

Záznam z měření

Jiří Malinák

4. března 2021

1 Motivace

Před instalací sond nebylo možno provést přesné měření úhlu náklonu hlavice sondy vůči plazmatu. Plánovaná měření s rail sondou počítají s měřením náklonu hlavice v řádech desetin stupně. Při této přesnosti měření může hrát roli i zakřivení a pokroucení manipulátoru, který nemusí být umístěn přesně kolmo k tokamaku. Je potřeba nalézt nulový náklon hlavice sondy experimentálně, tedy úhel $\alpha = 0^\circ$.

Na všechny sondy bylo přivedeno napětí $U_p = -80\text{ V}$. Naměřené hodnoty proudů na rail a Langmuirově sondě byly považovány za iontový satureovaný proud I_{sat} . Tyto iontové satureované proudy byly měřeny v závislosti na neznámém úhlu náklonu sondy α , respektive na délce posunu mikromanipulátoru d . Hledáno bylo minimum měřeného I_{sat} ve kterém by se sonda měla vyskytovat v pozici $\alpha = 0^\circ$

2 Postup měření

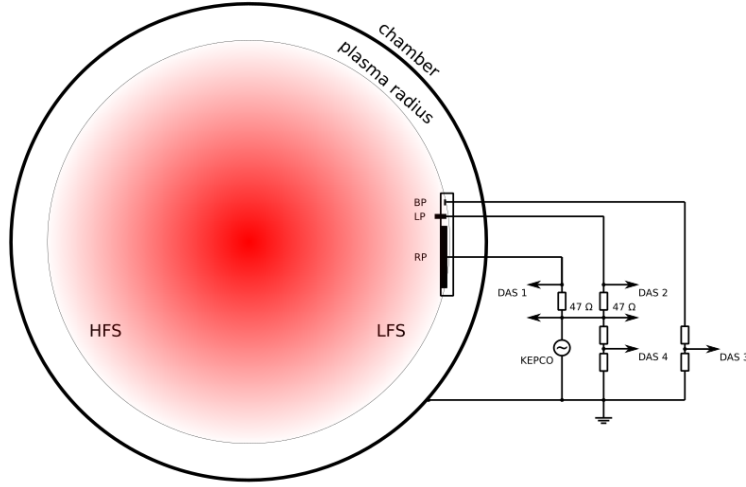
Na rail, Langmuirovu a ball-pen sondu bylo připojeno konstantní napětí $U = -80\text{ V}$. Každá ze tří sond byla pro jednoduchost zapojení vybavena vlastním zdrojem. Měření bylo provedeno přes odpor $47\ \Omega$ datovým sběrem Papouch (viz Obr. 1).

V přípravné fázi měření bylo provedeno 12 výbojů za účelem čištění povrchů sond. Jednalo se o výboje číslo 35946 až 35957. Všechny výboje byly provedeny s posunem mikromanipulátoru nastaveným na $d = 15\text{ mm}$ a na radiální poloze $R = 93\text{ mm}$, poslední tři výboje s radiální polohou $R = 85\text{ mm}$.

Měření hledání minima I_{sat} bylo provedeno ve výbojích 35958 až 35964 pro mikroposuv v rozmezí $10 - 19\text{ mm}$. Všechny výboje byly provedeny na radiální poloze $R = 85\text{ mm}$ s parametry $U_{Bt} = 1200\text{ V}$, $T_{Bt} = 0\ \mu\text{s}$, $U_{cd} = 450\text{ V}$, $T_{cd} = 2000\ \mu\text{s}$ a tlakem $p = 10\text{ mPa}$ vodíku.

3 Zpracování dat

Z naměřených signálů Langmuirovy a rail sondy byly vypočítány průměrné hodnoty přes interval $12,8\text{ ms} < t < 13,8\text{ ms}$. Tento interval byl zvolen s



Obr. 1: Schéma zapojení jednotlivých sond. Při tomto měření byla vytvořena jednodušší varianta tohoto zapojení.

ohledem k potřebě konstantního proudu plazmatem a co nejvyššího toroidálního magnetického pole. Tyto určené průměrné hodnoty z Langmuirovy a rail sondy byly označeny jako I_{sat}^{LP} a I_{sat}^{RP} . Dle teorie a i z experimentu je zřejmé, že hodnoty I_{sat}^{LP} se významně nemění v závislosti na posuvu d . Hodnoty I_{sat}^{RP} se naopak mění v závislosti na d a proto byly dle I_{sat}^{LP} normalizovány. Byla nalezena mezi I_{sat}^{LP} nejmenší hodnota a označena jako I_{min}^{LP} . Touto hodnotou I_{min}^{LP} byly normalizovány všechny hodnoty I_{sat}^{LP} z Langmuirovy sondy:

$$(I_{norm}^{LP})_i = \frac{(I_{sat}^{LP})_i}{I_{min}^{LP}}. \quad (1)$$

Touto normalizací jsme získali informaci, jak moc ovlivňují fluktuace naměřené I_{sat} . Následně byly normalizovány hodnoty I_{sat}^{RP} s pomocí I_{norm}^{LP} :

$$(I_{norm}^{RP})_i = \frac{(I_{sat}^{RP})_i}{(I_{norm}^{LP})_i}. \quad (2)$$

Určené hodnoty I_{sat}^{LP} a I_{norm}^{RP} v závislosti na mikroposuvu d byly vyneseny do grafu Obr. 2. Dle (1) by se hodnoty I_{norm}^{RP} měly pro vysoké hodnoty úhlů blížit k asymptotám. Z tohoto důvodu byly hodnoty I_{norm}^{RP} proloženy hyperbolou o předpisu:

$$y(x) = \sqrt{a^2 \left(1 + \frac{(x - m)^2}{b^2}\right)} + n. \quad (3)$$

Výsledné parametry fitu vychází jako $a = (2000 \pm 1000)$ mA, $b = (200 \pm 100)$ mm, $m = d_0 = (13,6 \pm 0,7)$ mm a $n = (2000 \pm 1000)$ mA. Pro převedení úhlu náklonu α na délku mikroposuvu d byla odvozena analyticky rovnice:

$$D(\alpha) = \sqrt{l_1^2 - (l_2 \cos(\alpha) - h)^2} + l_2 \sin(\alpha) \quad (4)$$

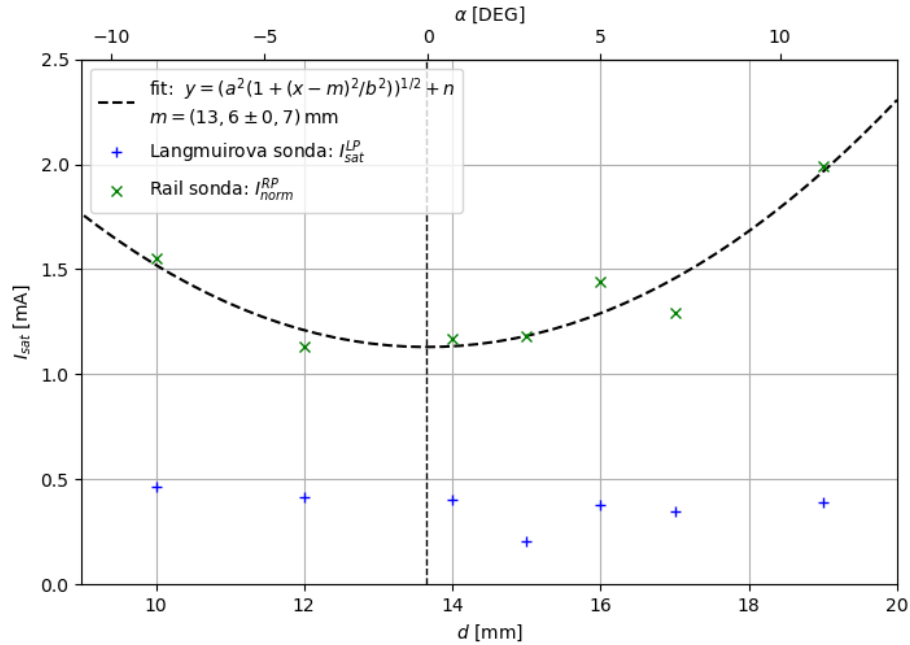
kde $l_1 = 33$ mm, $l_2 = 27$ mm a $h = 9,42$ mm jsou rozměry hlavice sondy. Inverzní vztah pro tuto rovnici byl nalezen aproximací kvadratickou rovnicí. Výsledný nalezený vztah pro převod posuvu mikromanipulátoru na úhel hlavice sondy byl určen jako:

$$\alpha(d) = -2,3 \cdot 10^{-2} d'^2 + 3,52 d' - 80,5, \quad (5)$$

kde pro d' platí:

$$d' = d - D(0^\circ) + d_0 = d + 14,27 \text{ mm}. \quad (6)$$

Výsledný přepočtení je rovněž uveden v grafu Obr. 2.



Obr. 2: Hodnoty I_{sat}^{LP} a I_{norm}^{RP} v závislosti na mikroposuvu d v milimetrech a v závislosti na úhlu α ve stupních. Hodnoty I_{norm}^{RP} jsou proloženy funkcí 3. Výsledné parametry fitu vychází jako $a = (2000 \pm 1000)$ mA, $b = (200 \pm 100)$ mm, $m = (13,6 \pm 0,7)$ mm a $n = (2000 \pm 1000)$ mA.

4 Diskuze

Nulová poloha mikroposuvu byla úspěšně nalezena jako $d_0 = (13,6 \pm 0,7)$ mm. Přesto se jedná o hodnotu nedostačující. Pro budoucí měření bude potřeba mít možnost určit náklon o alespoň jedné polovině stupně, což odpovídá přesnosti měření mikroposuvu v řádech jednotek milimetrů. Navíc tato hodnota byla určena nikoliv na základě voltampérové charakteristiky, ale z průměrné hodnoty proudu na sondě při konstantním napětí. Ostatní parametry fitu v grafu Obr. 2 jsou silně zatíženy chybou a nepředpokládá se, že by je bylo možno v budoucnu přesněji určit.

V přiloženém grafu Obr. 3 lze pozorovat signál Langmuirovy, rail a ball-pen sondy pro výboj číslo 35961 s mikroposuvem $d = 14$ mm, tedy pro úhel nejbližší nule: $\alpha = 0,7^\circ$.

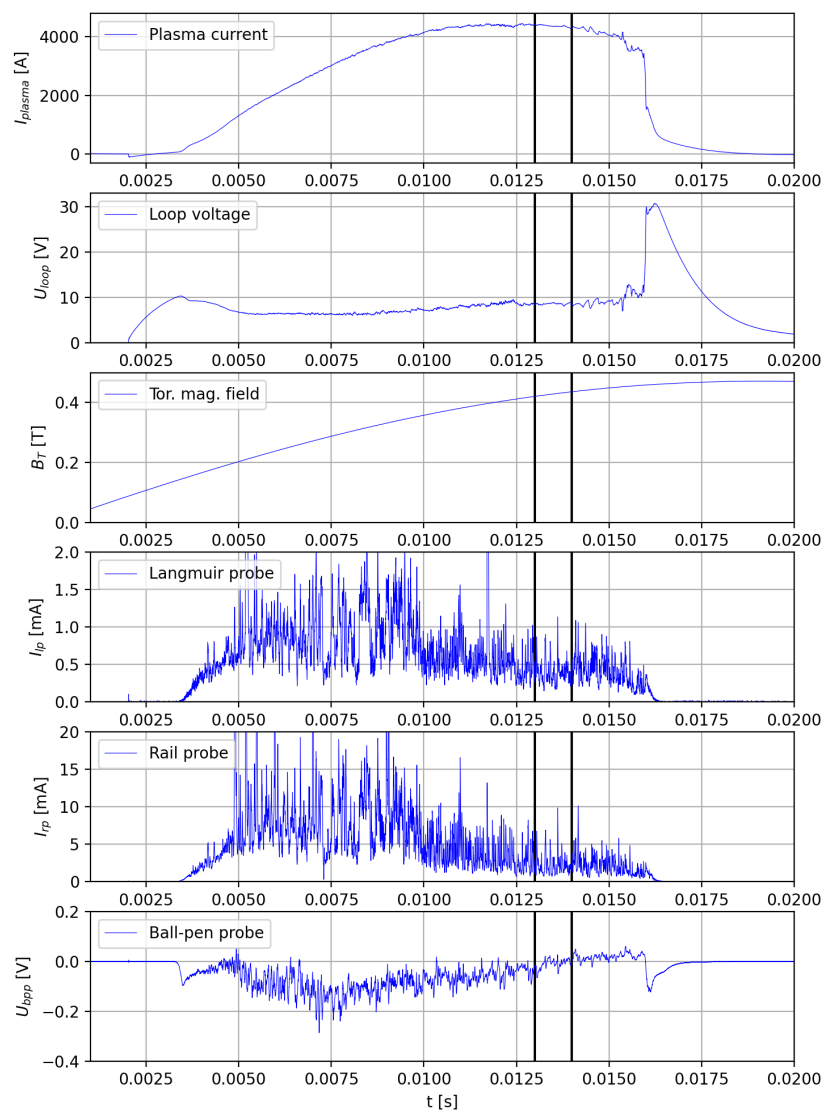
Dále se zdá, že fluctuation level rail sondy (viz Obr. 4) je větší, než Langmuirovy sondy. Ten byl například pro Langmuirovu sondu určen jako podíl rozptylu σ_{sat}^{LP} a velikosti I_{sat}^{LP} .

5 Závěr

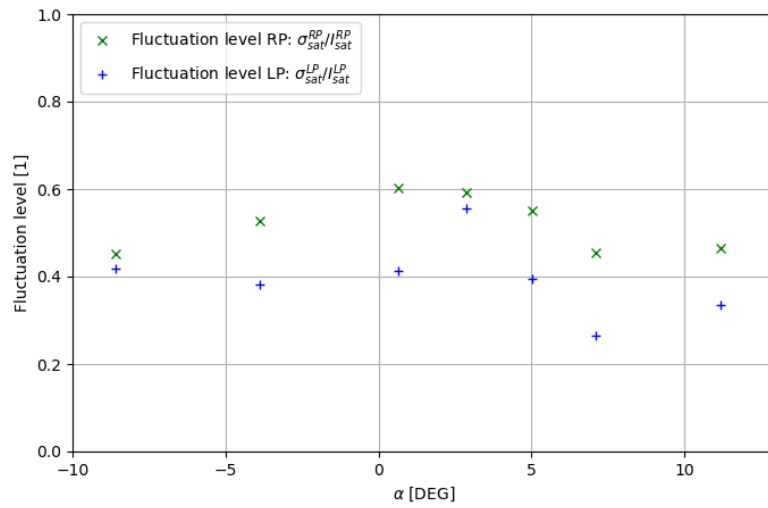
Byla určena vzdálenost mikroposuvu $d_0 = (13,6 \pm 0,7)$ mm pro kterou se hlavice rail sondy nachází v náklonu $\alpha = 0^\circ$.

Reference

- [1] G. F. Matthews et al 1990 Plasma Phys. Control. Fusion 32 1301



Obr. 3: Signál Langmuirovy, rail a ball-pen sondy pro výboj číslo 35961 pro úhel náklonu $\alpha = 0,7^\circ$.



Obr. 4: Fluctuation level Langmuirovy a rail sondy.