



**České vysoké učení technické v Praze
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská**

Dopplerův reflektometr na tokamaku COMPASS

Vojta Lejsek

Zimní škola fyziky plazmatu, Mariánská 2012



Cíle mé BP → VÚ → DP

- Vytvoření grafického prostředí zjednodušujícího statistické zpracování dat, primárně z reflektometrie
- Hromadné zpracování starších výstřelů z CASTORu
- Hledání GAMů – Geodesic Acoustic Mode
 - Projev tzv. Zonal flows – poloidálně i toroidálně rozsáhle fluktuace v tokamaku
 - Výsledky prezentovány v rámci VÚ (a samozřejmě obhajoby BP), do DP podrobnější doplnění



Cíle mé BP → VÚ → DP

- Reflektometrie na tokamaku COMPASS
 - Širokopásmový reflektometr (zdržení s dodáním z Portugalska)
 - Teorie a funkce
 - Dopplerův reflektometr
 - Rozdíly oproti běžnému reflektometru
 - První měření 23.12.



Pointa reflektometrie

- V rychlosti a bez vzoreček
- V plazmatu existuje nějaká mezní frekvence závisající především na hustotě
- Elektromagnetické vlny o frekvenci nižší než mezní plazmatem neprocházejí
- Řádná (O) a mimořádná (X) vlna
- Mimořádné vlny mají dvě mezní frekvence, navíc jiné než řádná vlna



Pointa reflektometrie

- Mezní frekvence stoupá s hustotou (která se zvyšuje do středu plazmatu)
- Vlna s danou frekvencí se v místě s příslušnou hustotou zcela odrazí
- Anténa zachytí odraženou vlnu, „odečte“ jí od vyslané
- Měření hustotního profilu a fluktuací
 - Porovnání fáze vyslané a odražené vlny
 - TOF vlny (méně často používané)



Mikrovlnný reflektometr

- Dobré prostorové i časové rozlišení
- Směr antény kolmo na plazma
- Převážně odraz 0. řádu
- Vhodné pro zjištění hustotního profilu včetně fluktuací hustoty
- Nevhodné pro zjištění vlastností daných fluktuací



Širokopásmový reflektometr

pro COMPASS

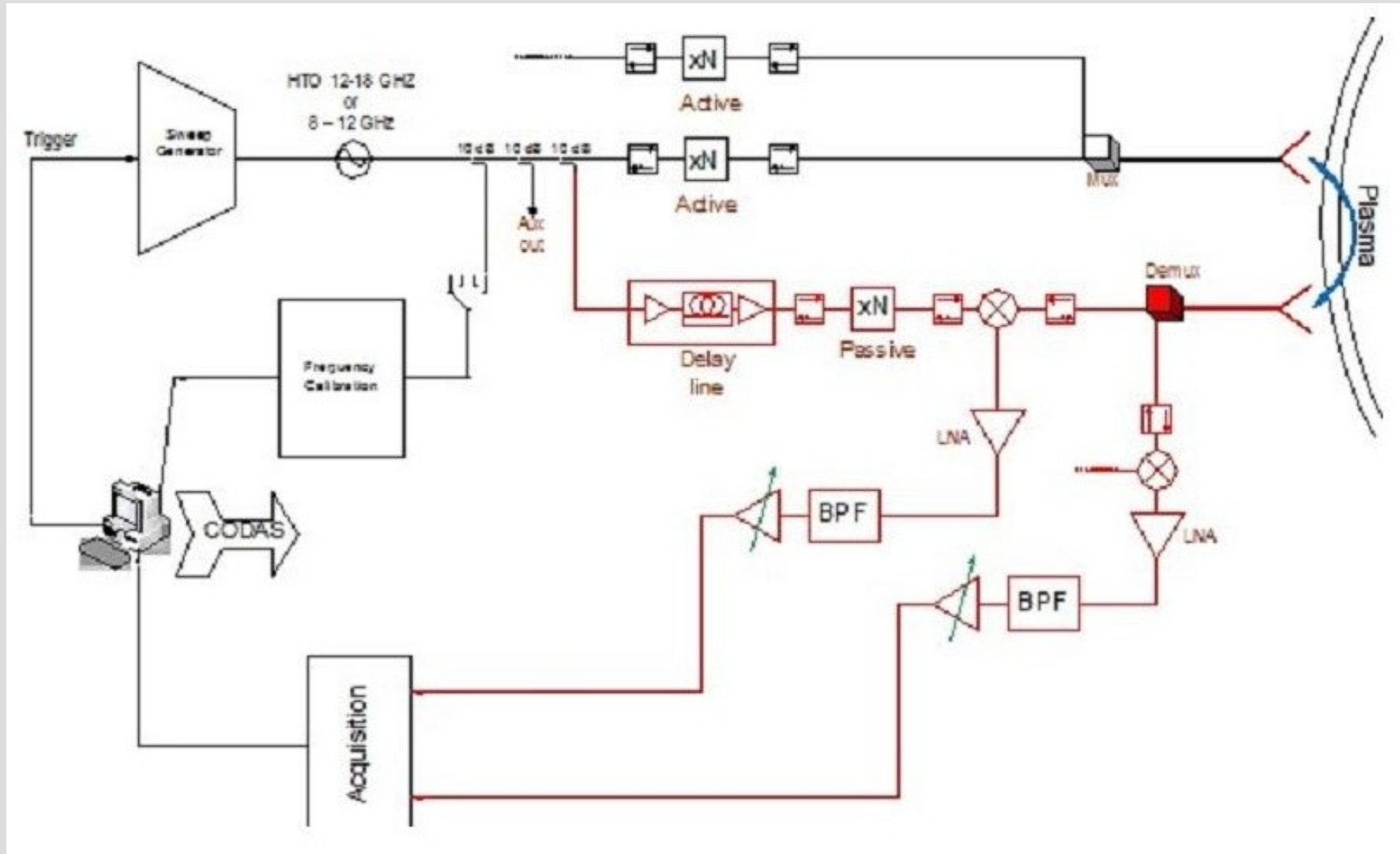
- Vyvíjen CFN/IST
- Na rozdíl od CASTORu plynulá změna frekvence
 - Řádná od 18 do 90 GHz ve čtyřech pásmech
 - Mimořádná 18 – 26,5 GHz
- Jen 1+1 anténa – nutný směšovač signálů

Zdržení při dodání, snad na jaře



Zapojení reflektometru

Schéma zapojení pro jedno pásmo reflektometru, lišit se budou jen použitým VCO



Zdroj: SILVA, A.; ZAJAC, J.; MANSO, M. *Design of reflectometry system for the Compass-D tokamak.*

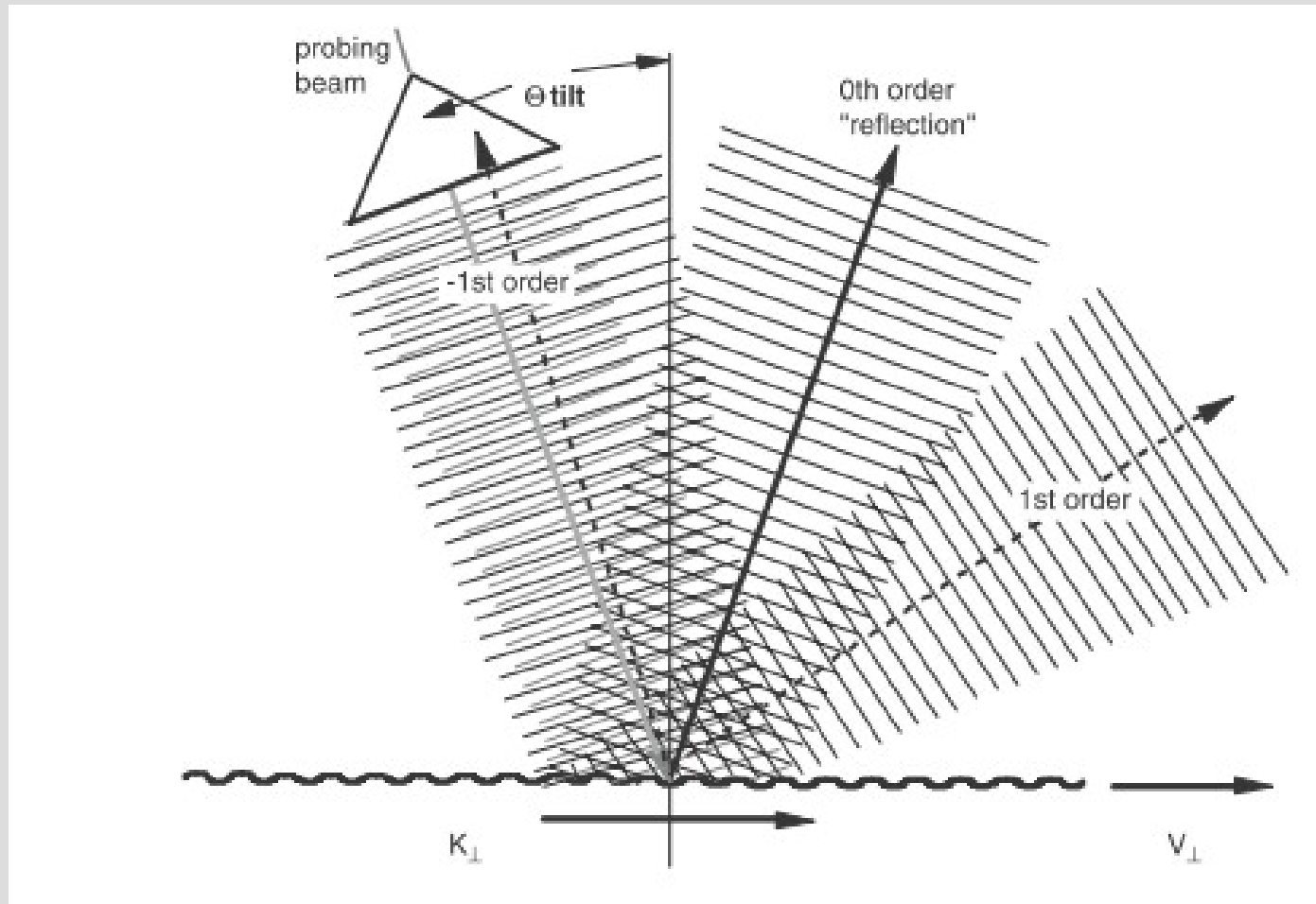


Dopplerův reflektometr

- Využívá se k měření rychlosti pohybu turbulencí
- Je umístěn s určitým sklonem k plazmatu, obvykle $15 - 20^\circ$
- Rozptyl vlny na plazmatu, potlačení odrazu 0. řádu
- Odraz (rozptyl) 1. řádu (anténa zachytí -1 řád)
- Pokud se místo lomu pohybuje, uplatní se Dopplerovo posunutí
- Možnost zjistit rychlost difuze



Schéma odrazu





Dopplerův reflektometr

na COMPASSu

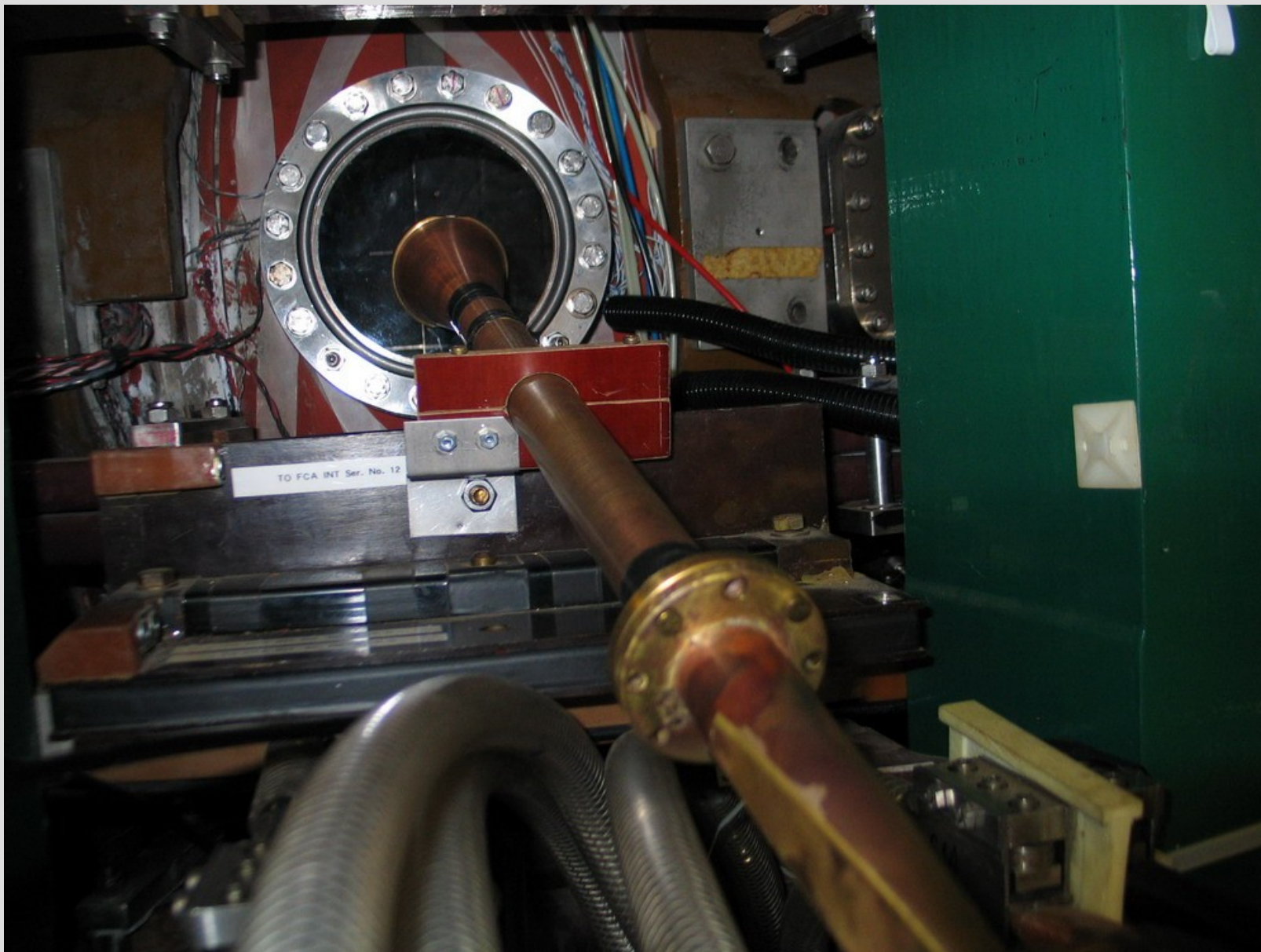
- Frekvenční rozsah 26,6 – 40 Ghz
- Během výstřelu nelze měnit frekvenci
- Sklon 18°
- Instalován na COMPASS krátce před vánoci
- Použit jen 22.-23.12. a od 10.1.
 - Nejsou zatím téměř žádná data
- Vzhledem k samplingu omezení na max. 1MHz
- Pouze obyčejný detektor signálu



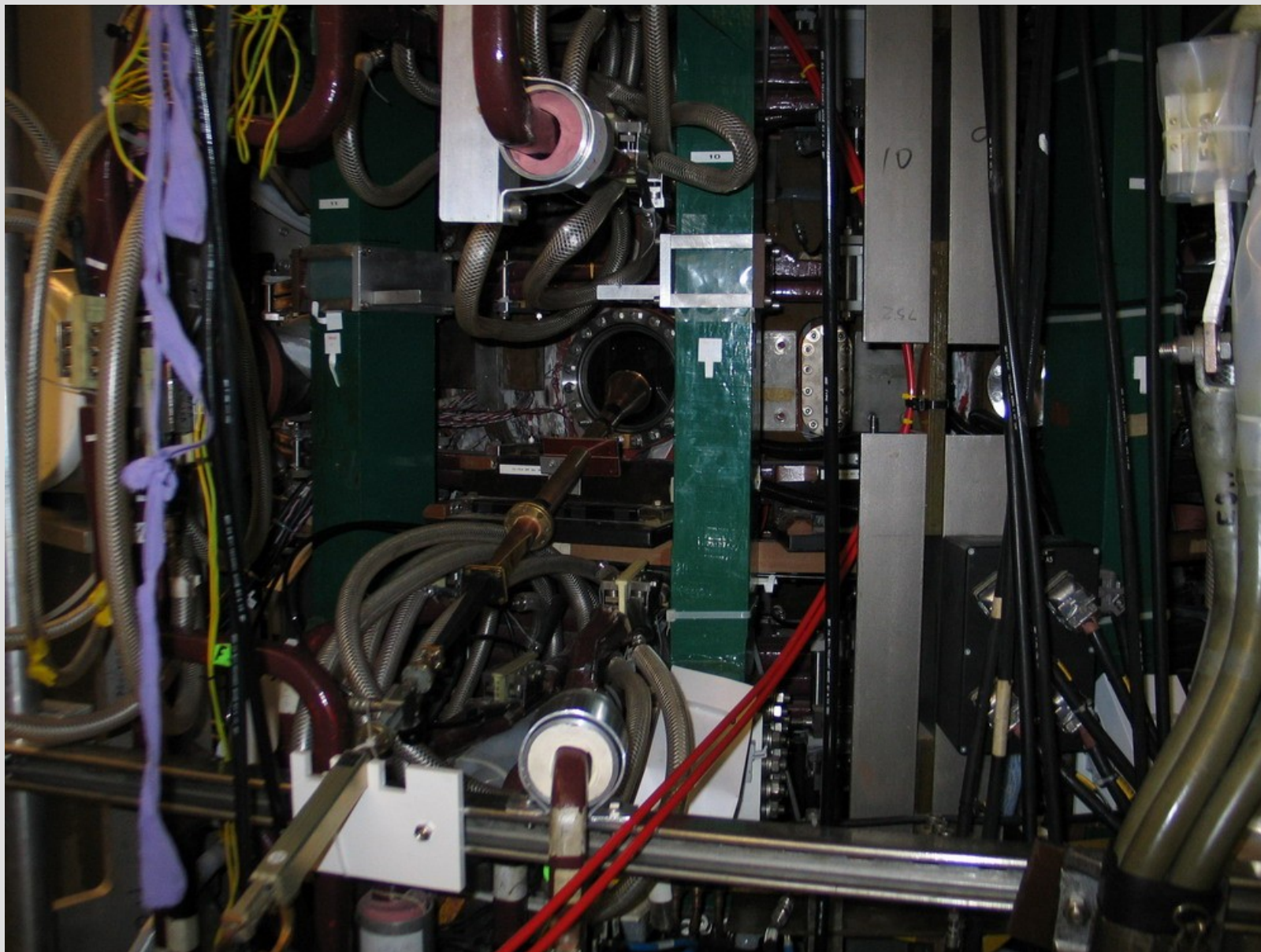
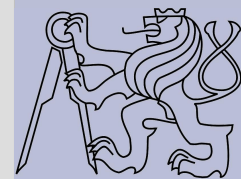
Zaznamenání/detektor

- Běžný
 - Zaznamenává fázi a amplitudu
 - Nemůže změřit směr posuvu
 - Neznáme směr pohybu turbulencí od/k anténě
- I&Q detektor (In-Phase & Quadrature)
 - Smíchá zachycený signál s vyslaným signálem ve fázi a posunutým o 90°
 - Komplexní signál
 - Umožní získat i směr turbulencí

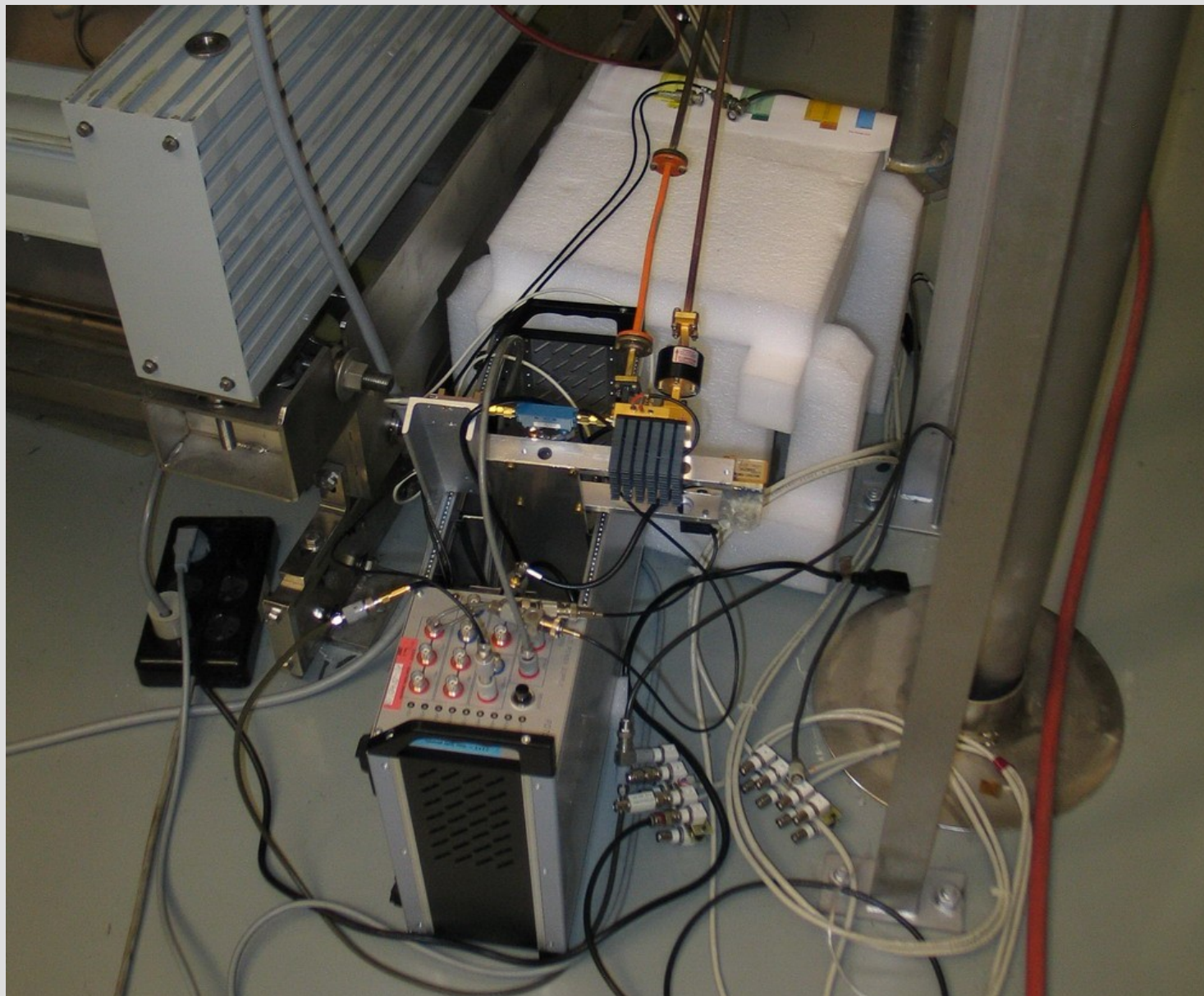
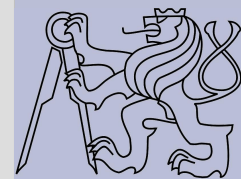
Dopplerův reflektometr na COMPASSu



Dopplerův reflektometr na COMPASSu



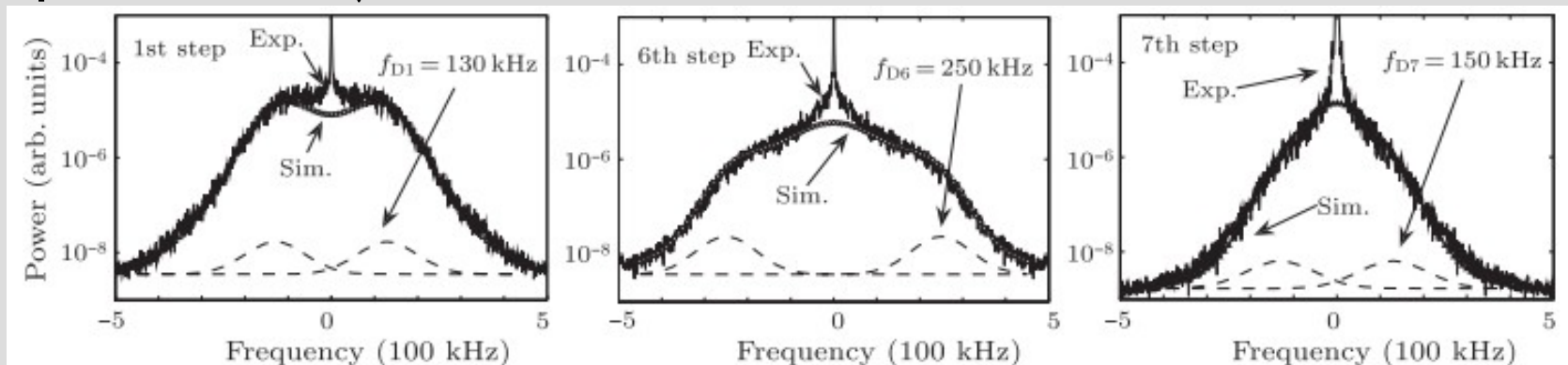
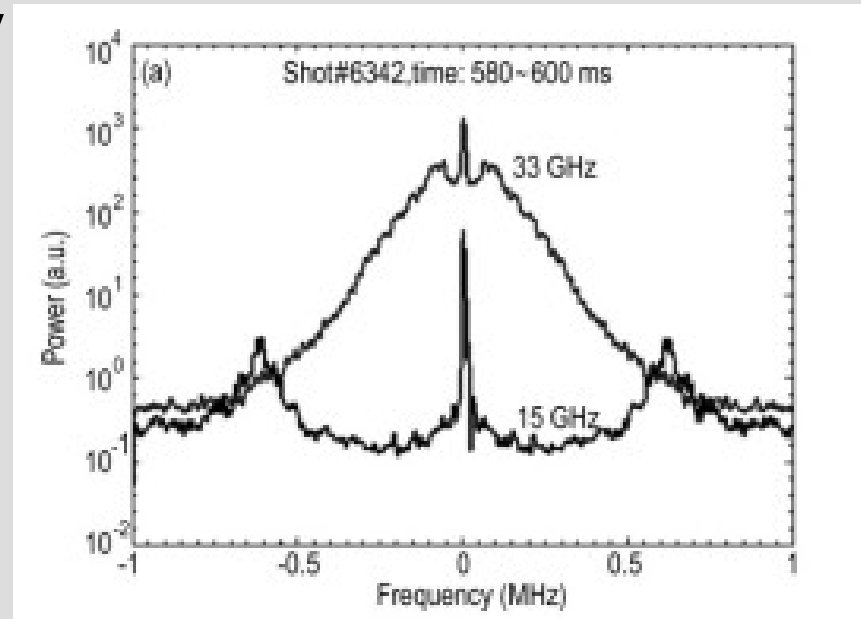
Dopplerův reflektometr na COMPASSu





Výsledky z HL-2A (Chengdu)

- Znatelný Dopplerův posuv na různých frekvencích →
- Různá rychlost pohybu turbulencí
- Ne vždy je vše tak přehledné ↓

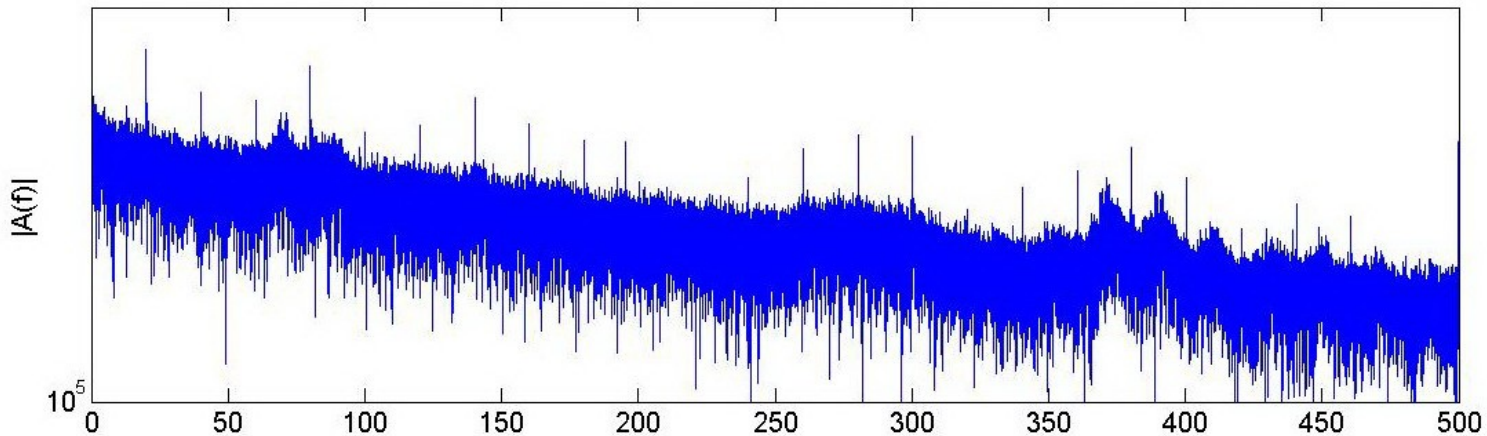




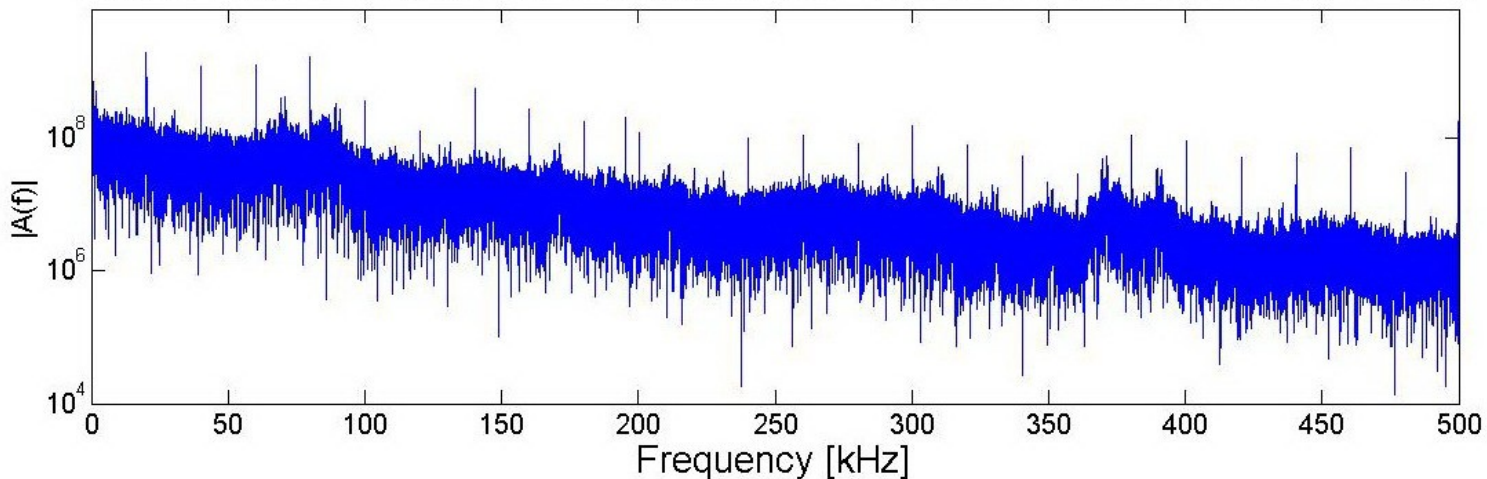
Data z COMPASSu

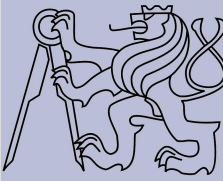
- 22.-23.12., 8 výstřelů s plazmatem

Fourier Amplitude Spectrum of Compass #2691, ATCA1, board:4, chan:17, 40 GHz



Fourier Amplitude Spectrum of Compass #2694, ATCA1, board:4, chan:17, 33 GHz





Děkuji za pozornost!

Vojta Lejsek