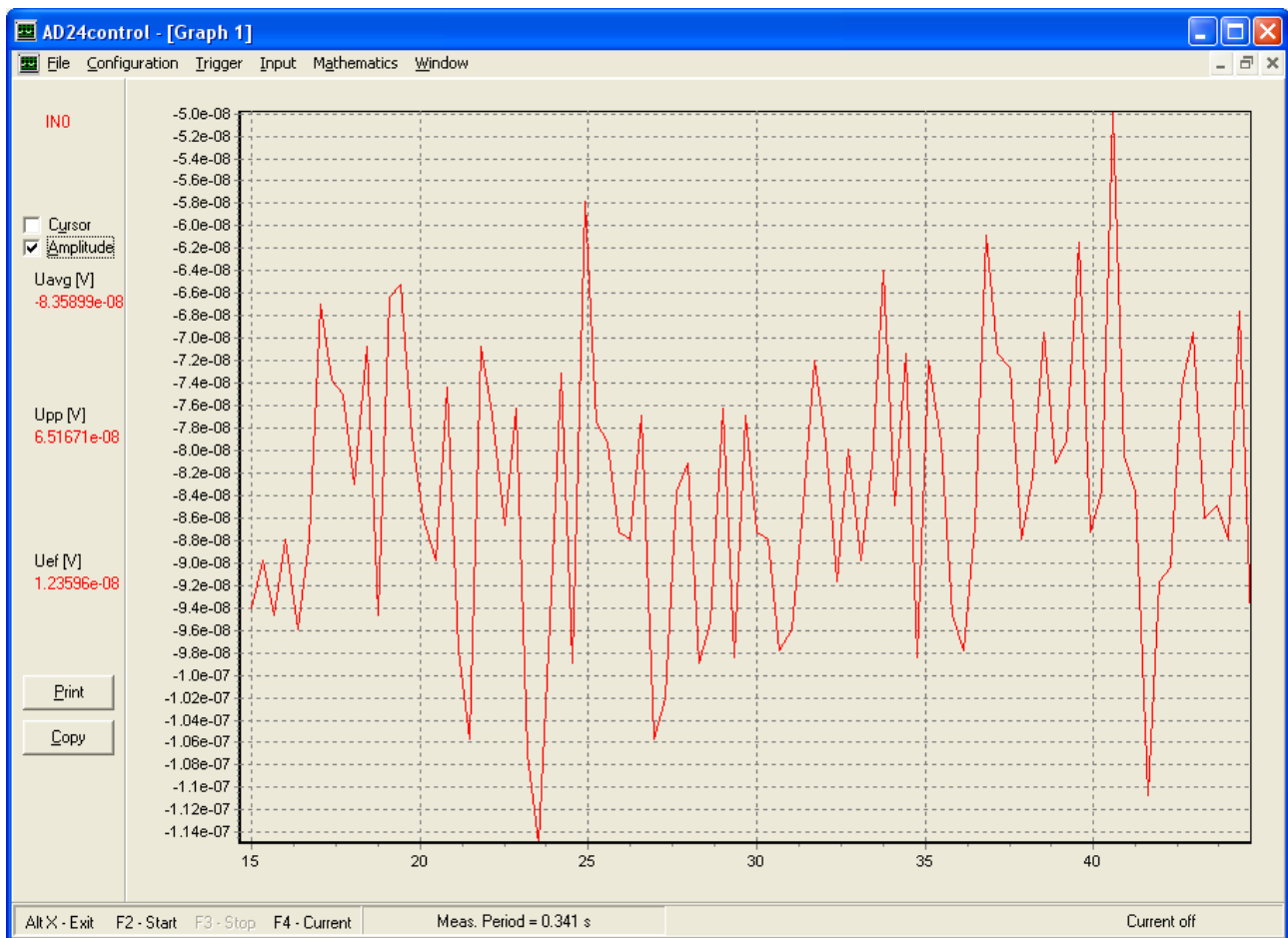
Obr. 3. Šum při zapnuté střídavé modulaci výstupu 16 x 20 ms, rozsah  $\pm 10$  mV



Obr. 4. Šum při zapnuté střídavé modulaci výstupu 48 x 20 ms, rozsah +10 mV

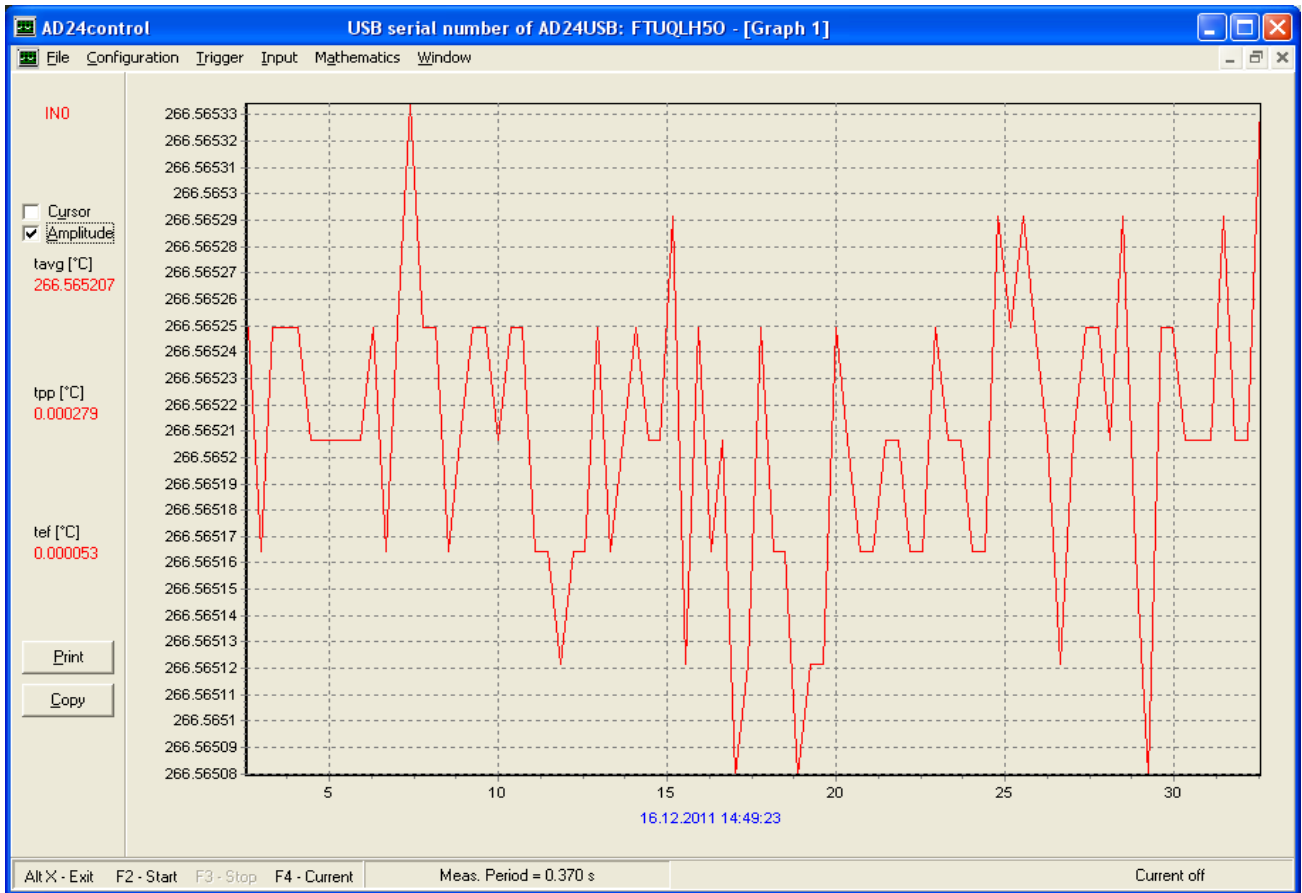


Obr. 5. Šum při zapnuté střídavé modulaci výstupu 16 x 20 ms, rozsah +49 mV



Obr. 6. Šum při zapnuté střídavé modulaci výstupu 16 x 20 ms, rozsah  $\pm 128$  mV

Na obr. 7. je šum při konkrétní aplikaci – měření teploty s Pt100 při velikosti měřicího proudu 0.5 mA a střídavé modulaci výstupu. V grafu je zobrazena rovnou odpovídající teplota, Čidlo Pt100 bylo nahrazeno stabilním odporem 200 Ohm. Z grafu je patrné, že šum je  $0.00028$  °C<sub>pp</sub>, efektivní hodnota je  $0.00005$  °C. Modul tedy umožňuje měření teploty s rozlišením pod  $0.001$  °C. Pozor! Je to pouze rozlišení, nikoliv přesnost měření! Přesnost měření je dána prakticky výhradně přesností vlastního čidla.



Obr. 7. Šum při měření teploty s Pt100