

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВЫХ СПИРАЛЬНЫХ КОАКСИАЛЬНЫХ РЕЗОНАТОРОВ В ГЕНЕРАТОРАХ МЕТРОВЫХ ВОЛН

*И. С. Сидоренко, В. Г. Григоренко*

Харьков

При переходе к сверхвысоким частотам электрические колебательные контуры, состоящие из катушек индуктивности и конденсаторов, становятся неудобными для применения в качестве колебательных систем. Их основное достоинство — возможность получать длинные резонансные волны при относительно малых размерах — теряет свое значение. Но с ускорением волны все более выявляются присущие им недостатки: сравнительно низкие добротности за счет больших потерь на излучение и диэлектрический гистерезис в изоляторах; значительные поля рассеяния, создающие нежелательные связи; малая эталонность резонансных частот и др. С увеличением частоты колебаний растет мощность потерь в колебательном контуре генератора, которая определяется известным выражением:

$$P = \frac{1}{2} \frac{U^2 \omega C}{Q_0}, \quad (1)$$

где  $U$  — амплитуда напряжения на колебательном контуре;

$C$  — его емкость;

$Q_0$  — ненагруженная добротность;

$\omega$  — круговая частота.

Из (1) следует, что на сверхвысоких частотах для сохранения нормальных условий работы генератора необходимо применение колебательных систем с высокими добротностями. Высокими значениями добротностей обладают колебательные системы, называемые замкнутыми вибраторами или полыми резонаторами. Существует большое разнообразие типов замкнутых колебательных систем; помимо этого геометрическая форма каждого типа может находиться в широких пределах деформирования без нарушения его основных свойств.

Использование полых резонаторов в качестве колебательных систем генераторов метровых волн ограничивается их габаритами, особенно при длинах волн, достигающих единиц метров.

Цель настоящей статьи — поиск колебательных систем генераторов волн длиной больше десяти метров, которые бы обладали относительно высоким значением добротности при малых габаритах и могли перестраивать собственную резонансную частоту.

Указанным требованиям удовлетворяют полые резонаторы, нагруженные спиралью. Методы расчета таких резонаторов описаны в работе [1]. Спираль устанавливается соосно с образующей резонатора таким образом, что верхний и нижний концы спирали располагаются на расстоянии  $l = \frac{D}{4}$  от дна резонатора ( $D$  — диаметр резонатора) и одним концом закрепляется на образующей. Спираль навивается обычно из трубки с шагом  $\tau \leq \frac{d}{2}$ , где  $d$  — средний диаметр витка спирали. Диаметр трубки спирали выбирается из условия  $d_0 > 5\delta$  ( $\delta$  — глубина скин-слоя).

Для определения возможностей использования четвертьволнового спирального коаксиального резонатора в качестве колебательного контура генератора метровых волн экспериментально определены его основные параметры. Исследованы распределения электрического поля вдоль оси резонатора, перпендикулярно оси в разных сечениях, а также поле в пространстве между образующей резонатора и спиралью. Электрическое поле исследовалось методом возмущений. Распределение электрического поля в таком резонаторе близко по виду к распределению в известном четвертьволновом коаксиальном резонаторе, но отличается тем, что максимальное значение электрического поля находится у верхнего конца спирали, а у нижнего дна на расстоянии 1 см поле еще незначительно.

В четвертьволновом коаксиальном спиральном резонаторе распределение поля вдоль резонатора не соответствует синусоидальному закону, хотя и близко к нему.

Для переформирования электрического поля в резонаторе и удобства конструкции узла соединения генераторной лампы с резонатором на верхнем конце спирали, параллельно верхнему дну, установлен проводящий диск диаметром, примерно равным диаметру спирали. Основные характеристики резонатора определялись для случаев спирали с диском и без диска, а также с изменением диаметра спирали.

Добротность измерялась по величине ухода частоты при уменьшении амплитуды сигнала поля до 0,707 ее максимального значения, и величина ее подсчитывалась по формуле  $Q_0 = \frac{f_0}{2\Delta f}$ . В результате была получена добротность четвертьволнового спирального коаксиального резонатора при оптимальном соотношении диаметров резонатора и спирали  $\frac{d}{D} = 0,42$  для спирали с диском и  $\frac{d}{D} = 0,36$  для спирали без диска, равная  $Q_0 = 3000$ . График зависимости добротности от диаметра спирали при неизменном диаметре резонатора показан на рис. 1. Из графика видно, что для случая спиралей с диском имеется ярко выраженное экстремальное значение при оптимальном соотношении диаметров, чего не наблюдается для случая спирали без диска.

Шунтовое сопротивление резонатора определялось по методу Денниса и Лиотта [2]. В качестве возмущающего тела в резонатор поме-

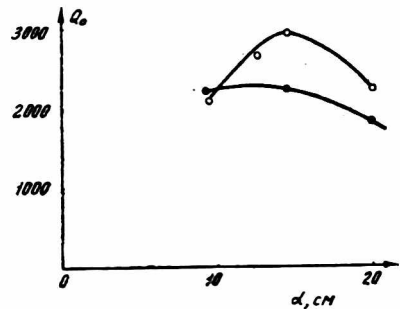


Рис. 1. График зависимости добротности резонатора от диаметра спирали:  
● — спираль без диска  
○ — спираль с диском.

щалась диэлектрическая нить. Затем вычисление производилось по формуле

$$R_{ш} = \frac{\delta f}{2\Delta f} \cdot \frac{1}{f_0} \cdot \frac{1,14Hz}{r^2(\epsilon - 1)} \cdot 10^{12} \text{ ом}, \quad (2)$$

где  $\delta f$  — расстройка, полученная за счет введения диэлектрической нити;

$r$  — радиус диэлектрической нити;

$\epsilon$  — диэлектрическая постоянная нити.

Подстановка экспериментальных данных в (2) привела к значениям шунтового сопротивления резонаторов, приведенным на графике рис. 2. Из графиков видно, что шунтовое сопротивление убывает с увеличением диаметра спирали резонатора и не имеет явно выраженного максимума, что шунтовое сопротивление резонаторов, где установлена спираль с диском, ниже, чем для случая спирали без диска.

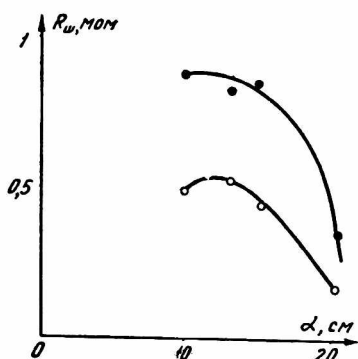


Рис. 2. График зависимости шунтового сопротивления резонатора от диаметра спирали:

- — спираль без диска
- — спираль с диском.

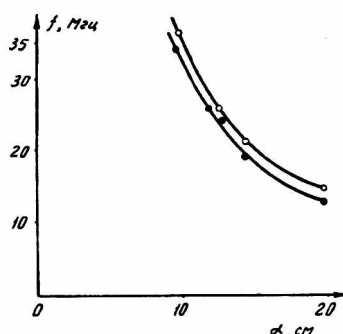


Рис. 3. График зависимости частоты резонатора от диаметра спирали:

- — спираль без диска
- — спираль с диском.

Зависимость изменения частоты четвертьволнового коаксиального спирального резонатора с изменением диаметра спирали показана на рис. 3. Из приведенных графиков следует, что при меньших соотношениях  $\frac{d}{D}$  изменение собственной частоты резонатора с плавным изменением диаметра спирали больше, чем при больших  $\frac{d}{D}$ . Так, в начальном участке кривой изменение диаметра спирали на 2 см приводит к изменению собственной резонансной частоты генератора  $\frac{\Delta f}{f}$  на 27% ее начального значения, в то время как такое же изменение диаметра спирали в случае больших ее диаметров приводит к изменению частоты только на 7%.

Диаметр спирали коаксиального резонатора может изменяться ступенчато и плавно. Ступенчатое изменение достигается заменой спирали одного диаметра спиралью другого диаметра. Разность диаметров спиралей определяется пределами плавного изменения диаметра каждой устанавливаемой спирали, которые определяются применимостью закона Гука для материала спирали. Плавное изменение спирали достигается с помощью ребристого каркаса переменного диаметра. Для спирали,

выполненной из медной трубки, изменение диаметра в пределах упругой деформации возможно на 1—1,5 см, что приводит к изменению собственной частоты резонатора примерно на 10—15%. Изменение диаметра спирали создает боковые усилия на генераторную лампу, что может привести к разрушению баллона генераторной лампы. Поэтому для снятия нагрузок с лампы верхний виток спирали выполнен так, что часть витка с закрепленным на ней диском соединяется со спиралью телескопически.

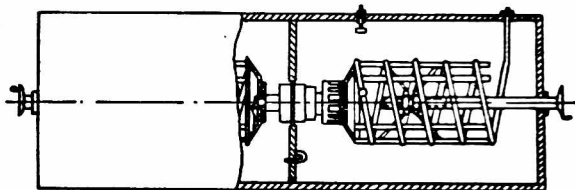


Рис. 4. Схема конструкции генератора.

На лампе ГИ-7Б с использованием четвертьволновых спиральных коаксиальных резонаторов был построен двухконтурный генератор метровых волн по схеме с заземленной сеткой. Частота колебаний генератора составляла  $f = 2$  мГц. Перестройка контуров генератора посредством изменения диаметра спирали приводила к изменению частоты колебаний генератора до 15 мГц. На рис. 4 схематически показана конструкция автогенератора на металлокерамической лампе ГИ-7Б с четвертьволновыми коаксиальными спиральными колебательными контурами, позволяющая перекрывать диапазон волн на 20%. Изменение выходной мощности автогенератора при перестройке частоты не превышает 1,5%. Конструкция генератора технологична и предельно проста.

Таким образом, показано, что четвертьволновые коаксиальные спиральные резонаторы в диапазоне метровых волн обладают достаточно высокой добротностью, допускают перестройку собственной резонансной частоты в широком диапазоне без существенного изменения начальных основных параметров и обладают приемлемыми габаритами. По сравнению с коаксиальными резонаторами габариты коаксиальных спиральных резонаторов можно уменьшить более чем в 10 раз.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. W. W. Macolpine and R. O. Schildknecht. Coaxial resonators with helical inner conductor. Proc. IRE, № 12, p. 2099.
2. W. Chahid. L'onde électrique. 11, № 359, 171, 1957.