

$$+ \frac{B}{k} \left( Hz - \frac{z^2}{2} \right) \text{ при } H \geq z \geq 0, \quad (7)$$

$$T = T_0 + \frac{q_2 - q_2}{k} z + \frac{E_0 e^{-\tau_0}}{k\beta} (Ei \tau_0 - Ei \tau) + \frac{BH}{2k} \text{ при } z \geq H, \quad (8)$$

где  $Ei$  — интегральная показательная функция,  $E_0$  — эффективное длинноволновое излучение поверхности моря,  $\tau = \frac{\alpha \rho_0}{\beta} e^{-\beta z}$ .

На рисунке приведены профили температуры, рассчитанные по следующим данным:  $E_0 = 50 \text{ Вт/м}^2$ ,  $q_2 = 250 \text{ Вт/м}^2$ ,  $q_2 = 200 \text{ Вт/м}^2$ ,  $\alpha = 34,2 \text{ см}^2/\text{г}$ ,  $\rho_0 = 23 \cdot 10^{-6} \text{ г/см}^3$ ,  $T_0 = 25^\circ \text{С}$ ,  $H = 30 \text{ см}$ ,  $k = 0,05 \text{ кал/(\text{см} \cdot \text{с})}$ ,  $B = 5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ .

Кривая 1 рассчитана при объемной плотности источников тепла  $B = 108 \text{ Вт/м}^3$ , а кривая 2 — при  $B = 0$ .

Из рисунка видно, что слой инверсии образуется под действием объемного источника в этом слое.

Из уравнений (7) — (8) видно, что формирование профиля температуры в приводном слое атмосферы происходит под действием трех факторов: турбулентного теплообмена, длинноволнового излучения и выделения тепла объемными источниками. Причем остывание приводного слоя, обусловленное турбулентной теплопроводностью, в нижней части в значительной степени компенсируется притоком тепла за счет поглощения длинноволнового излучения.

Следует особо отметить, что в рамках описанной модели образование слоя инверсии температуры происходит под действием источника тепла в атмосфере.

Автор глубоко благодарен за постоянное внимание к работе Е. Г. Андрееву, Б. Н. Трубкинову и Г. Г. Хунджуа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Хунджуа Г. Г., Андреев Е. Г., Будников А. А. *Океанология*, 19, 1979, № 1, с. 164. [2] Хунджуа Г. Г., Андреев Е. Г. *ДАН СССР*, 1980, 225, № 4, с. 829.

Поступила в редакцию  
13.08.81

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1982, Т. 23, № 4

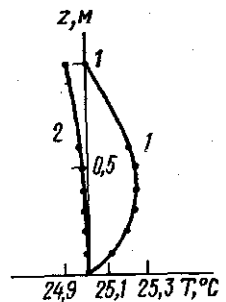
УДК 543.422.25

#### АППАРАТУРА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МНОГОЧАСТОТНЫХ СЕЛЕКТИВНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ МЕТОДАМИ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ ЯМР-СПЕКТРОСКОПИИ

К. Л. Захаров, Ю. С. Константинов, А. М. Смирнов

(кафедра радиофизики СВЧ)

Ряд многочастотных методов ЯМР-спектроскопии основан на селективном возбуждении отдельных переходов в спектре исследуемой спиновой системы. Решение этой задачи методами Фурье-спектроскопии ЯМР потребовало применения довольно сложных импульсных последовательностей, в спектре которых содержатся нужные для возбуждения переходов частоты  $\omega_i$  [1, 2], или использования импульсов большой длительности [3, 4], что, по существу, эквивалентно непрерыв-



Расчетное вертикальное распределение температуры:  $B = 108$  (1) и  $0$  (2)  $\text{Вт/м}^3$

ному возбуждению. Однако основные экспериментальные трудности связаны с необходимостью стабилизации отношения  $\omega/H_0$  на всех частотах с точностью порядка малой доли ширины облучаемых линий ЯМР.

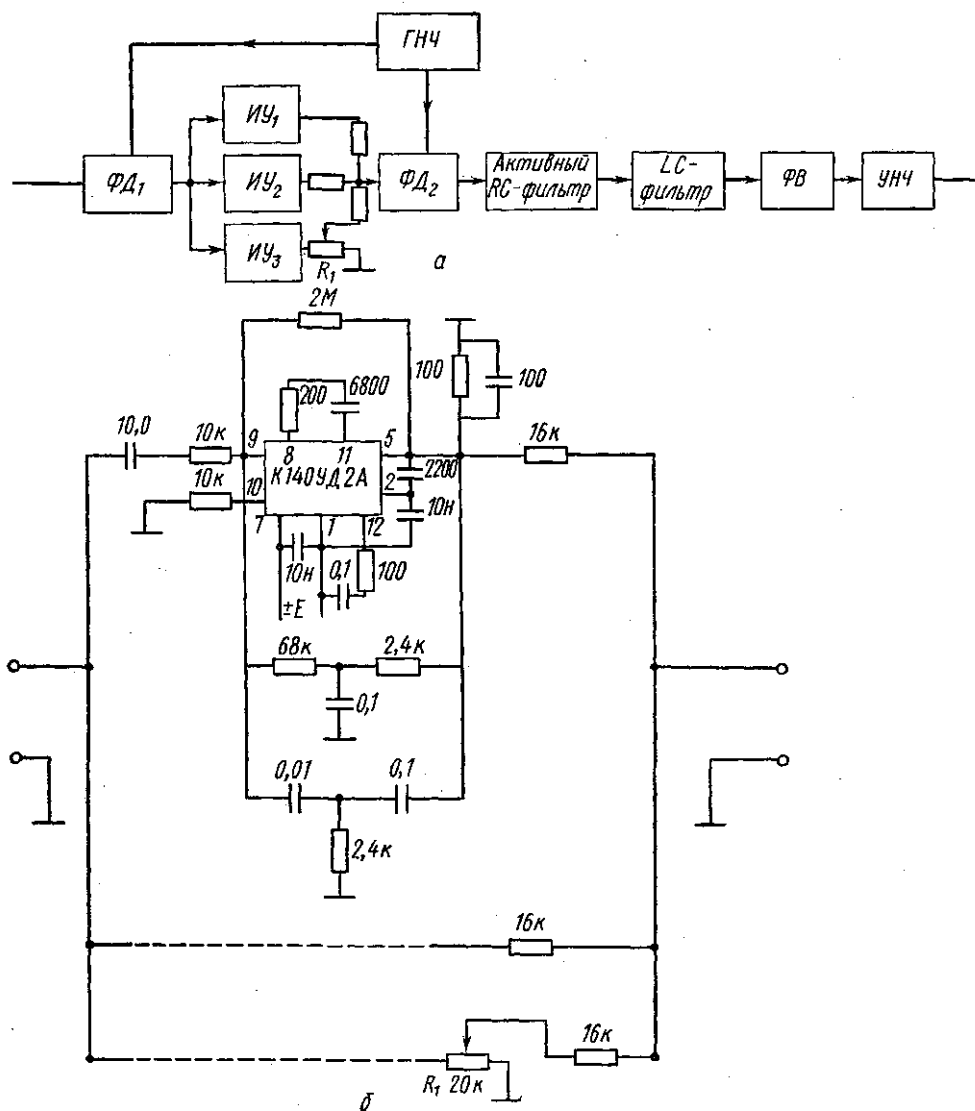


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки (а) и принципиальная схема УПЧ (б)

Ранее было показано [5], что указанные трудности удается преодолеть методами регенеративной ЯМР-спектроскопии [6, 7], в которой в качестве датчика сигналов ЯМР используется спиновый генератор на боковой полосе (СГБП). Особенностью регенеративной ЯМР-спектроскопии, представляющей интерес с точки зрения многочастотных экспериментов, является одновременное и автоматическое выполнение условий резонанса для всех линий ЯМР, на которых возбуждена

спиновая генерация [8]. Для возбуждения спиновой генерации на избранных линиях в спектре ЯМР в цепь обратной связи СГБП достаточно ввести частотно-избирательные элементы, например узкополосные усилители, настроенные на нужные частоты.

В настоящей работе описан перестраиваемый избирательный усилитель (ИУ) с двойным преобразованием частоты и с скорректированной фазочастотной характеристикой (ФЧХ) в полосе пропускания ИУ, который включается в низкочастотную часть цепи обратной связи СГБП (см. [6, 7]). Диапазон перестройки ИУ составляет  $4,0 \div 4,4$  кГц. Блок-схема ИУ представлена на рис. 1, а; принципиальная схема одного из трех УПЧ, входящих в схему ИУ, дана на рис. 1, б.

Необходимость коррекции ФЧХ ИУ объясняется тем, что введение избирательного элемента в цепь обратной связи СГБП не должно вносить зависящих от частоты фазовых сдвигов, так как это привело бы к сдвигу частоты спиновой генерации относительно центра облучаемой линии при изменении  $\omega/H_0$  [8]. Для получения плоской ФЧХ ИУ использовались три параллельно включенных УПЧ (ИУ<sub>1-3</sub> на рис. 1, а) с расстроенными по частоте полосами пропускания. Наклон ФЧХ в центре полосы пропускания ИУ компенсируется сопротивлением  $R_1$ . Преобразование частоты осуществляется фазовыми детекторами (ФД<sub>1</sub> и ФД<sub>2</sub>). Последний выполнен по балансной схеме, чтобы ослабить прохождение сигнала от гетеродина (ГНЧ) в цепь обратной связи СГБП. Для подавления низкочастотных сигналов на выходе ФД<sub>2</sub> служит двухзвенный активный RC-фильтр верхних частот с частотой среза 1,6 кГц и с вносимым затуханием в полосе непрозрачности 20 дБ/окт. Зеркальная частота ослабляется перестраиваемым в полосе  $3,2 \div 3,6$  кГц LC-фильтром. Фазовращатель (ФВ) компенсирует фазовый сдвиг, вносимый ИУ в цепь обратной связи СГБП. Широкополосный усилитель низкой частоты (УНЧ) служит для регулировки коэффициента усиления ИУ. Избирательность описанной схемы не слишком велика (6 Гц), но она может быть легко увеличена за счет регенерации ИУ. В этом случае коэффициент передачи ИУ изменяет знак на «крыльях» АЧХ (см., например, [9]), что приводит к нарушению условия фазового баланса для линий ЯМР, находящихся вне полосы пропускания ИУ. В результате спиновая генерация на этих линиях не возбуждается. Применение нескольких ИУ, подобных описанному, позволяет проводить эксперименты, в которых число облучающих спиновую систему полей определяется числом ИУ. Возможен вариант, в котором одно из облучающих систему полей создается внешним генератором, а остальные — спиновым генератором. При этом требования к стабильности резонансных условий такие же, как в одночастотных экспериментах.

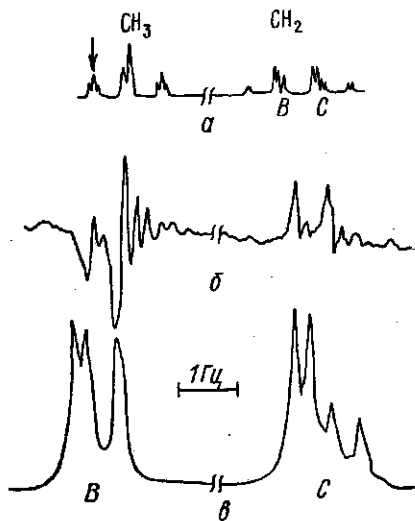


Рис. 2. Схематический вид спектра ПМР бромистого этила. Стрелкой указана линия, на которой селективно возбуждалась спиновая генерация (а); ИНДОР-спектр для линий В и С (б); фрагмент спектра ЯМР линий В и С (а)

В качестве примера использования описанной установки рассмотрим эксперимент, в котором регистрируется ИНДОР-спектр в спиновой системе типа  $A_3B_2$  (протоны бромистого этила на частоте 60 МГц). Спектр ЯМР этого соединения схематически изображен на рис. 2, а. Стрелкой отмечена линия в спектре метильной группы, на которой селективно возбуждалась спиновая генерация. Поле внешнего генератора последовательно возмущались группы линий  $B$  и  $C$  в спектре метиленовой группы, более подробно изображенные на рис. 2, в. На рис. 2, б приведен ИНДОР-спектр, полученный путем регистрации изменений амплитуды колебаний СГБП в указанных условиях. В рассматриваемом примере СГБП выполняет функции индикатора ядерной намагниченности, изменяющейся под действием возмущающего поля. При возмущении регрессивного перехода намагниченность и амплитуда колебаний СГБП уменьшаются, при возмущении прогрессивного перехода — увеличиваются.

Описанная аппаратура может быть использована при проведении других многочастотных экспериментов, например при исследовании спектров комбинационных частот [10] и т. п., а также при селективном измерении времен продольной релаксации [6, 7].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Freeman R., Morris G. A. J. Magn. Res., 1978, 29, p. 433. [2] Tomlinson B. L., Hill H. D. W. J. Chem. Phys., 1973, 59, p. 1775. [3] Heinrichs P. M., Schwartz L. J. J. Chem. Phys., 1978, 69, N 2, p. 622. [4] Pashler K. C. P., Wessels P. L. Org. Magn. Res., 1980, 13, p. 100. [5] Константинов Ю. С., Смирнов А. М. В кн.: Тезисы докл. на XI Европ. конгр. по молекулярной спектроскопии. Таллин, 1973, с. 69 (С1). [6] Константинов Ю. С., Смирнов А. М., Варламов С. Д. В кн.: Труды XX конгр. АМПЕРЕ. Таллин, 1979, с. 577. [7] Константинов Ю. С., Смирнов А. М. Приб. и техн. эксперимента, 1980, № 2, с. 143. [8] Константинов Ю. С., Смирнов А. М. Радиотехника и электроника, 1972, 17, № 11, с. 2456. [9] Hobson R. F., Kaiser R. J. Magn. Res., 1975, 20, p. 458. [10] Синивэе В., Салум В. Изв. АН ЭССР, Сер. Физ. Матем., 1968, 17, № 1, с. 49.

Поступила в редакцию  
27.08.81

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1982, Т. 23, № 4

УДК 537—961:621.396.671.3

#### ОСОБЕННОСТИ ПРИЕМНЫХ АНТЕННЫХ СИСТЕМ, СОСТОЯЩИХ ИЗ НЕЗАВИСИМО НАГРУЖЕННЫХ ВИБРАТОРОВ

Г. П. Бояхчян, В. А. Ванке, С. К. Лесота

(кафедра радиофизики СВЧ)

Использование ректенны (антенны-выпрямителя) при приеме и преобразовании СВЧ-энергии в энергию постоянного тока в качестве наземной системы солнечных космических электростанций представляется в настоящее время перспективным [1—4]. По сравнению с другими подобными системами ректенна имеет ряд преимуществ. В частности, экспериментально доказано, что приемная поверхность ректенны имеет слабую направленность, и, таким образом, не возникает проблемы согласования распределения освещения с диаграммой направленности приемной апертуры, а также отсутствуют проблемы, связанные с неоднородностью интенсивности и фазы освещения на приемной апертуре и т. д. [1].