

ČESKOSLOVENSKÁ  
SOCIALISTICKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY  
A OBJEVY

# POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

## 168447

Int. Cl.<sup>2</sup>  
H 05 H 1/02

Přihlášeno 22. X. 1974 (PV 7222-74)

Zveřejněno 29. VIII. 1975

Vydáno 15. III. 1977

MDT  
533.9.07:538

Autor vynálezu

Ing. JIŘÍ ĎATLOV, CSc., ing. RICHARD KLÍMA, CSc.,  
VLADIMÍR KOPECKÝ, prom. fyz., CSc., PRAHA,  
ing. JINDŘICH MUSIL, CSc., ŘEVNICE a ing. FRANTIŠEK ŽÁČEK, CSc.,  
PRAHA

### Způsob ohřevu a udržení plazmatu v toroidální magnetické nádobě pomocí mikrovlnné zpožďovací struktury

1

Vynález se týká ohřevu a udržení plazmatu v toroidálních magnetických nádobách. Vytvoření horkého plazmatu a jeho udržení v magnetické nádobě je jedním ze základních předpokladů uskutečnění řízeného termojaderného slučování.

V současné době jsou toroidální magnetické nádoby pro udržení plazmatu konstruovány a využívány v mnoha laboratorických za účelem budoucího uskutečnění řízeného termojaderného reaktoru. Za nejperspektivnější typ jsou považována zařízení typu Tokamak, ve kterých je poloidální magnetické pole vytvářeno toroidálním proudem indukovaného elektrického výboje, jenž zároveň slouží k vytváření a ohřevu plazmatu. Zařízení Tokamak má však dva principiální a podstatné nedostatky.

Musí pracovat v pulsním režimu, neboť toroidální proud je vytvářen indukci — monotónní časovou změnou magnetického toku a toroidální proud je omezen známou podmínkou hydrodynamické stability Kruškala-Safranova, čímž je zároveň omezen i ohmický ohřev plazmatu.

V literatuře byl publikován teoretický návrh na odstranění těchto nedostatků. Tento návrh počítá s užitím soustavy cívek a kondensátorů napájených střídavým proudem k vybuzení vlny v toroidálním plazmatu. Prak-

2

tická realizace této myšlenky naráží na řadu značných obtíží a není zcela vyloučeno, zda její technické provedení bude vůbec uskutečnitelné.

Předložený vynález je zaměřen na částečné nebo úplně odstranění výše uvedených nedostatků Tokamaku, popřípadě i na zlepšení vlastností jiných toroidálních nádob. Vynález řeší problém ohřevu a udržení plazmatu.

Nový způsob ohřevu a udržení plazmatu podle vynálezu se vyznačuje tím, že mikrovlnná energie 8 přivedená do toroidální nádoby 1 pomocí jedné nebo několika zpožďovacích struktur 7 budí v plazmatu elektromagnetické vlny, které umožňují jeho ohřev a vznik toroidálního proudu 5, který se základním magnetickým polem 6 vytvářeným vnějšími zdroji zajišťuje udržení plazmatu. Jednotlivé zpožďovací mikrovlnné struktury 7 lze napájet ze samostatných generátorů 9 pracujících na stejné frekvenci nebo na frekvencích vzájemně odlišných a tak lze podstatně zvýšit vysokofrekvenční výkon dodávaný do plazmatu. Mikrovlnné zpožďovací struktury 7 umožňují budit uvnitř plazmatu elektromagnetické vlny s různě velkou složkou vlnového vektoru ve směru základního toroidálního pole 6 po celém obvodu toroidu. Mikrovlnná energie 8 dodá-

vaná do zpoždovacích struktur 7 může být navíc modulována nízkou frekvencí a pohlcována iontovou komponentou plazmatu.

Podstata vynálezu tedy spočívá ve využití zpoždovacích mikrovlnných struktur, pomocí nichž se v toroidálním plazmatu budí elektromagnetické vlny, jejichž fázovou rychlost  $v_\phi = \omega/k$ , (podél obvodu toroidu) lze např. volit blízkou střední tepelné rychlosti elektronů; zde  $\omega$  je kruhová frekvence elektromagnetické vlny,  $k$ , je složka vlnového vektoru ve směru základního toroidálního magnetického pole. Tyto vlny pak přenášejí do plazmatu jednak energii, jednak impuls. Absorbací energie vzniká ohřev plazmatu, absorpcí impulsu současně vzniká potřebný toroidální elektrický proud. Tak např. při vybuzení postupné vlny o frekvenci  $\omega$  a vlnovém čísle  $k$ , je třeba k dosažení stacionárního (nepřetržitého) udržení plazmatu zavést do plazmatu mikrovlnný výkon:

$$P \approx \frac{8\pi^{2/3}K_A c a^2 \omega H \lambda e^3 n}{3q T_c k v_e}$$

kde:  $K_A$  je koeficient anomálního tření,  $c = 3 \cdot 10^{10}$  cm/sec, a je poloměr průřezu plazmatu,  $H$  je intenzita toroidálního magnetického pole,  $\lambda$  je coulombovský logaritmus,  $e$  je hodnota náboje elektronu,  $n$  je hustota elektronů,  $q$  je koeficient zásoby stability Kruskala-Safranova,  $v_e$  je střední tepelná rychlost [vše v Gaussově soustavě jednotek].

Výše uvedený vzorec se týká případu, kdy poloidální pole je buzeno pouze proudem vyvolaným v plazmatu vlnou. Předložený

vynález se však vztahuje i na magnetické nádoby, v nichž poloidální magnetické pole je buzeno vnějším vinutím (např. zařízení typu Stellarator). Jestliže totiž difusní elektrické proudy narušují nepříznivě magnetické plochy, je možno odstranit tento nedostatek v nádobách zmíněnými mikrovlnnými strukturami. Přitom je ovšem navíc umožněn i ohřev plazmatu.

Podstata předmětu vynálezu je v dalším vysvětlena na příkladu schematicky uvedeném na obr. 1 a 2. Obr. 1 znázorňuje toroidální magnetickou nádobu 1 s plazmatickým prstencem 2, který je držen magnetickým polem 3. Magnetické pole 3 je superpozice poloidálního magnetického pole 4 vytvořeného proudem 5 a toroidálního magnetického pole 6 vytvořeného vnějšími magnetickými cívkami. Toroidální elektrický proud 5 vzniká absorpcí impulsu elektromagnetických vln vybuzených v plazmatickém prstenci 2 mikrovlnnými strukturami 7. Mikrovlnné struktury 7, které budí uvnitř plazmatu zpomalené vlny, jsou schematicky znázorněny na obr. 2. Do mikrovlnné zpoždovací struktury 7 je přiváděna mikrovlnná energie 8. Mikrovlnná energie 8 může být dodávána buď do jedné, nebo do několika mikrovlnných zpoždovacích struktur 7, jež jsou umístěny v různých místech po obvodu plazmatického prstence 2. Do mikrovlnných zpoždovacích struktur 7 může být přiváděna mikrovlnná energie 8 z generátorů 9 pracujících na stejných nebo na různých frekvencích.

#### PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Způsob ohřevu a udržení plazmatu v toroidální magnetické nádobě pomocí mikrovlnné zpoždovací struktury, vyznačený tím, že se do toroidální nádoby (1) zavádí mikrovlnná energie (8) alespoň jednou zpoždovací mikrovlnnou strukturou (7), kterou se vybudí elektromagnetické vlnění v plazmatu umožňující ohřev plazmatu a vyvolá se vznik toroidálního proudu (5), který spolu se základním magnetickým polem (6) buzeným vnějšími zdroji zajišťuje udržení plazmatu.

2. Způsob ohřevu a udržení plazmatu podle bodu 1, vyznačený tím, že do jednotlivých zpoždovacích mikrovlnných struktur (7) se přivádí mikrovlnná energie ze samostatných generátorů (9) pracujících na stejné

frekvenci nebo na frekvencích vzájemně odlišných.

3. Způsob ohřevu a udržení plazmatu podle bodů 1 a 2, vyznačený tím, že mikrovlnná energie (8) přiváděná do zpoždovacích struktur (7) budí uvnitř plazmatu elektromagnetické vlny s různě velkou složkou vlnového vektoru ve směru základního toroidálního magnetického pole (6) po celém obvodu toroidu.

4. Způsob ohřevu a udržení plazmatu podle bodů 1 až 3, vyznačený tím, že mikrovlnná energie (8) dodávaná do zpoždovacích struktur (7) se moduluje nízkou frekvencí a pohlcuje iontovou komponentou plazmatu.

2 listy výkresů



