



УКРАЇНА

(19) UA (11) 39828 (13) A

(51) 7 H02K44/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) КОНДУКЦІЙНИЙ МАГНІТОГІДРОДИНАМІЧНИЙ ГЕНЕРАТОР ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

(21) 99095093

(22) 14.09.1999

(24) 15.06.2001

(33) UA

(46) 15.06.2001, Бюл. № 5, 2001 р.

(72) Яковлев Вячеслав Сергійович, Штефан Валентин Володимирович, Ганефельд Роланд Вільгельмович

(73) Науково-технічний центр вугільних енерготехнологій Національної академії наук України та Міністерства енергетики України

(57) Кондукційний магнітогідродинамічний генератор постійного струму, що містить магнітну систему, круговий магнітогідродинамічний канал з електродними та ізоляційними стінками, вхідні і вихідні сопла для подачі і відводу робочого тіла, який **відрізняється** тим, що магнітна система складається з двох кільцевих обмоток, які створюють вісе-

симетричне радіальне магнітне поле, тобто створюється квадрупольна магнітна система, круговий магнітогідродинамічний канал виконаний у вигляді порожнистого кільця, розташований в зоні радіального магнітного поля і складається із внутрішньої і зовнішньої проникних ізоляційних стінок і торцевих суцільних електродних стінок, на зовнішній ізоляційній стінці тангенціально встановлені вхідні сопла, які створюють кругову течію робочого тіла в магнітогідродинамічному каналі, а на внутрішній ізоляційній стінці встановлені вихідні сопла, які переходять в дифузори, на електродних стінках розташовані роздільні концентричні кільцеві електроди, що допускають великомасштабне секціонування, яке вибирається з умов зручності навантаження магнітогідродинамічного генератора і перетворення постійного струму в змінний.

Винахід відноситься до області великої енергетики, а саме до генераторів електричної енергії, які працюють на принципах магнітогідродинамічного (МГД) перетворення енергії.

Пропонований генератор може знайти застосування на ретрофітних МГД-електростанціях і в комбінованих енергоблоках, що об'єднують перетворювачі енергії різної фізичної природи - МГД-генератори (МГДГ), електрохімічні генератори - блоки паливних елементів (БПЕ), електромеханічні генератори - турбогенератори (ТГ).

В комбінації МГДГ, БПЕ, ТГ особливої уваги вимагають МГДГ і БПЕ, оскільки ТГ - відпрацьована електрична машина змінного струму і її вихідні параметри регламентовані. МГДГ і БПЕ вироблюють електричну енергію постійного струму і вимагають для паралельної роботи з електричною мережею і ТГ установки інверторів.

Параметрами енергії, яка вироблюється БПЕ, легко керувати чисто схемними прийомами, тому що рівень напруги одного ПЕ складає $\approx 1\text{В}$, і такий же рівень потенціалу одного елемента відносно землі.

При виборі типу МГДГ в комбінованих циклах з ПЕ і ТГ обґрунтовано використовувати конструкції, які забезпечують мінімальну напругу, що генерується, з невеликим рівнем потенціалу відносно

землі і порівняно невеликим, що легко контролюється, числом паралельних віток.

МГДГ змінного струму поки що не можуть розглядатись як альтернативні конструкції. Вибір аналогів слід обмежити МГДГ постійного струму.

Найбільш досліджені лінійні МГД-генератори [1], але в таких конструкціях з ростом потужності помітно проявляються саме ті властивості, які викликають обмеження: зростає подовжня напруга - ЕРС Холла; збільшується необхідне число електродів, що веде до росту числа інверторів; ускладнюється конструкція міжелектродної ізоляції - вона обмежується подовжньою електричною міцністю і неоднорідністю параметрів по довжині МГД каналу; зростають до граничних значень механічні напруження в дипольних магнітних системах; ускладнюється оптимізація розподілення навантаження по електродах.

Частково перераховані складності знімаються в МГДГ з дисковим каналом [2]. Перехід на дисковий МГДГ з радіальним рухом газу від центру до периферії і аксіальним магнітним полем дозволяє замкнути по плазмі в середині каналу складову ЕРС, поперечну швидкості потоку плазми (фарадеевську ЕРС), і таким чином, розвантажити електроди від поперечного струму і полегшити умови роботи міжелектродної ізоляції. Схема навантаження такого генератора може бути реалізована у

вигляді холловської, з робочою ЕРС, орієнтованою проти швидкості потоку плазми. Це веде до зменшення загального числа потрібних інверторів і зниження навантаження струмом по електродах.

Можливо збільшити використання магнітного поля в дисковому МГД-генераторі за рахунок інверсної орієнтації прикладеного магнітного поля при збереженні радіального руху плазми [3]. Зміна напрямку магнітного поля досягається розміщенням дискового МГД-каналу всередині тороїдальної обмотки збудження [3]. Позитивною особливістю такого генератора є повне використання довжини силової лінії прикладеного магнітного поля для створення МГД взаємодії.

Фарадеївські струми в такому генераторі течуть аксіально поперек кругового каналу і замикаються через кільцеві електроди, формуючи схему Холла або Монтарді. Недоліки такого дискового генератора нерозривно зв'язані з його перевагами - просторовим збігом дискового МГД-каналу і тороїдального неферромагнітного магнітопроводу магнітної системи.

Повний збіг шляхів магнітних силових ліній і гарячого об'єму МГД-каналу веде до збільшення середньої довжини витка обмотки збудження, що робить неочевидним електромагнітну вигідність такої компоновки МГД-генератора, це особливо помітно при використанні надпровідних магнітних систем.

Оскільки різниця рівнів робочих температур і тисків цих середовищ велика, то товщина граничного шару - істотна і багато в чому визначає зростання об'єму обмотки збудження.

Другий недолік цього МГД генератора - складність вводу і виводу плазми крізь обмотку (або обмотки крізь плазму), що також зв'язано з просторовим розділенням температур - від гелієвих $\approx 7,0\text{K}$ до температур низькотемпературної плазми - 3000K .

Оскільки ЕРС Холла завжди направлена проти руху робочого тіла, то в дискових МГДГ з радіальним рухом плазми [2, 3] струми Холла течуть між вхідним соплом і вихідним дифузоре (при наявності зовнішнього ланцюга). При аксіальному магнітному полі [2] ЕРС Фарадея замикається між альтернативними кільцевими електродами. В залежності від зовнішнього з'єднання кільцевих електродів утворюється або схема навантаження Монтарді, або схема Холла.

Для того, щоб холловські струми замкнулися всередині каналу по плазмі поза електродами течія в каналі повинна бути вихровою. В такому випадку падіння напруги всередині на опорі плазми від кільцевих струмів буде урівноважувати ЕРС Холла і в конструкції електродної стінки принципово можливі суцільні електроди.

Радіальна складова швидкості буде обусловлювати радіальну ЕРС Холла і для усунення викликаних нею струмів електроди в радіальному напрямку виконуються у вигляді кілець.

Ці принципи закладені в конструкції дискового МГДГ (ДМГДГ) з вихровою течією [4], який є прототипом винаходу. В конструкції прототипу передбачено одне вхідне сопло і мала висота каналу порівняно з його діаметром, але в такому каналі складно одержати великий ступінь завихрення. По-друге, аксіальне магнітне поле обумовлює великі

величини електричних напруг і їх градієнтів по радіусу.

Завданням цього винаходу є розробка кондукційного МГД-генератора із зменшеними електричними навантаженнями на ізоляторні проміжки за рахунок замикання струмів Холла по плазмі, з покращеною закруткою робочої речовини, із збільшеною відстанню секціонування по електродах і раціоналізованою конструкцією магнітної системи без погіршення показників якості функціонування генератора.

Вирішення поставленого завдання досягається тим, що кондукційний МГД-генератор постійного струму, який заявляється, містить в собі магнітну систему, круговий МГД-канал з електродними і ізоляційними стінками, вхідні і вихідні сопла для подачі і відводу робочого тіла в якому: магнітна система складається з двох кільцевих обмоток, які створюють осесиметричне радіальне магнітне поле, тобто створюється як квадрупольна магнітна система; круговий МГД-канал, виконаний у вигляді порожнистого кільця, розміщений в зоні радіального магнітного поля і складається з внутрішньої і зовнішньої проникних ізоляторних стінок і торцевих суцільних електродних стінок; на зовнішній ізоляторній стінці тангенціально встановлені вхідні сопла, що організують кругову течію робочої речовини в МГД-каналі, на внутрішній ізоляторній стінці встановлені вихідні сопла, що переходять в дифузоре; на електродних стінках розміщені роздільні концентричні кільцеві електроди, що допускають крупномасштабне секціонування, що вибирається із умов навантаження МГД-генератора і перетворення постійно струму в змінний.

В конструкції, закрутка реалізується в кільцевому (круговому) каналі, розміщеному в радіальному магнітному полі, створеному квадрупольною магнітною системою. Така компоновка забезпечує незалежність магнітної індукції від висоти каналу, зменшує негативний вплив в'язких сил в плазмі і дозволяє одержати ступінь закрутки, що реалізується в циклонних апаратах.

При спіральній течії робочого тіла, що подається на вхід генератора, подовжується область взаємодії магнітного поля і потоку плазми. Тим самим збільшується зняття ентальпії і росте тепловий ККД кільцевого МГДГ (КМГДГ), тому що знижуються теплові втрати потоку плазми. Для одиничної витрати зменшується контакт з відносно холодними стінками каналу. А номінальна витрата МГД-каналу росте і визначається з врахуванням кратності завихреності.

Конструктивна схема генератора, який заявляється, приведена на фіг. 1, 2. Круглий кільцевий канал - 1 розміщується в зазорі квадрупольної магнітної системи - 2. Магнітне поле В в каналі спрямоване радіально, і, в залежності від виконання, магнітна система конструюється без заліза із надпровідників - 3, або з ферромагнітним магнітопроводом. По зовнішній ізоляторній стінці - 4 розміщені сопла - 5, через які тангенціально вводиться плазма продуктів згорання. Канал спроектований таким чином, що плазма в ньому рухається по спіралі. Здійснивши 3 - 4 оберти, плазма досягає внутрішньої проникної ізоляторної стінки - 6, і викидається через вихідні сопла в дифузоре - 7 на вихлоп МГД генератора. ЕРС Фарадея в каналі направле-

на аксіально і через електроди - 8 знімається на навантаження.

Робота кільцевого МГД генератора в динаміці має слідує особливості. ЕРС Холла утворює в каналі кругові контури по яких замикаються струми Холла, не виходячи на стінки каналу. Тому електроди кожної стінки виконані у вигляді набору концентричних кілець. Виходячи із міркувань роздільного навантаження і усунення перетечей, неминучих в неномінальних режимах течії плазми і наявності радіальної складової швидкості, електроди допускають розбивку на укрупненні сектори, розділені ізоляційними проміжками -- 9, які об'єднуються в залежності від схеми навантаження і інвертування.

Ухил потоку плазми в КМГДГ від кругового тим вище, чим більше електромагнітні сили перевищують інерційні. При великих електромагнітних силах можлива повна зміна траєкторії руху плазми і пряме перетікання з вхідних сопел до вихідних. Оцінюється цей ефект по параметру МГД-взаємодії (числу Стюарта), яке являє собою відношення електромагнітних сил до інерційних:

$$S_1 = \frac{\sigma B^2 R}{\rho V} = \frac{10 \cdot 4^2 \cdot 1}{0,3 \cdot 1000} = 0,5,$$

де $\rho = 0,3 \text{ кг/м}^3$ - густина робочого тіла з врахуванням тиску в камері згорання МГД-генератора.

Таким чином, якщо встановити вхідні сопла по зовнішній ізоляторній стінці каналу з відстанню, близькою до радіусу, закрутка течії плазми буде достатньо стійкою. Це також є суттєвою відмінною ознакою пропонованої конструкції від прототипу.

Подальше порівняння ДМГДТ і КМГДГ повинно проводитись по експлуатаційних критеріях, які задають показники якості роботи МГД-генератора.

В установках, де розвинений ефект Холла [2], ДМГДГ мають переваги по використанню напруги, що генерується. Два електроди забезпечують мінімальний ріст внутрішнього опору за рахунок приелектродних падінь напруги. Але при цьому поздовжня ізоляція вогневих стінок повинна бути розрахована на всю величину ЕРС Холла.

Кільцевий МГДГ має переваги у відносно невеликих установках, де ефект Холла проявляється в меншій мірі і не накладає обмежень на процес перетворення енергії. При цьому, вдається уникнути високих напруг відносно землі і між електродами, але виникає небезпека перевантаження струмоз'ємних поверхонь електродів. Експериментальні дослідження, проведені на гарячих і комбінованих електродах показують, що для оцінок обґрунтовано покладати номінальну густину струму

на рівні - 1 А/см^2 [1]. Для кільцевого МГДГ в оптимальному режимі відбору потужності:

$$J = \frac{\sigma BV}{2},$$

де $\sigma = 10 \text{ Сим/м}$; $V = 1000 \text{ м/с}$; $B = 4 \text{ Т}$.

Звідки $J = 2 \text{ А/см}^2$, що в 2 рази перевищує оговорену густину струму. Але ця цифра достатньо прийнятна, оскільки σ взяте з запасом, а реальне σ , яке можливо поки що досягти, в 2-3 рази менше.

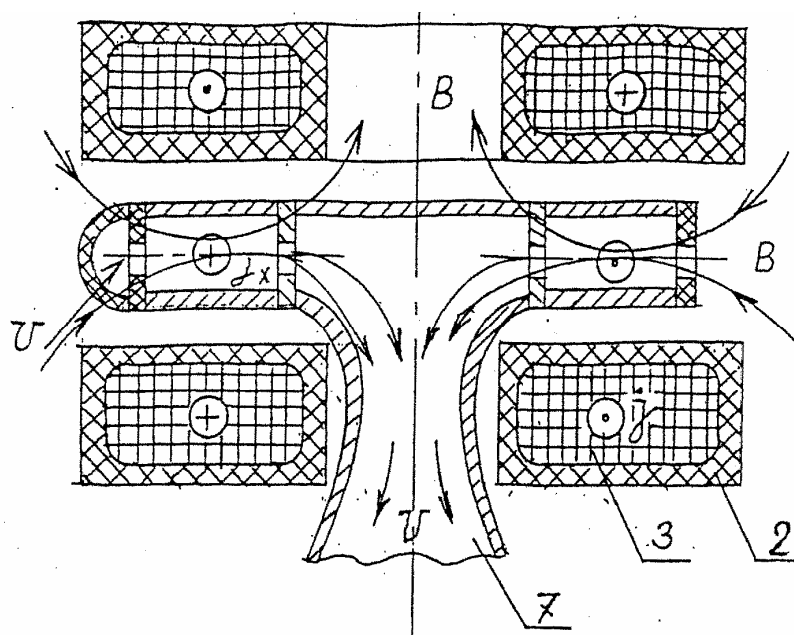
Кільцевий МГДГ, має переваги по показниках якості перед дисковим МГДГ, тому що забезпечує зменшення міжелектродної напруги і загального рівня напруг на термонапружених вузлах каналу; покращуються умови для організації стійкої спіральної течії плазми в МГД-каналі, зростає допустима відстань секціонування по електродах при збереженні рівня теплового ККД МГД-генератора.

Досягнення нового технічного результату в кільцевому МГД-генераторі одержується за рахунок використання квадрупольної магнітної системи, в якій розміщується кільцевий канал з проникними ізоляторними стінками. Це дозволяє вибрати геометрію МГД-каналу таким чином, що спіральний рух робочого тіла в ньому зберігає завихреність у всьому об'ємі каналу з величиною, характерною для циклонних апаратів.

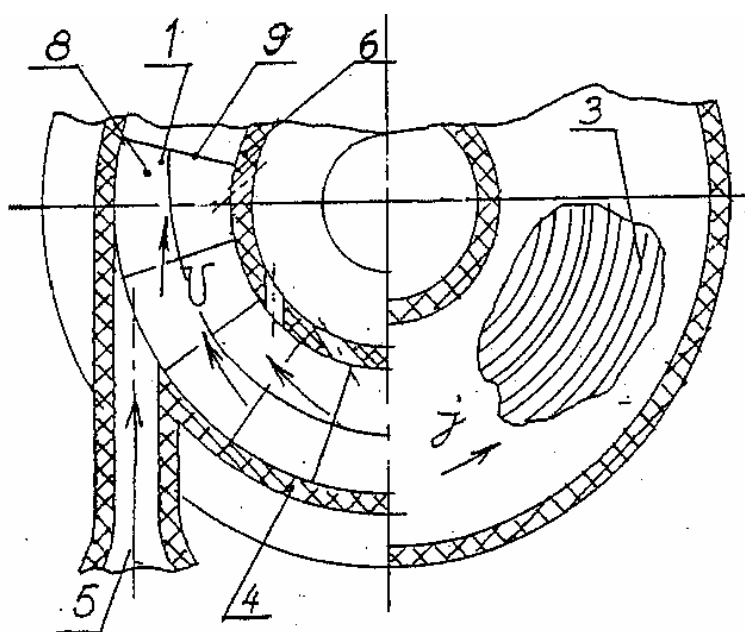
На основі вищевикладеного можна зробити висновок, що сукупність істотних ознак, викладених в формулі винаходу необхідна і достатня для досягнення нового технічного результату.

Джерела інформації.

1. Ганефельд Р.В., Яковлев В.С. МГД-генераторы: проблемы перспективы. Об-во "Знание". - Киев, 1989 г.
2. Yamasani H., Kabashima S., Yoshikawa K. First experiments of closeded cucle MHD Power generation with FUJI-1. Восьмая международная конференция по МГД-преобразованию энергии. - Москва. - 1983. - Т. 4. - С. 173-180.
3. Yantovskii E.I. Coal-fired MHD generator without exhaust gases. Eleventh international conference on MHD electrical power generation. Beijing, China. 1992, p. 76.;
- Янтовский Е.И. Дисковый магнитогазодинамический генератор токов Холла. А. с. СССР. № 187177. Б. И. 1966. - № 28.
4. Nakamura T., Lear W.E and Fang Y. Results of combustion driven inflowdisk generatir experiments. Восьмая международная конференция по МГД-преобразованию энергии. - Москва, 1983. - Т. 4. - С. 185-192.



Фіг. 1



Фіг. 2

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
(044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2001 р. Формат 60x84 1/8.
Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
(044) 268-25-22