

Základní úloha na Tokamaku Golem

Sára Rosecká, Richard Šulc, Matěj Ivánek, Martin Sochor

30. 4. 2018

1 Pracovní úkoly

- Seznámit se s tokamakem GOLEM a jeho webovým rozhraním
- Osadit tokamak diagnostickými prostředky
- Vytvořit samostatné el. pole (výboj bez plynu)
- Vytvořit komplexní zadání pro výboj
- Odhadnout ohmický odpor komory
- Znázornit časový průběh proudu a vývoj teploty

2 Teorie

2.1 Plazma a jeho ohřev

- Plazma je soubor částic s volnými nosiči nábojů, který je globálně neutrální a vykazuje kolektivní chování
- elektricky vodivé, reaguje na magnetické pole, samo může generovat elektrické a magnetické pole, probíhají v něm složité elektro- a magnetodynamické procesy (elektro- a magnetodynamickými procesy se rozumí, že jednotlivé části plazmatu spolu v tokamaku interagují prostřednictvím dalekodosahových magnetických a elektrických polí, tudíž na každou částici najednou působí velké množství jiných částic na vzdálenosti řádově až metrů)
- nejrozšířenější forma látky, až 99% pozorované atomární hmoty vesmíru
- médium pro termojaderné reakce
- kolektivní chování poukazuje na reakci plazmatu na přítomnost elektromagnetických polí jako celek

2.2 Lawsonovo kritérium

Požadavek kladený na teplotu plazmatu T , hustotu iontů v plazmatu n a dobu udržení plazmatu τ , který zabezpečuje, aby při termonukleární fúzi v plazmatu vzniklo větší množství energie než je potřebné k ohřevu a náhradě ztrát zářením. zabránit dotyku horkého plazmatu a stěny komory magnetickým udržením (viz níže) sloučení jader dostat jádra na vzdálenost menší než

urychlovačem nebo zahřátím na zápalnou teplotu

2.3 Magnetické udržení

Překonáním problémů s udržením přijde na řadu řešení problémů technologického charakteru. 1. Materiály stěn 2. Tritium: Rozpadá se beta rozpadem s poločasem 12.3 let. Na Zemi se prakticky nevyskytuje, je možné ho vytvořit neutronovou aktivací :



Druhá reakce je důležitá, protože se při ní produkuje další neutron, který může dále reagovat. Je tak v principu možné využít neutrony vznikající při DT reakci pro tvorbu dostatečného množství tritia. 3. Magnety: Objem prostoru, ve kterém je požadováno vysoké magnetické pole je z ekonomického hlediska nejvýznamější faktor limitující velikost fúzních zařízení.

2.4 Výpočet parametrů

Maximální teplotu jsme zjistili ze vztahu:

$$T_e = \left(\frac{I}{U} \right)^{1/3} \quad (3)$$

Průměrnou hustotu \bar{n} jsme zjistili ze vztahu:

$$\bar{n} = \frac{2p}{k_b T_p}, \quad (4)$$

kde p je tlak plynu v komoře, $k_b = 8.61 \cdot 10^{-5} [JK^{-1}]$ je Boltzmannova konstanta, $T_p = 24,4^\circ C$ je pokojová teplota. Celkovou tepelnou energii plazmatu W_{TH} jsme zjistili ze vztahu:

$$W_{TH} = \frac{1}{3} n \cdot k_B \cdot T_E^{MAX} V_{tor}, \quad (5)$$

kde T_e je maximální elektronová teplota, V_{tor} je objem toroidu, jehož hodnotu dostáváme ze vztahu:

$$V_{tor} = 2\pi^2 Rr, \quad (6)$$

kde R je vzdálenost od středu trubice ke středu toroidu, r je poloměr trubice.

Odpor plazmatu jsme spočítali podle:

$$R_P = \frac{U}{0.7 I_P}, \quad (7)$$

kde I_P je el. proud plazmatem. (spíš v plazmatu?)

Ohmický příkon spočítáme ze vztahu:

$$P_{OH} = \frac{R_p}{I_p^2} \quad (8)$$

P_{loss} se v tomto případě rovná P_{OH} Doba udržení plazmatu τ_e

$$\tau_e = \frac{W_{TH}}{P_{loss}} \quad (9)$$

3 Pomůcky

Tokamak GOLEM, Rogowského pásek, cívečka, závit vodiče ve výbojové trubici, fotodioda s H-alfa filtrem.

4 Tokamak Golem

Fúzní reaktor na FJFI ČVUT TM-1, TM-1-MH a CASTOR Nejstarší a nejmenší reaktor svého typu na světě do května 1976 v Ústavu atomové energie I. V. Kurčatova v Moskvě od září 1977 v provozu na AV v Praze

5 Pracovní postup

Před spuštěním reakce (vypuštěním plynu) jsme obsadili tokamak příslušnými pomůckami. Rogowského pásek jsme upevnili na tělo Tokamaku a spojili lepicí páskou. Cívečku jsme připevnili k tělu tokamaku tak, aby směr proudu plazmatem mířil do vnitřku cívečky. Napětí na závit jsme měřili pomocí jednoho závitu vodiče který jsme umístili soustředně s komorou tokamaku.

Po osazení tokamaku jsme všechny měřící přístroje připojili k osciloskopu a při prvním výboji nastavili rozlišení. Zajímá nás vliv změny tlaku pracovního plynu v komoře na ostatní námi měřené parametry. Hodnoty tlaku jsme měnili v internetovém rozhraní.

6 Výsledky

$P[mPa]$	$P_r[mPa]$	$T_e[eV]$	$T_p[°C]$	$\bar{n}[n/m^3]$	$W_{TH}[J]$	$R_p[\Omega]$	$P_{OH}[W]$	$P_{loss}[W]$	$\tau_e[ms]$	$I_P[kA]$
0	1,77	375	24,4	1685	8,58	7,14	0,01	0,01	751	17
1	2,24	19	24,4	2132	0,54	4,76	0,02	0,02	32	16
2	3,53	17	24,4	3361	0,76	4,76	0,02	0,02	44	14
4	5,58	13	24,4	5312	0,92	0,14	0,14	10^{-3}	0	18
6	6,57	19	24,4	6255	1,61	0,14	7,15	10^{-3}	0	17
8	2,55	241	24,4	2430	7,96	7,15	0,01	0,01	696	12
10	11,44	494	24,4	10891	73,22	7,15	0,01	0,01	6403	25
14	13,88	10^6	24,4	13200	$1,96 \cdot 10^5$	0,07	10^{-4}	10^{-4}	$4287 \cdot 10^5$	796

Table 1: Naměřené a vypočítané hodnoty veličin při několika výbojích v tokamaku. P je požadovaný tlak, P_r je skutečný tlak, T_e je elektronová teplota, \bar{n} je průměrná hustota, W_{TH} je celková tepelná energie plazmatu, R_p je odpor plazmatu, P_{OH} je příkon ohmického ohřevu, P_{loss} je ztrátový výkon, τ_e je doba udržení plazmatu a I_P je proud procházející plazmatem

V následujících grafech můžeme vidět časový průběh výboje (údaje na ose x jsou ve $100\mu s$).

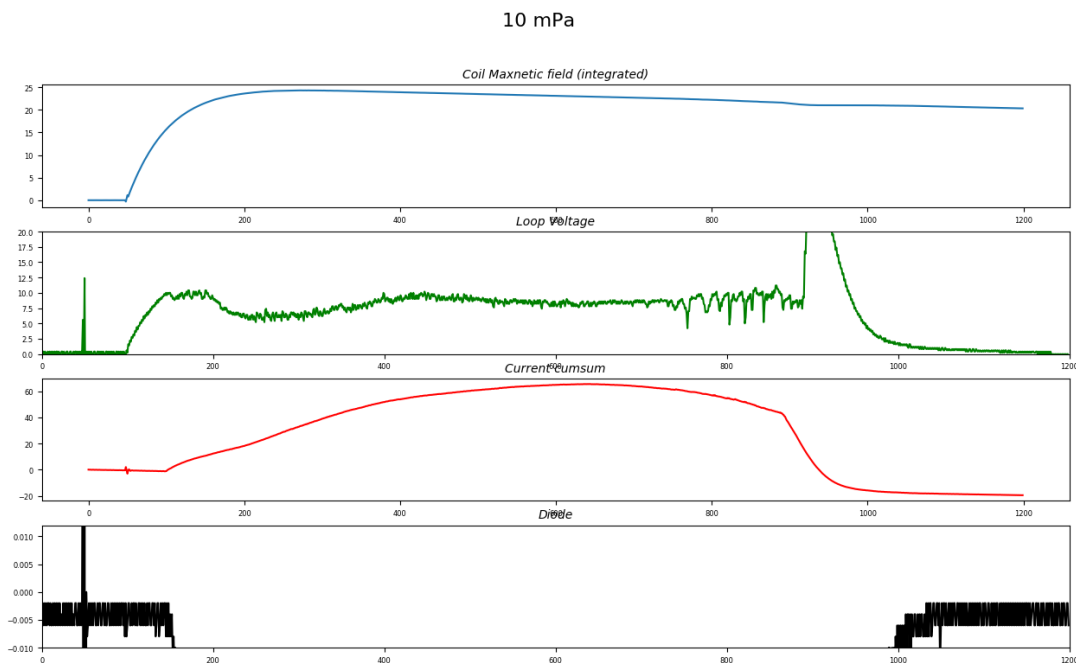


Figure 1: Výsledná diagnostika výboje s tlakem pracovního plynu $p = 10\text{mPa}$. První křivka znázorňuje průběh magnetického pole B [T], druhá vývoj napětí U [V], třetí proud plazmatem I [kA] a čtvrtá slouží jako indikátor světelného projevu plazmatu [a.u.]. Dostupné z [2].

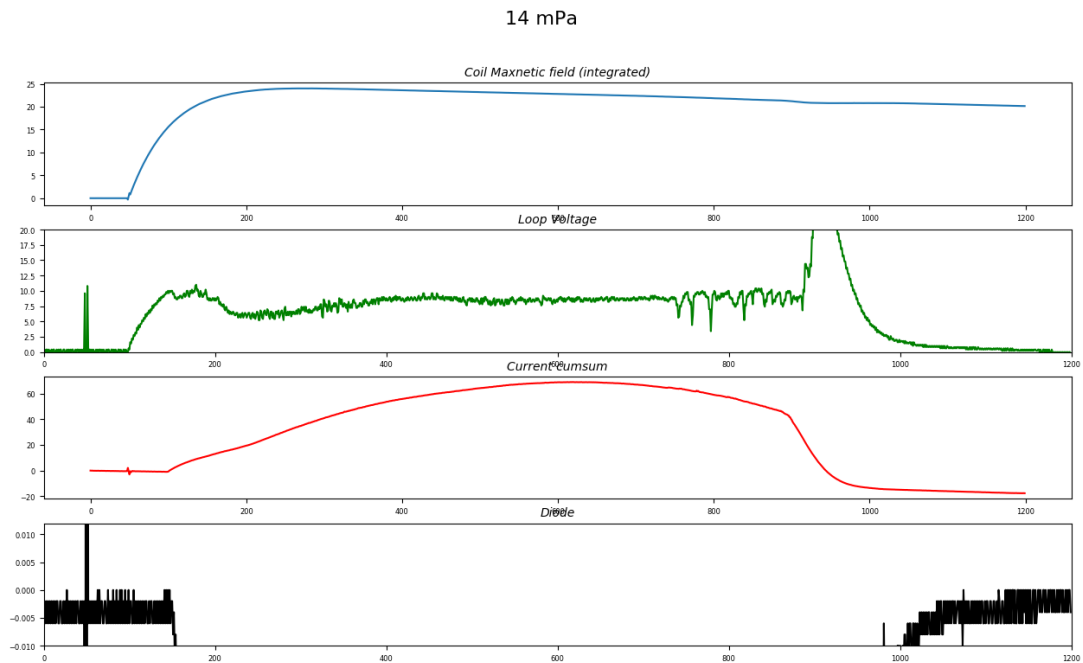


Figure 2: Výsledná diagnostika výboje s tlakem pracovního plynu $p = 14\text{mPa}$. První křivka znázorňuje průběh magnetického pole B [T], druhá vývoj napětí U [V], třetí proud plazmatem I [kA] a čtvrtá slouží jako indikátor světelného projevu plazmatu [a.u.]. Dostupné z [2].

7 Diskuse

Obecně nepovažujeme naše měření za úspěšné, protože je faktograficky irelevantní. Myslíme si, že hlavní chyba byla ve sběru a zpracování. Výhledově plánujeme svou práci reorganizovat a časově lépe rozložit, což, jak doufáme, povede k lepším výsledkům. Náš původní záměr změřit elektronovou teplotu při měnícím se tlaku pracovního plynu se nesetkal s úspěchem, protože jsme se pravděpodobně při výpočtech dopustili hrubých chyb, což se na výsledných hodnotách teploty výrazně podepsalo.

8 Zdroje

- [1] Torus. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Torus>
- [2] SVOBODA, V. Tokamak GOLEM - Shot Database. In: GOLEM Tokamak Wiki [online]. [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: <http://golem.fjfi.cvut.cz/shots/0/>
- [3] Čerpali jsme ze zadávací úlohy měření elektronové teploty na Tokamaku GOLEM, bohužel je v současné době tento soubor nedohledatelný.