

Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 6 — 1963

Н. В. КРАВЦОВ, В. Н. ЛАЗУКИН, Н. В. ЧЕКАЛИН

РАДИОСПЕКТРОСКОП С ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР

В последнее время в практике исследований электронного спинового резонанса (ЭСР) все большее распространение получают микроволновые радиоспектроскопы с высокочастотной модуляцией магнитного поля [1, 2]. Основные параметры их (чувствительность, точность воспроизведения формы линии поглощения) не уступают, а порой превосходят параметры гетеродинных спектрометров. Простота устройства (а стало быть и эксплуатации), надежность в работе радиоспектроскопов с ВЧ модуляцией выгодно отличают их от гетеродинных спектрометров.

Однако предлагавшиеся до сих пор конструкции радиоспектроскопов с ВЧ модуляцией* не могут успешно конкурировать с гетеродинными спектрометрами потому, что работа в области гелиевых температур, применения которых требует подавляющее большинство исследований ЭСР, оказывается весьма затруднительной.

Предлагаемая нами схема радиоспектроскопа с ВЧ модуляцией дает возможность проводить эксперименты в широком интервале температур — от гелиевых до 1000°. Достигается эта возможность применением высокодобротного отражательного резонатора в сочетании с гибридным кольцом.

Блок-схема спектрометра представлена на рис. 1. Генерируемая кलिстрономом мощность частоты 9 500 мгц (кलिстроный генератор 1) поступает через ферритовый вентиль (2) и переменный аттенюатор (3) в гибридное кольцо (4). Часть мощности (~0,5) направляется далее через согласующий трансформатор (6) в резонатор (7). Другая часть мощности гасится согласованной нагрузкой (8). Мощность, отраженная от резонатора и несущая сигнал ЭСР, попадает на кристаллический детектор (5). После усиления (9) на частоте модуляции магнитного поля и второго детектирования (10) (обычного или фазочувствительного) сигнал подается на осциллограф или автоматический потенциометр (13), с помощью которого и регистрируется спектр ЭСР иссле-

* В том числе конструкции, принятые промышленностью к серийному производству.

дуемого образца. Система автоматической подстройки частоты (12), использующая рабочий резонатор, обеспечивает необходимую стабильность частоты клистрона (14, 15 модулирующие катушки электромагнита).

Конструкция резонатора показана на рис. 2 (1 — резонатор, 2 — коаксиал для подвода ВЧ мощности, 3 — кабель для подводки модулирующего напряжения, 4 — модуляционные катушки, 5 — месторасположения образца).

Вместо обычно применяемого разрезного резонатора, образующего высокочастотный контур, в данном случае использовался прямоугольный отражательный резонатор, работающий на волне H_{011} . Для обеспечения модуляции необходимой частоты на широких стенах резонатора, где электрическое поле минимально, смонтированы две катушки, имеющие вид плоских спиралей максималь-

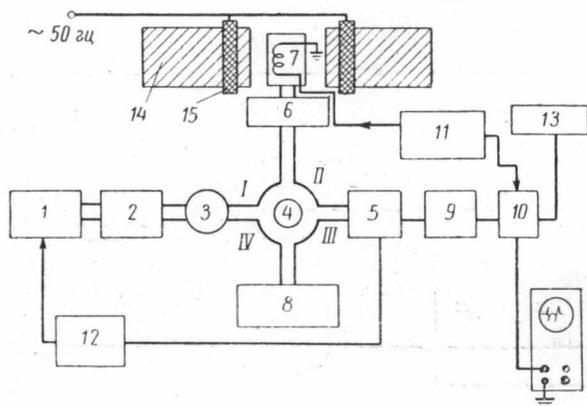


Рис. 1

ным диаметром 10 мм и содержащие по 30 витков провода ПЭЛ 0,1 мм.

Катушки подключаются к высокочастотному генератору так, что поля их складываются. Однородность поля в месте помещения образца проверялась путем сравнения ширины линии ДФПГ ($\Delta H = 1,1$ эрст), измеренной на описываемом спектрографе и супергетеродинном. Сравнение показало, что однородность достаточна для измерений ширины линии порядка эрстеда.

Предварительные измерения показали, что введение этих катушек в резонатор снижает добротность последнего примерно на 10%. Для выполнения низкотемпературных измерений на резонатор герметично надевается тонкий медный кожух. Мощность, выделяющаяся в резонаторе при высокочастотной модуляции, гораздо меньше мощности, выделяющейся в разрезном резонаторе. При высокотемпературных наблюдениях на резонатор надевается бифилярная нагревающая обмотка или же трубчатая печь. Чтобы предотвратить нагревание между резонатором и питающим его волноводом включается волноводная секция, охлаждаемая водой.

Высокочастотный генератор собран (по схеме рис. 3) на первой половине лампы Л1 (6Н6П). Вторая половина лампы Л1 — катодный повторитель. На лампе Л2 собран усилитель мощности; с анода этой лампы через согласующий трансформатор снимается мощность частотой 147 кгц, подаваемая коаксиальным кабелем на модулирующие ка-

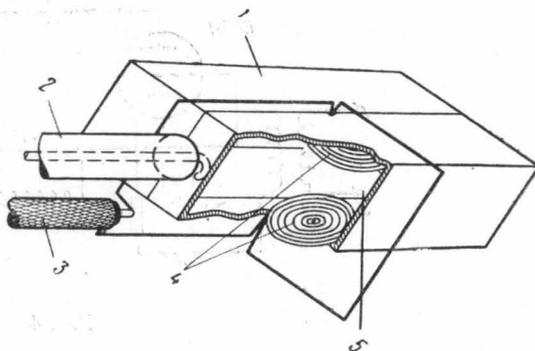


Рис. 2

душки резонатора. Как и в других спектро스코пах с ВЧ модуляцией амплитуда модулирующего поля меньше ширины линии. Это поле накладывается на медленно меняющееся поле электромагнита, перекрывающее всю линию. Известно [3], что точность воспроизведения линии поглощения (точнее — ее производной) и чувствительность спектроскопа определяются соотношением глубины ВЧ модуляции и ширины линии. Практически первая не должна превышать половины ширины

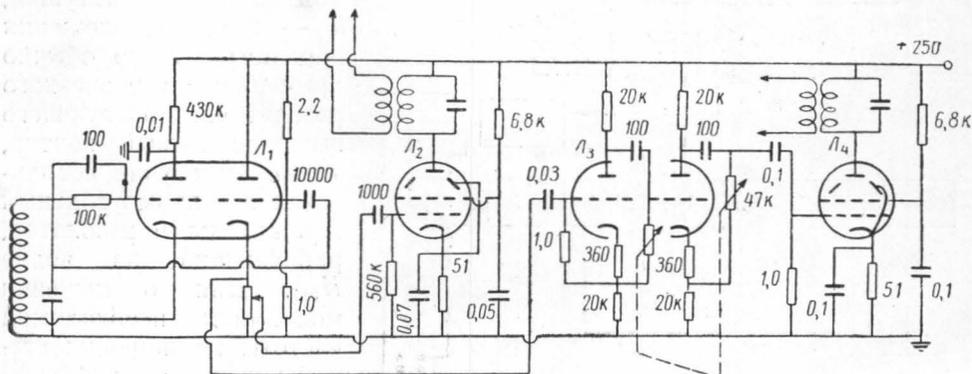


Рис. 3

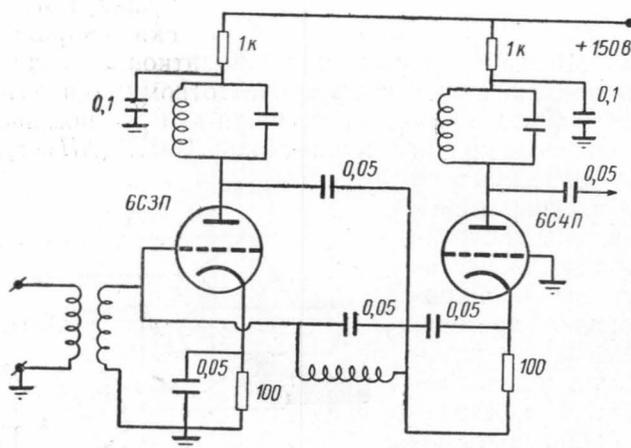


Рис. 4

линии. Для плавного изменения глубины модуляции в схеме служит потенциометр.

Вторая часть схемы (лампы Л3 и Л4) используется для получения опорного напряжения, необходимого при работе с фазовым детектором. На лампе Л3 (6Н6П) собран также фазовращатель; изменение фазы от 0 до 180° осуществляется двойным потенциометром.

Усилитель высокой частоты состоит из двух частей — основного усилителя и предварительного (рис. 4), собранного по каскадной схеме на лампах 6С3П и 6С4П и обеспечивающего низкий уровень шумов. Предварительный усилитель подключается непосредственно к детекторной головке. Основной усилитель собран по обычной схеме. Общий коэффициент усиления схемы (до второго высокочастотного детектора) $3 \cdot 10^5$ при полосе пропускания 12 кГц.

Детектор высокой частоты, собранный по схеме, аналогичной приведенной в [4], может работать в двух режимах: обычного детектирования и фазочувствительного. В первом случае опорное напряжение от генератора не подается и сигнал ЭСР регистрируется осциллографом, для чего поле электромагнита модулируется частотой 50 гц. Во втором случае включается опорное напряжение и сигнал ЭСР записывается автоматическим потенциометром ЭПП-09 при этом для медленного прохождения линии используется схема ведения поля магнита.

Система АПЧ (рис. 5) собрана с использованием рабочего резонатора. Для этой цели осуществляется слабая частотная модуляция кли-

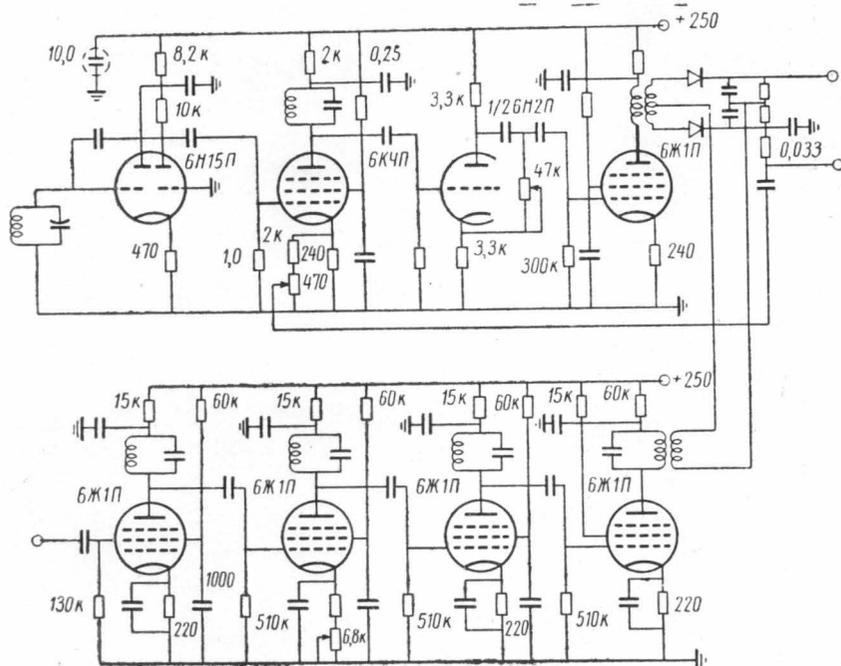


Рис. 5

строна ($f = 1$ мгц), такая, что интенсивность боковых частот — около 1% основной. При совпадении частот клистрона и резонатора амплитудная модуляция выходного сигнала отсутствует. В противном же случае указанная амплитудная модуляция возникает, причем фаза выходного сигнала зависит от того, на какую ветвь резонансной кривой резонатора приходится частота клистрона. Сигнал ошибки вырабатывается диодным фазовым детектором, напряжение с которого подается на отражатель клистрона.

В процессе обработки спектроסקопа использовались два электромагнита: магнит СП-9 с диаметром полюсов ~ 160 мм, с зазором ~ 52 мм и максимальной напряженностью поля около 9000 эрст и малый магнит с диаметром полюса ~ 100 мм, зазором ~ 25 мм, максимальным полем около 4000 эрст и весом около 20 кг. В последнем случае, разумеется, невозможно было осуществлять температурных измерений. Но работа с таким магнитом показала возможность создания радиоспектроסקопа (размером $0,25$ см² и весом 50 кг) для измерений при комнатных температурах.

Как известно [3], чувствительность радиоспектроскопа определяется в основном добротностью резонатора, мощностью микроволновых колебаний, подводимых к нему, коэффициентом заполнения, шумфакторами кристаллического детектора и усилителя. Как показали детальные измерения на дифенилпикрилгидразиле, чувствительность описанного спектрографа оказалась близкой к теоретически рассчитанной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов А. Г., Бубнов Н. Н. «Приборы и техника эксперимента», № 1, 92, 1959.
2. Buskmaster H. A., Scovil H. E. D. Canad. J. Phys., **34**, 711, 1956.
3. Инграм Д. Электронный парамагнитный резонанс в свободных радикалах. ИЛ, М., 1961.
4. Горди В., Смит В., Трамбарулов. Радиоспектроскопия. Гостехиздат, М., 1955.

Поступила в редакцию
29. I 1963 г.

НИИЯФ
