

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

ВЫСШИЙ КОЛЛЕДЖ СВЯЗИ

ГИПРОСВЯЗЬ

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА СВЯЗИ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

РЕПОЗИТОРИЙ БГПУ

КОАКСИАЛЬНЫЕ РЕЗОНАТОРЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЧ ПОТЕРЬ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ГЛУБОКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Исследование высокочастотных свойств проводящих материалов в условиях глубокого охлаждения возможно только при жесткой пространственной ограниченности измерительной полости, формируемой внутренним объемом используемого криостата. В широко известных универсальных испытательных стендах УИС - герметичных криостатах со сверхпроводящими солениоидами [1] - рабочий объем представляет собой цилиндр диаметром 4 см и длиной 10 см. Поэтому низкотемпературные СВЧ свойства материалов в области дециметровых волн невозможно исследовать на объемных резонирующих системах. Необходимо сосредоточение некоторых реактивных параметров, что, например, имеет место в коаксиальных короткозамкнутых резонаторах. Такие системы отличаются тем, что успешно замещают в малых объемах запредельные по объему резонаторы волноводного типа. Для точного расчета коаксиальных резонаторов необходимо применять методы электродинамики, позволяющие связать геометрию системы с ее резонансными свойствами [2]. Однако при моделировании поведения материала в условиях внешнего воздействия (низкие температуры, сильные магнитные поля) абсолютное определение параметров системы из первых принципов невозможно, поскольку поведение материала в условиях эксперимента заранее не известно. Целесообразно создание резонаторной системы с рабочей частотой определенного диапазона, а не значения, и приемлемым уровнем добротности. При этом предпочтителен метод эквивалентных схем, оперирующий понятиями длинных линий и располагающий рядом электрических и геометрических параметров [3-5].

Здесь рассмотрена задача упрощения выбора геометрии таких систем с точки зрения повышения их механической и электрической прочности, технологичности изготовления при оптимальности электрических характеристик. Использован метод графоаналитического исследования основного трансцендентного тождества, связывающего входное сопротивление короткозамкнутого коаксиального отрезка с характеристикой сосредоточенной емкости, а также выражения для фактора формы резонатора ψ , который определяет эффективность геометрии системы:

$$\psi = \frac{a^2}{d^2} \frac{1}{\beta l \ln(D/d)} = k_g(\beta l) \quad (1)$$

$$\psi = \frac{0.5 \cdot [2\beta l + \sin(2\beta l)]}{\frac{\pi}{15} + \frac{d^2 \beta l \cdot \operatorname{tg}(\beta l)}{480 a l} \cdot \frac{\lambda}{d} [1 + \exp(-\frac{8 a l}{d^2} \cdot \frac{\operatorname{ctg}(\beta l)}{\beta l})]} \cdot [2\beta l + \sin(2\beta l)] \quad (2)$$

Здесь D/d - отношение диаметров внешнего и центрального проводника, определяющее волновое сопротивление коаксиального отрезка; βl - длина коаксиального выступа l , умноженная на волновое число излучения в вакууме ($\beta = 2\pi/\lambda$); a - зазор, формирующий сосредоточенную емкость.

Анализ проводника с учетом трех групп факторов, объединяющих упомянутые параметры D , d , l , a , β , λ в наиболее удобные выражения. Результаты исследования приведены на рис.1, где отображены семейства графических решений основного тождества (1) (рис.1а), а также ψ как функция βl (рис.1б). Три группы факторов выступают здесь как параметры и изменяются в широком диапазоне своих значений, охватывая всю область, представляющую практический интерес. Отметим, что в выражение (2) входит дополнительный член λ/d , в связи с чем область резонансных решений βl на рис.1а не совпадает с оптимальными значениями $(\beta l)^{\text{opt}}$, соответствующими максимальным величинам ψ , и резонансные значения βl лежат правее на оси абсцисс. Это связано формально с тем, что при малых значениях βl ($\beta l \geq 0$) величина ψ определяется первым слагаемым в знаменателе (2), а именно, потерями в короткозамкнутом отрезке. При больших значениях βl в знаменателе доминирует второе слагаемое, описывающее потери во внешнем проводнике (первый член во втором слагаемом) и коаксиальном отрезке (член с экспонентой). В промежуточной области частот происходит переход в доминировании рассеяния от короткозамкнутого отрезка к потерям в коаксиальной линии. Как следует из рис.1, чем больше значение a/d^2 , тем медленнее растет слагаемое, описывающее потери в коаксиальном отрезке, значение максимума ψ увеличивается, и величина $(\beta l)^{\text{opt}}$ сдвигается вправо. Увеличение отношения λ/d повышает все потери в коаксиальном отрезке, ускоряя переход ψ через максимум на шкале βl .

Проведенный анализ дает возможность определять тип системы и способы реализации оптимальных соотношений при заданных ограниченных объемах подстанции, где должна находиться резонирующая система. Данное рассмотрение касается только основного тона. Здесь видны преимущества так называемых четвертьволновых систем ($\beta l \leq \pi/2$), у которых для эффективной реализации должны

быть большие значения параметра a/d^2 , а именно, порядка $1 + 10$. Попутно заметим, что строго четвертьволновой резонатор ($\beta l = \pi/2$) практически реализовать невозможно, поскольку в этом случае необходимо, чтобы $a \rightarrow 0$, но при этом конечное значение сосредоточенной емкости всегда имеет место хотя бы за счет концевых эффектов, неучтенных здесь. Таким образом резонанс сдвигается в сторону меньших значений βl . В эксперименте это соответствует тому, что резонанс имеет место на меньшей частоте заданного генератора, и работает "укороченный" вариант резонатора. Отметим также, что краевые эффекты в сосредоточенной емкости всегда имеют место и, естественно, возрастают с увеличением зазора a при заданной величине d . В Институте физики твердого тела и полупроводников АНБ на протяжении ряда лет проводились исследования СВЧ свойств высокочастотного алюминия в области $\lambda \approx 70$ см при низких температурах в условиях воздействия сильного магнитного поля. С использованием приведенных здесь методов анализа, рассчитывался и был изготовлен целый ряд резонаторов, добротность которых достигала в области температуры жидкого гелия порядка 10^4 и более. Реальная же величина отстройки экспериментального резонанса от расчетного по частоте за счет несовершенства методики расчета составляла всего несколько десятков процентов, что позволило решить поставленные задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кейблин М.Л., Клименко Е.Ю., Самойлов Б.Н. Свод для физических исследований в магнитном поле сверхпроводящего соленоида, Приборы и техника эксперимента, 1971, N1, с.216-218.
2. Роднонова В.Н., Спелин Г.Я. Добротность цилиндрического резонатора с коаксиальным выступом, Радиотехника, 1986, т.31, N10, с.1915-1921.
3. Орлов С.И. Расчет и конструирование коаксиальных резонаторов. - М., 1970. 252с.
4. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. М., 1970. 440с.
5. Изюмова Т.И., Самаридов В.Т. Волноводы, коаксиальные и полосковые линии. М., 1975. 113с.

Рис.1: а) графическое решение тождества (1) при следующих значениях параметров: $a/d^2 = 0.01, 0.1, 1.0, 10$; $D/d = 1.5, 3.5, 4.5, 5.5$ б) ψ в зависимости от приведенной длины резонатора βl при $\lambda/d = 10, 30, 50, 70$ и a/d^2 , соответствующих а).

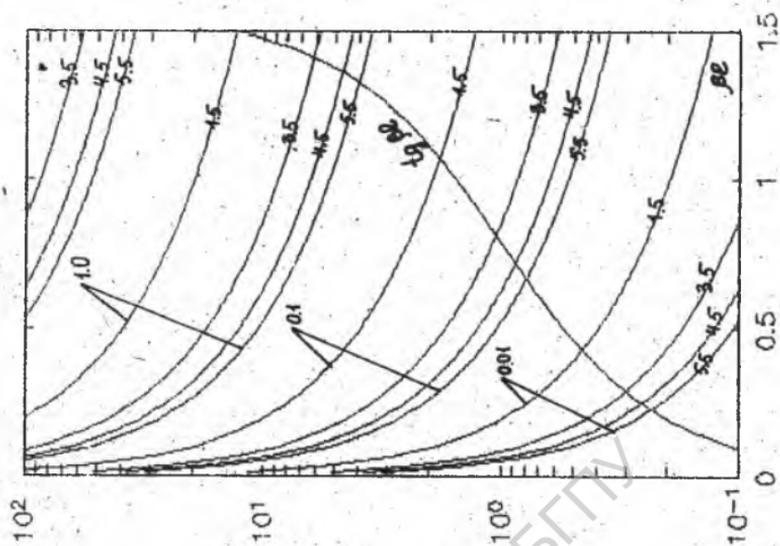


Рис. 1а

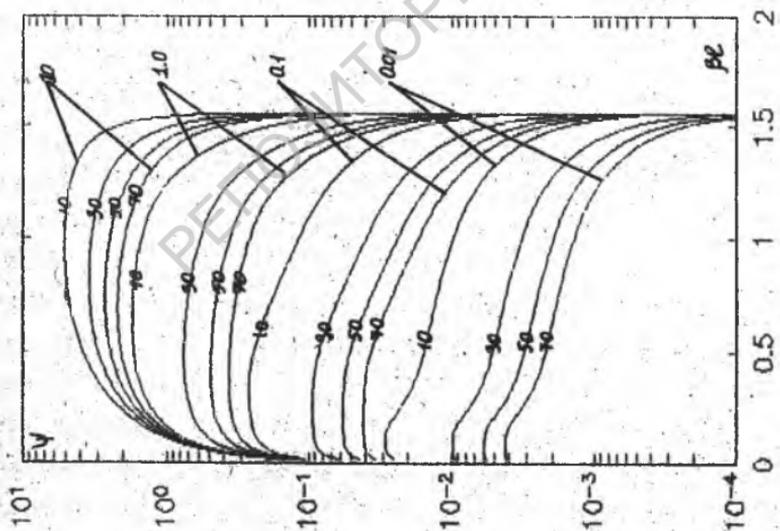


Рис. 1б