

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ
И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ**

УДК 520.274

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ ФАЗЫ

В. Г. Панаджян

Как известно, в интерферометре Райла [1] применяется переключение фазы сигнала одной из антенн с частотой F , благодаря чему происходит качание интерференционных лепестков. При изменении фазы на π интерференционный лепесток смещается на половину своей ширины: в направлениях максимумов появляются минимумы и, наоборот, в направлениях минимумов образуются максимумы. В случае, когда угловой размер интерференционных лепестков больше углового размера исследуемого радионисточника, на выходе радиометра появляется сигнал, который прямо пропорционален разности температур в направлениях радионисточника и соседнего ему участка неба.

В интерферометре Райла переключение фазы сигнала одной из антенн происходит в течение периода переключающего напряжения T . В одну половину периода в радиометр поступает сигнал от радионисточника, а в течение другой половины — только фон неба. Таким образом, только половину времени наблюдения сигнал от радионисточника поступает в интерференционный радиометр. Поэтому теоретическая чувствительность интерферометра с переключением фазы (интерферометра Райла) в два раза ниже, чем соответствующая чувствительность компенсационного радиометра [2], использующего полную мощность сигнала радионисточника.

Вышеуказанный недостаток интерферометра с переключением фазы можно частично устранить, если построить двухканальный интерферометр с переключением фазы и сигнал от исследуемого радионисточника переключать между каналами так, чтобы сигнал радионисточника всегда поступал в интерферометр: либо через первый канал, либо через второй. Предлагаемый двухканальный интерферометр с переключением фазы, структурная схема которого приведена на рис. 1, состоит из двух интерферометров Райла и включает в себя антенны A_1 и A_2 , двойной фазовый переключатель и два идентичных канала усиления и преобразования сигналов. Описываемый интерферометр работает следующим образом. Сигналы от антенн A_1 и A_2 усиливаются в УВЧ и поступают в двойной фазовый переключатель, состоящий из двух простых фазовых переключателей и двух отрезков кабелей одинаковой длины. В двойном фазовом переключателе формируются два интерферометра с качающимися интерференционными лепестками, причем фазы переключающих напряжений выбираются так, чтобы при ориентации максимума первого интерферометра на источник второй интерферометр в этом направлении имел минимум, и наоборот. Это достигается тем, что каждый из сигналов от антенн A_1 и A_2 в двойном фазовом переключателе сначала расщепляется на две равные части (в точках a и b рис. 1) и фаза сигнала одной половины модулируется. Затем модулированные по фазе сигналы суммируются с немодулированными сигналами другой антенны (точки v и g) и поступают в соответствующие каналы, где сформированные сигналы промежуточной частоты поступают в квадратичные детекторы. Таким образом, на входе синхронных детекторов во время одного полупериода переключающего напряжения сигнал

$$S_+(\varphi) = S_0^2 A^2(\varphi) [1 + \cos((2\pi/\lambda) b \sin \varphi)] \text{ — в канале I,}$$

$$S_-(\varphi) = S_0^2 A^2(\varphi) [1 - \cos((2\pi/\lambda) b \sin \varphi)] \text{ — в канале II,}$$

а во время другого полупериода

$$S_-(\varphi) \text{ — в канале I и } S_+(\varphi) \text{ — в канале II.}$$

В синхронных детекторах выделяются разности типа

$$S(\varphi) = S_+(\varphi) - S_-(\varphi) = 2S_0^2 A^2(\varphi) \cos((2\pi/\lambda) b \sin \varphi),$$

где S_0 — амплитуда антенных сигналов, $A(\varphi)$ — диаграмма направленности антенн по полю, b — база интерферометра, λ — длина волны принимаемого радионизлучения.

Выходные сигналы каналов I и II суммируются и после чего суммированный сигнал поступает в выходное устройство.

Очевидно, что выходные сигналы каналов I и II лучше суммировать сразу после квадратичных детекторов, а затем подавать на синхронный детектор, как это показано на рис. 2. На выходах каналов I и II получается один и тот же сигнал: в случае рис. 1 это интерференционные лепестки, а в случае рис. 2 — амплитудно-модулированные сигналы на частоте переключения фаз. Поэтому при суммировании выходных сигналов каналов I и II полезный сигнал удваивается, а шумы увеличиваются только в $\sqrt{2}$ раз (шумы каналов I и II некоррелированы). Таким образом, отношение сигнал/шум на выходе описанного двухканального интерферометра с переключением фазы в $\sqrt{2}$ раз выше, чем в случае интерферометра Райла.

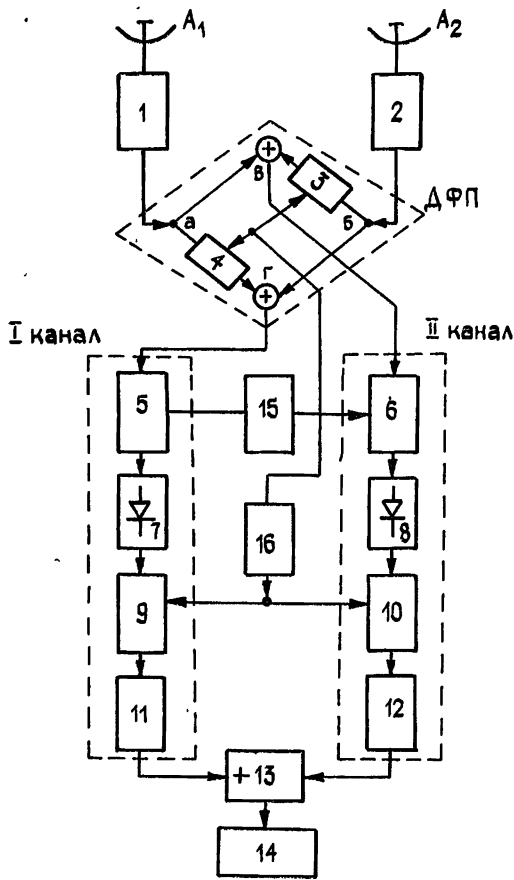


Рис. 1.

Рис. 1. Структурная схема двухканального интерферометра с переключением фазы: A_1 и A_2 — антенны, 1 и 2 — УВЧ, 3 и 4 — фазовые переключатели, ДФП — двойной фазовый переключатель, 5 и 6 — усилительные части каналов, 7 и 8 — квадратичные детекторы, 9 и 10 — синхронные детекторы, 11 и 12 — интегрирующие устройства, 13 — суммирующее устройство, 14 — выходное устройство, 15 — гетеродин, 16 — источник переключающего напряжения.

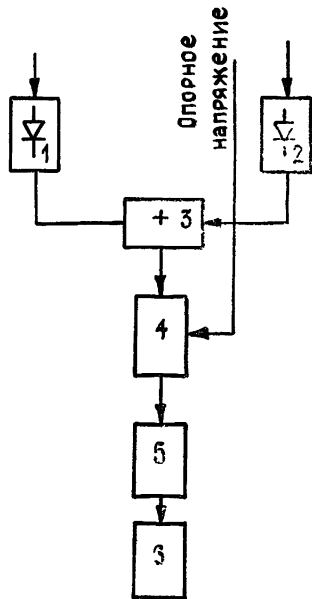


Рис. 2.

Рис. 2. Схема суммирования выходных сигналов каналов I и II на частоте переключения фазы:

1 и 2 — квадратичные детекторы, 3 — суммирующее устройство, 4 — синхронный детектор, 5 — интегрирующее устройство, 6 — выходное устройство.

В заключение заметим, что преимущество данного интерферометра по сравнению с интерферометром Райла, кроме повышенной чувствительности, заключается в более высокой надежности. При выходе из строя одного из каналов интерферометр работает на исправном канале, при этом лишь уменьшается в $\sqrt{2}$ раз выходное отношение сигнал/шум.

Автор благодарит В. А. Самаяна за участие в обсуждении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ryle M. — Proc. Roy. Soc., 1952, Ser. A, 211, p. 351.
2. Краус Дж. Д. Радиоастрономия. — М.: Сов. радио, 1973, с. 244.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория АН АрмССР

Поступила в редакцию
11 июля 1984 г.

УДК 539.143.44

СПИН-РЕШЕТОЧНАЯ РЕЛАКСАЦИЯ ПОСЛЕ АДИАБАТИЧЕСКОГО РАЗМАГНИЧИВАНИЯ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ОБОБЩЕННОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

Г. Б. Фурман

Обнаружение и исследование молекулярных движений, обуславливающих процессы спин-решеточной релаксации, во всем диапазоне скоростей является одной из основных задач магнитного резонанса. Изучение спин-решеточной релаксации в локальных полях [1] дает ценную информацию об атомных и молекулярных движениях, которую невозможно получить при исследовании релаксационных процессов в сильных полях.

В ЯМР спиновых систем с эквидистантным спектром измерения времен спин-решеточной релаксации в локальных полях проводят с помощью метода адиабатического размагничивания [2] либо по двухимпульсной методике Джинера—Брокерта [3]. При этом упорядочение зеемановской подсистемы заменяется упорядочением в спин-спиновой подсистеме.

Спин-решеточная релаксация в случае спиновых систем с неэквидистантным энергетическим спектром описывается неэкспоненциальным законом [4], что значительно затрудняет обработку и интерпретацию экспериментальных результатов.

В настоящей работе рассмотрен метод адиабатического размагничивания во вращающейся обобщенной системе координат (ВОСК) [5] в случае спиновых систем с неэквидистантным энергетическим спектром.

Пусть после первого 90-градусного импульса с частотой заполнения ω , равной частоте одного из переходов в спиновой системе, накладывается резонансное радиочастотное поле (РЧ), смещенное по фазе на 90° относительно первого импульса. Затем проводится процесс адиабатического размагничивания в ВОСК (АДВОСК), т. е. амплитуда РЧ поля адиабатически уменьшается до нуля. В течение времени порядка T_2 (T_2 — характерное время спин-спиновой релаксации) спиновая система приходит в квазиравновесное состояние, характеризующее матрицей плотности (в высокотемпературном приближении)

$$\rho_{eq} = Z^{-1} \left(1 - \beta_d^{eq} H_{dd}^{сек} - \sum'_m P_m^{eq} e_{mm} \right), \quad \text{Sp } \rho_{eq} = 1, \quad (1)$$

где $H_{dd}^{сек}$ — секулярная часть гамильтониана диполь-дипольного взаимодействия [6], P_m — вероятность нахождения системы в m -состоянии, штрих у суммы в выражении (1) означает, что суммирование ведется только по невозбуждаемым РЧ полем состояниям, e_{mm} — проекционные операторы [6]. Это квазиравновесие соответствует состоянию системы с бесконечной температурой эффективного зеемановского резервуара и конечной температурой диполь-дипольного резервуара

$$\beta_d^{eq} = \beta_L \text{Sp} (H_0)^2 / \text{Sp} (H_{dd}^{сек})^2, \quad (2)$$

где $\beta_L = (kT_L)^{-1}$, T_L — температура решетки, H_0 — гамильтониан, формирующий энергетический спектр системы. Поскольку $\|H_0\| \gg \|H_{dd}^{сек}\|$ (здесь две вертикальные черты означают величину в единицах частоты), то $\beta_d^{eq} \gg \beta_L$. Таким образом, дипольная подсистема будет находиться в состоянии с очень низкой температурой. Спин-решеточная релаксация приведет к тому, что спиновая система будет приходить в состояние равновесия с решеткой, т. е. произойдет выравнивание обратных температур β_d и β_L . После релаксации системы в течение времени $t < T_1$ (T_1 — время спин-решеточной релаксации) необходимо снова адиабатически включить РЧ поле [7, 8]. При этом порядок из диполь-дипольной подсистемы перейдет в эффективную зеемановскую, что обусловит рост намагниченности, которую можно измерить [7].