

УДК 621.316

Г.Ф. Коняхін, Л.Б. Макаров, В.М. Савченко, О.І. Федюшин

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

## СИСТЕМА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГОВИДІЛЕННЯ

*В статті пропонується система для визначення параметрів джерела енерговиділення шляхом збудження в плазмі другої гармоніки сигналу передавача, що дозволяє підвищити точність виміру енерговмісту плазми джерела енерговиділення і визначити параметри джерела енерговиділення.*

**Ключові слова:** джерело енерговиділення, високотемпературна плазма, вимірник фазового зсуву, інтегратор, вимірник доплерівського зсуву частот, ленгмюровська хвиля.

### Вступ

**Постановка задачі і аналіз літератури.** Для визначення параметрів джерела енерговиділення, робота якого супроводжується утворенням високо-температурної плазми, відомі технічні рішення, засновані на вимірі власного випромінювання плазми [1]. Недоліком такого пристрою є те, що він тільки якісно оцінює інтенсивність джерела енерговиділення і не дозволяє визначити його параметри.

В роботі [2] розглянуто пристрій, що містить НВЧ-передавач і НВЧ-приймач і визначає параметри плазми по проходженню через нього НВЧ-випромінювань, створених передавачем. Недоліком цього пристрою є громіздкість і неточність виміру параметрів.

В роботі [3] приведено пристрій для дослідження параметрів плазми, який складається з генератора НВЧ-хвиль і серії приймачів. Здійснюється похиле зондування відомої і плоскої границі плазми і прийом відбитих сигналів. Відома геометрія нерухомої плазми дозволяє відновити профіль щільності плазми  $n(r)$ . Недоліком відомого пристрою є те, що з його допомогою не можна визначити температуру середовища  $T(r)$  і швидкість її розширення, тому що відсутня можливість знайти енерговміст плазми.

Відомо система для визначення параметрів джерела енерговиділення, опис якої дано в роботі [4]. Система складається з передавача, приймача, антенних пристроїв, вимірника фазового зсуву між падаючої хвилі і тій, що пройшла, і реєстратора. Вимірник фазового зсуву підключений до передавача і приймача. Дана система дозволяє оцінити параметри плазми (щільність і її розподіл у просторі) по проходженню електромагнітних хвиль через середовище. Недоліками відомої системи для визначення параметрів джерела енерговиділення є порівняно невисока точність визначення енерговмісту плазми джерела енерговиділення, тому що система по величині фазового зсуву  $\Delta\psi_0$  дає усереднене значення щільності плазми  $n(r)$  по довжині поширення. Крім

того, величина температури плазми  $T(r)$  повинна бути визначена іншими пристроями (наприклад, оптичними). Після поєднання і приведення отриманих даних можна оцінити енерговміст плазми  $W_{пл}$  і потужність джерела, що його створило

$$W_{пл} = \int n(r)T(r)dV = n \int T(r)dV,$$

де  $V$  – обсяг плазми. Відзначимо, що для нестационарної плазми, що рухається в просторі, розглянута система не дозволяє визначити частку кінетичної енергії плазми, що поширюється.

**Ціллю даної статті** є підвищення точності виміру енерговмісту плазми джерела енерговиділення і визначення параметрів джерела енерговиділення.

### Основна частина

Нами пропонується система для визначення параметрів джерела енерговиділення (рис. 1), що містить передавач з передавальною антеною, приймач із прийомною антеною, вимірник фазового зсуву електромагнітних хвиль, з'єднаний з виходами передавача і приймача, вимірник доплерівського зсуву частот, з'єднаний з виходами передавача і приймача, вимірник часу запізнювання між приходом сигналу передавача і його другою гармонікою, збудженої в плазмі джерела енерговиділення, включений паралельно приймачу, який настроєно на частоту сигналу передавача і його другу гармоніку, інтегратор, з'єднаний з виходами приймача, вимірника фазового зсуву електромагнітних хвиль, вимірника доплерівського зсуву частот і вимірника часу запізнювання між приходом сигналу передавача і його другою гармонікою.

Робота пропонованої системи відбувається в такий спосіб. Передавач досить великої інтенсивності випромінює через антену сигнал з частотою  $\omega_1$ , який впливає на плазму джерела енерговиділення і збуджує в ній сигнал з частотою  $\omega = 2\omega_1$ , а також відбивається від плазми на частоті  $\omega_1$ . Сигнали з частотами  $\omega_1$  і  $2\omega_1$  приймаються прийма-

льною антеною і реєструються приймачем. Вимірник фазового зрушення вимірює зрушення по фазі  $\Delta\psi_0$  між випромєненним передавачем сигналом на

частоті  $\omega_i$  і відбитим від плазми сигналом з тією же частотою, що дає можливість визначити щільність плазми  $n(r)$  джерела енерговиділення.

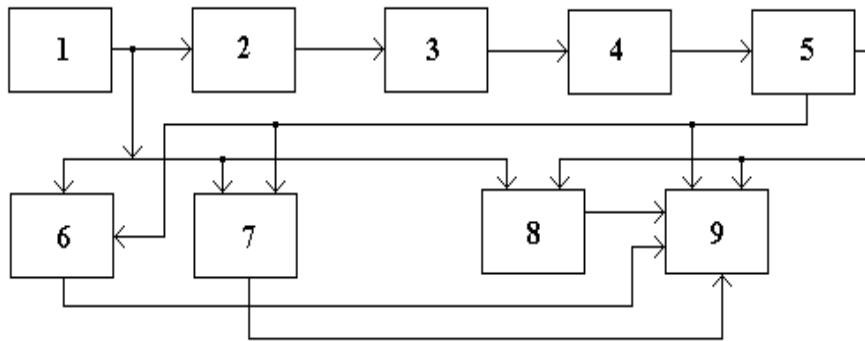


Рис. 1. Структурна схема пропонованої системи:

1 – передавач; 2 – передавальна антена; 3 – джерело енерговиділення; 4 – приймальна антена; 5 – приймач; 6 – вимірник фазового зрушення електромагнітних хвиль; 7 – вимірник доплерівського зрушення частот; 8 – вимірник часу запізнювання; 9 – інтегратор

По амплітуді другої гармоніки  $2\omega_i$  і часу її запізнювання вимірник часу запізнювання визначає величину, пропорційну температурі плазми  $T(r)$  і область її поширення. Вимірник по доплерівському зсуву частот визначає величину швидкості руху зареєстрованих областей щільності плазми.

Вся інформація надходить в інтегратор, обробляється в ньому і видаються параметри джерела енерговиділення.

Використання пропонованого технічного рішення дозволяє одержувати більш повну інформацію про плазмі нестационарні утворення, що виникають при імпульсному виділенні енергії в просторі (при лазерному впливі, різних вибухах і т.п.).

Це може бути використано для визначення потужності імпульсного джерела енергії і його координат.

Для точності виміру енерговмісту плазми в межах 25...30% необхідне застосування трьох, чотирьох зондувальних частот  $\omega_i$  при амплітудах падаючих на плазму електромагнітних хвиль  $E \geq 1$  В/см (при цих умовах починають виявлятися нелінійні ефекти генерації других гармонік). У пропонованій системі використовуються багаточастотні приймач і передавач.

Коротко наведемо теоретичні обґрунтування одержання позитивного ефекту.

При падінні на плазму хвилі частотою  $\omega$  і амплітудою  $E \geq 1$  В/см в плазмі відбувається генерація хвилі з частотою  $2\omega$  [5]. Коефіцієнт перетворення в другу гармоніку дорівнює

$$Q = S_{2\omega}/S_{1\omega} = \frac{2\pi\sqrt{3} \cdot k^2 Q_T^2}{q \cdot \rho \cdot \sin^3 \theta} (q-1)^{1/2} \left| \operatorname{Re} e^{i\psi_0} - e^{-i\psi_0} \right|^2,$$

при виконанні умови

$$3\beta^2 > \sin^2 \theta,$$

де  $S$  – щільність потоку енергії;

$$q \equiv \frac{3\beta^2}{\sin^2 \theta};$$

$$\rho = \frac{\omega}{c};$$

$Q_T$  – коефіцієнт трансформації електромагнітної хвилі в ленгмюровську [6];

$$K^2 \equiv \left( \frac{eLH}{2mc^2} \right) \sin^2 \theta - \text{параметр неідеальності};$$

$$\beta^2 = \frac{T}{mc^2};$$

$mc^2 = 510$  кеВ – енергія спокою електрона;

$c$  – швидкість світла;

$L$  – просторовий розмір плазми;

$\theta$  – кут падіння випромінювання на плазму.

Для випадку, коли відстань плазми набагато більше її просторових розмірів, база між приймачем і передавачем значно менше цієї відстані, тому маємо [7]

$$Q = \left( aT^{1/4} \right)^{-1},$$

де  $a$  – коефіцієнт пропорційності;

$T$  – температура, а час запізнювання приходу сигналу другої гармоніки до приймача стосовно відбитого сигналу на основній частоті дорівнює

$$\Delta t_3 = \frac{L\beta^2}{V_{Te}} = \frac{L}{c} \beta,$$

де  $V_{Te}$  – теплова швидкість руху в плазмі.

При  $L \sim 10^4$  см –

$$\Delta t_3 = (10^{-9} \dots 10^{-7,5}) \text{ с},$$

що досить для роздільної здатності.

Питання доплерівського зсуву частот для плазми, яка розширюється, дозволяє знайти швидкість розширення іонізованого утворення викладені в роботі [8].

Значення фазового зсуву  $\Delta\psi_0$  можна використовувати для визначення повного розміру плазмового утворення. Маючи на увазі, що для неоднорідної плазми діелектрична проникність  $\varepsilon = \varepsilon(x)$

$$\varepsilon = 1 - \frac{\omega_{pe}^2(x)}{\omega^2} \approx -\frac{x}{L};$$

$$L = \left( \frac{d\varepsilon}{dx} \cdot \frac{1}{\varepsilon} \right)^{-1},$$

де  $\omega_{pe}$  – ленгморовська частота, запишемо умову поширення хвилі

$$2 \frac{\omega}{c} \int_{-L}^{\varepsilon=\sin^2 \theta} \sqrt{\varepsilon(x) - \sin^2 \theta} dx \approx$$

$$\approx \frac{2}{3} L (1 - \sin^2 \theta)^{3/2},$$

а визначаючи  $\Delta\psi_0$ , знайдемо  $L$ .

Зазначених вище даних досить для визначення енерговмісту плазми.

Таким чином, запропонована система для визначення параметрів джерела енерговиділення в порівнянні з відомими системами дозволяє з великою точністю визначити енерговміст плазми і параметри джерела енерговмісту.

### СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ

Г.Ф. Коныхин, Л.Б. Макаров, В.Н. Савченко, А.И. Федюшин

*В статье предлагается система для определения параметров источника энерговыведения путем возбуждения в плазме второй гармоники сигнала передатчика, который позволяет повысить точность измерения энергосодержание плазмы источника энерговыведения и определить параметры источника энерговыведения.*

**Ключевые слова:** источник энерговыведения, высокотемпературная плазма, измеритель фазового сдвига, регистратор, измеритель доплерівського сдвига частот, ленгморовська волна.

### SYSTEM FOR DEFINITION OF PARAMETERS OF A SOURCE OF POWER ALLOCATION

G.F. Konjakhin, L.B. Makarov, V.N. Savchenko, A.I. Fedyushin

*In article offered system for definition of parameters of a source of power allocation by excitation in plasma of the second harmonic of a signal of the transmitter which allows to raise accuracy of measurement the power maintenance of plasma of a source of power allocation and to define parameters of a source of power allocation.*

**Keywords:** a power allocation source, high-temperature plasma, a measuring instrument of phase shift, the registrar, measuring device of dopler's change of frequencies, lengmyurovskaya a wave.

### ВИСНОВКИ

1. При падінні на плазму електромагнітної хвилі з частотою  $\omega$  і амплітудою  $E \geq 1$  В/см в плазмі відбувається генерація електромагнітної хвилі з частотою  $2\omega$ .

2. Використання запропонованого технічного рішення дозволяє одержувати більш повну інформацію про плазміні нестационарні утворення, що виникають при імпульсному виділенні енергії в просторі.

### Список літератури

1. Патент США №3718918, G08B 21/00, "Пристрій для визначення ядерного вибуху".
2. Дослідження просторового розподілу щільності електронів у плазмі за допомогою мікро радіохвиль / Л.А. Душин и др. // Фізика плазми і проблеми керованого термоядерного синтезу. – К.: АН УРСР, 1963. – Вып. 2. – С. 322 с.
3. Голант В.Е. Сверхвысокочастотные методы исследования плазмы / В.Е. Голант. – М.: Наука, 1968. – С. 91-95.
4. Диагностика плазмы / под ред. Р. Хаддлстоуна, С. Леонарда. – М.: Мир, 1967. – С. 415.
5. Генерация гармоник, распадные процессы и спектры излучения // Вопросы теории плазмы. – М.: Атомиздат, 1986. – Вып. 7. – С. 146-202.
6. Арцимович Л.А. Физика плазмы для физиков / Л.А. Арцимович, Р.З. Сагдеев. – М.: Атомиздат, 1979. – 42 с.
7. Моисеев С.С. Теория генерации второй гармоники / С.С. Моисеев, В.В. Мухин // Nucl/Fusion. – 1974. – V. 14. – Pp. 333-339.
8. Моисеев С.С. – Сб. "Диагностика плазмы"– М.: Атомиздат, 1973. – С. 341-344.

Надійшла до редколегії 14.11.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.М. Сотніков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.