



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

215 980

(11) (B1)

(61)

(23) Výstavní priorita

(22) Přihlášeno

(21) (PV 6012-79)

05 09 79

(51) Int. Cl.³ H 05 H 7/02

(40) Zveřejněno

31 12 81

(45) Vydáno

01 09 84

(75)
Autor vynálezu

MUSIL JINDŘICH ing. DrSc.,
ŽÁČEK FRANTIŠEK ing.,

ŘEVNICE,
PRAHA

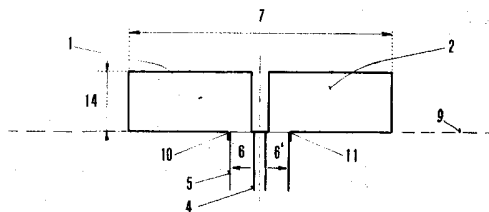
(54) Zařízení pro dodatečný vysokofrekvenční ohřev plazmatu

Vynález se týká zařízení pro dodatečný vysokofrekvenční ohřev plazmatu a patří do oboru plazmatu pro řízenou termojadernou syntézu a interakce elektromagnetických vln s plazmatem anebo jiným dielektrickým prostředím. Problém vynálezem řešený je generování zpomalených elektromagnetických vln pro dodatečný ohřev horkého plazmatu.

Podstatou vynálezu je zařízení vytvořené z aspoň jednoho koaxiálního vedení, ukončeného dvěma elektricky vodivými smyčkami uspořádanými symetricky k ose koaxiálního vedení a v rovině procházející touto osou, přičemž blízké konce smyček jsou elektricky vodivé připojeny ke střednímu vodiči a vzdálené konce jsou elektricky vodivé připojeny ku vnějšímu válcovému vodiči koaxiálního vedení. Celková délka obou smyček je určena vlnovou délkou zpomalené vlny vybuzečné v plazmatu nebo v jiném dielektrickém prostředí.

Vynálezu může být využito v oborech fyziky a techniky plazmatu, v reaktorech pro řízenou termojadernou syntézu a v plazmochemických reaktorech.

Vynález je nejlépe charakterizován na vyobrazených koaxiálním vedením 4,5 a dvěma smyčkami 1,2.



Vynález se týká zařízení pro dodatečný vysokofrekvenční ohřev plazmatu v zařízeních určených pro řízenou termojadernou syntézu a při studiu interakce elektromagnetických vln s plazmatem.

Intenzivní výzkum v oblasti řízené termojaderné syntézy, dále jen ŘTS, v posledních letech ukázal, že nejvážnějším kandidátem termojaderného reaktoru je systém s magnetickým udržením typu tokamak. Jedním ze základních problémů, který je nutno v zařízení typu tokamak ještě zvládnout, je ohřev plazmatu na teploty potřebné pro zapálení ŘTS. Je jednoznačně prokázáno, že takové vysoké teploty nemohou být dosaženy proudem protékajícím plazmatem, tj. Jouleovým ohřevem. Hlavním důvodem pro to je skutečnost, že s rostoucí teplotou plazmatu účinnost ohřevu klesá a dále, že zvyšování proudu vede, souhlasně se známou podmínkou Kruskala - Šafranova pro stabilitu plazmatu v tokamacích, k velmi vysokým hodnotám udržovacího toroidálního magnetického pole řádu 100 kG a více. Proto se intenzivně studují metody dodatečného ohřevu plazmatu. Nejvíce perspektivní jsou dvě metody a to ohřev rychlými neutrálními svazky a ohřev vysokofrekvenční. Vzhledem k tomu, že předloženého vynálezu lze využít pro vysokofrekvenční ohřev plazmatu, je dále uveden stručně stávající stav techniky v této oblasti.

Kromě ohřevu v oblasti elektronové cyklotronové frekvence ω_{ce} , iontové cyklotronové frekvence ω_{ci} a jejich harmonických frekvencí je v současné době velice perspektivní ohřev plazmatu v oblasti dolní hybridní rezonance, definované vztahem č.1 pro hodnotu $\omega_{LH} = \frac{\omega_{ce} \cdot \omega_{pi}}{\sqrt{\omega_{ce}^2 + \omega_{pe}^2}}$ v němž hodnota ω_{pe} je elektronová plazmatická frekvence a hodnota ω_{pi} je iontová plazmatická frekvence. Vztah č.1 byl odvozen za předpokladu šíření vlnění ve studeném plazmatu. Princip ohřevu spočívá ve vybuzení zpomalených vln v plazmatu, které se z periferie šíří do oblasti dolní hybridní rezonance, dále jen LHR, která se z důvodu prohřívání celého objemu plazmatu umísťuje do místa maximální hustoty na ose plazmatického prstence.

Teoretické výpočty ukazují, že pro účinný ohřev plazmatu na LHR je nutné vybudit hybridní vlny zpomalené ve směru toroidálního magnetického pole B_{TOR} tak, aby podélná složka indexu lomu n_z , to znamená složka ve směru B_{TOR} , splňovala vztah č. 2 tj. podmínku dostupnosti vyjádřenou nerovností

$$n_z^2 \gtrsim 1 + \frac{\omega_{ce}^2}{\omega_{pe}^2}$$

Pro typické parametry v tokamacích platí, že $\omega_{ce} \gtrsim \omega_{pe}$ a tudíž požadovaná hodnota je $n_z \gtrsim 1,5$. Jelikož frekvence hybridních vln leží v intervalu $\omega_{ci} < \omega < \omega_{ce}$ a magnetické pole v tokamacích určených pro demonstraci ŘTS se pohybují od 40 kG do 100 kG, budou frekvence generátorů budících zpomalené vln ležet v oboru decimetrových vln a vln centimetrových.

Pro buzení takových vln v mikrovlném pásmu byla navržena soustava vlnovodů orientovaných tak, že vektor elektrického pole $\vec{E}$ je paralelní se směrem toroidálního magnetického pole $\vec{B}_{TOR}$ a fáze v sousedních vlnovodech se liší o hodnotu π . Taková soustava, složená ze dvou, čtyř anebo více vlnovodů, budí v plazmatu zpomalené vlny a byla nazvána vlnovodným grilem. Velikost zpomalení lze regulovat výškou vlnovodů. Vlnovodný gril již byl experimentálně prověřen a bylo ukázáno, že v dobrém souhlasu s teorií skutečně budí zpomalené vlny. Změna fáze v sousedních vlnovodech vyžaduje však velmi náročný a komplikovaný vlnovodný systém, rozdělení výkonu do dvou nebo více tras a fázové posouvače k nastavení fázového rozdílu mezi sousedními vlnovody. To jsou jistě vážné nevýhody vlnovodného grilu.

Podstatou vynálezu je zařízení pro dodatečný vysokofrekvenční ohřev plazmatu v zařízeních určených pro řízenou termojadernou syntézu a při studiu interakce elektromagnetických vln s plazmatem. Podle vynálezu je zařízení vytvořeno z alespoň jednoho koaxiálního vedení, které je ukončeno dvěma elektricky vodivými smyčkami uspořádanými symetricky k ose koaxiálního vedení a v rovině jí procházející. První, blízké konce obou smyček jsou elektricky vodivé připojeny ke střednímu vodiči koaxiálního vedení. Druhé, vzdálené konce obou smyček jsou jednotlivě elektricky vodivé připojeny ke vnějšímu válcovému vodiči koaxiálního vedení v místech průsečíků průsečnice roviny obou smyček s rovinou k ní kolmou a

procházející čelem vnějšího válcového vodiče a středního vodiče koaxiálního vedení se vnějším válcovým vodičem koaxiálního vedení. Přitom celková délka obou smyček včetně mezer mezi smyčkami v místě jejich připojení ke střednímu vodiči koaxiálního vedení je určena vlnovou délkou zpomalené vlny vybuzené v plazmatu, případně v jiném dielektrickém prostředí.

Hlavní předností a výhodou zařízení podle vynálezu t.j. zařízení pro dodatečný vysokofrekvenční ohřev plazmatu v zařízeních určených pro řízenou termojadernou syntézu a při studiu interakce elektromagnetických vln s plazmatem je okolnost, že definuje vlnovou délku buzených vln, využívá k tomu základní mód TEM v koaxiálním vedení a proto nepotřebuje použití fázových posouvačů a komplikovaného obvodu jako v případě mikrovlnného vlnovodného grilu. Zařízení podle vynálezu je dále označováno stručně koaxiální gril. Výkon přenášený koaxiálním grilem je omezen elektrickou pevností koaxiálu a může být při vhodné konstrukci srovnatelný s vlnovodným grilem, pracujícím v pásmu centimetrových vln. Na rozdíl od vlnovodného grilu je však koaxiální gril rozměrově i váhově menší.

Podstata vynálezu je dále vysvětlena na příkladu jeho provedení pomocí připojeného výkresu, na němž je znázorněno na obr. 1 - nárys uspořádání dvousmyčkového koaxiálního grilu, na obr. 2 - půdorys uspořádání dvousmyčkového koaxiálního grilu, na obr. 3 - diagram rozložení fáze podél obou smyček grilu.

Na obr. 1 jsou znázorněny smyčky 1, 2 grilu, zhotovené z elektricky vodivého pásu 8. První, blízké konce smyček 1, 2, které jsou upraveny v rovině symetrie koaxiálního vedení jsou elektricky vodivě připojeny k střednímu vodiči 4 koaxiálního vedení. Druhé, vzdálené konce obou smyček 1, 2 jsou jednotlivě připojeny ke vnějšímu válcovému vodiči 5 koaxiálního vedení v místech 10 a 11, které jsou průsečíky průsečnice roviny symetrie koaxiálního vedení s rovinou 9 čela vnějšího válcového vodiče 5 a středního vodiče 4 koaxiálního vedení s vnějším válcovým vodičem 5 koaxiálního vedení. Přitom celková délka 7 obou smyček 1, 2 v místě jejich elektricky vodivého připojení ke střednímu vodiči 4 koaxiálního vedení je dána vlnovou délkou zpomalené vlny vybuzené v plazmatu, případně v jiném dielektrickém prostředí. Výška smyček je označena 14 a vztahové značky 6 a 6' označují vektory radiální složky elektrického pole v koaxiálním vedení, vybuzeném v základním modu TEM. Tyto vektory jsou orientovány od středního vodiče 4 směrem k vnějšímu vodiči 5 koaxiálního vedení.

Na obr. 2 je patrná šířka 13 elektricky vodivých pásků 8 a rovina 12 symetrie koaxiálního vedení. V této rovině 12 leží také její průsečnice s rovinou 9, označenou na obr.1; vztahovou značkou 12 je tudíž také označena dříve uvedená průsečnice. Zároveň jsou patrná místa 10 a 11 průsečíků průsečnice 9 s rovinou 12 s vnějším válcovým vodičem 5 koaxiálního vedení. Konečně je na obr. 2 znázorněna orientace vektoru $\vec{B}_{TOR}$, který je rovnoběžný s průsečnicí roviny 9 a roviny 12, procházející místy 10 a 11.

Na obr. 3 je znázorněn diagram rozložení fáze podél celkové délky obou smyček koaxiálního grilu. Ve směru vodorovné osy diagramu je vynešena délka smyček 7, ve směru svislé osy je vynešena velikost fáze. Z diagramu je patrné, že fáze jsou v obou smyčkách absolutní hodnotou 90° stejné, ale opačného znamení.

Činnost zařízení je popsána takto :

Koaxiální dvousmyčkový gril podle vynálezu využívá pro vytvoření fázového rozdílu o hodnotě π mezi dvěma sousedními vazebními prvky opačné orientace vektorů 6 a 6' intenzity elektrického pole mezi středním vodičem 4 a vnějším vodičem 5 koaxiálního vedení, které existuje na každém průměru koaxiálního vedení. Koaxiální gril, který je koaxiální verzí vlnovodného grilu, je tedy tvořen řadou koaxiálních vedení, z nichž každé je zakončeno dvěma smyčkami. Lze tedy vlnovodný gril, tvořený dvěma vlnovody, nahradit jedním koaxiálním vedením, dále nazývaným dvousmyčkovým koaxiálním grilem.

Pokud se týká správného umístění dvousmyčkového koaxiálního grilu, a to jediného nebo víceprvkové soustavy, je nutno - pro vybuzení zpomalených vln v plazmatu - aby každá smyčka byla umístěna na rozhraní mezi vakuem a plazmatem, přičemž rovina smyčky musí být rovnoběžná s vektorem intenzity magnetického pole. Smyčka koaxiálního grilu umístěná

nesprávně, tedy například ve vakuu, nevytvoří zpomalené vlny a naopak smyčka umístěná do horkého plazmatu shoří. Správné a účinné umístění smyčky žádá citlivou a pečlivou manipulaci. Výsledkem toho je podstatné zvýšení teploty plazmatu, řádově o desítky procent.

Zařízení podle vynálezu, tj. koaxiálního grilu, může být úspěšně použito také při fyzikálních experimentech při studiu vlastností šíření hybridních vln a jejich lokalizace v nehomogenním plazmatu.

V řadě experimentů může být výhodné umístění několika stejných dvousmyčkových koaxiálních grilů vedle sebe. Výkon vybuzečné vlny může být zvýšen úměrně s počtem dvousmyčkových grilů, použitých v tomto systému.

P Ř E D M Ě T V Y N Á L E Z U

Zařízení pro dodatečný vysokofrekvenční ohřev plazmatu v zařízeních určených pro řízenou termojadernou syntézu a při studiu interakce elektromagnetických vln s plazmatem, vyznačené tím, že je vytvořeno z aspoň jednoho koaxiálního vedení, které je ukončeno dvěma elektricky vodivými smyčkami (1,2) uspořádanými symetricky k ose koaxiálního vedení a v rovině (12) jí procházející, přičemž první, blízké konce obou smyček jsou elektricky vodivě připojeny ke střednímu vodiči (4) koaxiálního vedení, druhé, vzdálené konce obou smyček (1, 2) jsou jednotlivě elektricky vodivě připojeny ke vnějšímu válcovému vodiči (5) koaxiálního vedení v místech (10, 11) průsečíků průsečnice roviny (12) obou smyček s rovinou (9) k ní kolmou a procházející čelem vnějšího válcového vodiče (5) a středního vodiče (4) koaxiálního vedení se vnějším válcovým vodičem (5) koaxiálního vedení, přičemž celková délka (7) obou smyček (1, 2) včetně mezery mezi smyčkami v místě (9) jejich připojení ke střednímu vodiči (4) koaxiálního vedení je určena vlnovou délkou zpomalené vlny vybuzečné v plazmatu, případně v jiném dielektrickém prostředí.

1 výkres

