

Název a číslo úlohy	#7 - Disperze v optických vláknech
Datum měření	14. 5. 2015
Měření provedli	Tereza Schönfeldová, David Roesel
Vypracoval	David Roesel
Datum	19. 5. 2015
Hodnocení	

1 Úvod

V této úloze jsme si vyzkoušeli práci s optickými vlákny a zaměřili jsme se na vliv disperze na šíření signálu vláknem. Seznámili jsme se s možnostmi měření důležitých charakteristik optických vláken a analyzovali jsme vlivy, které omezují přenosové vlastnosti vlnovodů. Konkrétně jsme proměřovali vidovou disperzi plastového mnohovidového vlákna ve frekvenční a časové oblasti.

2 Pomůcky

Optická vlákna, laserová dioda 650 nm/5 mW s řídicím zdrojem LDC210 a termoregulační jednotkou TED200, pulzní generátor METEX MXG-9810, fotodioda, digitální osciloskop Tektro-nix, PC, skripty v MATLABu.

3 Postup a výsledky

Když jsme přišli k úloze, byla již aparatura sestavena. Největší část praktika jsme strávili diskusí o důležitosti disperze v jednotlivých typech vláken a vlivu různých druhů disperze. Řešili jsme také dopad nedokonalosti elektroniky používané v měření na získané výsledky. Aparaturu jsme nijak výrazně neměnili. Po zapnutí jednotlivých přístrojů nám během měření zbývalo pouze měnit kalibrační vlákno za měřené a opačně. Při obou měřeních jsme při výměně vlákna dbali na to, abychom neponičili konce vláken a umísťovali je do držáků správným způsobem.

V domácí přípravě jsme se seznámili s programy v MATLABu, kterými se řídí experiment a které z něj získávají a vykreslují data. Podle druhu měření jsme používali buď funkci `pulse.m` v případě měření přenosové charakteristiky pomocí analýzy přenosu pravoúhlého pulsu (časová oblast), nebo funkci `harmonic.m` při měření přenosové charakteristiky bod po bodě z přenosu harmonických signálů různých frekvencí (frekvenční oblast). Obě funkce využívají další funkce, které komunikují s osciloskopem.

3.1 Měření přenosové funkce ve frekvenční oblasti

Vzhledem k tomu, že byl experiment již sestaven podle Obr. 1 v zadání [1], stačilo nám seznámit se po úvodní diskusí s funkcí laserové diody, s jejím řízením a termoregulací, s frekvenčním generátorem a digitálním osciloskopem. Na osciloskopu jsme pozorovali dva signály. V jednom kanálu byl přiveden signál napětí, které budilo diodu, a na druhém kanálu výstup z detektoru, do kterého směřovalo záření z referenčního či proměřovaného vlákna.

Následně bylo třeba aparaturu dobře nastavit. Vzhledem k tomu, že teplotu diody je potřeba nechat nějakou dobu ustálit, jsme ji ponechali na již nastavené hodnotě 20,3 °C. Nastavení pulsu jsme měnili na generátoru pulsů. Nastavili jsme na něm generaci hladkých pulsů a pokusili jsme se naladit offset a amplitudu tak, abychom pozorovali přibližně harmonický signál pulsu vycházejícího z vlákna. Úpravu signálu jsme takto prováděli na nižších frekvencích (v řádu stovek Hz) a předpokládali jsme, že se harmoničnost nebude příliš měnit při frekvencích blíže

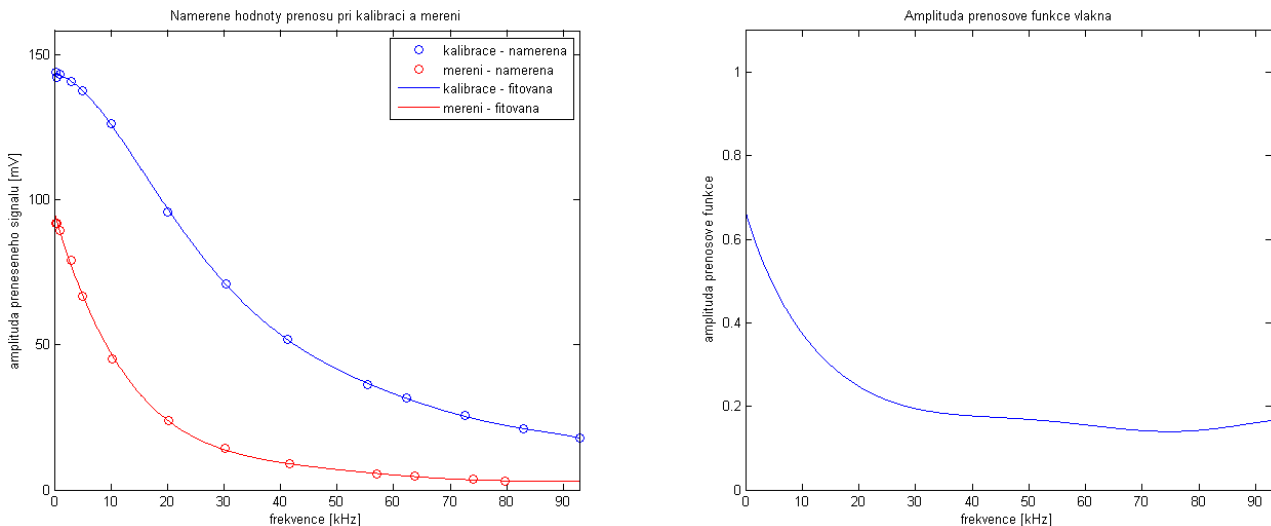
horní hranici našeho měření (100 kHz). Poté co jsme nastavili tvar signálu k naší spokojenosti, mohli jsme začít s měřením.

Předmětem měření bylo zaznamenání amplitudy v čase signálu vycházejícího z referenčního vlákna o délce 1 m v závislosti na frekvenci modulace signálu buzení laserové diody. Změřením hodnot pro několik frekvencí a následným proložení těchto hodnot polynomem odpovídajícího stupně byla z dat zjištěna amplituda signálu na výstupu jako funkce frekvence. Stejným měřením pro proměřované vlákno o délce 66,6 m a podělením obou funkcí byla pak jako výsledek měření získána přenosová funkce vlákna \mathcal{H}_F jako

$$\mathcal{H}_F(f) = \frac{U_{o2}(f)}{U_{o1}(f)}, \quad (1)$$

kde $U_{o2}(f)$ a $U_{o1}(f)$ jsou proložení získané funkce amplitudy v závislosti na frekvenci pro měřené a referenční vlákno.

Začali jsme na nejnižší frekvenci našeho rozsahu, takže jsme naladili frekvenci 100 Hz a upravili jsme na osciloskopu nastavení tak, aby byl při zapojení referenčního vlákna celý signál ve vertikálním rozsahu osciloskopu a na jeho obrazovce bylo vidět více než deset pulsů budícího napětí i výstupního signálu na detektoru. Poté jsme spustili program `harmonic.m` a postupovali podle instrukcí v něm. Každou frekvenci jsme v něm měřili zvlášť, takže po vyčtení údajů programem bylo třeba nastavit vyšší frekvenci a opět upravit nastavení osciloskopu tak, aby se signál vešel do vertikálního rozsahu (tedy nebyl ořezaný), ale aby byl dostatečně velký pro výčet hodnot programem. Po dokončení všech frekvencí v předem stanoveném rozsahu jsme identicky postupovali i při měření proměřovaného vlákna, opět od nejnižší frekvence po nejvyšší. Program se poté na několik desítek vteřin odmlčel a následně zobrazil zpracované výsledky v grafech, které jsou vyneseny na Obr. 1. Data i grafy následně uložil a my jsme si je na konci měření přepokopovali na flashdisk. Vzhledem k tomu, že frekvence, při které poklesne přenosová charakteristika na jednu polovinu maxima, je $f_{3dB} = 15$ kHz, můžeme šířku přenosového pásma vlnovodu určit podle vzorce (16) ze zadání [1] jako $B_1 = 1$ MHz · m.



Obrázek 1: Naměřené hodnoty při měření přenosové funkce ve frekvenční oblasti, na levé straně závislost amplitud signálů na frekvenci po průchodu vlákny, na pravé straně přenosová funkce vypočítaná podělením obou amplitud podle vzorce (1).

3.2 Měření přenosové funkce v časové oblasti

Předchozí měření evidentně funguje dle našich předpokladů, ale je poměrně zdlouhavé, vzhledem k nutnosti proměřovat každou frekvenci zvlášť. Na základě teorie probírané v zadání [1] by

ale mělo být možné celou charakteristiku změřit najednou v případě, že bychom byli schopni proměřit puls, který obsahuje celé spektrum frekvencí. Signál by v takovém případě nebyl harmonický, jako při předchozím měření, ale musel by to být puls o průběhu δ -funkce. Takový reálně nezvládneme vytvořit, a proto se musíme spokojit s obdélníkovým pulsem. Vzhledem k tomuto kompromisu musíme brát na vědomí, že získaná přenosová funkce bude odpovídat pouze v určitém rozsahu frekvencí - přibližně do prvního nultého bodu Fourierovy transformace pulsu (viz [1]).

Samotné měření probíhalo velice podobně tomu předchozímu. Na generátoru pulsů jsme nastavili místo harmonického vývoje generaci pravoúhlých impulsů a pomocí změny asymetrie jsme nastavili pulsy tak, aby byla doba mezi nimi dostatečně dlouhá v porovnání s trváním každého z nich. Díky tomu se nám při zapojení kalibračního vlákna (ve stejném schématu jako při předchozím měření) na osciloskopu podařilo zobrazit pouze jeden pulz, chvilku před jeho nástupem a zbytek času do nástupu dalšího. Při zapojení kalibračního vlákna jsme nastavili rozlišení kanálu se signálem z detektoru tak, aby se naměřený signál vešel do rozsahu osciloskopu, ale zároveň byl co největší. Při měření proměřovaného vlákna jsme vzhledem k jeho délce mohli předpokládat, že dojde k většímu snížení amplitudy a horní odhad pomocí kalibračního vlákna bude dostatečný.

V tomto případě nebylo nutné měřit každou frekvenci zvlášť a místo desítek měření stačilo pro získání výsledků změřit dvě - nejprve kalibrační a poté proměřované vlákno. Vzhledem k menší časové náročnosti jsme tedy provedli měření opakovaně, s tím rozdílem, že jsme při každém z nich volili jinou délku pravoúhlého pulsu (postupně 10, 40, 100 a 500 μ s). Měření jsme prováděli pomocí programu `pulse.m`, který nás postupně vyzýval k jednotlivým krokům. Zatímco bylo ještě zapojeno proměřované vlákno z předchozího měření s jinou délkou pulsu, nastavili jsme odpovídajícím způsobem osciloskop a odečetli jsme trvání pulsu na detektoru (jako jeho šířku v polovině maxima). Poté jsme vyměnili vlákno za kalibrační a začali s měřením. Program se nás zeptal na hodnotu FWHM impulsu, která mu slouží k výpočtu horního odhadu rozsahu frekvencí, ve kterých má smysl určovat tímto výpočtem přenosovou funkci vlákna. Následně nás požádal o zastavení obrazu na osciloskopu, vyčetl hodnoty pro kalibrační vlákno, vyzval nás k výměně vlákna za to proměřované a po spuštění a opětovném zastavení obrazu na osciloskopu změřil hodnoty znovu. Po chvilkové odmlce zobrazil zpracované výsledky, které jsou uvedeny na grafech níže (postupně Obr. 2, 3, 4 a 5).

4 Diskuse a závěr

Již během diskuse před vlastním měřením jsme došli k závěru, že výsledky měření nebudou nést příliš hodnotnou informaci. Zdrojem všech výsledků je porovnávání vstupního a výstupního signálu před a po průchodu vláknem. Ve skutečnosti ale signál námi uvažovaný jako ten před vláknem odpovídal signálu buzení laserové diody a samotný signál vstupující do vlákna již neměl stejný tvar. Elektronika využívaná při měření má navíc horší vlastnosti vedení signálu než vlákno, takže její vliv na měření je mnohem větší, než vliv měřené disperze ve vlákně.

Při měření ve frekvenční oblasti jsme hodnoty získávali kombinací několika diskrétních hodnot. Vzhledem k absenci jejich výrazných oscilací můžeme ale výsledky v grafu na Obr. 1 považovat za správné. V případě, že by závislost neměla jasně pozorovatelný trend poklesu, naše hodnoty by nebyly tak konzistentní a nedaly by se rozumným způsobem proložit. Přibližně někde do 50 kHz lze hodnoty považovat za směrodatné, dále je to diskutabilní vzhledem k menším rozdílům obou měření a v některých případech i hodnotám blízkým nuly, které nerozeznáme od šumu. V porovnání s některými z dalších měření jsou ale i tyto hodnoty rozumné.

Mezi zdroje nepřesností v prvním měření patří například to, že signál i přes naši nejlepší snahu nešel nastavit tak, aby nám opravdu přišel harmonický na všech měřených frekvencích. I když se nám podařilo nastavit signál, který jsme považovali za harmonický, po drobné změně

frekvence tomu tak nebylo. Mimo to i naše posouzení harmoničnosti signálu bylo velice subjektivní a tím pádem nepřesné. Je také třeba uvést, že osciloskop na vyšších frekvencích ukazoval o desítky procent nižší hodnoty v porovnání s generátorem pulsů. Vzhledem k tomu, že generátor ukazoval hodnoty shodné s těmi programem odečtenými, považujeme toto za nevýznamný problém. Při měření ve frekvenční doméně jsme se také nedostali až na konec udaného rozsahu chybným ukončením snímání jednoho z vláken dříve. Vzhledem k tomu, že jsme postupovali od nižších frekvencí po vyšší, to však nehraje významnou roli, jelikož se jednalo o méně signifikantní body na pravém kraji sledované křivky. Nastavování frekvence mělo značnou latenci a bylo složité nastavit frekvenci přesně, takže prokládané body nejsou pro obě vlákna na stejných frekvencích. Vzhledem k tomu, že se k výpočtu přenosové funkce používá polynomické proložení, to ale nevádí.

Při měření v časové oblasti jsme také úspěšně naměřili podobu přenosové funkce, byť pouze v rozsahu do jednotek kHz. Toto měření samo o sobě nám tedy dalo méně informací z pohledu proměřovaných frekvencí. Na druhou stranu se jedná o měření spojitě, takže za předpokladu, že je alespoň na nějakém úseku správné, velice dobře podporuje domněnku z předchozího měření, jelikož vylučuje na daném úseku vysoké výkyvy přenosové funkce mimo diskrétní body z prvního měření. Za předpokladu klidného vývoje funkce je však měření v časové doméně objektivně méně užitečné. Z výsledků v grafech na Obr. 2, 3, 4 a 5 je patrné, že nemá smysl brát vážně všechny hodnoty v grafech. Jak bylo zmíněno v zadání [1], měření má šanci odpovídat pouze do frekvence $f = 1/T$, kde T je doba trvání pulsu. Měření na Obr. 5 například nedává užitečnou informaci na frekvencích vyšších než 0,2 kHz, zatímco na Obr. 2 se za rozumné dají považovat hodnoty až do 15 kHz. Za potvrzenou tedy můžeme považovat úvahu, že měření v časové oblasti má větší smysl pro kratší pulsy, jelikož udává informace o vyšším počtu frekvencí.

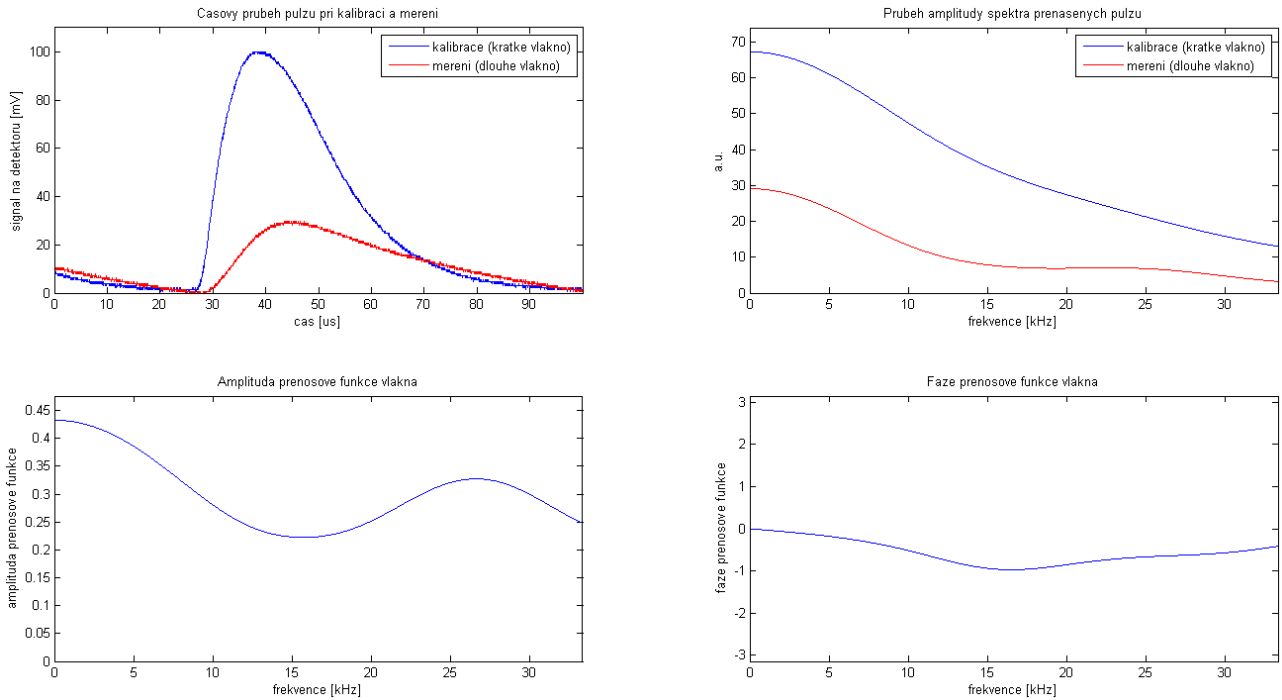
Nemáme navíc žádnou jistotu, že byl systém opravdu lineární a že použité kalibrační vlákno nemělo na šíření signálu žádný vliv, přičemž oba tyto předpoklady jsou základy pro naši metodu výpočtu. Dále je třeba uvést, že po měření v časové oblasti při délce pravoúhlého pulsu $40 \mu\text{s}$ jsme omylem hnuli s offsetem na generátoru pulsů, takže další tři měření v časové oblasti neodpovídají stejnému buzení. V některých vývojiích amplitudy přenosové funkce vlákna je křivka dokonce nad hodnotou 1. Toto pozorování přisuzujeme tomu, že se nám nepodařilo nastavit dostatečně dlouhé rozestupy mezi jednotlivými pulsy na osciloskopu a že do průběhu každého z pulsů zasahoval navíc ještě konec toho předchozího.

Nejpřesnějšího měření bychom byli pravděpodobně schopni dosáhnout v případě, že bychom automatizovali první měření tak, aby aparatura sama ladila postupně různé frekvence, což by nám umožnilo získat vyšší hustotu bodů než při manuálním nastavování. Z naměřených hodnot jsme také určili šířku přenosového pásma vlnovodu. Naše měření nám udávají velikosti dosahující maximálně jednotky $\text{MHz} \cdot \text{m}$, což řádově odpovídá našim představám. Vzhledem k rozptylu hodnot o řád ale měření musíme brát s rezervou.

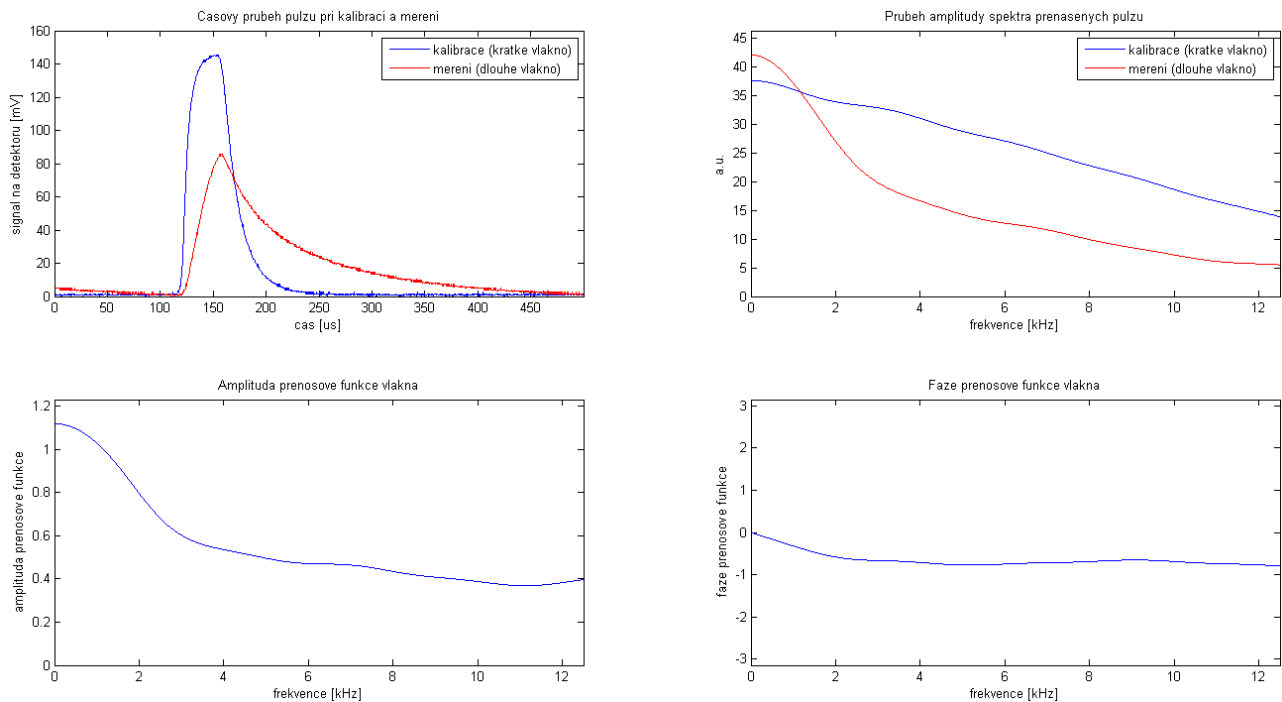
Reference

- [1] *Návod k úloze 7 - Disperze v optických vláknech* [online], [cit. 16. května 2015], http://optics.fjfi.cvut.cz/files/pdf/ZPOP_07.pdf

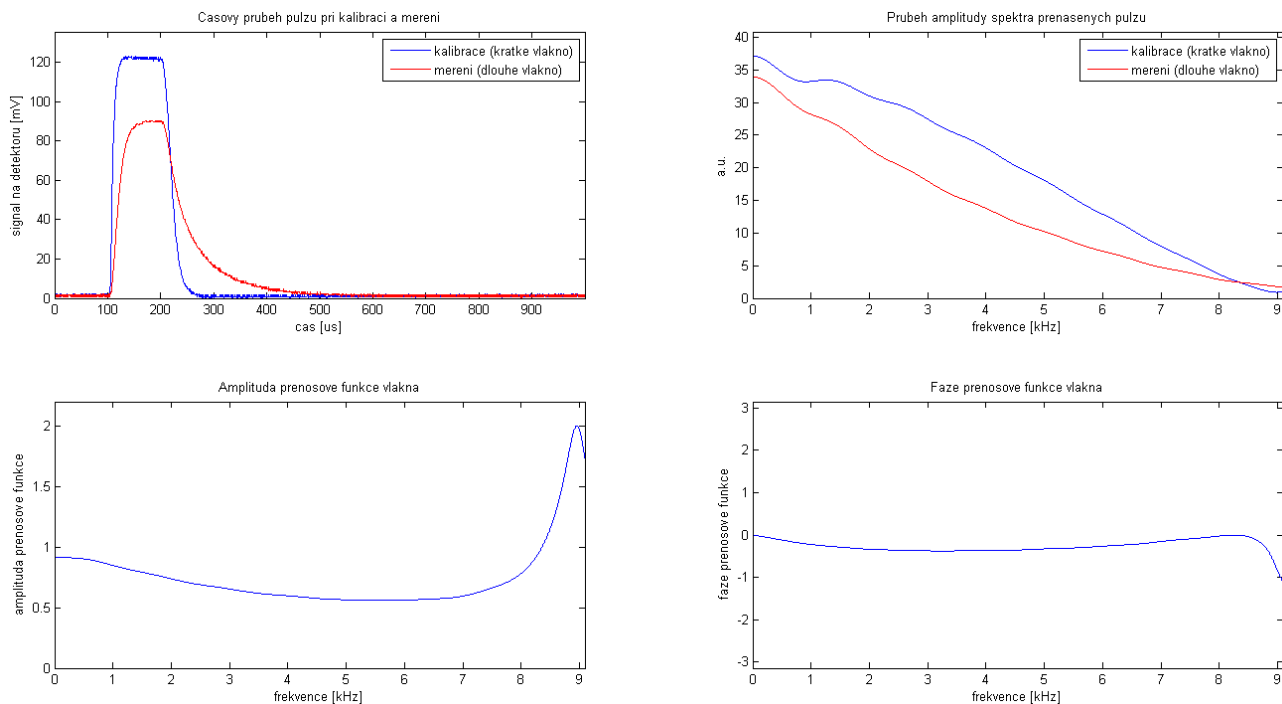
Grafy



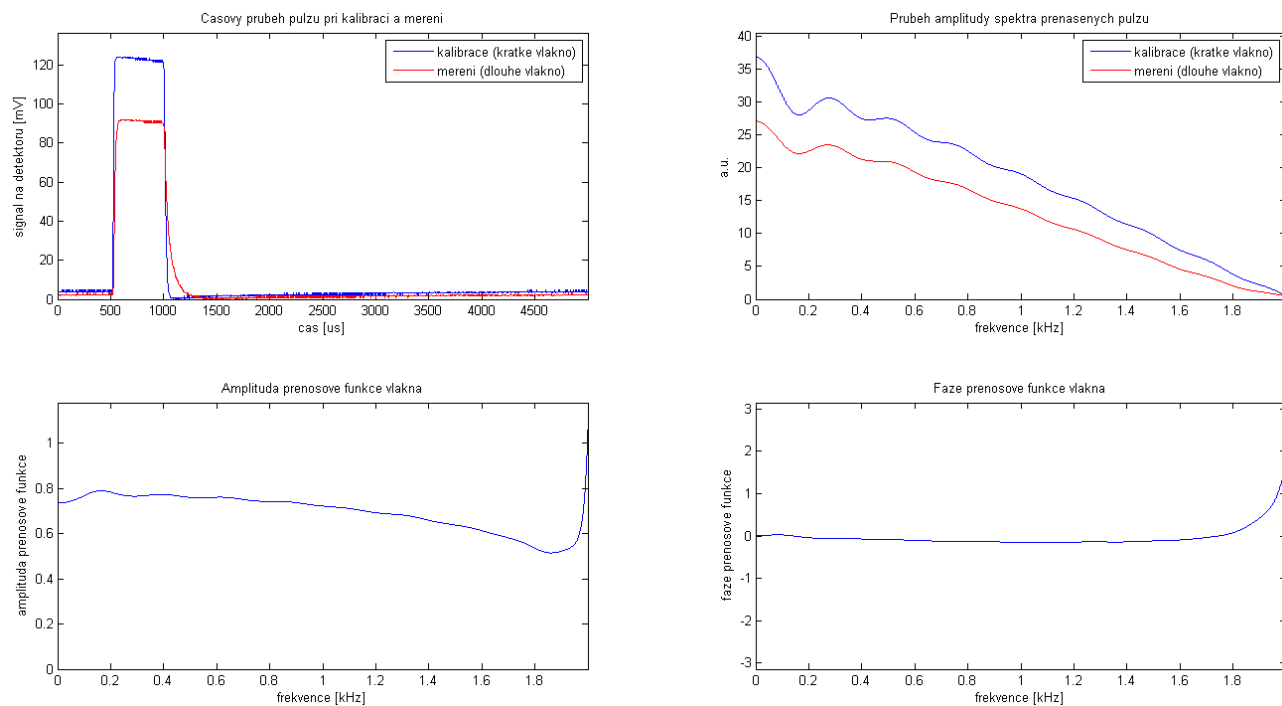
Obrázek 2: Naměřené hodnoty při měření přenosové funkce v časové oblasti při trvání pravoúhlého pulsu $\tau = 10 \mu s$, vlevo nahoře závislost napětí na čase, vpravo nahoře závislost amplitudy signálu na frekvenci, vlevo dole závislost amplitudy přenosové funkce na frekvenci, vpravo pak závislost fáze přenosové funkce na frekvenci. Šířka přenosového pásma vychází podle tohoto měření jako $B_2 = 1,1 \text{ MHz} \cdot \text{m}$.



Obrázek 3: Naměřené hodnoty při měření přenosové funkce v časové oblasti při trvání pravoúhlého pulsu $\tau = 40 \mu s$, vlevo nahoře závislost napětí na čase, vpravo nahoře závislost amplitudy signálu na frekvenci, vlevo dole závislost amplitudy přenosové funkce na frekvenci, vpravo pak závislost fáze přenosové funkce na frekvenci. Šířka přenosového pásma vychází podle tohoto měření jako $B_2 = 0,3 \text{ MHz} \cdot \text{m}$.



Obrázek 4: Naměřené hodnoty při měření přenosové funkce v časové oblasti při trvání pravoúhlého pulsu $\tau = 100 \mu s$, vlevo nahoře závislost napětí na čase, vpravo nahoře závislost amplitudy signálu na frekvenci, vlevo dole závislost amplitudy přenosové funkce na frekvenci, vpravo pak závislost fáze přenosové funkce na frekvenci.



Obrázek 5: Naměřené hodnoty při měření přenosové funkce v časové oblasti při trvání pravoúhlého pulsu $\tau = 500 \mu s$, vlevo nahoře závislost napětí na čase, vpravo nahoře závislost amplitudy signálu na frekvenci, vlevo dole závislost amplitudy přenosové funkce na frekvenci, vpravo pak závislost fáze přenosové funkce na frekvenci.