

УДК 621.384.8

ГЕНЕРАТОР КАЧАЮЩЕЙСЯ ЧАСТОТЫ  
ДЛЯ РАДИОЧАСТОТНОГО МАСС-СПЕКТРОМЕТРА

В.А. Каплин, А.С. Нудельман

В практике физического эксперимента в вакууме все большее применение находят небольшие по размерам масс-анализаторы, использующие для селекции заряженных частиц по массам высокочастотные электрические поля. Среди приборов этого класса особое место занимает радиочастотный масс-спектрометр (РМС) [1], обладающий удовлетворительными для большинства применений аналитическими характеристиками при сравнительно простой электронной схеме.

Уравнение настройки РМС типа Беннета для высокочастотного потенциала синусоидальной формы имеет вид:

$$M = \frac{0.266 \cdot V}{S^2 \cdot f^2} \quad (1)$$

Здесь  $V$  - ускоряющий потенциал, в;

$f$  - частота модулирующего высокочастотного потенциала, Мгц;

$S$  - расстояние между сетками в каскаде, см;

$M$  - масса положительного однозарядного иона в атомных единицах массы, а.е.м.

Из уравнения (1) следуют три возможных способа развертки масс-спектра: 1) изменение ускоряющего потенциала; 2) изменение частоты; 3) комбинированный способ, когда в пределах анализируемого диапазона масс изменяются  $V$  и  $f$ .

Развертка изменением ускоряющего потенциала роста в реализации, но вследствие зависимости ионного тока коллектора от потенциала развертки [1] затрудняется расшифровка масс-спек-

ров. Кроме того, фоновый ток РМС в области давлений  $10^{-5}$ - $10^{-4}$  мм рт.ст. значительно зависит от величины ускоряющего потенциала [2], что уменьшает динамический диапазон измерений.

Частотная развертка свободна от этих недостатков и предпочтительна в случаях, когда основным требованием является точность измерений. Однако конструирование перестраиваемого по частоте генератора в мегагерцевом диапазоне при допустимой неустойчивости амплитуды менее 1% и емкостной нагрузке порядка 50-100 пф представляет определенные трудности.

В Институте математики СО АН СССР разработан генератор для частотной развертки масс-спектра РМС (рис.1). Генераторная часть собрана на лампе  $L_6$  6Э5П по схеме емкостной трехточки. Плавная перестройка частоты генератора производится изменением магнитной проницаемости подмагничиванием высоко частотного ферритового сердечника контурной индуктивности  $L_1$ . Весь частотный диапазон генератора разбит на три поддиапазона: 1,8-4,0 Мгц; 3,5-7,5 Мгц; 6,5-13,5 Мгц. С целью получения линейной шкалы массовых чисел коэффициент перекрытия по частоте в поддиапазонах ограничен величиной  $K_f = 2,2$ .

Переключение поддиапазонов производится одновременным изменением индуктивности и емкости контура, что обеспечивает лучшую равномерность амплитудно-частотной характеристики генератора.

Анализатор РМС ( $C_{экв} = 120$  пф) через разделительную емкость  $C_{12}$  и отрезок кабеля РК-2 подключен к контуру генератора. Для уменьшения зависимости частоты от величины вносимой в контур емкости анализатора, длина кабеля должна быть меньше 30 см.

Автоматическую развертку частоты осуществляет устройство, включающее в себя генератор пилообразного напряжения на лампах  $L_4$ ;  $L_5$ ;  $L_7$  и усилитель тока подмагничивания на лампе  $L_1$ . Генератор пилообразного напряжения представляет собой фантастрон с катодным выходом и коммутирующим тиратроном  $L_7$  (ТТ-1Б) в анодной цепи. Особенностью схемы является независимость регулировок скоростями развертки и амплитуды пилообразного напряжения. Потенциометрами  $R_3$  и  $R_{15}$  можно выбрать для развертки любой участок масс-спектра, а также произвести ручную настройку на заданный массовый пик. Уровень выходного напряжения генератора стабилизируется схемой автоматической регулировки усиления (АРУ) изменением мощности возбуждения, подводимой к лампе  $L_6$  по экранной цепи. В схему АРУ входит детектор ( $L_6$ ,  $L_7$ ,  $C_{14}$ ,  $C_{16}$ ), усилитель постоянного тока на  $L_2$  (6Н17Б) с коэффициентом усиле-

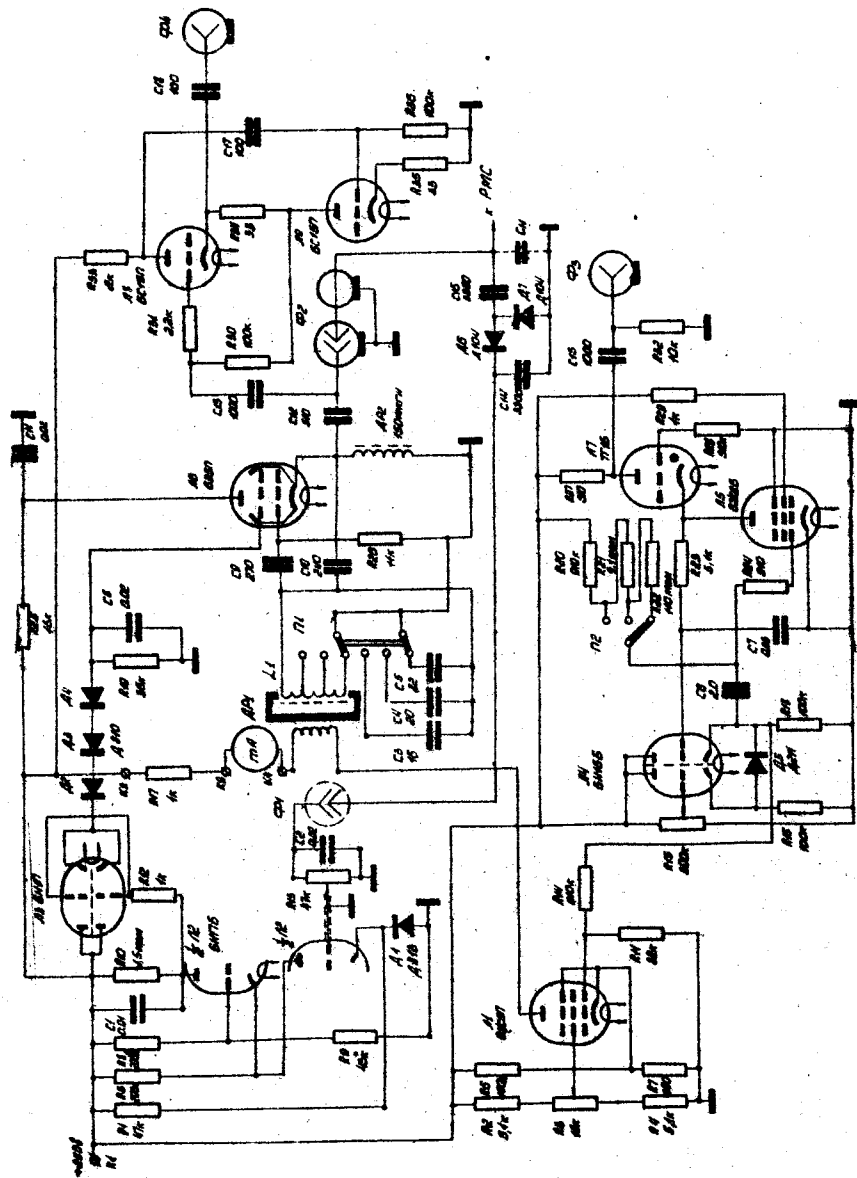


Рис. 1. Принципиальная схема генератора вращающейся частоты.

ния около 1000, регулирующий каскад на  $L_3$  (6Н1П).

Характеристики генератора:

1. Диапазон частот 1,8–13,5 Мгц.
2. Выходное напряжение 8–15 в на  $C_H=120$  пф. Нестабильность не более 1,5% в поддиапазоне 6,5–13,5 Мгц.
3. Стабильность частоты  $\pm 4 \cdot 10^{-4}$ .
4. Длительность развертки 1, 10, 100 сек.
5. Питание от источника +250 в/70 ма.

Контурная индуктивность имеет 47 витков с отводами от 7 и 14 витка и намотана на ферритовом сердечнике  $\mu_0 = 100$ , помещенном в зазор между полюсами электромагнита Др1. Сердечник электромагнита набран из пермалля Ш12, толщина набора 12 мм. Обмотка имеет 2000 витков провода ПЭВ 0,1 мм.

Для калибровки генератора и измерения стабильности частоты применялся электронно-счетный частотомер типа 3506 RFT ( $f_{\text{верх}} = 1,0$  Мгц), частотный диапазон которого был расширен с помощью приставки - делителя частоты. Делитель частоты (рис. 2) содержит четыре триггерных ячейки на туннельных диодах типа 3И301Г (два первых каскада) и 3И302Б и межкаскадные развязывающие усилители на транзисторах ПП<sub>2</sub>, ПП<sub>3</sub>, ПП<sub>4</sub>, ПП<sub>5</sub> (П410А), что обеспечило устойчивую работу делителя в диапазоне рабочих частот генератора.

Входной каскад делителя частоты на транзисторе ПП<sub>1</sub> (П41А) с туннельным диодом Д<sub>1</sub> (3И302В) в эмиттерной цепи выполняет функции формирователя - ограничителя импульсов запуска.

Приставка-делитель частоты стыкуется с генератором через согласующий катодный повторитель каскадного типа на лампах Л<sub>8</sub>, Л<sub>9</sub> 6С15П (см. рис. 1).

Характеристики делителя частоты:

1. Диапазон частот входного сигнала до 18,0 Мгц.
  2. Устойчивый коэффициент деления при изменении напряжения питания на  $\pm 10\%$  и амплитуды входного синусоидального напряжения на  $\pm 30\%$ :  $n = 16$  в полосе частот до 14,0 Мгц;  $n = 24$  в полосе частот от 14,0 до 18,0 Мгц.
  3. Входной запускающий сигнал синусоидальной формы напряжением 5–10 в.
  4. Питание от нестабилизированного выпрямителя - 12 в/80 ма.
- На рис. 3 представлен состав остаточной атмосферы при отка-



чке камеры II-8-5- циклового радиочастотного масс-анализатора магнитным электроразрядным насосом. Развертка масс-спектра осуществлялась изменением частоты модулирующего потенциала в диапазоне 6,5-13,5 Мгц при постоянном ускоряющем потенциале  $V = -300$ в. Некоторое увеличение амплитуды пиков в интервале массовых чисел 12-20 объясняется спадом амплитудо-частотной характеристики детектора в области высоких частот.

### В ы в о д ы

Предлагаемый генератор принципиально отличается от описанного в работе [3] отсутствием широкополосных каскадов усиления мощности, что обеспечивает значительную его простоту и экономичность при относительно хорошей стабильности частоты ( $\pm 4 \cdot 10^{-4}$ ) и амплитуды ( $1,5 \cdot 10^{-2}$ ) в широком диапазоне перекрываемых частот.

Разработанный генератор частотной развертки в комплекте с приставкой-делителем частоты и цифровым частотомером может быть применен в радиотехнической части РМС для задач, связанных с количественными измерениями парциального состава атмосферы в технологических установках для вакуумного напыления тонких пленок.

### Л и т е р а т у р а

1. А.Н. ВОРСИН и др. Радиочастотный масс-спектрометр, М, 1959, Издание АН СССР.
2. М.Е. СЛУЦКИЙ, Г.Е. ЦИГЕЛЬМАН. Уменьшение фоновых токов в радиочастотном масс-анализаторе. - Журнал технической физики, 1966, № 6.
3. Б.Н. СКВОРЦОВ. Радиочастотный масс-спектрометр типа линейного ускорителя. - Передовой научно-технический и производственный опыт, тема 35, МП-60-62/6, 1960.

Поступила в редакцию

5.У1.68 г.