

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **045560**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.12.05

(51) Int. Cl. **H05H 1/00** (2006.01)
G01N 27/00 (2006.01)

(21) Номер заявки
202390454

(22) Дата подачи заявки
2023.01.31

(54) **СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ПЛАЗМЫ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА**

(43) **2023.11.28**

(56) RU-C1-2051476
SU-A1-388221
RU-C1-2118831
US-A1-2020236772
WO-A1-2017104903

(96) **2023/EA/0004 (BY) 2023.01.31**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
"БЕЛОРУССКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАТИКИ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ" (BY)**

(72) Изобретатель:
**Осипов Анатолий Николаевич, Котов
Дмитрий Анатольевич (BY)**

(57) Изобретение относится к технике диагностики плазмы и может быть использовано для оценки состояния плазмы в приборах, предназначенных для обработки объектов. Указанная задача достигается тем, что в способе диагностики плазмы выполняется регистрация зависимостей мгновенных напряжений на электродах разрядной системы генерации плазмы и зависимостей мгновенных токов, протекающих через электроды разрядной системы, затем вычисляют на их основе амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики системы плазма-объект, мощности, выделяемые на плазме, далее согласно известным методам обработки вычисленных характеристик определяют динамику параметров плазмы. Сопоставительный анализ с известными способами показывает, что в изобретении отсутствие дополнительных электродов-зондов обеспечивает точность измерений, обработка измеряемых значений обеспечивает описание динамики состояния плазмы в реальном масштабе времени.

B1

045560

045560

B1

Изобретение относится к области электрофизики, в частности к технике диагностики плазмы, и может быть использовано для оценки состояния плазмы в приборах и устройствах, предназначенных для обработки объектов, включая биообъекты и материалы с целью изменения свойств их поверхностей, а также очистки и дезинфекции.

Известен спектроскопический способ диагностики плазмы, основанный на регистрации и анализе характеристик спектров электромагнитного излучения плазмы [1]. С помощью полученных спектров находят пространственно-временные распределения практически всех параметров плазмы в самых широких диапазонах их значений. Недостатком данного способа является сложность связи параметров плазмы с непосредственно измеряемыми интенсивностями и существенная зависимость от видов статистических распределений частиц и излучения, которые заранее не известны. Поэтому спектроскопические исследования проводятся в три этапа. Сначала устанавливают модель состояния плазмы и выбирают методы диагностики плазмы, допустимые в рамках этой модели, далее эти методы реализуют, а затем интерпретируют полученные результаты измерений и контролируют адекватность модели.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому изобретению является зондовый способ, основанный на активном зондировании исследуемой плазмы током малой интенсивности [2]. Суть способа заключается в том, что в плазму помещают металлический проводник - зонд различной формы: плоской, цилиндрической или сферической. С помощью внешнего источника напряжения задают потенциал зонда относительно одного из иницирующих разряд электродов, чаще всего находящегося под нулевым потенциалом. Регистрируют зависимость тока зонда от подаваемого на него потенциала, т.е. снимают зондовую вольт-амперную характеристику (ВАХ), по которой судят о концентрации электронов плазмы. Недостатком данного типа устройств является то, что ток зонда регистрируется для неустановившегося режима, что приводит к погрешности в определении ВАХ, а следовательно, и в вычислениях концентрации и температуры плазмы.

Задачей данного изобретения является повышение точности диагностики плазмы и количественная оценка состояния плазмы в реальном масштабе времени в стационарном режиме и при взаимодействии с объектами.

Поставленная задача достигается за счет того, что в предложенном способе диагностики плазмы проводится регистрация зависимостей мгновенных напряжений в первичной $U_1(t)$ и/или вторичной $U_2(t)$ обмотках повышающего трансформатора, сигнал с которого подается на первый и второй электроды разрядной системы для генерации плазмы и зависимостей мгновенных токов, протекающих соответственно через первый $I_1(t)$ и второй $I_2(t)$ электроды разрядной системы, а далее в вычислении на их основе, амплитудно-частотных $K(\omega)$ и фазочастотных $\varphi(\omega)$ характеристик системы плазма-объект и электрических мощностей $P_{21}=U_2 \times I_1$, $P_{11}=U_1 \times I_1$, $P_{22}=U_2 \times I_2$, $P_{12}=U_1 \times I_2$, выделяемых на плазме, включая реактивную и активную мощности, далее, согласно известным методам обработки вычисленных характеристик, определяют динамику параметров плазмы.

Сопоставительный анализ с известными способами показывает, что в заявленном изобретении для диагностики плазмы используются электрические сигналы, генерирующие плазму и измеренные в первичной и/или вторичной обмотках повышающего трансформатора. Отсутствие электродов-зондов обеспечивает точность измерений, обработка полученных значений классическими методами электротехники обеспечивает описание динамики состояния плазмы в реальном масштабе времени.

На фигуре приведена структурная схема устройства генерации и диагностики плазмы диэлектрического барьерного разряда на основе диэлектрического барьерного разряда, которое содержит генератор импульсов 1, формирователь сигнала 2, датчик напряжения в первичной обмотке 3, повышающий трансформатор 4, датчик напряжения во вторичной обмотке 5, первый 6 и второй 7 датчики тока, разрядный блок 8 с первым 9 и вторым 10 электродами, регистратор сигналов 11. Сигнал с выхода генератора импульсов 1 поступает на формирователь сигнала 2, который формирует сигнал с формой, оптимальной для зажигания атмосферной плазмы. Далее сигнал поступает через повышающий трансформатор 4 на первый 9 и второй 10 электроды разрядного блока 8, генерирующего атмосферную плазму диэлектрического барьерного разряда. При этом, значения напряжений сигнала в первичной и/или во вторичной обмотке повышающего трансформатора 4, считанные с датчиков 3 и 5, а также сигналы токов, протекающие через первый 9 и второй 10 электроды разрядного блока 8, считанные соответственно с первого 6 и второго 7 датчиков тока регистрируются в регистраторе сигналов 11. Взаимодействие плазмы с объектом может быть представлено как линейная стационарная система с одним входом (напряжение питания плазмы) и одним выходом (ток питания плазмы). В случае если на сигнал, подаваемый на электроды, накладываются ограничения по изменению частоты, амплитуды, формы, то допустимо считать исследуемую систему линейной. Тогда для диагностики состояния плазмы может быть применен метод на основе расчета передаточной функции и вычисления частотных характеристик цепи в случае допущения линейности исследуемой системы.

Частотные характеристики линейной цепи отражают ее реакцию на гармоническое воздействие. Они определяются комплексной передаточной функцией [3]:

$$K(j\omega) = \frac{y(j\omega)}{x(j\omega)}, \quad (1)$$

представляющей собой отношение комплексных амплитуд реакции ($y(j\omega)$ - напряжение или ток на выходе системы) и воздействия ($x(j\omega)$ - напряжение или ток на входе системы). Значение передаточной функции системы эквивалентно полному представлению динамической связи, существующей между стимулом и реакцией. Комплексную передаточную функцию можно представить в виде:

$$K(j\omega) = K_1(\omega) + jK_2(\omega) = K(\omega) \times e^{j\varphi(\omega)}, \quad (2)$$

где $K_1(\omega)$ и $K_2(\omega)$ - соответственно мнимая и действительная часть передаточной функции, $K(\omega)$ - амплитудно-частотная и $\varphi(\omega)$ - фазочастотная характеристики. Соответственно $K(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ определяют в соответствии с выражениями:

$$K(\omega) = \sqrt{K_1^2\omega^2 + K_2^2\omega} \quad (3)$$

$$\varphi(\omega) = \text{actg} \frac{K_2(\omega)}{K_1(\omega)} \quad (4)$$

Таким образом, построение амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик системы плазма-объект необходимо выполнить в соответствии со следующим алгоритмом.

1. Регистрация сигналов напряжения $U_1(t)$ в первичной и/или i вторичной $U_2(t)$ обмотках повышающего трансформатора и сигналов токов, протекающих соответственно через первый $I_1(t)$ и второй $I_2(t)$ электроды разрядной системы.

2. Выделение значимой части зарегистрированных сигналов в первичной цепи повышающего трансформатора и во вторичной цепи трансформатора.

3. Вычисление функций в соответствии с уравнениями (1, 2).

4. Вычисление и построение графиков зависимостей амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик системы плазма-объекта в соответствии с уравнениями (3, 4).

5 Анализ состояния плазмы на основе полученных зависимостей.

Плазма является нагрузкой источника переменного высокого напряжения в цепи с периодическим источником. Для диагностики состояния плазмы может быть применен анализ на основе определения мощности, выделяемой на нагрузке (плазме). При этом плазма как нагрузка, будет характеризоваться полной мощностью, а также и активной и реактивной составляющей. Также динамика изменения свойств плазмы может быть описана посредством изменения амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик нагрузки генератора, которой является сама плазма.

Таким образом, в изобретении для диагностики плазмы используются электрические сигналы, генерирующую плазму и измеренные в первичной и/или вторичной обмотках повышающего трансформатора. Это не требует дополнительных измерительных зондов, вносимых в плазму, и соответственно обеспечивает более высокую точность измерений. Вычисленные в соответствии с классическими методами электротехники значения мощностей (полной, активной, реактивной), выделяемых на нагрузке-плазме, а также ее амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики, описывают состояние нагрузки-плазмы, а их изменения - динамику изменения плазмы.

Источники информации.

1. Патент SU 1805350 A1, МПК G01N21/19/ Способ определения характеристик ионизированной среды / Казанцев С.А. СССР. - №4901980/25; заявл. 11.01.1991; опубл. 30.03.1993; бюл. №12.

2. Патент RU 2051476, МПК H05H 1/00, G01N 27/00. Способ диагностики плазмы и устройство для его осуществления / Колесников Н.Л., Васильев Б.А., Чуменков В.П. (Российская Федерация). - № 5039672/25; заявл. 20.04.1992; опубл. 27.12.1995.

3. Батюков, С.В. Теория электрических цепей: учебно-метод. пособие: в 2 ч. Ч. 2 / С. В. Батюков, Н. А. Иваницкая, Л. К). Шилин. - Минск: БГУИР, 2014.-100 с. :ил.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ диагностики плазмы, в котором выполняется регистрация зависимостей мгновенных напряжений в первичной $U_1(t)$ и/или вторичной $U_2(t)$ обмотках повышающего трансформатора, сигнал с которого подается на первый и второй электроды разрядного блока для генерации плазмы, и зависимостей мгновенных токов, протекающих соответственно через первый $I_1(t)$ и второй $I_2(t)$ электроды разрядной системы, затем вычисляют на их основе амплитудно-частотные $K(\omega)$ и фазочастотные $\varphi(\omega)$ характеристики системы плазма-объект, мощности $P_{21}=U_2 \times I_1$, $P_{11}=U_1 \times I_1$, $P_{22}=U_2 \times I_2$, $P_{12}=U_1 \times I_2$, выделяемые на плазме, включая реактивную и активную мощности, далее, согласно известным методам обработки вычисленных характеристик, определяют динамику параметров плазмы.

