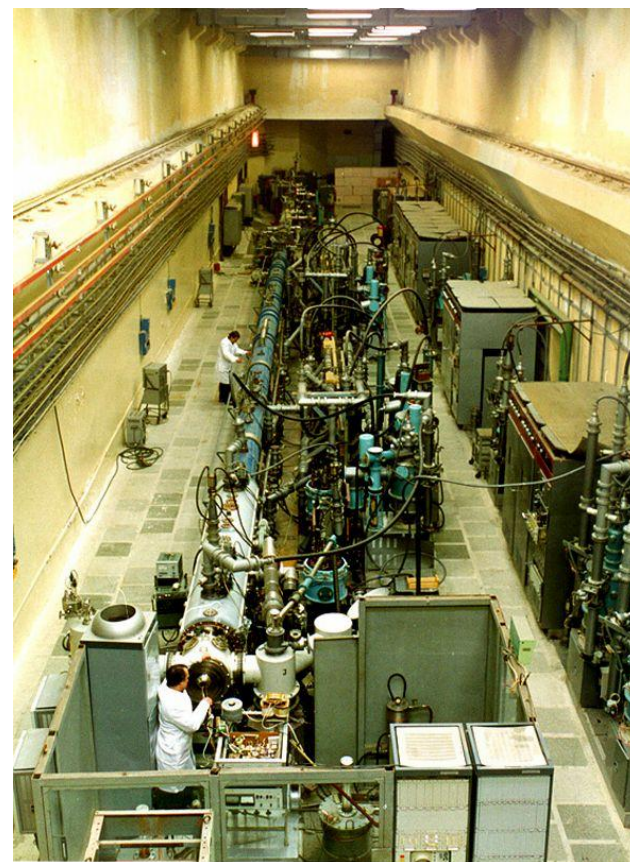


DISTINCTIONS OF RF PARAMETERS TUNING FOR ACCELERATION PERIOD OF STRUCTURE WITH SPATIALLY PERIODIC RFQ FOCUSING



ЛУ УРАЛ-30

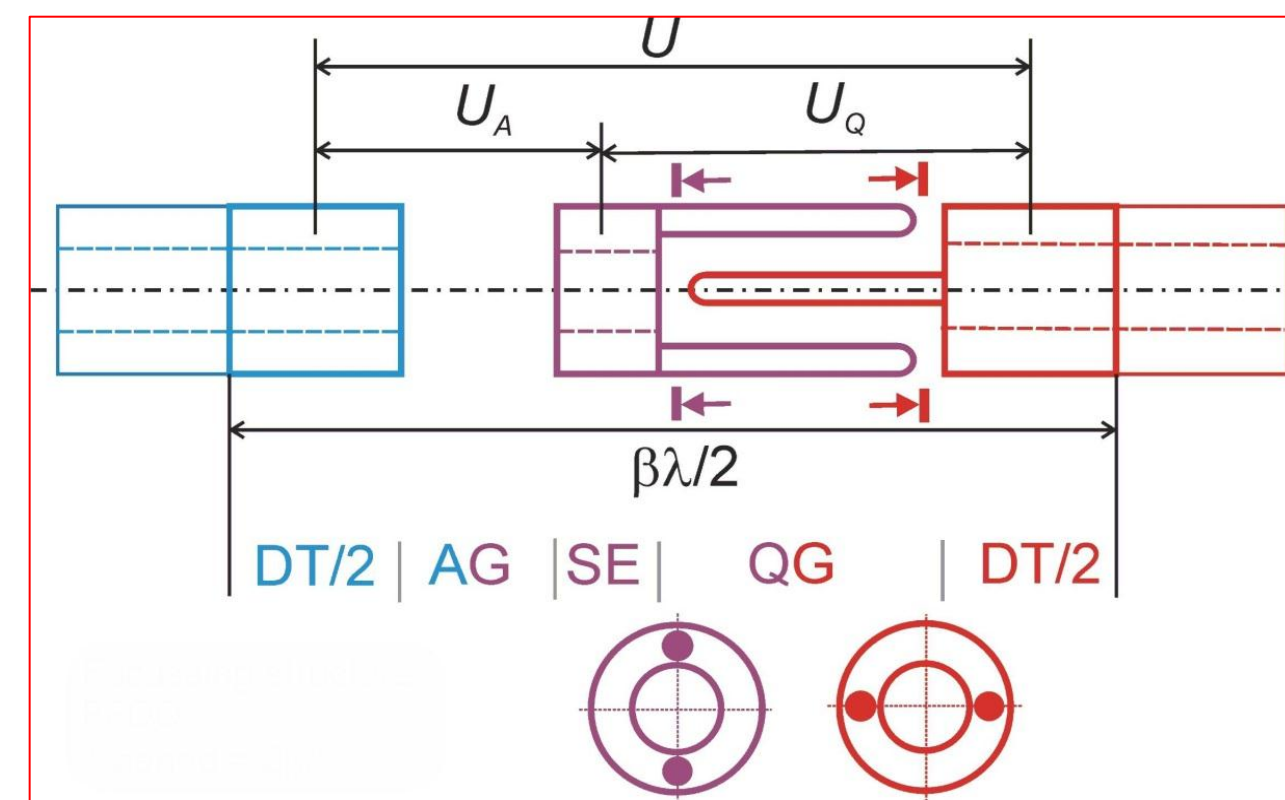


Схема периода ускорения

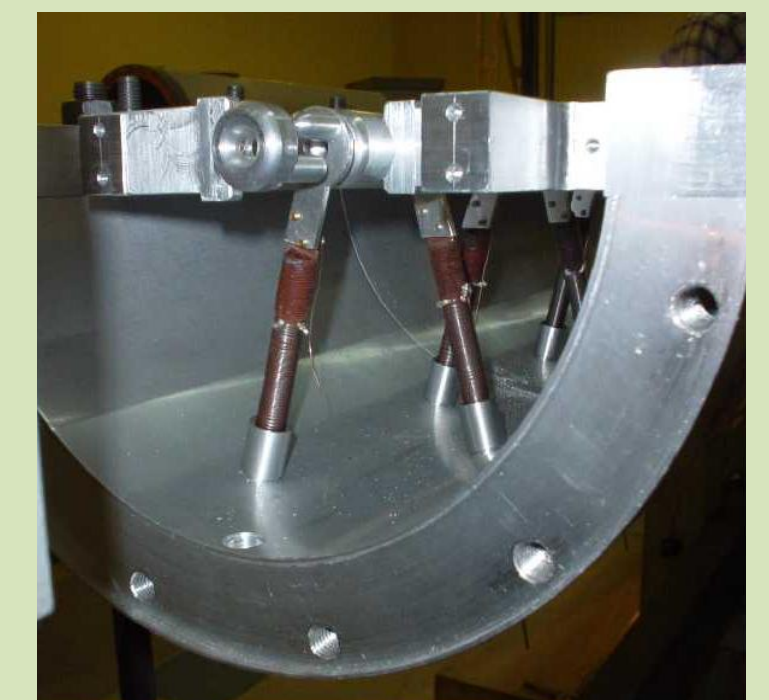
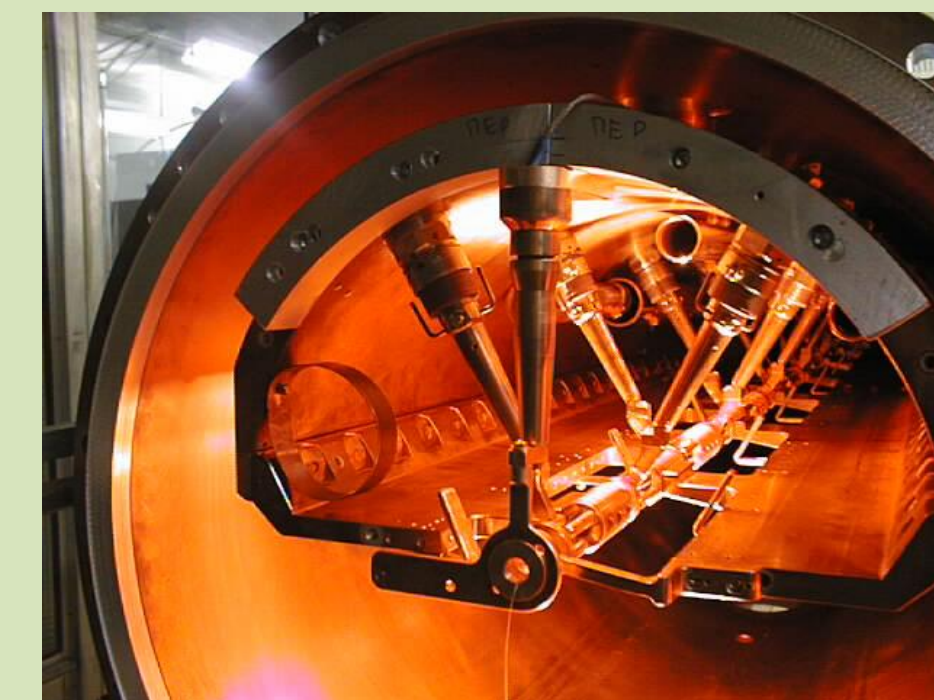
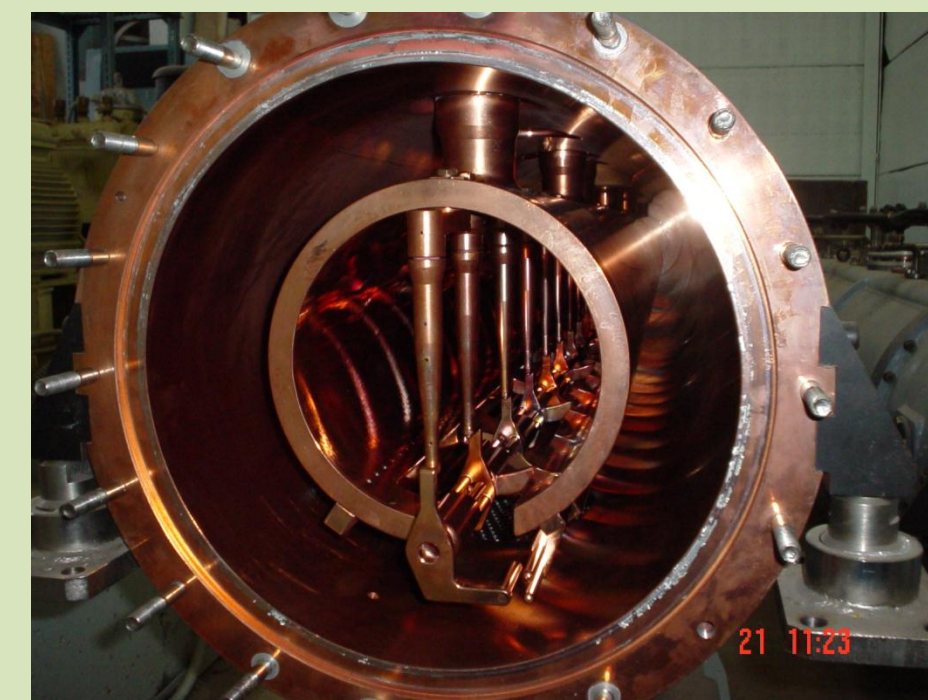
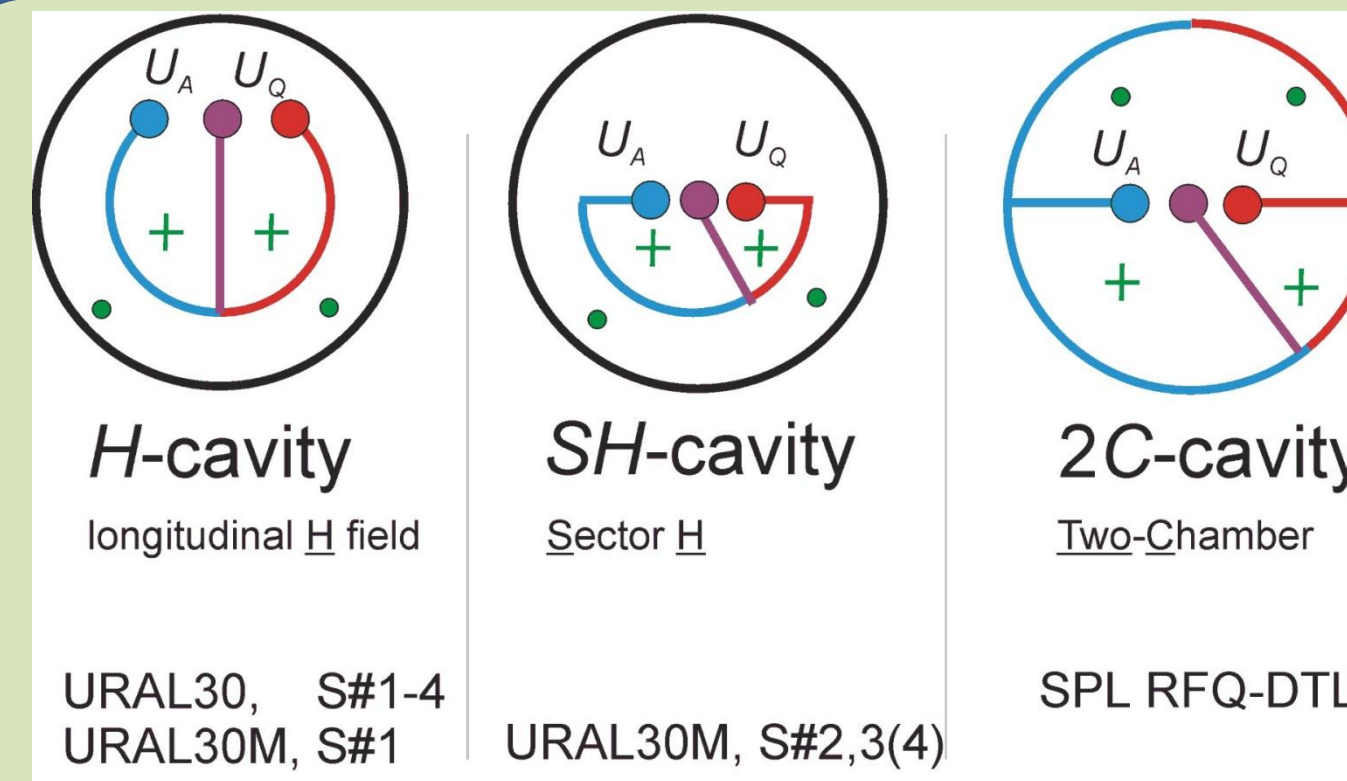
ОСОБЕННОСТИ НАСТРОЙКИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРИОДА УСКОРЕНИЯ СТРУКТУРЫ С ПРОСТРАНСТВЕННО-ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ КВАДРУПОЛЬНОЙ ФОКУСИРОВКОЙ

О.К. Беляев, Ю.А. Буданов, И.А. Звонарев,

НИЦ КИ – ИФВЭ, Протвино



ЛУ УРАЛ-30М



Схемы и элементы реальных установок с различными типами резонаторов на продольной магнитной волне с промежуточным электродом; Н-резонатор, секторный Н-резонатор и двухкамерный Н-резонатор

ВВЕДЕНИЕ

Ускоряющая структура с пространственно-периодической высокочастотной квадрупольной фокусировкой применяется для ускорения ионов водорода. Период такой структуры состоит из аксиального (ускоряющего) и квадрупольного (фокусирующего) зазоров, разделенных промежуточным электродом. Электроды зазоров и элемент крепления промежуточного электрода (нога) установлены в резонаторе с продольным магнитным полем [1],[2],[3].

В ГИЦ ИФВЭ накоплен значительный опыт создания и настройки требуемых радиотехнических параметров таких структур. В настоящее время продолжаются работы по совершенствованию методик настройки с привлечением современных численных методов.

В предлагаемой работе экспериментально и численно показана возможность изменения рабочей частоты резонатора с минимальным нарушением требуемого продольного распределения межбортового напряжения резонаторов. Кроме этого рассмотрены варианты исключения влияния, так называемого резонанса «ноги», что обеспечивается изменением характера её реактивности. Конфигурация ноги при этом может обеспечивать возможность водяного охлаждения промежуточного электрода.

ЕМКОСТНАЯ РЕГУЛИРОВКА ЧАСТОТЫ

Предлагаемая емкостная регулировка отличается тем, что регулировочные элементы в виде металлических плоских дисков, укрепленных на кронштейнах, располагаются в области малых величин напряженности электрического поля резонатора.

На рис.1 показано размещение настроечных элементов на внутренней поверхности контейнера Н-резонатора и показаны параметры установки элементов - угол наклона и расстояние до настроечного элемента.

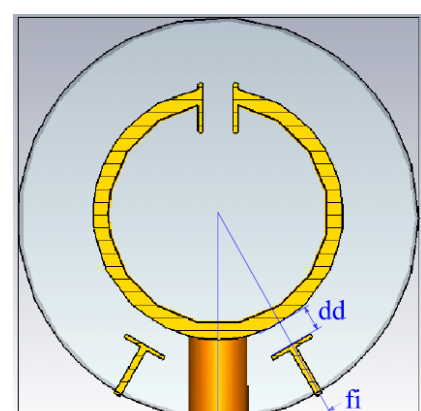


Рис.1 Поперечное сечение Н-резонатора с настроечными элементами

На рис. 2 показан график изменения резонансной частоты Н-резонатора для положения электродов с углом к вертикали 30° и при изменении расстояния от плоской части настроечных электродов до внешней поверхности Н-резонатора.

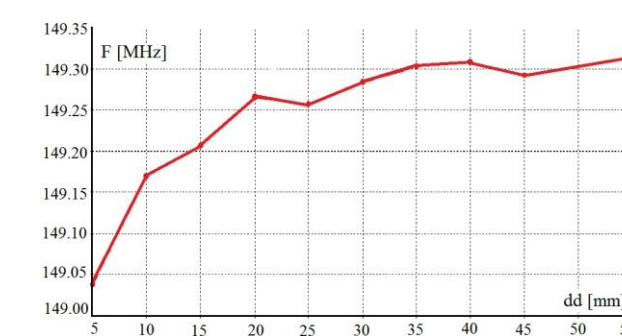


Рис.2 Функция частоты F от расстояния dd

Из анализа функции, изображенной на рис. 2 следует, что действенная регулировка частоты возможна при изменении величины dd в интервале от 5 мм до 35 мм. Дальнейшее увеличение промежутка dd не существенно влияет на частоту резонатора, а слишком малая величина dd может привести к пробую.

В дальнейшем были проведены исследования динамики частиц с учетом искажений напряжений на периодах ускорения, вносимых настроечными элементами. Изменение напряжения на ускоряющих электродах ни при каких исследованных положениях настроечных элементов не превышает двух процентов от номинального напряжения и снижается по мере удаления от настроечных элементов вдоль оси ускорителя. Сравнительный анализ динамики проводился при внесении настроечными элементами максимального искажения в напряжение на ускоряюще-фокусирующие электроды и с двумя парами настроечных элементов в секции, что соответствует реальной ситуации на секции ускорителя.

Сравнительный анализ фазовых портретов показывает, что влияние настроечных элементов на динамику невелико, но оно есть и его необходимо оценивать. Важно, что поперечный эмиттанс пучка практически не вырос (прирост эмиттанса менее одного процента), а продольный эмиттанс увеличился примерно на полтора процента, что так же не велико.

Полученные данные показывают устойчивость динамических параметров ускоренного пучка при применении метода емкостной регулировки резонансной частоты секций ускорителя с продольным магнитным полем и подтверждают перспективность этого метода.

Метод емкостной регулировки резонансной частоты секций основной части ускорителя, построенных на резонаторах с продольным магнитным полем, показал свою надежность и эффективность в экспериментальных испытаниях на секции ускорителя УРАЛ-30. Теоретические исследования подтвердили возможность широкого диапазона регулировки частоты для этих резонаторов в несколько сотен килогерц.

РЕЗОНАНС «НОГИ» ПРОМЕЖУТОЧНОГО ЭЛЕКТРОДА

Наличие ноги крепления промежуточного электрода на периоде ускорения структуры с ППКФ, установленного в резонаторах с продольным магнитным полем (Н-резонатор, SH-резонатор, 2К-резонатор) приводит к общей проблеме паразитного резонансного колебания – резонансу ноги промежуточного электрода.

В рабочей моде нога промежуточного электрода находится в продольном магнитном поле H_z и токи, протекающие по ноге через ускоряющий и фокусирующий зазоры I_a , I_q противофазны и при соответствующей настройке емкостей зазоров взаимно уничтожаются, т.е. результирующий ток равен нулю. При паразитной моде магнитное поле огибает ногу промежуточного электрода в виде концентрических окружностей H_r , токи I_a синфазны, по поверхности ноги идет ток, что приводит к искажению требуемых соотношений напряжений на зазорах. На рис.3 показаны направления магнитных полей и токов для первых типов

колебаний ВЧ поля в поперечном сечении резонатора, проходящем через промежуточный электрод.

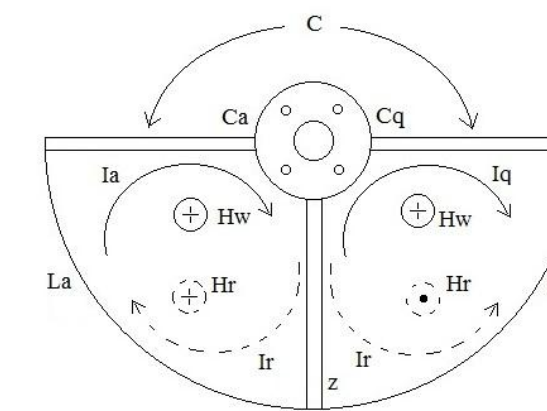


Рис. 3 Распределение полей и токов

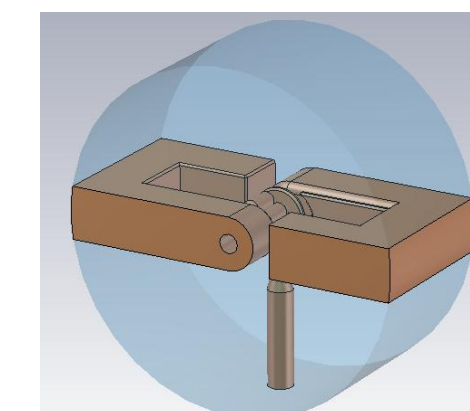


Рис. 4 Нога промежуточного электрода в резонаторе

На рис.3 C – межбортовая емкость резонатора; Ca , Cq – емкости аксиального и квадрупольного зазоров; La , Lq – индуктивности аксиальной и квадрупольной частей поперечного сечения резонатора; z – реактивное сопротивление ноги.

Из анализа эквивалентной схемы поперечного сечения резонатора следуют выражения для частот:

рабочее колебание (ω_r)

$$\omega_r^2 = \frac{\omega_0^2}{1 + C/C_0},$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{C_a L_a} = \frac{1}{C_q L_q}, C_0 = \frac{C_a C_q}{C_a + C_q},$$

резонанс ноги ($\omega_{r,L}$, $\omega_{r,C}$)

$$z = j\omega L_r, \omega_{r,L}^2 = \frac{\omega_0^2}{1 + L_r/L_a}, L_a = \frac{L_a L_q}{L_a + L_q};$$

$$z = \frac{1}{j\omega C_r}, \omega_{r,C}^2 = \omega_0^2 + \frac{1}{C_r L_a}.$$

$\omega_{r,C}^2 > \omega_0^2$, а $\omega_{r,L}^2$ может быть как больше, так и меньше или равно ω_0^2 . Определяющим фактором соотношений является характер реактивности ноги.

Численный расчет проводился на модели, показанной на рис. 4. Результаты расчетов для различных реактивных сопротивлений z показаны на рис. 5. Изменение толщины ноги (радиуса r_n) приводит к изменению ей индуктивности. На рис. 5 показаны результаты, полученные для ног различной толщины. Результаты соответствуют выводам, сделанным ранее на основе аналитического рассмотрения и позволяют определить численные значения r_n , исключающие опасное сближение или совпадение частот рабочего и паразитного колебаний.

Емкостный характер реактивности ноги при расчетах обеспечивался поперечным разрезом ноги высотой h_s . Полученная расчетная зависимость так же соответствует ранее сделанным выводам

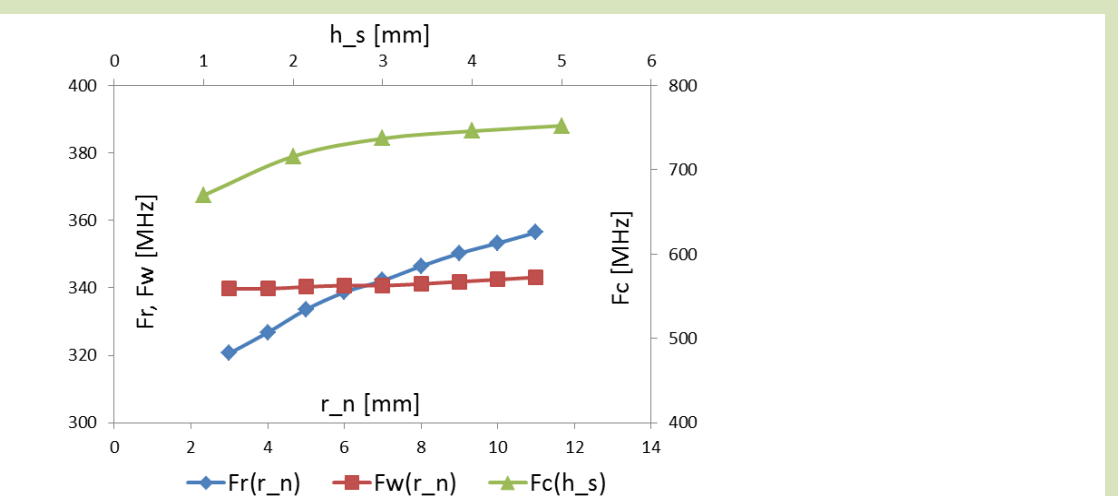


Рис. 5 Частоты рабочей Fw и паразитной Fr моды в зависимости от r_n и паразитной моды Fc при емкостной реактивности ноги в зависимости от h_s

Конструкция ноги промежуточного электрода, с учетом выявленных закономерностей, не должна приводить к ухудшению радиотехнических параметров резонатора. Для индуктивного характера z это может быть увеличение ВЧ-потери и изменение геометрических параметров резонатора. Для емкостного характера z – нарушение гальванической связи промежуточного электрода с корпусом резонатора. Кроме того, в обоих случаях требуется возможность охлаждения промежуточного электрода и ноги, что может быть обеспечено трубкой Фильда. За основу конструкции ноги с емкостным характером z может быть положено свойство короткозамкнутой коаксиальной линии длиной l , имеющей емкостной характер входного сопротивления при $\lambda/4 < l < \lambda/2$, где λ – длина волны. Замещая часть ноги отрезком такой линии, заполненной водой с $\epsilon \approx 81$, что дает укорочение длины волны в линии в 9 раз, можно обеспечить одновременно емкостной характер, гальваническую связь и возможность охлаждения.

Экспериментальная проверка возможности управления частотой резонанса ноги путем изменения длины l проводилась на стенде, созданном на базе 2К-резонатора. Результаты приведены на рис. 6.

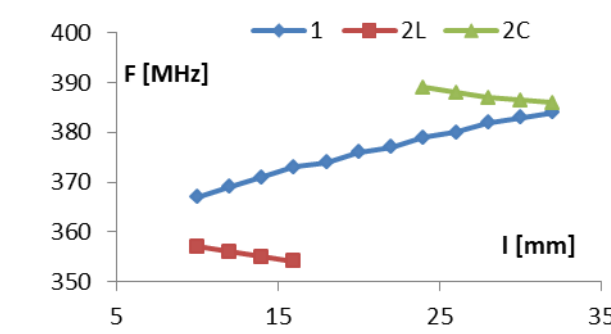


Рис. 6 Экспериментальная зависимость частоты резонанса ноги от характера реактивного сопротивления ноги

Кривая 1 на рис. 6 соответствует замкнутому входу коаксиала (цельнометаллическая нога) с различной индуктивностью за счет различной длины тонкого участка ноги при изменении l . Кривые 2C и 2L соответствуют емкостному и индуктивному характерам входного сопротивления при разомкнутом входе коаксиала.