

ПЛАЗМАТРОНЫ

Демченко П.В.

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Шиян В.П., к. ф-м.н., доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества

Плазмотроны – генераторы низкотемпературной плотной плазмы – нашли самое широкое применение в разных областях человеческой деятельности, особенно в промышленности, благодаря своим уникальным свойствам и возможностям. В плазмотронах получают потоки плазмообразующего вещества с высокой температурой и энтальпией, которые не достигаются другими средствами, получают плазму практически любого вещества.

Существует несколько типов используемых плазмотронов:

1. Электродуговые плазмотроны – имеет не менее одного анода и катода к которым подключен источник питания плазмотрона постоянного тока.

2. Высокочастотные плазмотроны – не используют для своего функционирования электродов/катодов. Для связи с источником питания плазмотрона используется индуктивный/емкостной принцип.

3. Сверхвысокочастотные плазмотроны (плазмохимический реактор) – предназначены для конверсии углеводородного газа в наноструктурный углерод и водород путем разложения молекул газа в свч разряде без участия катализатора и буферного газа.

Волноводы с согласованной нагрузкой

Волноводные согласованные нагрузки выполняют в виде поглощающих вставок переменного профиля в отрезке короткозамкнутого волновода. В маломощных нагрузках вставки имеют вид тонких диэлектрических пластин, покрытых графитовыми или металлическими пленками. Объемные поглощающие вставки с большой мощностью рассеивания выполняют из композитных материалов на основе порошков графита, карбонильного железа или карбида кремния.

Для уменьшения отражений поглощающим вставкам придают вид клиньев или пирамид. Наименьшие отражения в широкой полосе частот обеспечиваются от вставок, входная часть которых имеет форму экспоненциального клина в плоскости вектора E . Для устранения отражения от короткозамыкателя вставка должна вносить ослабление 20–25 дБ.

Для улучшения теплоотвода площадь соприкосновения вставки со стенками волновода делают максимальной, а внешнюю поверхность волновода снабжают радиатором.

Волноводы с коаксиальным переходом. Типы.

Очень распространенными узлами СВЧ - трактов являются переходы с одной линии передачи на другую, которые также называют возбудителями волны заданного типа. По схеме замещения переходы являются взаимными реактивными четырехполюсниками, и в их проектировании основное внимание уделяется достижению Хорошего качества согласования входов в полосе частот при обеспечении необходимой электрической прочности. Рассмотрим ряд характерных конструкций переходов.

Возбуждение прямоугольного волновода с волной типа H₁₀ от коаксиального волновода с T-волной производится с помощью коаксиально-волноводных переходов.

Основным элементом таких переходов являются обтекаемые электрическим током штыри, размещаемые в короткозамкнутом с одной стороны волноводе параллельно силовым линиям поля E.

В зондовом переходе согласование входов обеспечивается изменением длины зонда l_3 , а также подбором расстояний l и x , определяющих положение зонда. Для расширения полосы частот согласования желательно увеличивать диаметр зонда d . При тщательном выполнении зондовый переход обеспечивает полосу частот согласования 15–20 % относительно расчетной частоты при КБВ^{30,95}. Недостатком зондового перехода является снижение электропрочности из-за концентрации силовых линий поля E на конце зонда. В определенной мере этот недостаток преодолевается в коаксиально-волноводном переходе с последовательным шлейфом, однако даже при самом тщательном подборе расстояний l и l_3 рабочая относительная полоса частот составляет ~7%.

Лучшие результаты по согласованию и электропрочности имеет переход с поперечным стержнем, дополненный согласующей индуктивной диафрагмой. В такой конструкции достижима относительная полоса частот согласования ~15%. Максимальных широкополосности (~20% при КБВ^{30,95}) и электропрочности достигают в коаксиально-волноводных переходах так называемого «пуговичного» типа, требующих, однако, тщательного экспериментального подбора формы проводников в сочетании с дополнительной настройкой качества согласования с помощью индуктивной диафрагмы.

Применение коаксиально-волноводных переходов для возбуждения волны E10.

СВЧ – плазмотроном волноводного типа на основе (в.к.п.).

Данный СВЧ плазмотрон представляет собой волноводно-коаксиальный переход – 1, состоящий из прямоугольного волновода – 2 и коаксиальной линии – 3 с полым внутренним проводником – 4 и внешним проводником – 5, образующим разрядную камеру. Данный волноводно-коаксиальный переход является переходом «пуговичного» типа. Выбор «пуговичного» типа обусловлен тем, что данная конструкция зонда обеспечивает максимальную широкополосность (около 20 % при коэффициенте бегущей волны не менее 0,95) и электропрочность [1]. Волновод – 2 снабжен запредельным волноводом круглого сечения – 7, который одновременно служит трубопроводом для подачи плазмообразующего газа и предотвращает выход СВЧ-излучения наружу. В выходном конце волновода – 1 установлен подвижный короткозамыкающий поршень – 8 для подстройки оптимального режима плазмотрона. Волновод – 1 сечением $90 \times 45 \text{ мм}^2$ выполнен из нержавеющей стали. Внутренний проводник – 4 коаксиальной линии – 3 диаметром 16 мм и внешний проводник – 5 с внутренним диаметром 40 мм также выполнены из нержавеющей стали. Для питания плазмотрона использован магнетрон типа М-143-1 с выходной регулируемой мощностью в непрерывном режиме до 2 кВт и рабочей частотой $f=(2450 \pm 50) \text{ МГц}$. Защита магнетрона от отраженной волны обеспечивается применением ферритового вентиля ВФВВ2-13, рассчитанного на использование при уровне непрерывной СВЧ мощности до 3 кВт.

Для инициирования СВЧ разряда на торце внутреннего проводника – 4 коаксиальной линии – 3 размещен инициатор 6 в виде разупорядоченной укладки вольфрамовых спиралек.

Выбор размера волновода и расчет затухания

Для того, чтобы нам выбрать размер волновода, нам нужно знать частоту(f) и длину волны (l). Частота у нас равна $f=2450 \text{ МГц}$.

По формуле 1 рассчитываем длину волны:

$$l=C/f \quad (1),$$

где C – скорость света $3 \times 10^8 \text{ м/с}$; $l=3 \times 10^8 / 2,45 \times 10^9=12,54 \text{ [см/с]}$.

По таблице в приложении 5 [2] определяем размеры волновода.

Так как у нас $f = 2450$ а $l=12,54$, то следует, что размер волновода равен $90 \times 45 \text{ мм}^2$.

Рассчитываем коэффициент затухание полученного волновода для никеля:

$$(\sigma)_{H_{10}} = \frac{\sqrt{\frac{\omega^2 \mu_{\text{ст}} \varepsilon \varepsilon_0}{2\sigma_{\text{ст}} \mu}}}{b \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{\text{кр}}}\right)^2}} \left[1 + 2 \frac{b}{a} \left(\frac{\lambda}{\lambda_{\text{кр}}}\right)^2 \right], \quad (2),$$

$$\square = 2\pi f = 2 * 3.14 * 2450 = 15.386 * 10^6; \lambda_{\text{кр}} = 2a;$$

$$\lambda_{H10} = \frac{\sqrt{\frac{15.386 \cdot 10^6 \cdot 1.100 \cdot 1.25 \cdot 10^{-4} \cdot 0.886 \cdot 10^{-11}}{2 \cdot 1.25 \cdot 10^7 \cdot 1.256 \cdot 10^{-6}}}}{45 \sqrt{1 - \left(\frac{12.24}{2 \cdot 90}\right)^2}} * \left[1 + 2 \frac{45}{90} \left(\frac{12.24}{2 \cdot 90}\right)^2 \right] = 0.21125 * 10^{-10} \left[\frac{\text{ДБ}}{\text{м}} \right].$$

Расчет напряженности электрического поля при мощности 2кВт:

$$(P_{\text{проб}})_{H_{10}} = \frac{ab}{4} E_{\text{проб}}^2 \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{\text{кр}}}\right)^2}.$$

$$E_{\text{проб}} = \sqrt{\frac{2 * 10^{-3}}{90 * 45 \cdot \frac{0.886 \cdot 10^{-11}}{1.256 \cdot 10^{-6}} * \sqrt{1 - \left(\frac{12.24}{2 * 90}\right)^2}}} = 4,85 \left[\frac{\text{В}}{\text{м}} \right]$$

Вывод: Данный плазматрон разрабатывается для переработки газового конденсата во вторичные продукты пользования. А не сжигали его на местах рождения газа, т. к. за год примерно сжигается это конденсата примерно на 10 млн. рублей

Список информационных источников

1. <http://works.tarefer.ru/71/100209/index.html>
2. Техника и приборы СВЧ. Том 1 / И.В. Лебедев, 1970.