



УКРАЇНА

(19) UA (11) 4266 (13) U

(51) 7 H03B1/00, H03B5/10,
H05H9/00, H05H13/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ЗБУДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ В НВЧ ПРИСКОРЮЮЧІЙ СТРУКТУРІ

1

2

(21) 2004032329

(22) 30.03.2004

(24) 17.01.2005

(46) 17.01.2005, Бюл. № 1, 2005 р.

(72) Лобзов Леонід Дмитрович

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР "ХАР-
КІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"(57) Спосіб збудження електромагнітних полів у
НВЧ прискорюючій структурі, що включає зовніш-

ню генерацію електромагнітних коливань, підси-
лення їх НВЧ джерелом і передачу в прискорюючу
структуру, який відрізняється тим, що прискорю-
ючу структуру синхронно збуджують додатковим
НВЧ полем, яке генерується контуром зворотного
зв'язку, в режимі власних автоколивань структури і
НВЧ джерела з регулюванням фази і амплітуди
зворотного сигналу.

Корисна модель відноситься до НВЧ техніці,
переважно до методів збудження електромагніт-
них полів у НВЧ прискорюючих структурах лінійних
і циклічних прискорювачів заряджених часток, що
працюють у неперервному чи імпульсному режи-
мах. Вона придатна для збудження однозворних і
багатовзворних, резонаторних і хвилевідних НВЧ
прискорюючих структур, що працюють як у зви-
чайному «теплому», так і у надпровідному стані, її
також можна використовувати в НВЧ електронних
приладах і пристроях, робота яких заснована на
взаємодії заряджених частинок з електромагніт-
ними полями.

При передачі потужності НВЧ джерела і збу-
дженні електромагнітних полів у НВЧ структурі, у
неї самої та у передаючому фідері часто виника-
ють паразитні електронні струми, що призводять
до зриву її сталої роботи. Ці струми обумовлені
багаторазовими вторинно-електронними резонан-
сними явищами і розрядами, що виникають в од-
норідних електричних полях між електродними
поверхнями структури.

Такі процеси, названі мультипакторними, мо-
жуть розвиватися між окремими плоско-
паралельними ділянками електродів структури, що
знаходяться в різних її областях. При цьому вони
можуть виникати як у поздовжніх складових елек-
тричних полів структури, так і в поперечних. Осно-
вною умовою виникаючої мультипакції є рівність
часу взаємодії електронів напівперіоду гармоній-
ного прискорюючого електричного поля.

Відомо про спосіб збудження електромагніт-
них полів у НВЧ прискорюючій структурі основної
частини лінійного прискорювача Московської ме-

зонної фабрики від зовнішньої системи НВЧ жив-
лення [1]. Він реалізується при передачі в структу-
ру енергії електромагнітних коливань НВЧ
джерела за допомогою передаючого фідера. Ро-
ботою НВЧ джерела керують підключеним до нього
потужним задаючим пристроєм. Такий спосіб
дозволяє збуджувати моногармонічні прискорюю-
чі поля в структурі, як на основній моді коливань,
так і у власній смузі частот.

Однак, наростаючи напруженості електричних
полів між електродами структури з постійним НВЧ
періодом викликають виникнення паразитних еле-
ктронних струмів.

При реально наявних в описуваних прискорю-
ючих структурах співвідношеннях між напругою на
електродах і їхніх геометричних розмірах, періоді
НВЧ поля і часу взаємодії з ним, а також при кое-
фіцієнті вторинно-електронної емісії (KBEE) мідних
електродів більшому одиниці, ці струми утворюють
мультипакторні розряди в одній чи в декількох
областях структури. Це призводить до зміни екі-
валентних параметрів структури і порушенню умов
передачі в неї НВЧ потужності. Обмежуються й
амплітуди досягаємих напруженостей електричних
полів у зазорах структури доти, поки не будуть від-
треновані емісійні здібності матеріалу електродних
поверхонь у збуджуваних НВЧ полях до KBEE ме-
ншому одиниці.

Досягнення при застосуванні цього способу
стійкості збудження електромагнітних полів у НВЧ
прискорюючій структурі, забезпечується складни-
ми системами автоматичного регулювання [1] і
швидкого аварійного вимикання потужності НВЧ
джерела в каналі НВЧ живлення прискорювача [2].

(13) U

(11) 4266

(19) UA

І, якщо, з погляду забезпечення високої надійності прискорюючих структур у режимі прискорення пучків, такі міри, що застосовуються, у цілому можуть бути виправдані, то при дослідницьких, пусконаладжувальних і ремонтних роботах вони вимагають спрощення. Зазначені фактори, що ускладнюють експлуатаційне обслуговування і зменшують ККД прискорюючої структури, є основним недоліком даного способу збудження електромагнітних полів.

Відомо про інший спосіб зовнішнього збудження електромагнітних полів у НВЧ прискорюючих структурі, за яким електромагнітні коливання генерують в автогенераторному режимі роботи НВЧ джерела і передають їх у прискорюючу структуру [3]. НВЧ джерело при цьому охоплене контуром локального позитивного зворотного зв'язку, що з'єднує його вихід і вхід. Роботою НВЧ джерела керують зміною амплітуди і фази сигналу зворотного зв'язку. Збуджувані електромагнітні поля в структурі також моногармонічні, з постійним періодом НВЧ коливань.

Однак, при деякому рівні амплітуд електромагнітних полів у структурі, між електродними поверхнями будь-якої області структури, виникають мультипакторні розряди, що викликає зміну еквівалентних параметрів структури й умов узгодженої передачі в неї НВЧ потужності. Зміна вхідного опору структури при цьому забезпечує появу в тракці передачі відбитих хвиль і утворення стоячих хвиль, що веде до можливих пробіїв, як у фідері, так і на інших елементах, установлюваних у НВЧ джерелі чи прискорюючій структурі. Зміна напруги на елементі позитивного зворотного зв'язку, встановленому у фідері, викликає нестійке збудження НВЧ джерела, призводить до різких змін рівня його вихідної потужності і напруженостей збуджувальних електромагнітних полів. Це спричиняє зміну амплітудно-фазових умов мультипакції, при яких вона може заглушуватися чи знову виникати. Але при цьому змінюється і величина НВЧ потужності, що вводиться в структуру, а ефективність НВЧ тренування її електродних поверхонь стає низькою.

Зміна еквівалентних параметрів структури, в умовах виникаючих мультипакторних розрядів у збуджуваних електричних полях і, супроводжуваний при цьому, нестійкий автогенераторний режим системи НВЧ живлення, призводить до додаткових труднощів введення потужності в прискорюючу структуру. Тому НВЧ тренування прискорюючої структури для досягнення високих напруженостей прискорюючих полів при даному способі дуже тривале в часі із проблемами боротьби з мультипакцією, що залишаються [4]. Це є основним недоліком даного способу збудження електромагнітних полів у НВЧ структурі.

Найбільш близьким до способу, що заявляється, є спосіб збудження електромагнітних полів у НВЧ прискорюючій структурі, застосовуваний в автогенераторних системах НВЧ живлення лінійних прискорювачів електронів [5]. Цей спосіб включає зовнішню генерацію електромагнітних коливань, посилення їх НВЧ джерелом і передачу в прискорюючу структуру. Збудження електромагнітних полів у НВЧ прискорюючій структурі секції

лінійного прискорювача електронів забезпечується автогенераторним режимом роботи НВЧ джерела. Вихідні параметри НВЧ джерела синхронізуються за допомогою малопотужного стабілізованого НВЧ генератора. У відсутності синхронізуючого генератора автогенераторне збудження НВЧ структури з постійним періодом електромагнітних полів зберігається доти, поки виникаючі електронні процеси в збуджуваних полях, не досягнуть розрядних величин.

Виникаючі мультипакторні розряди, однак, змінюють еквівалентні параметри структури, у тому числі і її вхідний опір, зриваючи режим узгодженої передачі в неї НВЧ потужності. Швидко змінний сигнал зворотного зв'язку з фідера, керуючий авто-генераторним режимом роботи НВЧ джерела, призводить до різких змін його вихідних параметрів, у тому числі, і до зміни амплітуди генерованих коливань, що у свою чергу, порушує процеси електронної мультипакції. Такий взаємний зв'язок нестійкого автогенераторного режиму роботи НВЧ джерела, з порушенням умов електронної мультипакції, не забезпечує високої ефективності введення потужності в структуру, її НВЧ тренування і стійкого встановлення амплітуд напруженостей прискорюючих полів. Підключення на вхід автогенераторного НВЧ джерела синхронізуючого генератора дозволяє примусово забезпечувати генерацію його коливань, при змінному сигналі зворотного зв'язку. У випадку зменшення, у деякі моменти часу, сигналу зворотного зв'язку до нуля, зриву генерації і зміни періоду автоколивань НВЧ джерела не відбувається. Вихідна потужність НВЧ джерела, обумовлена при цьому вихідною амплітудою синхронізуючого генератора, продовжує надходити в НВЧ структуру, забезпечуючи процес збудження в ній електромагнітних полів. При цьому мультипакція в одних областях структури може заглушуватися, а в інших виникати. Цим забезпечується на відповідному рівні потужності, що вводиться, НВЧ тренування електродних поверхонь структури. Після тренування електродних поверхонь структури, послаблюється ймовірність виникнення мультипакторних процесів, умови передачі потужності в структуру поліпшуються. Синхронізуючий генератор задає моногармонічність автоколивальних параметрів НВЧ джерела. Мультипакторні процеси при цьому можуть мати умови резонансного розвитку в інших областях електродних поверхонь структури. Час НВЧ тренування структури, при досягненні високих напруженостей прискорюючих полів скорочується, але умови виникнення мультипакторних розрядів, спонуканих, у тому числі, і розсіяними частинками прискорених пучків, у моногармонічних електричних полях між електродами структури, зберігаються.

Неможливість швидкого досягнення високих напруженостей прискорюючих полів при реалізації високих темпів прискорення і велика ймовірність виникнення електронної мультипакції в цих полях є основними недоліками цього способу.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалити спосіб зовнішнього збудження електромагнітних полів у НВЧ структурі шляхом її збудження додатковим НВЧ електромагнітним полем, параметри якого повинні визначатися прискорюю-

чою структурою. Необхідно одержати загальний рівень електромагнітних полів, при яких будуть заглушуватися паразитні резонансні коливання електронів, що виникають у збуджуваних полях, і буде забезпечена ефективна взаємодія цих полів із прискорюємими зарядженими частинками.

Поставлена задача вирішується запропонованим способом збудження електромагнітних полів у НВЧ прискорюючій структурі, який також як і спосіб, прийнятий за прототип, включає зовнішню генерацію електромагнітних коливань, посилення їх НВЧ джерелом і передачу в прискорюючу структуру.

У відмінності від способу, прийнятого за прототип, у запропонованому способі прискорюючу структуру синхронно збуджують додатковим НВЧ полем, яке генерується контуром зворотного зв'язку, у режимі власних автоколивань структури і НВЧ джерела, з регулюванням зворотного сигналу по фазі й амплітуді. Зазначене регулювання здійснюють до заглушення електронної мультипакції, при будь-яких значеннях номінальних амплітуд напруженостей прискорюючих полів структури.

Пояснимо, як відмінні особливості запропонованого способу дозволяють вирішити поставлену задачу.

Зовнішнє збудження електромагнітних полів у НВЧ прискорюючих структурі забезпечуючи виникнення паразитних резонансних електронних процесів у збуджуваних НВЧ полях, дозволяє при цьому розглядати таку збуджену НВЧ структуру як єдине ціле. Її власні еквівалентні параметри, що змінюються, у цьому випадку визначаються як узагальненими індуктивністю, ємністю й опором активних втрат самої структури, так і реактивними й активними опорами, внесеними електронною мультипакцією.

Забезпечуючи власним контуром зворотного зв'язку додаткове автоколивальне збудження такої автономної системи синхронно з електронними процесами, що змінюються у структурі, в її вводять додаткову НВЧ потужність. Регулюючи амплітуду і фазу додаткової частини збуджуваних полів структури, безупинно збільшують електромагнітні поля між її електродами. Цим самим порушуються амплітудно-фазові умови резонансного руху електронів у збуджуваних полях. Інтенсивність мультипакторних процесів при цьому, безупинно від напівперіоду до напівперіоду НВЧ коливань у структурі починає загасати. При зміненої кількості електронів, яка стає менше величини, при якій виникають розряди, автоматично відновлюються власні реактивні параметри структури, і стійкість установа її електромагнітних полів основного типу коливань. При цьому загальне електромагнітне поле структури визначається алгебраїчною сумою складових збуджуючих її полів зовнішнього генераторного і власного автоколивального. Вторинна електронна емісія між плоско-паралельними електродними поверхнями структури в безупинно наростаючих електричних полях ініціює мультипакцію, що не розвивається і не має шкідливого впливу на еквівалентні параметри структури.

Суть корисної моделі пояснюється графічними матеріалами. На Фіг.1 показана блок-схема одного з варіантів реалізації запропонованого способу при

використанні генераторної системи НВЧ живлення прискорюючої структури. На Фіг.2 показана блок-схема другого варіанта реалізації запропонованого способу, при використанні автогенераторної системи НВЧ живлення структури.

Розглянемо можливість реалізації запропонованого способу збудження НВЧ прискорюючій структурі при різних режимах генерації потужності НВЧ живлення структури.

У першому варіанті запропонований спосіб реалізується при зовнішній генерації основного рівня електромагнітних полів структури і синхронно збуджуваного додаткового НВЧ поля, генеруемого контуром зворотного зв'язку, у режимі власних автоколивань структури і НВЧ джерела.

Блок-схема цього варіанта (див.Фіг.1) містить НВЧ прискорюючу структуру 1, у вигляді секції лінійного прискорювача електронів десяти сантиметрового діапазону з елементами узгодження його входу і виходу, підключеною до НВЧ джерела 2 клістронного типу, наприклад, клістрону КИУ-12 з вихідною потужністю від 12 до 20Мвт, при тривалості НВЧ імпульсу від 10 до 3мксек. Частота коливань у структурі задається пристроєм зовнішньої генерації 3, підключеному до одного з входів мостового пристрою 4, вихід якого з'єднаний з виходом НВЧ джерела 2. Вихід прискорюючої структури 1 підключений до амплітудно-фазового регулятора режиму власної генерації 5, другий кінець якого з'єднаний із другим входом мостового пристрою 4.

Процес збудження структури, в умовах виникаючої електронної мультипакції, відбувається таким чином.

Вихідний сигнал (див.Фіг.1) генеруємий задаючим пристроєм 3 підсилюється НВЧ джерелом 2 і передається по фідеру в прискорюючу структуру 1. При цьому між її електродними поверхнями збуджуються відповідні електромагнітні поля. Частина потужності наростаючих електромагнітних коливань структури 1, яка відбирається контуром зворотного зв'язку, амплітуда і фаза якої змінюються за допомогою власного регулятора 5, подається на вхід НВЧ джерела 2 і передається в структуру 1. При цьому забезпечується синхронне з зовнішньої генерацією збудження додаткового НВЧ поля, генеруемого в режимі власних коливань структури і НВЧ джерела. Подача на вхід НВЧ джерела 2 сигналів від задаючого пристрою зовнішньої генерації 3 і контуру зворотного зв'язку здійснюється мостовим пристроєм 4. При цьому вихідна потужність кожної складової частини генерації визначається величиною відповідного сигналу, що діє на вході НВЧ джерела 2. Номінальний рівень прискорюючих полів у структурі забезпечується сумою частин збуджуваних НВЧ полів.

Починаючи з низьких рівнів напруженостей електромагнітних полів, між електродними поверхнями виникають емісійні електрони, які взаємодіють з цими полями. В окремих ділянках плоско-паралельних електродних поверхонь, що забезпечують однорідність електричного поля, ініціюються резонансні електронні процеси, що мають тенденцію порушити еквівалентні параметри структури. Але контур зворотного зв'язку, що виконує за допомогою НВЧ джерела 2 безупинний цир-

кулюючий процес збільшення амплітуд власних коливань структури 1, у тому числі збуджених мультипакцією, забезпечує її збудження додатковим НВЧ полем. При цьому в структурі підтримується загальний рівень електромагнітних полів, що задаються параметрами зовнішньої генерації і власного зворотного зв'язку. Співвідношення між зазначеними рівнями збуджуваних полів вибирають, регулюючи амплітуду і фазу власного зворотного зв'язку регулятором 5, до заглушення мультипакторних розрядів у всьому діапазоні зміни номінальних прискорюючих полів структури 1.

В другому варіанті запропонований спосіб реалізується також як і в першому, але зовнішня генерація частини електромагнітного поля НВЧ структури здійснюється автогенераторним режимом роботи НВЧ джерела.

Блок-схема цього варіанта (див Фіг.2) містить аналогічні прискорюючу структуру лінійного прискорювача електронів 1 і НВЧ джерело клістронного типу 2. Автогенераторний режим джерела забезпечується за допомогою спрямованого відгалужувача 6, встановленого в тракці передачі потужності. Відгалужуючи частину потужності з тракту, і підключаючи її до амплітудно-фазового регулятора зовнішньої автогенерації 7, другий кінець якого з'єднаний з одним із входів мостового пристрою 4, а вихід підключений до НВЧ джерела 2, цю потужність підсилюють і по фідеру передають в прискорюючу структуру. При цьому забезпечується автогенераторне збудження електромагнітних полів у прискорюючій структурі 1 лінійного прискорювача електронів. Відгалужуючи із структури 1 частину потужності власних коливань, і, регулюючи амплітуду і фазу відбираемого сигналу за допомогою регулятора 5, її підсилюють НВЧ джерелом 2 і знову передають в структуру 1. При цьому забезпечується додаткове автоколивальне збудження прискорюючої структури 1. Синхронне накладення в самій структурі 1 окремих частин збуджуваних електромагнітних полів створює загальний рівень її прискорюючих полів. Виникаючи при цьому в прискорюючій структурі 1 емісійні електрони, що ініціюють мультипакторні явища, не мають умов досягнення великих інтенсивностей здатних змінювати еквівалентні параметри структури. Це відбувається завдяки тому, що додаткове

НВЧ поле в структурі 1 продовжує безупинно збуджуватися, незалежно від інтенсивності мультипакції.

Незалежність зовнішнього автогенераторного і власного автоколивального збудження структури 1 не допускає виникнення вторинних електронних процесів, які мають шкідливий вплив на еквівалентні параметри прискорюючої структури, забезпечуючи реалізацію високих темпів прискорення в лінійних прискорювачах електронів. При цьому повною мірою реалізуються переваги автогенераторного збудження прискорюючої структури з використанням як локального, так і повного зворотного зв'язку.

Таким чином, запропонований спосіб, завдяки відмінним особливостям подачі власної НВЧ генерації на вхід структури, забезпечує ефективне збудження електромагнітних коливань при заглушенні виникаючої електронної мультипакції в збуджуваних НВЧ полях

Джерела інформації:

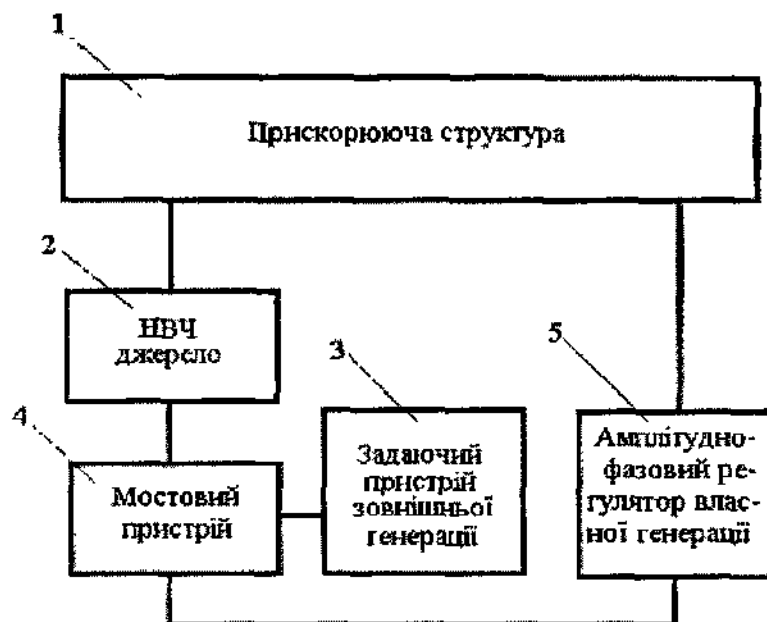
1. Б.И. Поляков, Ю.Д. Иванов, А.В. Мищенко и др./Параметры и структура системы ВЧ питания линейного ускорителя мезонной фабрики. // Труды РТИ №28, Москва, 1977, с.26-32.

2. В.В. Пеплов, С.И. Шараментов./Система быстрого аварийного выключения мощности в каналах СВЧ питания основной части ЛУМФ. // XIV Совещание по ускорителям заряженных частиц, т.1. Протвино, 1994, с.256-259

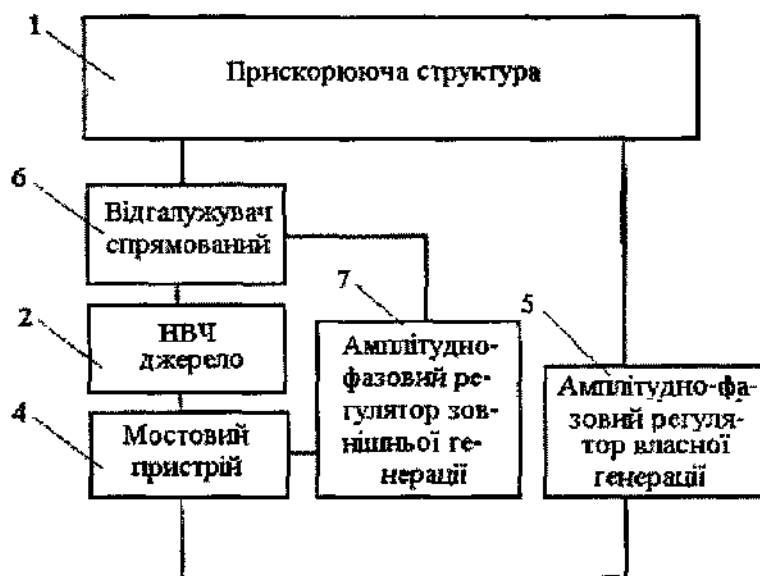
3. Г.Г. Оксужан, Э.М. Лазиев, В.П. Серов и др./Использование мощного клистрона в режиме автогенерации в качестве возбудителя на линейных ускорителях электронов. // Вопросы атомной науки и техники. Серия. Физика высоких энергий и атомного ядра. Вып.4(6), Харьков. 1973, с.67-70.

4. Е.З. Биллер, В.Н. Борискин, В.А. Вишняков и др./Исследование электрической прочности и СВЧ разрядов в ускоряющих секциях ЛУЭ // Вопросы атомной науки и техники. Серия. Ядерно-физические исследования. Вып.10(18), Харьков, 1990, с.22-27.

5. В.И. Белоглазов, Л.М. Завада, В.А. Кушнир и др./Синхронизируемый автогенератор на мощном усилительном клистроне. // ПТЭ №5, 1987, с.101-102 (прототип).



Фіг. 1



Фіг. 2

