

**РИТТЕР Д.В., НАБИЕВ Н.К.**

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНОВОДА ДЛЯ СВЧ НАГРЕВА**

Цель исследования: для выполнения основного требования практического использования СВЧ нагрева – равномерного нагрева особенно протяженных объектов предлагается применить поверхностный волновод, отличительной чертой которого является наличие открытого поля около провода в пределах цилиндра с радиусом порядка одной длины волны.

Размещение таких протяженных объектов как бревна, битумная масса, грунт в поле поверхностного волновода приведет к тому, что данные объекты будут поглощать определенную часть энергии, и, следовательно, нагреваться. Равномерность нагрева по длине обеспечивается соответствующим положением объекта относительно поверхности волновода. Предлагаем рассмотреть особенности процесса взаимодействия объекта с полем волновода.

Одна из особенностей линии с поверхностной волной (ПВ) заключается в неоднородности, помещенной в поле поверхностного волновода и приводящей к частичному переизлучению и поглощению энергии волновода. При этом можно реализовать режим минимального переизлучения энергии, а поглощение максимально. Такой режим достигается выбором функции изменения коэффициента связи между объектом и осью волновода, вдоль которого распространяется поверхностная волна. Возможность реализации распределений поля вдоль системы переизлучателей при минимуме энергии в балластной нагрузке показана в работе [2]. В данном случае необходимо обеспечить

минимум отражения и излучения при равномерном по длине поглощении энергии. Минимум отражения достигается компенсацией отраженной волны в тракте. Излучение минимизируется путем установки соответствующего отражателя около провода с поверхностной волной.

Известно, что поглощаемая объектом энергия зависит от целого ряда параметров, как поля, так и объекта. Поглощаемая мощность может быть вычислена с помощью выражения:

$$P_n = \omega \varepsilon_0 \varepsilon \operatorname{tg} \delta \int_V (E_z^2 + E_{x,y}^2) dV, \quad (1)$$

где  $\omega$  - частота колебаний поля,  $\varepsilon_0 \varepsilon$  - абсолютная диэлектрическая проницаемость,  $\operatorname{tg} \delta$  - тангенс угла диэлектрических потерь,  $E_{x,y,z}$  - соответствующие составляющие напряженности электрического поля.

Рассмотрим подробнее процесс взаимодействия поля волновода с объектом. Прежде всего, остановим внимание на распределении поля в поперечном сечении волновода. Во внешнем пространстве около провода волновода с диэлектрическим покрытием составляющие электромагнитного поля имеют вид:

$$E_z = B \frac{h}{\omega \varepsilon_0} H_0^{(1)}(hr) e^{-\gamma z}, \quad (2)$$

$$E_r = B \frac{h}{\omega \varepsilon_0} H_1^{(1)}(hr) e^{-\gamma z}, \quad (3)$$

$$H_\varphi = BH_1^{(1)}(hr) e^{-\gamma z}, \quad (4)$$

где  $H_n^{(1)}$  - функция Ганкеля 1-го рода  $n$ -го порядка,  $\gamma$  - постоянная распространения вдоль провода,  $r$  - текущий радиус.

Уравнение, связывающее постоянные распространения в слое диэлектрика и в пространстве около провода имеет вид:

$$\frac{h}{h_i} = \frac{1}{\varepsilon_0} \frac{H_0^{(1)}(h_i a) H_0^{(2)}(h_i a_i) - H_0^{(2)}(h_i a) H_0^{(1)}(h_i a_i) H_1^{(1)}(h_i a_i)}{H_0^{(1)}(h_i a) H_0^{(2)}(h_i a_i) - H_0^{(2)}(h_i a) H_1(h_i a_i) H_0^{(1)}(h_i a_i)} \quad (5)$$

Анализ выражений поля, описывающих поведение электромагнитного поля около провода показывает, что при соответствующем выборе

толщины диэлектрического покрытия провода и его диаметра можно достигнуть режима, когда энергия поля сосредоточена в цилиндрической области радиуса порядка одной длины волны.

Реализация требуемой энергии в области помещенного объекта является серьезной проблемой. Использование в линии с поверхностной волной многоходового устройства возбуждения [3] позволяет неограниченно наращивать подаваемую мощность. При этом эффект нагрева объекта может быть осуществлен рядом независимых источников малой и средней мощности. В этом случае стоимость и надежность системы нагрева в целом заметно выигрывают. В частности, стоимость источника СВЧ на магнетронах мощностью 2 кВт составляет (0,5 – 0,6) тыс. рублей, тогда как шестидесятикиловаттный генератор СВЧ на магнетроне стоит (0,8-0,9) млн. рублей. Очевидно, что реализация такого генератора, состоящего из 30 – 35 генераторов средней мощности по 2 кВт каждый, потребует затрат порядка 17 – 20 тысяч рублей. Думается, что комментарии излишни.

Что касается надежности, то кроме высокой стоимости мощного магнетронного генератора, он еще и «капризен» в эксплуатации, т.к. требует высокого уровня согласования с нагрузкой, характер которой по мере нагревания изменяется. Следовательно, становится необходимой система авторегулирования, что при больших мощностях сопряжено с известными трудностями. В этом отношении источники СВЧ малой и средней мощности менее критичны к нагрузке и к питающим напряжениям.

Немаловажным является и то, что для суммирования мощностей не требуется синхронизации источников СВЧ энергии, т.к. каждый из них вносит независимый вклад в нагрев тех или иных объектов.

Таким образом, многоходовое устройство возбуждения поверхностной волны является основой для наращивания СВЧ мощности и ее дискретной регулировки без заметного нарушения режима их нормальной работы.

Остановим внимание на многоходовом устройстве возбуждения линии поверхностной волны. В соответствии со структурой электромагнитного поля около провода имеется радиальная составляющая напряженности электрического поля. Вводя элемент возбуждения, например, полуволновый вибратор, вдоль силовых линий, можно обеспечить эффективное возбуждение поверхностной волны. Соответственно, распределив по кругу ряд таких вибраторов, может быть получено многоходовое устройство возбуждения. Указанные парциальные устройства возбуждения в принципе слабо зависимы друг от друга и потому в проводе будет иметь место совокупность поверхностных волн, которые не обязательно синхронизировать, т.к. их конечным эффектом является нагрев помещенного в поле объекта. Аналогично может быть построена балластная нагрузка, только вместо генераторов вибраторы подключают к парциальным нагрузкам.

Многоходовое устройство возбуждения позволяет достаточно просто осуществлять ступенчатую регулировку тепловой мощности в нагреваемом объекте путем соответствующего подключения (отключения) парциальных генераторов.

Таким образом, применение поля поверхностного волновода для нагрева протяженных объектов, позволяет решить многие проблемы, в отличие от традиционных способов, то есть является весьма перспективным.

Рассмотрим использование переизлученного поля для нагрева при применении открытых волноводов. Неоднородность, помещенная в поле поверхностного волновода, переизлучает ТЕМ волну. В этой связи с помощью ряда неоднородностей оказывается возможным формирование определенного распределения переизлученного поля с концентрацией излучения в определенном направлении. В этом заключается механизм переизлучения. Такого рода устройства хорошо от моделированы и

используются в антенной технике. Применительно к нагреву тех или иных объектов имеют место ряд особенностей. В частности, несколько упрощена реализация равномерного нагрева протяженных объектов, т.к. в данном случае равномерность будет определяться не расстоянием между объектом и осью провода, а размерами переизлучателей.

Установка для равномерного нагрева выглядит следующим образом. На проводе с бегущей поверхностной волной устанавливают группу переизлучателей электрически связанных с проводом. Коэффициент связи выбирают исходя из требуемого распределения поля. Так как система из переизлучателей имеет осесимметричное излучение относительно провода, то целесообразно ее разместить на фокальной линии параболического цилиндра, обеспечив тем самым относительно равномерный поток энергии на протяженный объект нагрева. Перспективность системы на переизлучателях хотя и несколько сложнее, чем на эффекте воздействия поля в пределах граничного радиуса, вместе с тем она более конструктивна и менее критична к установке объектов нагрева и влияния изменения их параметров.

**Вывод:** использование волноводов с поверхностной волной позволяет реализовать различные системы для организации воздействия электромагнитного поля СВЧ на целый ряд объектов промышленного и сельскохозяйственного назначения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Трошин Г.И., Макарова Л.И., Худякова В.А., Чистин Э.Ф. Однопроводная линия передачи // Труды НИИКП, 1992. – Вып.6. – С.34 – 54.
2. Кисмерешкин В.П., Лобова Г.Н. Моделирование амплитудных распределений поля вибраторно-волноводной решетки на основе

однопроводной линии передачи // Приборы и техника эксперимента. – 1998. - № 4. – С.92 – 93.

3. Кисмерешкин В.П., Лобова Г.Н. Устройство возбуждения поверхностной волны. – Патент РФ № 2144720. Оpubл. бюлл. от 1.10.2001г.

4. Кисмерешкин В.П., Лобова Г.Н. Всенаправленная антенная решетка на основе открытого волновода // Проектирование и технология электронных средств – 2004. № 4. – С.12-15.

Файл: 7\_Риттер.doc  
Каталог: X:\Полные журналы PDF\Вестник НИА РК\2009\_№4  
Шаблон: C:\Documents and Settings\Санду\Application  
Data\Microsoft\Шаблоны\Normal.dotm  
Заголовок:  
Содержание:  
Автор: SamLab.ws  
Ключевые слова:  
Заметки:  
Дата создания: 11.08.2009 18:45:00  
Число сохранений: 26  
Дата сохранения: 15.10.2009 10:42:00  
Сохранил: Комп  
Полное время правки: 285 мин.  
Дата печати: 07.12.2012 16:24:00  
При последней печати  
страниц: 6  
слов: 1 325 (прибл.)  
знаков: 7 558 (прибл.)