

Zjišťování vertikální polohy plazmatu pomocí Mirnovových cívek

Ondřej Dvořák, SPŠ Havířov,
Martin Matušů, Gymnázium a SOŠ Jeronýmova, Liberec,
Václav Potužák, Gymnázium Sokolov,
Denis Dudáš, Gymnázium Studentská,
Leoš Tejkl, GOB a SOŠ Telč,
Daniel Páral, GOB a SOŠ Telč

e-mail: ondra.dvo@seznam.cz

Abstrakt:

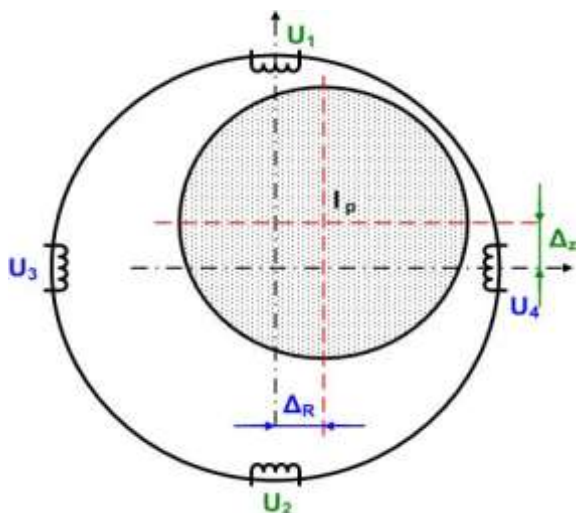
Pokoušeli jsme se zrekonstruovat vertikální polohu plazmatu při výboji v tokamaku. K rekonstrukci jsme použili metodu Mirnovových cívek. Výsledky z výbojů, které jsme provedli, nebyly příliš důvěryhodné z důvodu velkého „parazitního napětí“. Podařilo se nám však zrekonstruovat vertikální polohu plazmatu ze starých dat.

1. Úvod

Tokamak je zařízení sloužící k vytvoření a udržení plazmatu za pomoci magnetických polí. Cílem výzkumu těchto zařízení je zvládnutí termojaderné syntézy. Podrobný popis principu tokamaku lze nalézt zde: [1]

Jednou ze základních částí tokamaku je vakuová komora, ve které se při výboji tvoří plazma. Toto plazma je ohříváno elektrickým proudem, který jím prochází. V případě tokamaku Golem se jedná o proud o velikosti 4-5 kA. U velkých tokamaků se jedná řádově o MA. Plazma je drženo magnetickým polem ve středu komory, ale i přesto dochází k jeho pohybu ve vertikálním a horizontálním směru.

K zjištění polohy plazmatu se používají mimo jiné Mirnovovy cívky. Změnou magnetického pole plazmatu se na cívkách indukuje napětí, které následně měříme.



Obr. 1: Průřez komorou s čtyřmi Mirnovovými cívkami. Šedou částí je vyznačeno plazma. Δz označuje vertikální výchylku plazmatu od středu nádoby.

Připomeňme, že pokud se magnetické pole v místě cívek nemění, napětí se na cívkách neindukuje, což v našem případě znamená, že je plazma v klidu a jeho proud je konstantní. Sečtením naindukovaných napětí měřených s $f=100\text{kHz}$, dostaneme signál, který je uměrný magnetickému poli v místě cívky. Magnetická indukce v místě cívek

$$B_{1,2} = \frac{\mu_0 I_p}{2\pi(r \mp \Delta_z)}$$

kde μ_0 je permitivita vakua, I_p je elektrický proud plazmatem, r je poloměr průřezu komory a Δ_z výchylka středu plazmatu ve vertikálním směru. Z toho

$$U_{1,2} = k \frac{\mu_0 I_p}{2\pi(r \mp \Delta_z)}$$

kde k je konstanta, jež charakterizuje vlastnosti cívky. Z poměrů napětí horní a dolní cívky, za pomoci triviálních úprav, zjistíme vertikální výchylku plazmatu od středu nádoby

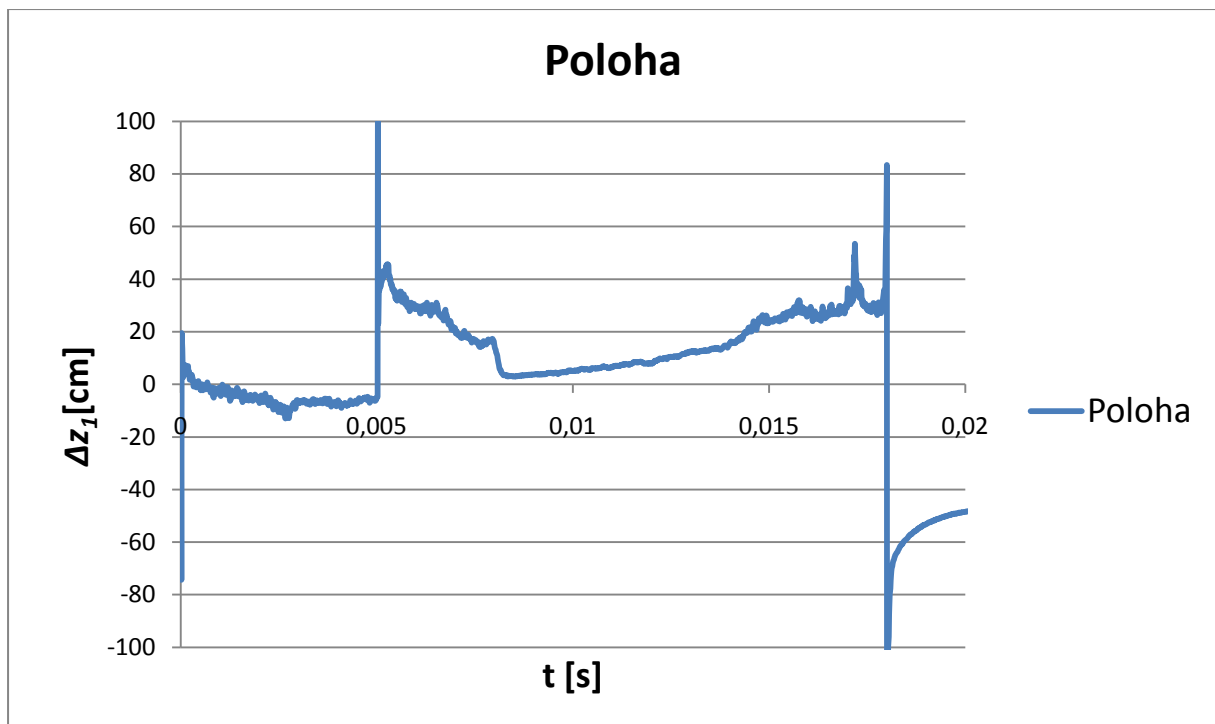
$$\Delta_z = \frac{r(U_1 - U_2)}{U_1 + U_2}$$

kde U_1 je integrované napětí na horní cívce a U_2 je integrované napětí na dolní cívce.

Na cívkách se bohužel také objevuje napěťový signál, který nemá nic společného s napětím generovaným plazmatem a tudíž je třeba toto napětí odečíst od naměřených hodnot indukovaného napětí na cívkách. To lze udělat dvěma způsoby. První způsob se týká případu, kdy je toto „parazitní“ napětí konstantní. V takovém případě lze toto napětí změřit ještě před zahájením výboje a od všech naměřených hodnot ho odečíst. Nevýhoda je v tom, že „parazitní“ napětí nemusí být konstantní. Druhý způsob spočívá v tom, že změříme „parazitní“ napětí při vakuovém výstřelu a odečteme ho od všech naměřených hodnot při výstřelu s plazmatem.

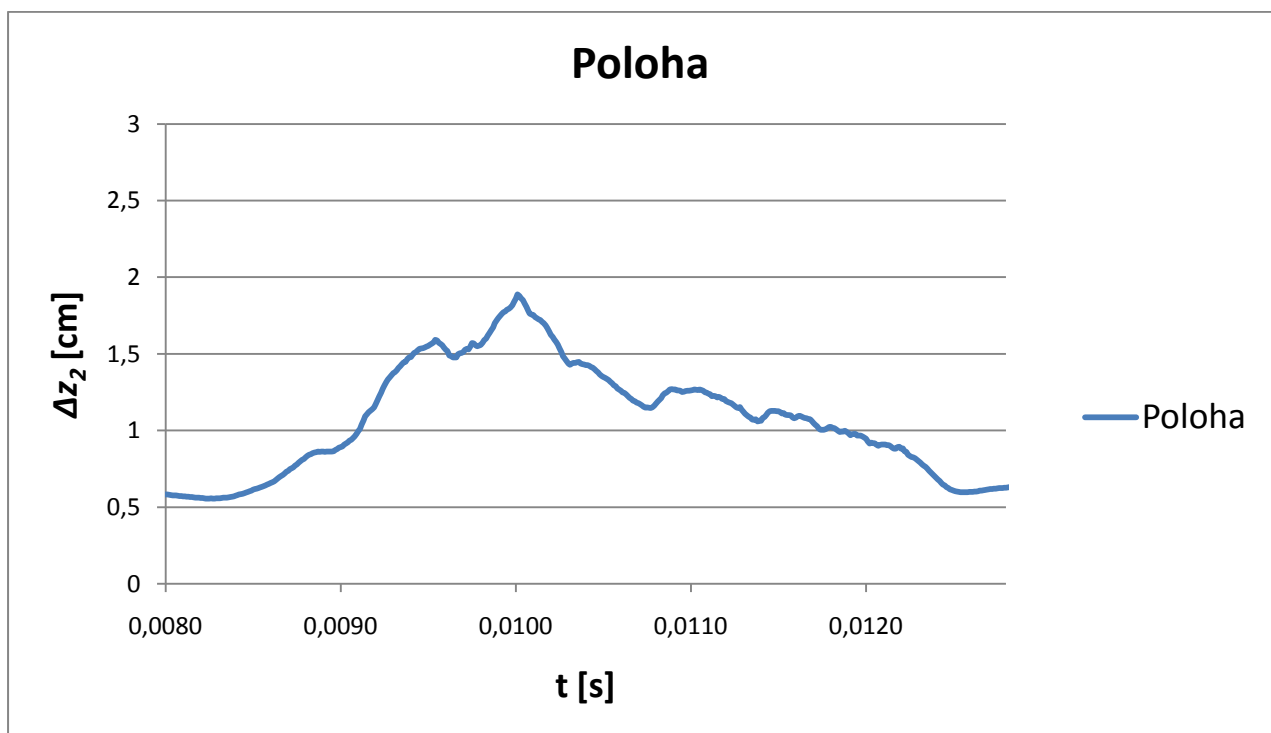
2. Výsledky

Při zpracování našich výsledků jsme v prvním případě narazili na výrazné odchylky vertikální polohy plazmatu, které byly technicky vyloučené, jelikož nebyla splněna podmínka $r > \Delta z$, *tzn.* že plazma by se pohybovalo mimo komoru. Tento problém byl způsoben nekonstantností „parazitního“ napětí, při jednotlivých výstřelech.



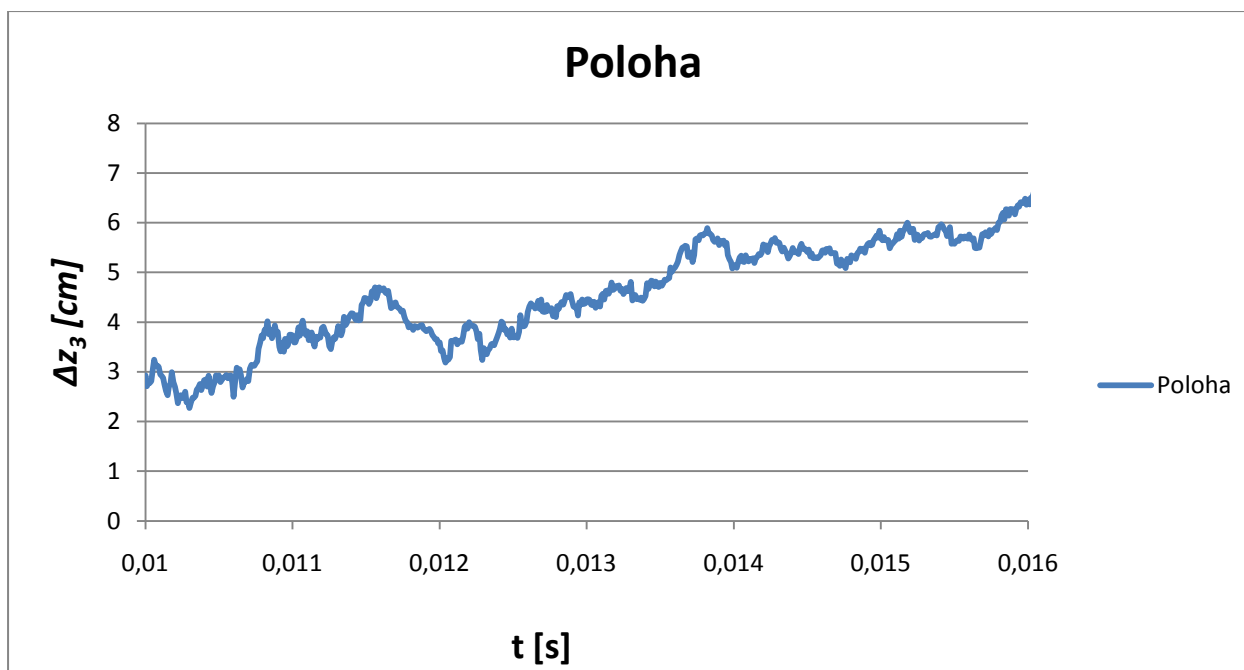
Obr. 2: Graf závislosti odchyvky na čase při prvním měření.

V druhém případě jsme použili starší výsledky z výstřelu č. 2683 z 19.5.2010, kde bylo „parazitní“ napětí konstantní a tudíž bylo odečitatelné. Byla splněna podmínka $r > \Delta z_2$.



Obr. 3: Graf závislosti odchyvky na čase při druhém měření.

V posledním případě našich měření jsme pracovali s vlastními daty. I přes to, že je splněna podmínka $r > \Delta z_3$, je výchylka příliš vysoká.



Obr. 3: Graf závislosti odchylky na čase při třetím měření.

3. Závěr

Z výsledků našich výstřelů jsme usoudili, že měření polohy plazmatu pomocí Mirnovových cívek je nepřesné zejména kvůli výskytu nestabilního „parazitního“ napětí. Nicméně pomocí starých dat se nám podařilo zrekonstruovat vertikální polohu plazmatu. Pokud v budoucnosti dokážeme rychle automaticky zpracovat data a určit polohu, bylo by možné reagovat na výchylky plazmatu v reálném čase – na tomto principu funguje zpětnovazební systém.

4. Poděkování

Chtěli bychom poděkovat panu Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za umožnění přístupu k tokamaku Golem a dále také panu Ing. Ondřeji Kudláčkovi za ochotný přístup a pomoc při vypracovávání miniprojektu.

5. Reference

[1] http://cs.wikipedia.org/wiki/Tokamak#Princip_tokamaku

Citováno dne 21. 6. 2011.