

гистерезис не связан с сухим трением. В пользу этого свидетельствует и тот факт, что при снятии давления резонансные частоты возвращались к первоначальным значениям.

Зависимость $f(\sigma)$ для основной E -моды немонотонна (см. рис. 1). Это связано с тем, что она является гибридной (EH_{116} или EH_{106}), и ее электрическое поле имеет составляющие как вдоль, так и перпендикулярно оси давления. Соответствующие же компоненты диэлектрической проницаемости зависят от σ противоположным образом: $\epsilon_{||}$ уменьшается, а ϵ_{\perp} растет [3].

Зависимость уровня диэлектрических потерь от давления показана на рис. 2. При однородном давлении потери практически не изменились. Однако если с помощью скользящих прокладок к образцам прикладывалось неоднородное давление, то добротности H - и E -мод падали. В эксперименте применялись прокладки двух типов. Прокладки в виде диска создавали повышенную концентрацию напряжений в центральной части образца, а прокладки в виде шайбы — в периферической части ДР.

При гелиевых температурах фундаментальный механизм диссипации, обусловленный ангармонизмом решетки $KTaO_3$, дает исключительно малый вклад в СВЧ-потери (по оценкам [9] $\text{tg } \delta \sim 10^{-8}$ при 4,2 К). В этих условиях основным источником потерь следует считать рассеяние на заряженных дефектах (точечных и линейных). По-видимому, на результаты настоящей работы особое влияние оказывало поведение линейных заряженных дефектов — дислокаций. Приложение неравномерного давления с максимумом на оси ДР сначала вызывает уменьшение их числа за счет вытеснения к краю цилиндра, а затем увеличение за счет рождения на закрепленных дислокациях [10], что ведет к отмеченному в эксперименте изменению потерь.

При неоднородном давлении возможен переход части образца в сегнетофазу (в области максимальной концентрации напряжений). Это также должно вести к росту потерь. Но так как давление индуцирует в $KTaO_3$ фазовый переход II рода [3], то сам по себе переход в сегнетофазу под давлением не должен вести к гистерезису в зависимостях $\epsilon(\sigma)$ и $\text{tg } \delta(\sigma)$. Такой гистерезис может породить взаимодействие дислокаций с заряженными точечными дефектами, на которое фазовый переход, индуцированный давлением, может оказать косвенное влияние. Механизм этого явления требует дальнейшего исследования, но уже полученные результаты показывают, что высокая концентрация дефектов в кристаллах $KTaO_3$ заметно влияет на их диэлектрические свойства и может быть фактором, лимитирующим уровень СВЧ-потерь в этом перспективном нелинейном диэлектрике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Лайнс М., Гласс А. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. М.: Мир, 1981. [2] Uwe H., Unoki H., Fujii Y., Sakudo T. Solid State Comm., 1973, 13, N 7, p. 737. [3] Uwe H., Sakudo T. J. Phys. Soc. Japan, 1975, 38, N 1, p. 183. [4] H6chli U. T., Boatner L. A. J. Phys. C.: Solid State Phys., 1977, 10, N 21, p. 4319. [5] Holt R. M., Fossheim K., Raean A. M. Appl. Phys. Lett., 1978, 32, N 10, p. 601. [6] Yee H. Y. IEEE Trans. MTT, 1965, 14, N 9, p. 439. [7] Ivanov I. V. et al. Ferroelectrics, 1978, 21, N 3/4, p. 405. [8] Гейфман И. Н. ФТТ, 1982, 24, с. 329. [9] Таганцев А. К. ЖЭТФ, 1984, 86, с. 2215. [10] Шаскольская М. П. Кристаллография. М.: Высш. школа, 1984.

Поступила в редакцию
18.03.85

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1985, Т. 26, № 5

УДК 621.373.51

МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РЕЗОНАТОР В ТРЕХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ

И. И. Миннакова, Б. Г. Симеонова (Болгария)

(кафедра физики колебаний)

В современном физическом эксперименте и в технике широко используются электромагнитные сверхпроводящие резонаторы (СПР) [1], а в последнее время СПР с диэлектрическим заполнением [2] и чисто диэлектрические (кольцевые и дисковые) резонаторы [3, 4]. В качестве высокодобротных элементов в трехконтурной системе стабилизации частоты уже при комнатной температуре может служить металлодиэлектрический резонатор (МДР), обладающий добротными модами и дающий

большой выигрыш по воспроизводимости частоты и по габаритам по сравнению с полыми резонаторами.

Настоящая работа посвящена исследованию частотных характеристик и коэффициента стабилизации клистронного генератора, стабилизированного МДР.

Устройство объемного резонатора показано на рис. 1. Он выполнен в виде медного посеребренного цилиндра длиной 245,5 мм и диаметром 49,5 мм, в котором на тефлоновых распорках помещался сапфировый цилиндр размерами 26,7×16,4 мм. Перестройка собственной частоты резонатора осуществлялась подстроечным поршнем, а также

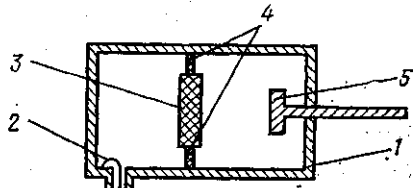


Рис. 1. Объемный резонатор (МДР): 1 — корпус, 2 — петля связи, 3 — сапфировый диск, 4 — тефлоновые распорки, 5 — подстроечный поршень

перемещением сапфирового цилиндра относительно торца медной резонирующей камеры. Для резонатора такого типа характерно наличие спектра собственных частот, причем добротности отдельных мод могут существенно отличаться друг от друга, в том числе могут быть получены моды с добротностью $\sim 10^5$ при комнатных температурах. В таблице приведены некоторые резонансные частоты и соответствующие им добротности МДР. Создание МДР позволило получить высокую добротность $91 \cdot 10^3$ на рабочей частоте 3,5 ГГц для комнатной температуры при малых размерах полого цилиндра.

f_3 , ГГц	2,9	2,94	3,5	8,3	8,26	8,44	8,86	9,72
$Q_3 \cdot 10^{-3}$	20	20	91	13	15	10	30	20

Клистронный генератор был нагружен МДР, связанным последовательно через раздвижную резонирующую линию с помощью индуктивных связей (петель связи), помещенных в стандартных СВЧ разъемах. Стабилизируемым генератором служил высокочастотный блок серийного прибора Г4-9. Клистронный генератор настраивался на центр зоны генерации, а электронная перестройка его частоты проводилась лишь вблизи центра зоны. Частота одноконтурного генератора практически линейно зависела от напряжения на отражателе.

Элементом, связывающим ВЧ блок и стабилизирующий резонатор, служила раздвижная резонирующая линия, которая играла роль промежуточного резонатора с добротностью $Q_2=100$. Величину связей контуров друг с другом можно было изменять поворотом петель связи. Изменение частоты осуществлялось перемещением поршня. Такая конструкция системы обеспечивает широкие возможности точного и обратимого варьирования параметров и получение практически всех необходимых для анализа режимов работы генератора при комнатных температурах.

Частотные характеристики трехконтурной системы с фиксированными параметрами при перестройке частоты генератора можно получить из общих соотношений для многоконтурных автоколебательных систем.

Для исследования частотных характеристик стационарных режимов в исследуемой системе выразим частотное уравнение через измеряемые параметры: $k_1, k_2, f_2, f_3, \delta_2, \delta_3$:

$$f_1 = f_r \left(1 - k_1^2 \frac{A}{A^2 + B^2} \right)^{1/2},$$

где

$$A = \frac{f_r^2 - f_2^2}{f_r^2} - k_2^2 \frac{f_r^2 (f_r^2 - f_3^2)}{(f_r^2 - f_3^2)^2 + f_r^4 \delta_3^2};$$

$$B = \delta_2 + \frac{k_2^2 f_r^4 \delta_3}{(f_r^2 - f_3^2)^2 + f_r^4 \delta_3^2}; \quad \delta_i = \frac{2f_i}{Q_i},$$

k_i — коэффициенты связи между i -м и следующим контурами, f_r — частоты автоколебаний системы, f_i — парциальные частоты i -го контура. Как известно, при определенных параметрах частотная кривая трехконтурной системы имеет стабильную среднюю ветвь, коэффициент стабилизации $S = \Delta f_i / \Delta f_r$ определяется в первую

очередь наличием добротного резонатора, и при большом различии добротностей промежуточного и стабилизирующего резонаторов ($Q_3 \gg Q_2$) можно получить максимальный коэффициент стабилизации $S_{\max} \approx Q_3/Q_2$.

Металлодиэлектрический стабилизирующий резонатор обладает большим числом слабо связанных между собой мод с разными добротностями, и в том случае, когда расстояние между модами больше, чем полосы пропускания промежуточного резонатора, можно рассматривать колебания на каждой моде отдельно. В нужном диапазоне частот была выбрана наиболее добротная мода, которую можно рассматривать как эквивалентный высокодобротный контур в трехконтурной системе стабилизации частоты.

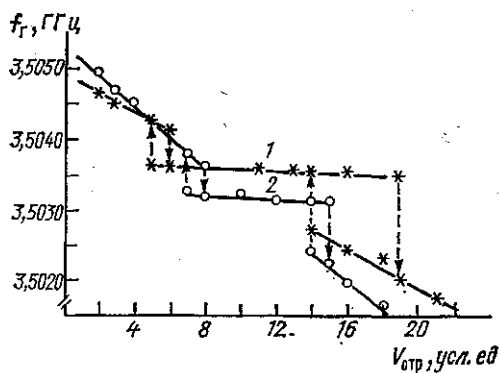


Рис. 2. Частотные кривые: 1 (*) при $f_2 \ll f_3$ и 2 (O) при $f_2 < f_3$

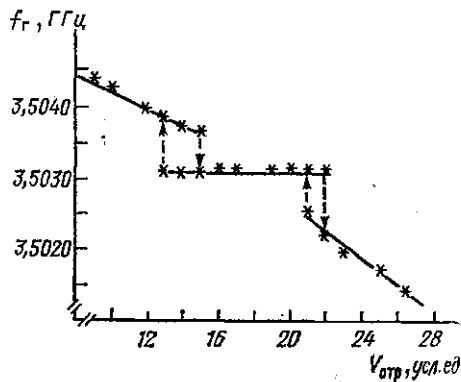


Рис. 3. Частотная кривая при $f_2 = f_3$

Полученные для такой экспериментальной системы частотные кривые, приведенные на рис. 2 и 3, имеют три ветви: боковые малостабильные и стабильную среднюю. С целью определения коэффициента стабилизации S снималась зависимость f_r от перестройки частоты клистронного генератора посредством изменения напряжения на отражателе $U_{\text{отр}}$. Для получения S_{\max} был проделан эксперимент по оптимизации коэффициента связи k_2 , при этом одновременно происходило и небольшое изменение частоты f_2 . На рис. 2 иллюстрируются два случая неоптимальных связей и расстроек, при которых $S_1=70$, $S_2=10^2$ и обе кривые достаточно несимметричны. На рис. 3 приведен результат для оптимального значения k_2 . Максимальный коэффициент стабильности $S_{\max}=2 \cdot 10^3$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Минакова И. И., Минина Г. П., Панов В. И., Петников В. Г. Изв. вузов. Радиоэлектроника, 1976, 19, № 10, с. 16. [2] Минакова И. И., Зубиетов П. И., Минина Г. П., Панов В. И. Изв. вузов. Радиоэлектроника, 1981, 24, № 7, с. 29. [3] Буньков С. Н., Константинов В. И., Масалов В. Л., Смирнов П. В. Радиотехника, 1983, № 6, с. 66. [4] Абрамов С. Л., Царякин Д. П. Тез. докл. на Всесоюз. семинаре «Стабилизации частоты и прецизионная радиотехника». Ч. 1. М., 1983, с. 28.

Поступила в редакцию
22.03.85