

Základní diagnostiky plazmatu na tokamaku GOLEM

F. Dostál, O. Michálek, P. Zavoral

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze

ota.michalek@gmail.com, fandadostal@seznam.cz, patrik.zavoral@gmail.com

Abstrakt

Práce se zabývá měřením hodnot základních parametrů (napětí na závit, magnetická indukce toroidálního pole, celkový proud, intenzita vyzařování plazmatu) na tokamaku GOLEM. Dále jsme z naměřených hodnot vypočítali elektronovou teplotu a dobu udržení energie, kterou jsme pak vynesli do závislosti na magnetické indukci a zjistili jejich vzájemnou korelaci.

1. Úvod

Tokamaky představují jednu z možností dosažení termonukleární fúze v pozemských podmínkách. Současně se usiluje o dosažení co nejdelší doby udržení energie za co nejvyšší teploty a hustoty. V tomto příspěvku se zabýváme měřením základních charakteristik výboje plazmatu v tokamaku. Právě to je poté základem pro další optimalizaci a smýšlení o dalším postupu.

2. Měření

Pro měření byl použit univerzitní tokamak GOLEM. Na něm jsme měřili čtyři charakteristiky výboje: napětí na závit, toroidální magnetické pole, celkový proud a signál z fotodiody. K poslání příkazu na výboj s nastavenými parametry jsme využívali předem připravené rozhraní dostupné přes prohlížeč.

Ad “napětí na závit”: Měření jsme prováděli pomocí měděného drátu vinutého paralelně s toroidální komorou tokamaku. V důsledku magnetické indukce se ve vodiči indukují napětí U .

Ad “magnetické pole”: Zjištěno proudem indukovaným v cívce umístěné v toroidálním směru, dále již B_T .

Ad “celkový proud”: Měřeno pomocí Rogowského pásku. Tj. cívka obepínající komoru v poloidálním směru, v níž změna magnetické indukce v čase indukuje proud.

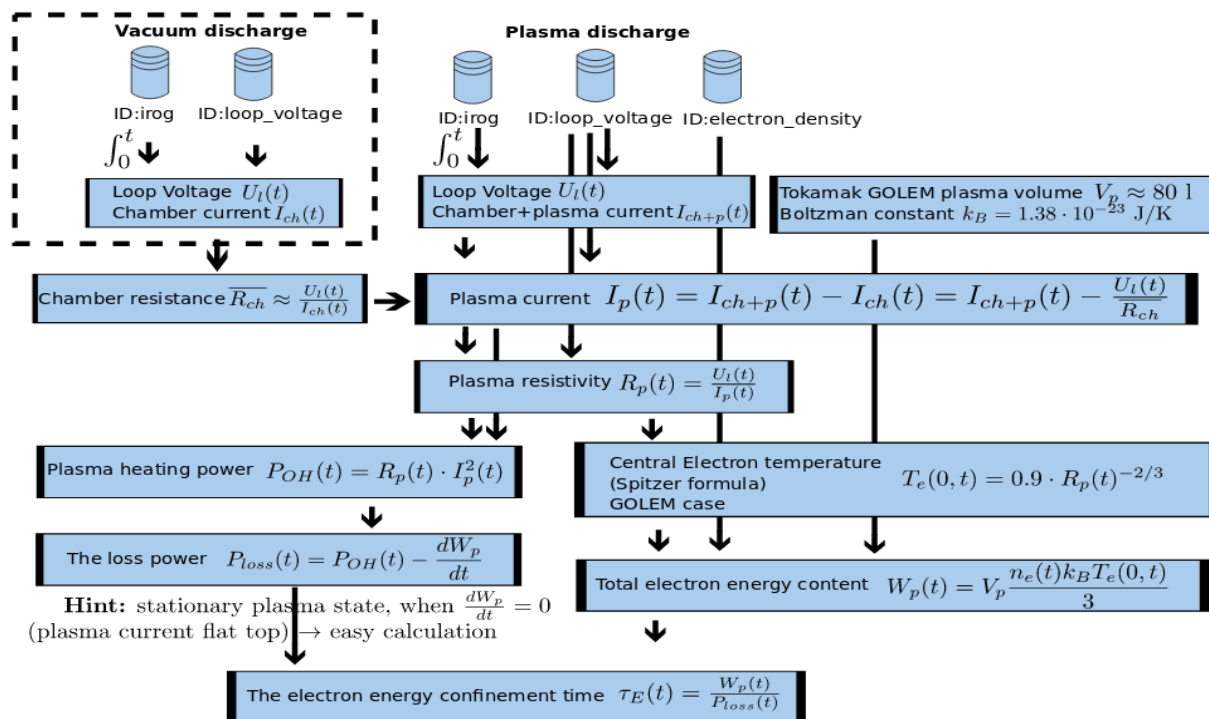
Ad “intenzita záření v tokamaku”: K měření jsme použili fotodiodu, kterou jsme namířili dovnitř tokamaku přes tlusté sklo.

Jedno z provedených měření bylo kalibrační. Tím jsme zjistili proud komorou, který jsme dále použili pro výpočet proudu plazmatem I_p z celkového proudu.

3. Zpracování dat

Všechny signály jsme zaznamenali pomocí osciloskopu, z něhož jsme dále čerpali data přes ethernet do počítače. V osciloskopu jsme pomocí jeho matematického toolkitu zintegrovali naměřený signál z cívky toroidálního pole a Rogowského cívky, abychom získali proud tekoucí těmito cívkami.

Pro manipulaci s daty jsme vytvořili program v jazyce Python3, využívající další knihovny, např. NumPy nebo Matplotlib. Ten cyklicky volá funkce pro výpočet doby udržení energie pro různé výboje. Z výsledků jsme vytvořili závislost doby udržení energie na maximální magnetické indukci pole v daném výboji.



Obr. 1: Schéma užitě pro výpočty. [1]

4. Výsledky

V **Grafu 1** jsme zobrazili několik naměřených charakteristik:

t ...čas měření,

U_{loop} ...napětí na závit,

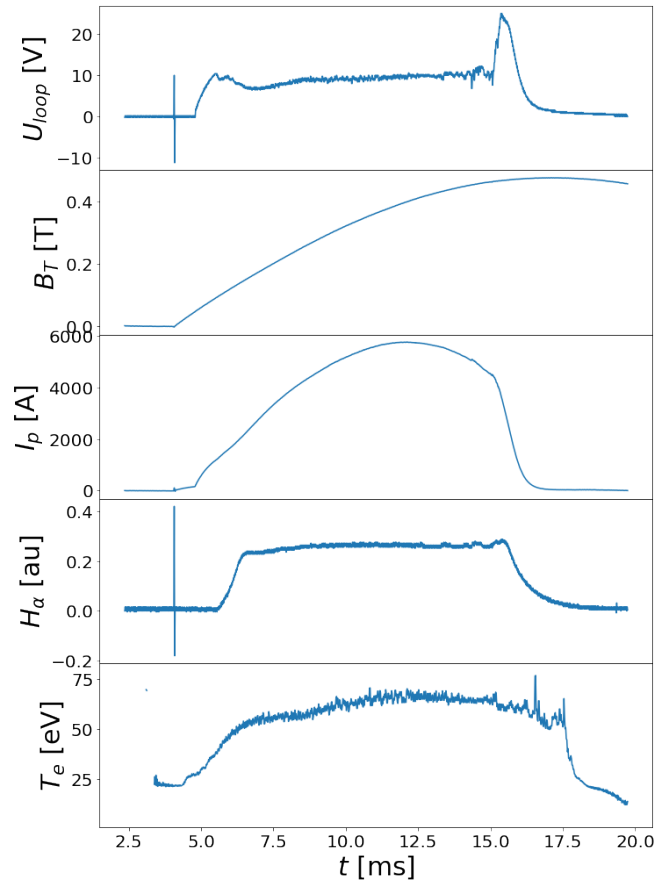
B_T ...magnetická indukce toroidálního pole,

I_p ...proud plazmatem,

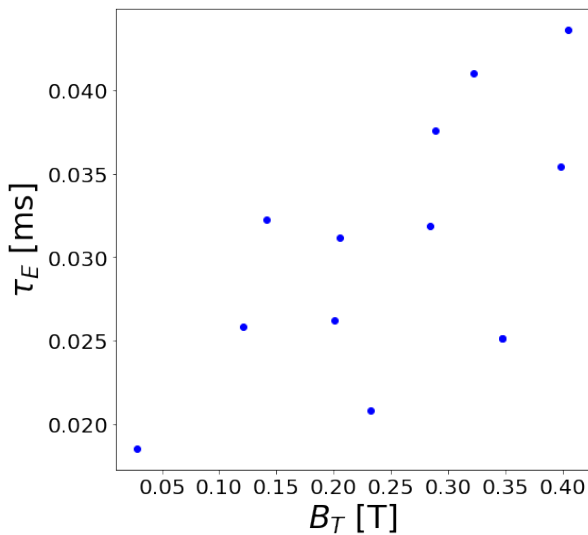
H_α ...signál z fotodiody,

T_e ...elektronová teplota.

Při výstřelu dosahuje napětí na závit hodnoty 10 V, ale velmi vysokých proudů, až 6 kA, což je způsobeno velmi vysokou vodivostí plazmatu.



Graf 1: Zjištěné charakteristiky výstřelu č. 27543.



Graf 2: Závislost času udržení na max. indukci toroidálního pole.

V **Grafu 2** jednotlivé body představují dobu udržení energie τ_E v závislosti na maximální magnetické indukci toroidálního pole B_T pro výstřely s různými parametry.

5. Diskuze

Prvotní peaky v Grafu 1 lze odůvodnit otevřením tyristoru. Tím dojde k rychlé změně potenciálových hladin a k následnému, téměř okamžitému, ustálení na původních hodnotách.

Při výboji jsme dosáhli teploty téměř 75 eV, která odpovídá přibližně 750 000 °C. Z takové teploty ale můžeme získat pouze energii pohybující se řádově kolem 1 J. To je způsobeno obecně nízkou hustotou plazmatu, která je řádově 10^{18} částic na 1 m^3 .

V Grafu 2 vidíme kladnou závislost mezi dobou udržení energie a torodiálním magnetickým polem. Za velkou část rozptylu je zodpovědná variace dalších parametrů výboje: napětí na kondenzátoru, jež napájí proud plazmatem, a tlak pracovního plynu. Můžeme tedy usoudit, že doba udržení energie roste s magnetickou indukcí toroidálního pole. Toto je základem udržení plazmatu v tokamacích s vysokým magnetickým polem.

6. Shrnutí

Zabývali jsme se měřením charakteristik plazmatu na univerzitním tokamaku GOLEM. Podobná činnost by v budoucnu mohla vést k optimalizaci tokamaků a jejich následnému využití v energetickém průmyslu.

7. Poděkování

Děkujeme Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze a celému týmu Týdne vědy na Jaderce za umožnění a připravení tohoto projektu. Zároveň děkujeme našim školitelům, již nám při projektu pomáhali.

8. Reference

- [1] FJFI ČVUT, Vysokoteplotní plazma na tokamaku GOLEM
<http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/TrainingCourses/Kfpract/15/Basics/uloha13A.pdf>, citováno 19. 6. 2018