

Vysokoteplotní plazma na tokamaku GOLEM

Jiří Malinák
Aaron Schick

2017

Zadané pracovní úkoly

V domácí přípravě

V laboratoři tokamaku

Pomůcky

Teoretický úvod

Plazma

Tokamak

Úkol

Měření

Rozbor

Zpracovávání dat

Závěr

Zadané pracovní úkoly

V domácí přípravě

V laboratoři tokamaku

Pomůcky

Teoretický úvod

Plazma

Tokamak

Úkol

Měření

Rozbor

Zpracovávání dat

Závěr

V domácí přípravě

Naučte se manipulaci vzdálenými datovými soubory. Pokud máte možnost, přineste si s sebou na měření notebook, na kterém máte tyto funkce manipulace se vzdálenými soubory dat zprovozněné. Na stejné stránce najdete přidělené web rozhraní, ze kterého budete ovládat tokamak. Seznamte se s ním.

Seznámení s tokamakem

Seznamte se fyzicky s tokamakem GOLEM a zmapujte na něm jeho základní prvky: komoru, transformátorové jádro, cívky toroidálního magnetického pole, primární cívky, čerpací systém, energetický zdroj, kondenzátorové baterie, systém napouštění pracovního plynu, řídicí systémy, datový sběr a server.

S pomocí asistenta prověřte funkci jednotlivých komponentů infrastruktury tokamaku:

- ▶ Vypněte a zapněte čerpání tokamaku
- ▶ Napuňte do tokamaku pracovní plyn
- ▶ Vyzkoušejte předionizační trysku

Osadte tokamak základními diagnostickými prostředky a proveďte následující seznamovací experimenty:

- ▶ Vygenerujte na tokamaku samostatné toroidální elektrické pole E_t
- ▶ Vygenerujte na tokamaku samostatné toroidální magnetické pole B_t
- ▶ Vytvořte komplexní zadání pro výboj (pracovní plyn + předionizace + toroidální elektrické pole + toroidální magnetické pole)

Zadané pracovní úkoly

V domácí přípravě

V laboratoři tokamaku

Pomůcky

Teoretický úvod

Plazma

Tokamak

Úkol

Měření

Rozbor

Zpracovávání dat

Závěr

Pomůcky

Zařízení pro generaci a udržení vysokoteplotního plazmatu - tokamak GOLEM,
pracovní plyn - vodík, U1 cívka, Bt cívka, Rogowského pásek, fotodioda, H_{α} filtr , měrka
vakua, systémy datových sběrů, osciloskop Tektronix

Zadané pracovní úkoly

V domácí přípravě

V laboratoři tokamaku

Pomůcky

Teoretický úvod

Plazma

Tokamak

Úkol

Měření

Rozbor

Zpracovávání dat

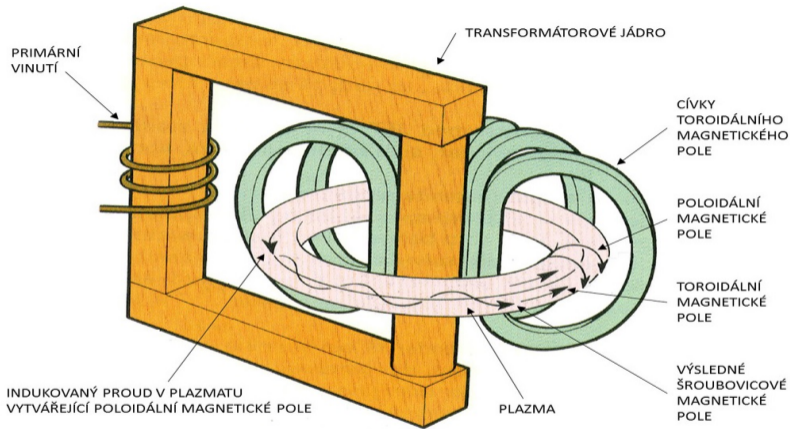
Závěr

Plazma

Plazma vzniká ionizací neutrálního plynu. Skládá se ze záporně nabitých elektronů a kladně nabitých iontů. Díky tomu plazma reaguje na vnější elektromagnetické pole. Je tedy elektricky vodivé.

Této vlastnosti využíváme při udržování a ohřevu plazmatu. Plazma ohříváme pomocí transformátoru. Jeho jediným sekundárním závitem je plazma. Díky ohmickému ohřevu dochází k nárůstu teploty plazmatu.

Tokamak



Napětí na závit se měří jediným závitem cívky, který stejně jako komora tvoří sekundár transformátoru. Takže se na něm indukuje stejné napětí.
Proud procházející komorou a plazmatem se měří jako napětí, které se indukuje na cívce, která je kolmá ke směru toku proudu. (indukuje se poloidálním magnetickým polem)

Úkol

Náš úkol je zjistit elektronovou teplotu plazmatu T_e . Odpor plazmatu klesá s elektronovou teplotou.

$$R_p \propto T_e^{-\frac{3}{2}} \quad (1)$$

Pro tokamak GOLEM můžeme odvodit vztah:

$$T_e = \left(0.7 \cdot \frac{I_p}{U_l} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2)$$

K vyřešení této rovnice potřebujeme znát přesnou velikost proudu plazmatu I_p a napětí na závit v transformátoru U_l .

Zadané pracovní úkoly

V domácí přípravě

V laboratoři tokamaku

Pomůcky

Teoretický úvod

Plazma

Tokamak

Úkol

Měření

Rozbor

Zpracovávání dat

Závěr

Rozbor

Snažíme se určit jaký proud protéká plazmatem I_p . Ale během výboje s plazmou se na Rogowského pásku měří součet proudu plazmatem a proudu komorou.

$$I_{tot} = I_p + I_{ch} \quad (3)$$

Abychom mohli určit proud plazmatem, musíme napřed zjistit proud komorou. Poté ho odečteme od celkového proudu naměřeném na Rogowského pásku. Proud komorou zjistíme následovně:

$$I_{ch} = \frac{U_I}{R_{ch}} \quad (4)$$

Rozbor

Ke spočítání I_{ch} potřebujeme odpor komory R_{ch} . Využijeme toho, že při vakuovém výboji platí:

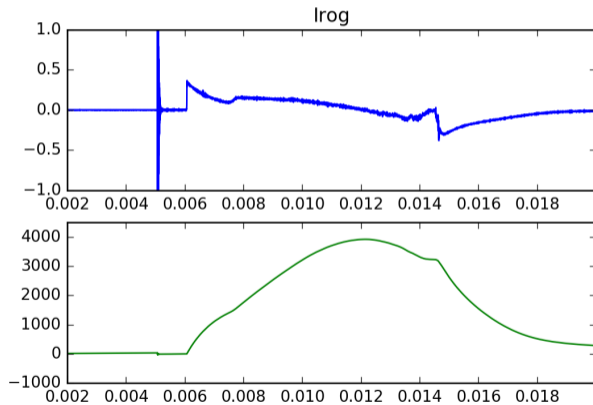
$$I_{tot} = I_{ch} \quad (5)$$

Pomocí Ohmova zákona spočítáme R_{ch} .

$$R_{ch} = \frac{U_l}{I_{ch}} \quad (6)$$

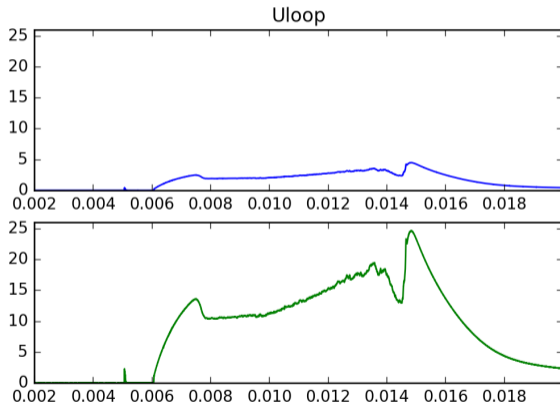
Zpracování dat

Rogowského páskem ovšem neměříme celkový proud, ale napětí. Abychom získali proud, musíme napětí zintegrovat a následně vynásobit kalibrační konstantou - 5.3×10^6



Zpracování dat

Napětí na závit U_l je nutno vynásobit kalibrační konstantou - 5.5

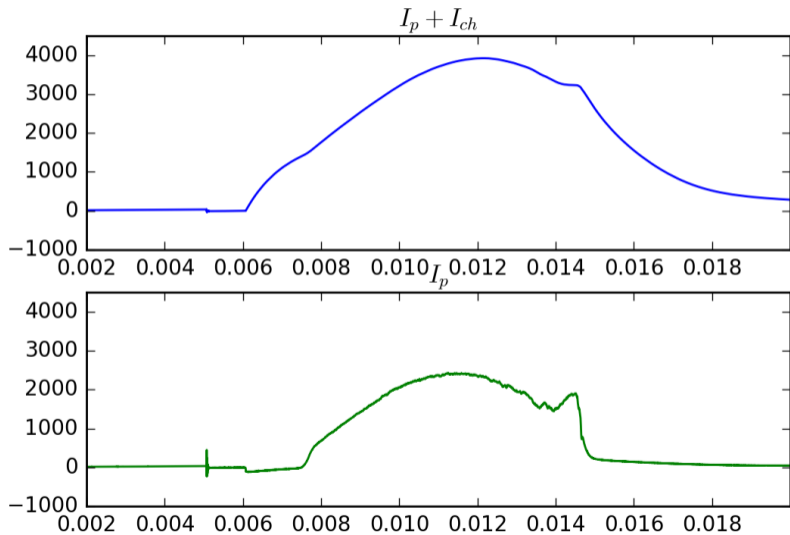


Výpočet proudu plazmatem

Nyní máme skutečná data. S jejich pomocí vypočteme odpor komory R_{ch} . Ten vychází přibližně $R_{ch} = 9.38m\Omega$. Teď již máme všechny potřebné údaje pro určení proudu plazmatem.

$$I_p = I_{tot} - \frac{U_l}{R_{ch}} \quad (7)$$

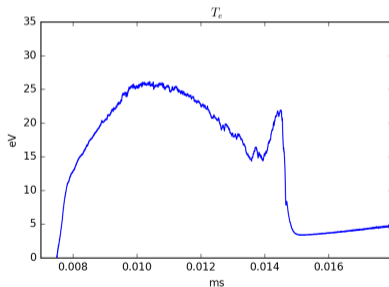
Výpočet proudu plazmatem



Výpočet elektronové teploty

Následně vypočítáme elektronovou teplotu pomocí vztahu:

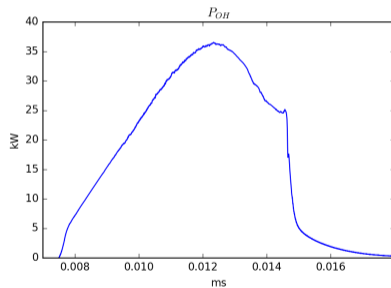
$$T_e = \left(0.7 \cdot \frac{I_p}{U_l}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (8)$$



Výpočet ohmického příkonu

Na závěr vypočítáme ohmický příkon P_{OH} .

$$P_{OH} = R_p \cdot I_p^2 = U_l \cdot I_p \quad (9)$$



Zadané pracovní úkoly

V domácí přípravě

V laboratoři tokamaku

Pomůcky

Teoretický úvod

Plazma

Tokamak

Úkol

Měření

Rozbor

Zpracovávání dat

Závěr

Závěr

Stejný výpočet provedeme u 10 výbojů. Určíme maximální elektronové teploty. Tyto hodnoty porovnáme a vybereme 5 největších. U každého vybraného výboje uvedeme délku výboje, maximální proud plazmatem a maximální ohmický příkon.