

ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ

УДК 539.143.43

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТРОСКОПИЧЕСКОГО МЕТОДА ЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ТОЧКИ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ КОЛЕБАНИЙ СПИНОВОГО ГЕНЕРАТОРА НА НЕОДНОРОДНО УШИРЕННОЙ ЛИНИИ

Н. В. Анисимов, Ю. С. Константинов

(кафедра радиофизики СВЧ)

Рассмотрено применение метода чувствительной точки для стабилизации много-частотных колебаний спинового генератора. Обсуждается возможность применения двухчастотной градиентной модуляции для повышения разрешающей способности спектрометра ЯМР.

Одной из проблем регенеративной ЯМР-спектроскопии является подавление паразитной автомодуляции колебаний спинового генератора (СГ), возникающей при неоднородном уширении линии ЯМР рабочего образца даже при небольшом увеличении коэффициента усиления в цепи обратной связи ($K_{ос}$) относительно порогового значения. Для стабилизации колебаний спинового генератора в работах [1, 2] предложен метод «вычитания сигналов», использующий пространственно неоднородную обратную связь. Но этот метод становится малоэффективным, если катушки модуляции спинового генератора нельзя разместить в непосредственной близости от рабочего образца. В этом случае удобнее использовать другой метод стабилизации колебаний спинового генератора, основанный на ограничении эффективного объема образца интроскопическим методом чувствительной точки (ЧТ) [3, 4].

В спектрометре XL-100 («Вариан») конструкция двухкатушечного датчика позволяет расположить катушки модуляции СГ лишь на расстоянии 15 мм от центра приемной катушки. Поэтому применение метода вычитания сигналов здесь неэффективно, а реализация метода ЧТ связана с рядом трудностей. Во-первых, асимметричное распределение металлических частей датчика приводит к сложному распределению вторичных полей модуляции, наводимых градиентными катушками, так что суммарное модулирующее поле в ЧТ может быть отличным от нуля. Эксперименты с пробной катушкой показали, что существует ряд частот модуляции, для которых суммарное поле близко к нулю в области ЧТ. Одна из этих частот — 2 кГц — была выбрана для питания градиентных катушек. Другая трудность обусловлена наличием индуктивной связи между градиентными и шиммирующими катушками. Было подобрано такое взаимное расположение этих катушек, которое обеспечило минимальное значение вторичного поля модуляции, создаваемого шиммирующими катушками в области ЧТ.

Применение описанной системы стабилизации позволило наблюдать стабильную спиновую генерацию на линии ЯМР тетраметилсилана при восьмикратном превышении порогового значения $K_{ос}$. Без этой системы нестабильность колебаний СГ проявлялась при превышении порогового значения $K_{ос}$ в 1,2—1,3 раза. Повышение стабильности колебаний спинового генератора обусловлено ограничением эффективного объема рабочего образца, которое приводит к уменьшению пьедестала неоднородно уширенной линии ЯМР [4]. Это видно из рис. 1, на котором даны для сравнения две записи сигнала ЯМР, полученные без применения (1) и с применением (2) метода ЧТ. Для подавления паразитных сигналов при расстройках, кратных частоте градиентной модуляции, полоса пропускания цепи обратной связи была ограничена до 800 Гц.

Стабилизация колебаний спинового генератора с помощью метода ЧТ дает возможность получить стабильную многочастотную спиновую генерацию (МСГ) одновременно для нескольких линий ЯМР, отличающихся по интенсивности, в условиях неоднородного уширения. На рис. 2 приведены спектры МСГ для протонов этилового спирта при разных значениях $K_{ос}$. Спектры получены путем фурье-анализа временной реализации МСГ длительностью 2 с, которая записывалась в участок памяти ЭВМ объемом 2 Кслов. Сигналы МСГ являются незатухающими, поэтому ширина спектральных линий определяется цифровым разрешением ЭВМ. Из рис. 2 видно, что по мере увеличения $K_{ос}$ возбуждаются линии все меньшей интенсивности при сохранении стабильности генерации на более сильных линиях.

Отметим, что применение метода ЧТ приводит к ослаблению сигнала ЯМР. Это касается и канала внутренней спиновой стабилизации. Мы используем стабили-

зацию по ядрам дейтерия. Поскольку толщина чувствительного слоя обратно пропорциональна гиромангнитному отношению, воздействие поля градиентной модуляции сказывается на интенсивности сигнала дейтерия в 6 раз слабее по сравнению с протонным сигналом.

В экспериментах, описанных выше, высота чувствительного слоя составляла около 3 мм. Попытка уменьшить высоту чувствительного слоя за счет дальнейшего

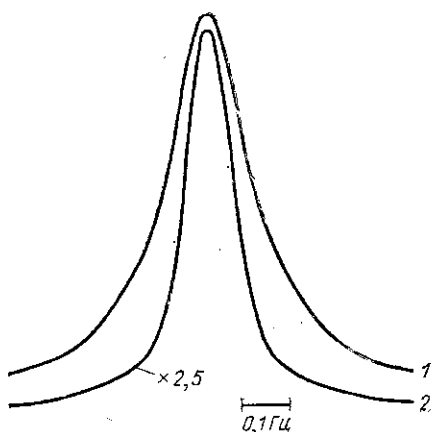


Рис. 1. Сигнал ЯМР от протонов хлороформа в обычном эксперименте (1) и с применением метода чувствительной точки (2)

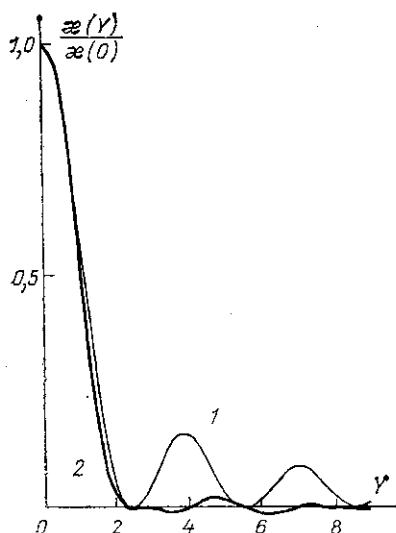


Рис. 3. Зависимость ядерной восприимчивости от координаты $Y = y\gamma G_1/\rho$ для одночастотной (1) и двухчастотной (2) градиентной модуляции ($G_2 = 1,26 G_1$, $\varphi = 0$)

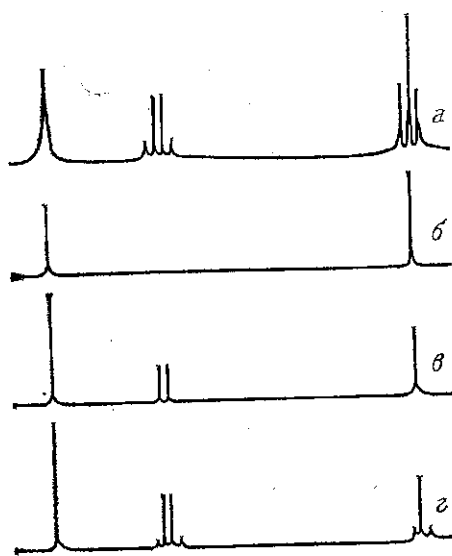


Рис. 2. Обычный спектр ЯМР (а) и спектры спиновой генерации этилового спирта при различных параметрах $K = K_{00}/K_{пор} = 1,5$ (б); 3,0 (в) и 8,5 (г). Пороговое значение $K_{пор}$ относится к центральной линии триплета

увеличения градиента модулирующего поля приводит к тому, что начинает сказываться вклад в наблюдаемый сигнал ЯМР объемов образца, находящихся за пределами чувствительного слоя, но в области чувствительности приемной катушки датчика. Для того чтобы существенно уменьшить этот вклад, можно использовать двухчастотную градиентную модуляцию [4]. В случае кратных частот не происходит нежелательного обогащения спектра ЯМР, как в случае некратных частот модуляции, но требуется правильный выбор фазового сдвига φ между колебаниями на этих частотах. Для достижения наилучшего пространственного разрешения сигналов ЯМР при двухчастотной модуляции вида $H_{gm} =$

$y(G_1 \cos pt + G_2 \cos(2pt + \varphi))$ необходимо, чтобы выполнялись соотношения: $G_2 = 1,26 G_1$ и $\varphi = 0$ или π . Эти соотношения получаются из анализа пространственной зависимости ядерной восприимчивости, метод расчета которой имеется в работе [4].

Графики пространственной зависимости ядерной восприимчивости для одночастотной и двухчастотной градиентной модуляции даны на рис. 3. При реализации двухчастотной градиентной модуляции в методе ЧТ следует учитывать влияние вторичных полей модуляции, о которых упоминалось выше, но уже на двух частотах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Константинов Ю. С., Смирнов А. М. // Приб. и техн. эксперимента. 1980. № 2. С. 143. [2] Константинов Ю. С., Смирнов А. М. // Радиоспектроскопия. Межвуз. сб. науч. трудов. Пермь, 1980. С. 334. [3] Hihshaw W. S. // J. Appl. Phys. 1976. 47. P. 3709. [4] Захаров К. Л., Константинов Ю. С., Смирнов А. М. // Радиоспектроскопия. Межвуз. сб. науч. трудов. Пермь, 1983. С. 65.

Поступила в редакцию
18.03.88

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1988. Т. 29, № 6

АКУСТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

УДК 534.211.4

КЛАССИФИКАЦИЯ ОСОБЫХ ТОЧЕК ЛИНИЙ ТОКА АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ БЛИЖНЕГО ПОЛЯ ИСТОЧНИКОВ ЗВУКА

А. Н. Иванников, Д. И. Кравченко
(кафедра акустики)

Дана классификация особых точек линий тока активной и реактивной интенсивности. Показано, что активная интенсивность имеет особые точки типа центр и седло, а реактивная — узел и седло.

Большинство промышленных шумов являются ближними звуковыми полями, создаваемыми сложными распределенными источниками. Поэтому особый интерес представляет исследование в ближнем поле распределения тех энергетических параметров звукового поля, которые связаны с направлением распространения акустической энергии, а именно векторов активной и реактивной интенсивности.

Основным методом исследования пространственного распределения активной I_a и реактивной I_r интенсивности является построение линий тока этих векторных полей [1]. Линиями тока активной (реактивной) интенсивности называются кривые [2], в каждой точке которых вектор активной (реактивной) интенсивности является касательным к этим линиям. Дифференциальные уравнения линий тока активной интенсивности имеют вид

$$\frac{dx}{I_{ax}(x, y, z)} = \frac{dy}{I_{ay}(x, y, z)} = \frac{dz}{I_{az}(x, y, z)}. \quad (1)$$

В настоящей работе будем исследовать звуковые поля таких симметричных распределенных источников звука, для которых векторные поля I_a и I_r имеют лишь две компоненты: (I_{ax}, I_{ay}) и (I_{rx}, I_{ry}) . В этом случае из (1) получим дифференциальное уравнение

$$\frac{dy}{dx} = \frac{I_{ay}(x, y)}{I_{ax}(x, y)}. \quad (2)$$

Поскольку алгоритмы решения таких уравнений известны (например, решение графическим методом [3]), будем исследовать точки, в которых одновременно выполняются равенства $I_{ax}(x_0, y_0) = 0$ и $I_{ay}(x_0, y_0) = 0$. Такие точки векторного поля называются особыми, поскольку в них не выполняются условия теоремы существования и единственности [3] для обыкновенного дифференциального уравнения линий тока (2). Через такие точки может проходить бесконечное число линий тока либо не проходит ни одна.