



УКРАЇНА

(19) UA (11) 46997 (13) U  
(51) МПК (2009)  
H02N 11/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) КОМПЛЕКСОВАНИЙ ВИБУХОМАГНІТНИЙ ГЕНЕРАТОР

1

(21) u200908126

(22) 03.08.2009

(24) 11.01.2010

(46) 11.01.2010, Бюл.№ 1, 2010 р.

(72) ЧУМАКОВ ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ, СТОЛЯРЧУК ОЛЕКСАНДР ВАЛЕНТИНОВИЧ, КОНЯХІН ГРИГОРІЙ ФАТЄЄВИЧ

(73) ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ (ХНУРЕ)

(57) Комплексований вибухомагнітний генератор, що містить коаксіальний провідник із зовнішньою спіральною котушкою, вибухову речовину, детона-

2

тор, який встановлено на вибуховій речовині, зовнішнє джерело, навантаження й штир, який **відризняється** тим, що він додатково оснащений другим співвісно встановленим коаксіальним провідником меншого діаметра, усередині якого розміщена спіральна котушка, причому вибухова речовина розташована в проміжку між коаксіально встановленими провідниками, зовнішня спіральна котушка виконана конічною зі зменшенням діаметра витків у бік тороїдального навантаження, а штирі закріплені у протилежних до навантаження торцях коаксіальних провідників.

Запропонована корисна модель відноситься до області електрогенераторів, а саме, до перетворення хімічної енергії вибухової речовини (ВР) в електромагнітну зі здійсненням процесу магнітної кумуляції енергії й може бути використана для створення джерел живлення потужних релятивістських приладів, у фізиці твердого тіла й у ядерній фізиці.

Відомий спіральний вибухомагнітний генератор (ВМГ), що містить коаксіальний внутрішній провідник із зарядом ВР, спіральну котушку й детонатор (J.W. Shearen, F.F. Abraham, C.M. Aplin и др. Explosive - Driven Magnetic - Field Compression generators. Journal of Applied Physics, 1968. - V.39. - №4. - P.2102-2109.). Спіральна котушка складається з 3-х секцій, які включені послідовно, зі збільшуваним убік індуктивного навантаження кроком витків та коефіцієнтом заповнення кроку. Крок витків у спіральній котушці при переході від секції до секції, а також у самих секціях змінюється за лінійним законом.

Недоліками відомого ВМГ є: наявність гострої кромки на витках спіральної котушки, що підвищує напруженість електричного поля біля кромки, що знижує електричність спіральної котушки; порівняно повільна швидкість зміни індуктивності спіральної котушки, через що зростають втрати магнітного потоку на активному опорі; нестабільність роботи спірального ВМГ.

Відомий генератор електричної енергії вибухового типу, опублікований у роботі (Войтенко А.Е., Взрывная камера. - Ж. «Физика горения и взрыва», 1979. - №6. - С.130). Генератор склада-

ється з порожнього металевого циліндра, співосно з яким установлена струмознімальна спіраль. Уздовж зовнішньої поверхні циліндра розташована ВР, усередині якої розміщений соленоїд для створення магнітного поля в циліндрі. Під час вибуху ВР циліндр стискується, напруженість магнітного поля в порожнині циліндра зростає, що викликає появу електрорушійної сили на струмознімальній спіралі.

Недоліками відомого генератора є порівняно низька амплітуда напруги і струму, що генерується, невисокий коефіцієнт корисної дії.

Найбільш близьким до того, що запропонується є спіральний ВМГ (Дж. П. Фокин, Х. Карлотти, М. Жести и др. Взрывной генератор высокой импульсной мощности для имплозии твердотельных лазерных. Мегагауссная и мегаамперная импульсная технология и применения. Труды Седьмой международной конференции по генерации мегагауссных магнитных полей и родственным экспериментам. Саров, 5-10 августа 1996 г. Под ред. В.К. Чернышева, В.Д. Селемира, Л.Н. Пляшкевича, 1997. - Т.1. - С.267-273), який містить внутрішній коаксіальний провідник із зарядом ВР і зовнішню спіральну котушку, що складається з 13-ти секцій із збільшуваним убік індуктивного навантаження числом заходів і кроків витків.

Робота спірального ВМГ, узятото як прототип, відбувається таким чином. Спіральний ВМГ живиться струмом зовнішнього джерела, і в контурі ВМГ створюється початковий магнітний потік  $\Phi_0$ . Після спрацювання капсуля-детонатора й заряду ВР внутрішній провідник розлітається під дією

(13) U  
(11) 46997  
(19) UA

продуктів вибуху, маючи форму конуса, налітає на штир і замикається зі спіральною котушкою. Із цього моменту починається процес магнітної кумуляції: конус, що утворився із внутрішнього провідника, рівномірно переміщується уздовж осі спіральної котушки, послідовно виводячи витки секцій і стискаючи потік у замкнутому контурі спірального ВМГ. Індуктивність спіральної котушки зменшується приблизно за експонентним законом, а струм у контурі зростає.

Недоліками прототипу є:

порівняно повільне збільшення коефіцієнта зміни індуктивності спіральної котушки, через що зростають втрати магнітного потоку;

порівняно невеликий коефіцієнт підсилення по струму та мала швидкість наростання струму.

В основу пропонованої корисної моделі поставлене завдання вдосконалити вибухомагнітний генератор шляхом розгону двох лайнерів єдиним зарядом вибухової речовини, що дозволяє збільшити коефіцієнт індуктивності котушок, підвищити коефіцієнт підсилення струму й швидкість наростання струму.

Поставлене завдання вирішено таким чином. Комплексований вибухомагнітний генератор (КВМГ), що містить коаксіальний провідник із зовнішньою спіральною котушкою, вибухову речовину, детонатор, який встановлено на вибуховій речовині, зовнішнє джерело, навантаження й кільцевий штир, що закріплений у протилежного до навантаження торці коаксіального провідника, згідно корисної моделі додатково поставлено другим кільцевим штирем з аналогічним розміщенням, а також співвісно встановленим у коаксіальному провіднику другим коаксіальним провідником меншого діаметра, усередині якого розміщена спіральна котушка, причому вибухова речовина розташована в проміжку між коаксіально встановленими провідниками, зовнішня спіральна котушка виконана конічною зі зменшенням діаметра витка убік тороїдального навантаження.

Таким чином, вдалося підвищити ефективність роботи комплексованого вибухомагнітного генератора шляхом розгону двох лайнерів єдиним зарядом вибухової речовини, що дозволило збільшити коефіцієнт індуктивності котушок, підвищити коефіцієнт підсилення струму й швидкість наростання струму.

Сутність пропонованої корисної моделі пояснюється ілюстрацією, на якій показано структурна схема комплексованого вибухомагнітного генератора.

Він складається із двох звичайних аксіально розташованих ВМГ: зовнішнього, що складається з конічної спіральної котушки 1, коаксіального провідника 2, наприкінці якого закріплений кільцевий штир 8, і внутрішнього, що складається зі спіральної котушки 3, коаксіального провідника 4, наприкінці якого закріплений кільцевий штир 10. Між коаксіально розміщеними провідниками 2 і 4 розташована вибухова речовина 5 із установленим на ній детонатором 6. Спіральна котушка 1, провідник 2, навантаження 7 і зовнішнє джерело 9 утворюють зовнішній контур генератора, а спіральна котушка 3, провідник 4, навантаження 7 і зовнішнє

джерело 7 утворюють внутрішній контур генератора.

Робота пропонованого вибухомагнітного генератора відбувається в такий спосіб. Обидва спіральних ВМГ живляться струмом від зовнішнього джерела 9, і в зовнішньому й внутрішньому контурах створюється початковий магнітний потік. Дана схема дозволяє складати струми двох ВМГ в одному навантаженні 7. Після спрацювання детонатора 6 і підриву вибухової речовини 5 провідник 2 розлітається під дією продуктів вибуху у формі конуса, а провідник 4 стискається, налітаючи на штирі 8 і 10 і замикаючись зі спіральними котушками 1 і 3 відповідно. Із цього моменту починається процес магнітної кумуляції. Створені із зовнішнього 2 і внутрішнього 4 провідників конуси рівномірно переміщуються уздовж осі спіральної котушки 1 і 3, стискаючи магнітний потік у замкнутих зовнішньому й внутрішньому контурах. Здавлюючи контури, продукти детонації здійснюють роботу проти сил поля, перекачуючи тим самим хімічну енергію вибуху в енергію магнітного поля. Процеси, які відбуваються в зовнішнім і внутрішнім контурами аналогічні, різниця лише в тім, що енергія вибуху спрямована в одному випадку назовні, а в іншому - усередину. Тому контури здавлюються в одному випадку за рахунок розльоту зовнішнього провідника 2, а в іншому - за рахунок стиску внутрішнього провідника 4.

Аналіз роботи КВМГ дозволив виявити ще один ефект, властивий цьому виду генераторів - розпаралелювання магнітного потоку. Роль цього ефекту стає особливо важлива у випадку передачі в навантаження енергій мегаджоулевого значення або одержання амплітуд магнітного поля мегаерстедного діапазону. Згідно з роботою (Кнопфель Г.Ф. Сверхсильные импульсные магнитные поля. - М.: Мир, 1972. - 392 с.), більша частина енергії, що розсіюється за період часу  $T$ , губиться до моменту  $t=T/4$ . Наприклад, для мідного провідника в нестационарному випадку до кінця чверті періоду поверхнева температура зростає до величини  $\theta(0,25T) \approx 2000H^2(^\circ C, ME)$ , де  $H$  - напруженість магнітного поля в мегаерстедах, звідки випливає, що при амплітуді поля  $H=750kE$  температура на поверхні (при початковій температурі  $\theta=0^\circ C$ ) досягає точки розплавлення. При полі понад  $800kE$  починається плавлення поверхні провідника. У магнітних полях з напруженістю  $1,2 ME$  зона плавлення металу, що зазнає впливу імпульсного поля, швидко проникає в провідник, і при полях понад  $1,5 ME$  починається випар поверхні провідника. При ще більш високих полях хвиля випару проникає в глиб металу, підриваючи поверхневий шар; ударна хвиля швидко поширюється в глиб металу, стискаючи його. Дана конструкція ВМГ забезпечує велике значення коефіцієнта зміни індуктивності, що досягається розпаралелюванням магнітного потоку, що є принциповою властивістю КВМГ. Принцип розпаралелювання припускає поділ початкового магнітного потоку по компресійних об'ємах. Знаючи коефіцієнт компресії й повні втрати, початковий магнітний потік, що запасується в одному компресійному об'ємі (так званій елементній комірі), вибирається з розрахунку, що в точці ма-

кимальної компресії значення амплітуди поля не досягає граничного значення. Крім того, принцип розпаралелювання магнітного потоку, як і принцип комплексування в цілому, дозволяє не тільки збільшити максимальне значення поля, але й зменшити масу вибухової речовини, необхідну для його досягнення. Дійсно, зростаючий магнітний тиск буде гальмувати провідник, що рухається, доти, поки він не досягне точки повороту, у якій зупиниться. У цій точці, у випадку нестисливого провідника, вся енергія вибуху перейде в магнітну енергію. Із законів збереження потоку й енергії треба,

що максимальне поле можна збільшити, зменшуючи початковий захоплений магнітний потік, що й досягається розпаралелюванням магнітного потоку.

Відзначимо також, що КВМГ за рахунок поєднання в собі двох ВМГ, має більшу початкову індуктивність і тому дозволяє запасати великий початковий магнітний потік при меншому струмі і, як наслідок, характеризується більше високими значеннями коефіцієнта підсилення струму і швидкості наростання струму.

