

- [3] Климкин В.Ф. // ЖТФ. 1986. Т. 56. Вып. 10. С. 2041–2043.
 [4] Мик Дж. Крэгс Дж. Электрический пробой в газах. М.: ИЛ, 1960. 605 с.
 [5] Авроров А.П., Воробьев В.Г. Препринт ИЯФ СО АН СССР. № 83–69. Новосибирск, 1983. 32 с.

Новосибирский университет

Поступило в Редакцию
14 сентября 1991 г.

01;10
© 1992 г.

Журнал технической физики, т. 62, в. 9, 1992

АКСЕПТАНС КВАДРУПОЛЬНОГО ФИЛЬТРА МАСС В РЕЖИМЕ РАБОТЫ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЗОНЫ СТАБИЛЬНОСТИ

*Н.В.Коненков, Г.А.Могильченко,
С.С.Силаков*

1. С целью оптимизации согласования источника ионов и квадрупольного фильтра масс (КФМ) необходимо знание аксептанса анализатора. Аксептанс КФМ характеризуют областями пропускания на фазовой плоскости поперечных координат и скоростей влета ионов в анализатор [1,2]. Если для обычного режима аксептанс исследован достаточно полно [1–7], то для режима работы в четырехугольнике стабильности — промежуточной зоны [8] такие данные отсутствуют. Поэтому целью работы на первом этапе является исследование аксептанса идеального фильтра масс.

2. Под идеальным квадрупольным фильтром масс понимается анализатор, у которого отсутствуют краевые поля, распределение потенциала гиперболическое, время сепарации ионов велико. В этом случае аксептанс КФМ в динамике описывается эллипсами захвата вида [2]

$$\Gamma u^2 + 2Aui + B\dot{u}^2 = \varepsilon = r_0^2/B \max, \quad (1)$$

где ε называют аксептансом, величина которого численно равна площади эллипса, деленного на π ; A, B, Γ — параметры, зависящие от положения рабочей точки a, q на диаграмме стабильности и от фазы $\xi_0 = \omega t_0/2$ влета иона в анализатор; r_0 — круговая частота ВЧ поля; через u, \dot{u} обозначены поперечные координаты (x или y) и соответствующие скорости.

В динамике эллипсы вращаются с частотой ω ВЧ поля и определяют области допустимых значений начальных поперечных координат и скоростей, при которых амплитуда колебаний ионов будет меньше апертуры анализатора r_0 , равной радиусу вписанной окружности между вершинами электродов, $B \max$ — максимальное значение параметра B .

3. Контур 100%-го пропускания на фазовой плоскости u, \dot{u} определяется как граница области допускаемых начальных значений $\{u, \dot{u}\}$, при которых вероятность пропускания идеального анализатора равна единице. Этот контур можно построить по границам эллипсов при различных начальных фазах наложением их друг на друга [1]. Таким способом

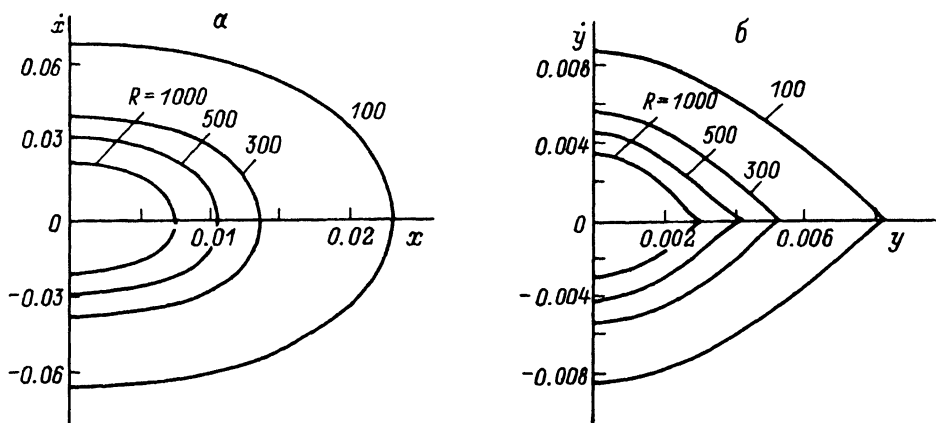


Рис. 1. Контуры 100%-го пропускания в рабочей области стабильности вблизи вершины M
 a — x, \dot{x} -плоскость; b — y, \dot{y} -плоскость.

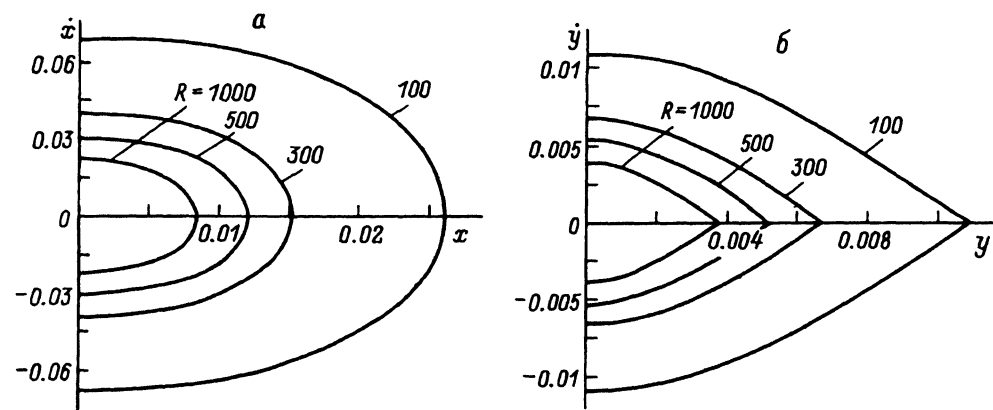


Рис. 2. Контуры 100%-го пропускания вблизи нижней вершины S при различных значениях разрешающей способности R .
 a — фазовая плоскость x, \dot{x} начальных условий, b — y, \dot{y} -плоскость.

построены контуры 100%-го пропускания для рабочих областей промежуточной зоны вблизи вершины M (рис. 1) и вершины S (рис. 2) по 20 эллипсам для x, \dot{x} - и y, \dot{y} -фазовых плоскостей. Контуры приведены для различных значений разрешающей способности R в рабочих точках a и q [8]:

$$M: \quad q = 3.23408; \quad a = 3.16429 - 1/R; \quad (2)$$

$$S: \quad q = 2.8153; \quad a = 2.5210 + 0.9374/R. \quad (3)$$

Как следует из рис. 1 и 2, аксептанс по x -координате на порядок превосходит аксептанс по y -координате как вблизи верхней вершины M , так и нижней S . Форма контура для y, \dot{y} -плоскости соответствует форме такого же контура обычного режима [3], а для x, \dot{x} -плоскости незначительно отличается. Это связано с тем, что промежуточная зона представляет

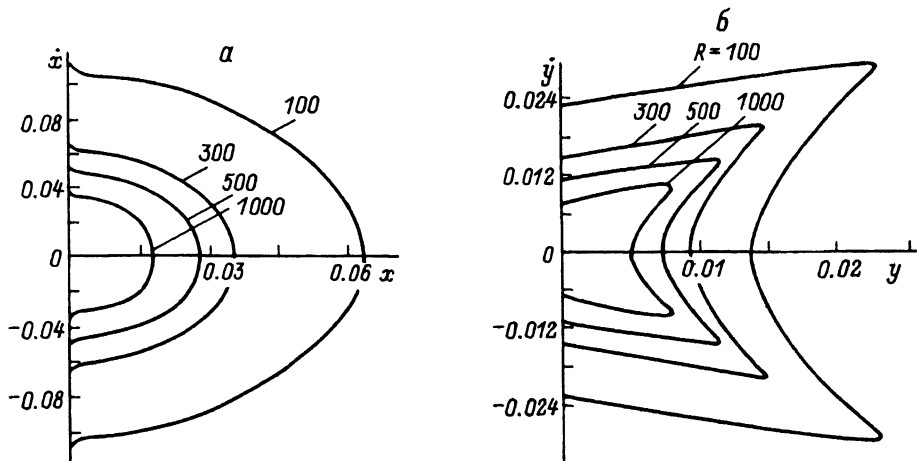


Рис. 3. Контурсы 50%-го пропускания. Вершина M .
 а, б — то же, что и на рис.2.

собой «смесь» ионно-оптических свойств первой и второй областей стабильности [8].

Из данных рис. 1 и 2 следует, что несоосность источника ионов и анализатора со смещением $\Delta r \gtrsim 0.02r_0$ при $R = 1000$ приводит к катастрофической потере выходного сигнала.

4. Контурсы 50%-го пропускания определяется совокупностью точек u, \dot{u} , при которых вероятность прохождения ионами бесконечно длинного анализатора равна 0.5. Контурсы 50%-го пропускания (рис. 3, 4) находились методом, изложенным кратко в работе [7]. Производился расчет параметров 100 эллипсов захвата и далее находилась совокупность точек $\{u, \dot{u}\}$, для которых 50 значений начальных фаз удовлетворяет условию $\Gamma u^2 + 2Aiu\dot{u} + B\dot{u}^2 < \epsilon$. При решении уравнения Маттье, описывающего движение ионов, использовался матричный метод дискретностью времени $\Delta \xi = \pi/1000$ и интервалом начальных фаз $\Delta \xi_0 = \pi/100$.

Форма контурсов 50%-го пропускания для x и y -траекторий ионов (рис. 3, 4) аналогична обычному режиму [3]. Отметим также, что аксептанс КФМ по x -координате выше, чем в первой области стабильности. Так, при разрешающей способности $R = 55$ в обычном режиме при параллельном вводе ионов относительно оси КФМ ($\dot{u} = 0$) $x_{50\%} \simeq 0.045r_0$, $y_{50\%} \simeq 0.05r_0$ [3], в то время как для S -вершины (рис. 4) $x_{50\%} \simeq 0.1r_0$; $y_{50\%} \simeq 0.09r_0$ при разрешающей способности $R = 100$.

5. На рис. 5 представлены зависимости аксептансов, определенных по 100- и 50%-ным уровням пропускания КФМ, от разрешающей способности R . Приблизительно аксептанс (площадь, ограничиваемая контуром) с ростом разрешающей способности убывает по закону $\epsilon \sim R^{-1}$. Аксептанс КФМ выше в области вершины S , чем в области верхней вершины M промежуточной области. При этом аксептанс по y -координате на порядок меньше, чем по x -координате. Из представленных данных на рис. 5 можно сделать вывод, что пропускание КФМ в промежуточной области определяется x -аксептансом. Это также подтверждается расчетами плотности распределения ионов [9], которые показывают, что выходной пучок ионов

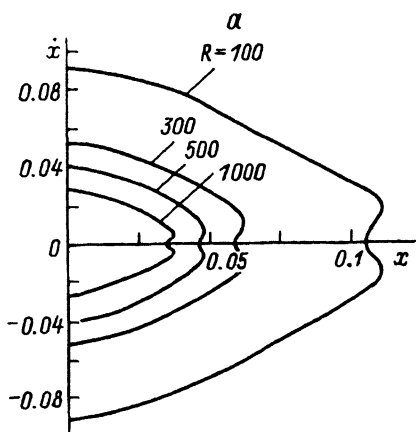


Рис. 4. а.

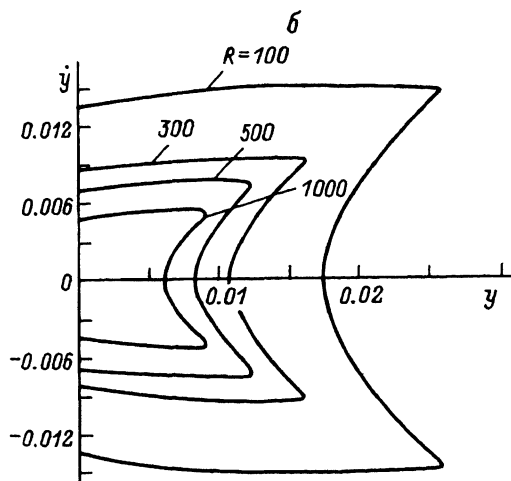


Рис. 4. Контуры 50%-го пропускания. Вершина S .
а, б — то же, что и на рис.2.

в сечении вытянут вдоль x -координаты. Ось x проходит через вершины электродов анализатора, на которые подают положительный потенциал при анализе положительных ионов. Для первой области распределение ионов по сечению пучка вытянуто вдоль y -электродов [10], т.е. можно сказать, что пропускание КФМ в этом случае в основном определяется y -акцептансом. По этой причине для первой области являются более критичными положение y -электродов анализатора, уход питающих напряжений на y -электродах от номинала. Для четырехугольника стабильности указанное справедливо для x -электродов, что подтверждается экспериментально [11].

6. Первые эксперименты [12,13] по исследованию режима сепарации в четырехугольнике стабильности — промежуточной зоны обнаружили относительно слабое проявление краевых полей. Дело в том, что при линейном нарастании потенциала в краевой области ионы движутся вне зоны стабильности и это должно приводить их к потерям. Возможно, что эти потери невелики из-за того, что время пребывания ионов в краевой

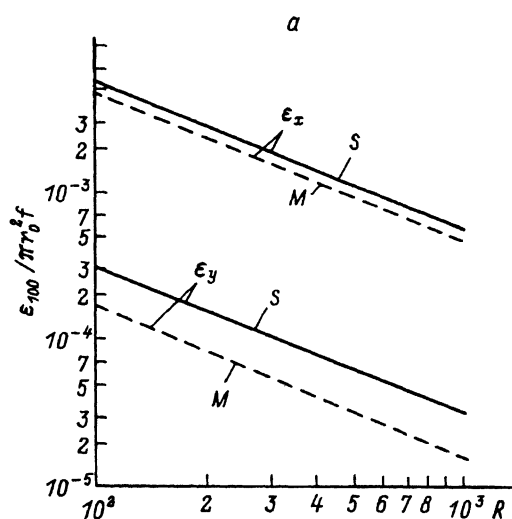


Рис. 5.а.

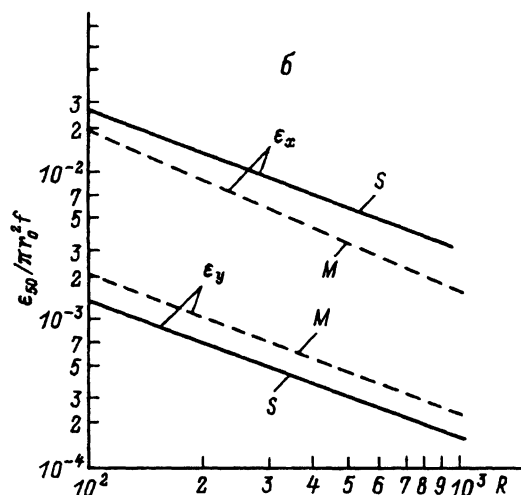


Рис. 5. Зависимости акцептанса КФМ от разрешающей способности.
а — 100%-ное пропускание; б — 50%-ное пропускание.

области мало (0.3–1 период ВЧ поля). Тем не менее для получения детальной картины потерь ионов необходимо исследование акцептанса реального КФМ. Поэтому вторым этапом исследования акцептанса КФМ являются учет и анализ влияния краевых полей.

Список литературы

- [1] Dawson P.H. // Int. J. Mass Spectr. Ion Phys. 1975. Vol. 17. P. 423–445.
- [2] Dawson P.H. Quadrupole Mass-spectrometry and its Applications. Amsterdam: Elsevier, 1976. 249 p.
- [3] Dawson P.H. // Int. J. Mass Spectr. Ion Process. 1990. Vol. 100. P. 41–50.
- [4] Усачева Т.В., Ермаков М.С. Научное приборостроение. Приборы и средства автоматизации для научных исследований. Л., 1987. С. 33–39.
- [5] Матанцев А.И., Титов В.В. // ВАНТ. Сер.ПТ. 1986. № 1 (32). С. 74–78.

- [6] Hunter K.L., McIntosh B.J. // Int. J. Mass Spectr. Ion Process. 1989. Vol. 87. P. 157-164.
 [7] McIntosh B.J., Hunter K.L. // Int. J. Mass Spectr. Ion Process. 1989. Vol. 87. P. 165-179.
 [8] Konenkov N.V., Kratenko V.I. // Int. J. Mass Spectr. Ion Process. 1991. Vol. 108. P. 115-136.
 [9] Коненков Н.В., Силаков С.С. // ЖТФ. 1991. Т. 61. Вып. 3. С. 145-146.
 [10] Todd F.G., Waldren P.M., Freer D.A., Turner R.B. // Int. J. Mass Spectr. Ion Phys. 1980. Vol. 35. P. 107-150.
 [11] Коненков Н.В., Кратенко В.И., Могильченко Г.А., Силаков С.С. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. Вып. 15. С. 23-27.
 [12] Коненков Н.В., Силаков С.С., Могильченко Г.А. и др. // ЖТФ. 1990. Т. 60. Вып. 1. С. 117-122.
 [13] Коненков Н.В., Могильченко Г.А., Силаков С.С. // ЖТФ. 1990. Т. 60. Вып. 6. С. 128-132.

Научно-исследовательский
 технологический институт
 Рязань

Поступило в Редакцию
 23 сентября 1991 г.

09;12
 © 1992 г.

Журнал технической физики, т. 62, в. 9, 1992

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ СМЕЩЕНИЯ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ КОМПОЗИЦИОННОГО ФЕРРИТ-ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА

В.М.Лалетин

Известно, что под действием магнитного поля в резонаторах, изготовленных из композиционной керамики феррит-пьезоэлектрик, наблюдается смещение резонансной частоты $[1,2]$. В настоящее время существует два механизма, объясняющие это явление: 1) магнитное поле \rightarrow деформация магнитной фазы \rightarrow деформация пьезоэлектрической фазы \rightarrow изменение упругих свойств пьезоэлектрической фазы \rightarrow изменение упругих свойств композиционного материала \rightarrow смещение резонансной частоты, 2) магнитное поле \rightarrow деформация магнитной фазы \rightarrow изменение упругих свойств магнитной фазы \rightarrow изменение упругих свойств композиционного материала \rightarrow смещение резонансной частоты.

Как видно из приведенных схем, смещение частоты определяется в первом случае изменением упругих свойств пьезоэлектрической фазы, во втором — изменением упругих свойств магнитной фазы. Необходимо отметить, что оба эти механизма реальны, поэтому нельзя отрицать существование какого-либо из них.

В работе $[2]$, исходя из качественного совпадения характера смещения частоты в резонаторах, изготовленных из композиционной керамики, и поведения модуля Юнга чистых ферритов в магнитных полях, делается заключение, что смещение частоты происходит вследствие изменения упругих свойств ферритовой фазы (ΔE -эффект). Но такого вывода, основывающегося на аналогиях, недостаточно для строгого утверждения.

В связи с этим представляет интерес экспериментально оценить вклад каждого механизма в наблюдаемое явление. С этой целью был проведен