

УДК 621.396.628 : 523.164

ТРЕХКАНАЛЬНЫЙ РАДИОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧАСТОТЕ 210 Мгц

П. А. Капустин, А. А. Петровский, В. А. Разин, Н. Ф. Соколова

Описан модуляционный радиометр, предназначенный для исследования поляризации распределенного космического радиоизлучения. Радиометр позволяет одновременно регистрировать интенсивности радиоизлучения со средней частотой 210 Мгц и шириной спектра 1,2 и 17 Мгц, а также разность этих интенсивностей. Приводится обоснование выбора указанных полос пропускания приемников. Кратко обсуждается возможность исследования структуры Галактики методом сравнения интенсивностей поляризованных сигналов с различной шириной частотных спектров.

Наблюдения линейной поляризации распределенного космического радиоизлучения являются эффективным методом исследования межзвездной среды. Однако их проведение связано со значительными трудностями, возникающими вследствие того, что при изменении характера поляризации антенны радиотелескопа появляются побочные эффекты, величина которых обычно сравнима с измеряемым поляризационным эффектом. Например, при вращении антенны линейной поляризации вокруг ее электрической оси показания выходного прибора приемной аппаратуры могут изменяться не только из-за наличия в принимаемом космическом радиоизлучении линейно поляризованной составляющей, но и из-за асимметрии диаграммы направленности антенны и неравномерного углового распределения источников радиоизлучения вследствие изменений импеданса антенны и ее КНД, а также из-за того, что принимается частично поляризованное радиоизлучение Земли.

Учет побочных эффектов при измерениях поляризации распределенного космического радиоизлучения довольно сложен и не всегда может быть выполнен с достаточной точностью, поэтому иногда целесообразно прибегать к непрямым методам измерений. Одним из таких методов поляризационных измерений является метод модуляции ширины полосы пропускания приемной аппаратуры [1, 2]. Он состоит в следующем. Дисперсия фарадеевского вращения плоскости поляризации космического радиоизлучения приводит к тому, что регистрируемая степень поляризации уменьшается при расширении полосы пропускания приемника. Поэтому, если поляризационные измерения проводятся с помощью узкополосного и широкополосного приемников, то, сравнивая результаты этих измерений, можно, в принципе, выделить поляризованную компоненту космического радиоизлучения.

Ниже приводится описание разработанной в НИРФИ приемной аппаратуры, позволяющей осуществить указанную методику поляризационных измерений на частоте 210 Мгц наряду с одновременными измерениями поляризации с помощью узкополосного и широкополосного приемников. Блок-схема радиометра приведена на рис. 1. Радиометр имеет два входа, которые поочередно (с частотой 22 гц) с помощью модулятора, выполненного на диодах 1А401А, подключаются к уси-

лителю высокой частоты. Последний представляет собой пару каскадов, выполненных на лампах 6СЗП (каскад с общим катодом) и 6С4П (каскад с общей сеткой). В смесителе (лампа 6Ж1П в триодном включении) усиленный сигнал частоты 210 Мгц преобразуется в колебания промежуточной частоты 60 Мгц. Гетеродин собран на лампе 6С4П и настроен на частоту 270 Мгц. Ширина полосы пропускания высокочастотной части приемника составляет 30 Мгц. На выходе смесителя сигнал разветвляется и поступает на входы двух усилителей промежуточной частоты: широкополосного (17 Мгц) и узкополосного (1,2 Мгц). Последующие элементы схемы в обоих каналах одинаковы и типичны для модуляционных радиометров: квадратичный детектор (лампа 6Ж1П в триодном включении), селективный усилитель, синхронный детектор, RC-фильтр (возможны значения постоянной времени 1, 4, 16, 32 и 64 сек), усилитель постоянного тока, выходной прибор.

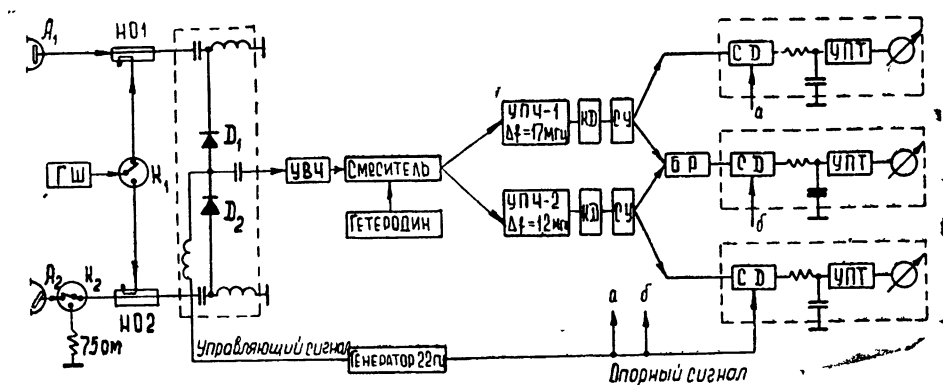


Рис. 1. Блок-схема радиометра:

A_1 и A_2 —антенны с взаимно ортогональными поляризациями, HO-1 и HO-2 —направленные ответвители, K_1 и K_2 —коаксиальные переключатели, ГШ—генератор шума на диоде 2Д2С, D_1 и D_2 —диоды 1А401А модулятора, UVЧ—усилитель высокой частоты, УПЧ-1 и УПЧ-2—усилители промежуточной частоты, КД—квадратичные детекторы, СУ—селективные усилители, СД—синхронные детекторы, БР—блок разности, УПТ—усилители постоянного тока.

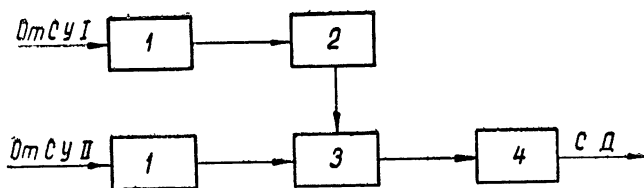


Рис.-2. Схема блока разности (БР):

1—фазовращатели, 2—фазоинвертор, 3—сумматор, 4—фазоинверсный каскад.

Весьма важным в описываемом радиометре является третий канал, позволяющий регистрировать разность сигналов на выходе селективных усилителей широкополосного и узкополосного каналов. Вычитание сигналов с предварительно выравненными фазами производится в блоке разности, схема которого приведена на рис. 2. После блока разности в третьем канале, как и в первых двух, следуют синхронный детектор, RC-фильтр, усилитель постоянного тока и выходной прибор.

Перед началом измерений коэффициенты усиления широкополосного и узкополосного каналов подбираются такими, чтобы сигналы от

шумового источника на выходе селективных усилителей были равны по амплитуде. При этом разностный канал имеет малую чувствительность к шумовым сигналам (практически достаточно 10—20-кратного уменьшения его чувствительности по сравнению с чувствительностью широкополосного и узкополосного каналов).

Как уже отмечалось, радиометр имеет два входа. В том случае, когда к одному из них подключена антенна, а к другому эквивалент в виде согласованной нагрузки, имеющей температуру окружающей среды, для выравнивания мощностей сигналов либо в тракт антенны, либо в тракт эквивалента через направленные ответвители вводится дополнительная мощность от шумового генератора. Этот же шумовой генератор используется для калибровки аппаратуры и проверки баланса в разностном канале.

Флуктуационный порог чувствительности радиометра определяется узкополосным каналом и равняется 1°К при постоянной времени 1 сек .

Остановимся теперь на соображениях, которые были исходными при выборе полос пропускания приемников. Ширина полосы пропускания узкополосного приемника выбиралась таким образом, чтобы обеспечивалась высокая чувствительность аппаратуры и не происходила деполяризация космического радиоизлучения из-за дисперсии фарадеевского вращения. Как показано в работе [3], этим условиям удовлетворяет полоса $(\Delta f)_{y_a} \approx (\Delta f)_{\text{опт}}/4$, где $(\Delta f)_{\text{опт}}$ — ширина полосы пропускания приемника, при которой отношение сигнала к шуму максимально:

$$(\Delta f)_{\text{опт}} = \frac{1,165 f_0}{2\psi_0} = 2,43 \cdot 10^{-5} f_0^3 \left(\int_0^L N H_{\parallel} dl \right)^{-1}. \quad (1)$$

В формуле (1) f_0 — резонансная частота приемника (в герцах); ψ_0 — угол поворота плоскости поляризации радиоволн с частотой f_0 (в радианах); N — концентрация электронов в среде, вызывающей фарадеевское вращение (см^{-3}); H_{\parallel} — продольная составляющая магнитного поля (в эрстедах); L — путь, проходимый волной (в см). Учитывая фарадеевское вращение в межзвездной среде и в ионосфере, прием для оценки в качестве верхнего значения $\int_0^L N H_{\parallel} dl \approx 6 \cdot 10^{13}$ (мера вращения порядка $18 \text{ рад} \cdot \text{м}^{-2}$) [3]. Таким образом, $(\Delta f)_y \approx 10^{-19} f_0^3$ и при $f_0 = 210 \text{ Мгц}$ $(\Delta f)_y \approx 1 \text{ Мгц}$.

Полоса пропускания широкополосного приемника $(\Delta f)_{\text{ш}}$ выбиралась такой, чтобы деполяризация космического радиоизлучения из-за дисперсии фарадеевского вращения была значительной. Фактор, характеризующий деполяризацию, может быть оценен по формуле [1, 4]

$$\left| \frac{\sin(\Delta\psi)}{\Delta\psi} \right|, \quad (2)$$

где $\Delta\psi \approx 2\psi_0 \Delta f f_0^{-1}$ — разность углов поворота плоскостей поляризации радиоволн с крайними частотами в полосе пропускания приемника ($f_0 \pm 0,5 \Delta f$). Деполяризация велика при $\Delta\psi \approx \pi$ или при $(\Delta f)_{\text{ш}} \approx \approx 1,5 f_0 \psi_0^{-1}$. Принимая несколько условно $\psi_0 = 20$ радиан для волн с частотой 210 Мгц , находим $(\Delta f)_{\text{ш}} = 16 \text{ Мгц}$. Если даже величина ψ_0 меньше в полтора-два раза, то при полосе 16 Мгц деполяризация еще довольно существенна ($\sim 50\%$).

Наблюдения поляризации космического радиоизлучения методом сравнения интенсивностей поляризованных сигналов с различной ши-

риной частотного спектра открывают некоторые, хотя и ограниченные возможности в исследовании структуры Галактики [2]. Эти возможности связаны с тем, что протяженность вдоль луча зрения области, от которой принимается поляризованное радиоизлучение, зависит, вообще говоря, от ширины полосы пропускания приемника (размер области тем больше, чем уже полоса пропускания). При фиксированных полосах пропускания каналов попытка «зондирования» Галактики может быть предпринята благодаря суточным вариациям фарадеевского вращения в ионосфере. В дальнейшем для этой цели намечается изготовить усилитель промежуточной частоты с регулируемой полосой пропускания.

При измерении поляризации распределенного космического радиоизлучения с помощью описанного радиометра необходимо иметь в виду, что диаграммы направленности антенны при узкой и широкой полосах пропускания несколько различны; отличаются также и интерференционные картины шумов входа приемника. в кабеле, соединяющем приемник с антенной. Однако эти эффекты могут быть сравнительно просто учтены [2]; кроме того, интерференционный эффект может быть устранен с помощью вентиля, помещенного между модулятором и входом приемника.

Авторы благодарны В. А. Удальцову и В. Н. Брезгунову за ознакомление с конструкцией модулятора и помощь в его изготовлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Разин, Радиотехника и электроника, 1, 846 (1956).
2. В. А. Разин, Астрон. ж., 35, 241 (1958).
3. В. А. Разин, В. В. Хрулев, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 8, № 5, 857 (1965).
4. В. А. Разин, В. В. Хрулев, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 8, № 6, 1063 (1965).

Научно-исследовательский радиофизический институт
при Горьковском университете

Поступила в редакцию
25 февраля 1967 г.

THREE-CHANNEL RADIOMETER FOR MEASURING THE POLARIZATION OF COSMIC RADIATION AT THE FREQUENCY 210 Mc/s

P. A. Kapustin, A. A. Petrovskii, V. A. Razin, N. F. Sokolova

A modulation radiometer designed for investigating the polarization of distributed cosmic radiation is described. The radiometer permits to register simultaneously the radiation intensities with the average frequency 210 Mc/s and the spectrum width 1.2 and 17 Mc/s as well as the difference between these intensities. The choice of the given band widths of the receivers is substantiated. A possibility of investigating the Galaxy structure by the method of comparison of the intensities of polarization signals with the different width of the frequency spectrum is briefly discussed.