

Měření krátkých časových intervalů s pikosekundovým rozlišením

M. Fatrdlová , T. Polcar, T. Binek
Gymnázium a SOŠ Frýdek-Místek, Gymnázium Plasy, SPŠE Brno
Fatrdlova.michaela@seznam.cz

Abstrakt:

Naším miniprojektem se stalo měření časových intervalů. Seznámili jsme se s různými metodami měření a vyzkoušeli jsme si jednoduchý experiment. Změřili jsme zpoždění průchodu elektrického impulzu koaxiálním kabelem při různých teplotách.

1 Úvod

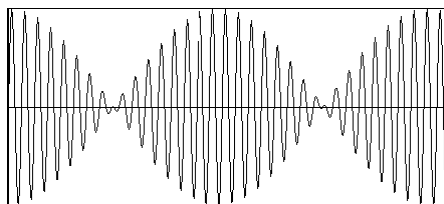
Měření času používali lidé už od pravěku, kdy se řídili postavením Slunce. Stoletími se měření stále zlepšovalo. Od postavení Slunce jsme se dostali až k atomovým hodinám a měřením pomocí laseru. Rozvojem měření se rozvíjela i další mnohá odvětví vědy a techniky. Metodou, kterou jsme ověřovali se mohou určovat vzdálenosti družic a Měsíce, předpovídat zemětřesení.

2 Materiály a metody

K měření byl použit čítač časových intervalů HP 5730B. Na jeho vstup je připojen zdroj krátkých pulsů. První impuls spustí vnitřní oscilátor přístroje s vlastní frekvencí 100 Hz, pomocí kterého se určí délka měřeného intervalu nebo periodu vlnění s přesností na 5ns. Světelný signál za tuto dobu urazí asi 1,5 m. Vzhledem k tomu, že při měření vzdáleností touto metodou zpravidla požadujeme přesnost měření v setinách nebo desetínách metru, je zapotřebí zvýšit rozlišovací schopnost přístroje řádově na pikosekundy. K tomuto zpřesnění se často využívá Vernierova jevu (známého například z posuvných měřidel). K původnímu signálu je přidán další signál, který má velmi blízkou frekvenci. Jejich složením vzniknou pomalé rázy, které mají řádově nižší frekvenci. Pokud známe přesně parametry přimíchaného signálu, můžeme vypočítat velmi přesně parametry původního signálu.

$$A = \sin(2\pi f_1 t) + \sin(2\pi f_2 t) = 2 \times \sin((f_1 + f_2) \times \pi t) \times \cos((f_1 - f_2) \times \pi t)$$

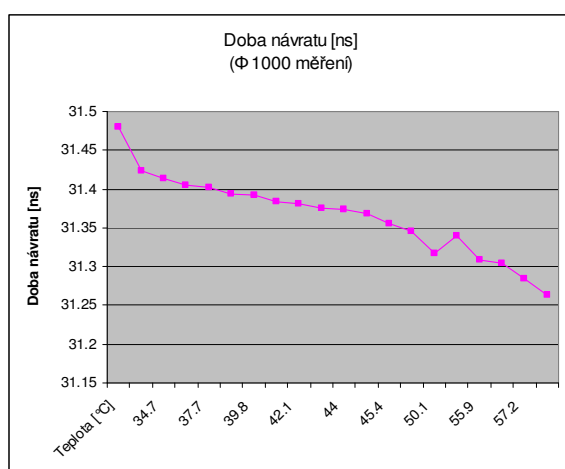
Z této rovnice je vidět, že frekvence jednotlivých rázů je tím větší, čím méně se frekvence obou vlnění liší. Touto metodou je možno měření zpřesnit až stokrát.



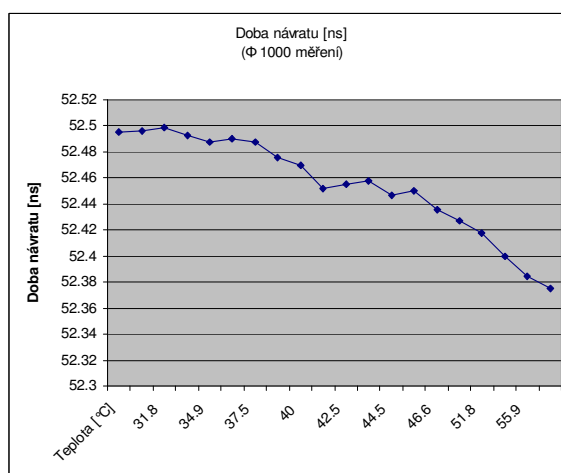
Obr. 1 : Průběh rázů vzniklých složením dvou impulsů o podobných frekvencích

3 Výsledky

Z naměřených hodnot vyplývá, že čas, za který překoná signál 1 m koaxiálního kabelu je za běžně dosažitelných podmínek asi 5 – 6 ns. Z grafů na obrázku 2 je vidět, že závislost tohoto času na teplotě je přímo úměrná, zpoždění signálu v kabelu klesá asi o 4ps na K. Tyto hodnoty odpovídají rychlosti šíření signálu rovné $1,79 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, což odpovídá 0,6xc. I při této snížené rychlosti je nezbytné měřit časové intervaly s přesností na pikosekundy.



Obr. 2 : Kabel A – 3m



Obr. 3: Kabel B – 4.95m

4 Shrnutí

Principy použité v tomto pokusu nás dnes provázejí na každém kroku. GPS (jehož formu obsahuje každý mobilní telefon) je založeno na rozdílu signálů přicházejících ze 3 a více družic. Zpracováním těchto signálů získáme údaje o přesné poloze přijímače. Pro přenos dat na velké vzdálenosti je třeba co nejpřesněji sladit hodinové pulsy na obou stranách spojení - čím přesnější, tím větší propustnost linky . K tomu se také využívá signálu z družic, které vysílají časové signály s přesností ~ 50ns.

5 Poděkování

Za podporu při provádění tohoto experimentu děkujeme ing. Martině Fedyszynové a všem organizátorům Fyzikálního týdne 2006 z FJFI ČVUT.

6 Reference:

<http://buon.fjfi.cvut.cz/fyzport/FT/2005/pikos/picos>