

УДК 520

Использование радиометра с двубитовым АЦП для исследования микроструктуры солнечных радиовсплесков на РТ УРАН-4

И.О. Литвиненко, Р.О. Кравец, А.В. Деревягин

Обсерватория УРАН-4 Радиоастрономического института НАНУ, Украина, г. Одесса
e-mail: uran@raso.net

Поступила в редакцию 29 сентября 2003 г.

Аннотация. Короткие солнечные радиовсплески в декаметровом радиодиапазоне имеют продолжительность от десятков миллисекунд до нескольких секунд. Показана возможность использования радиометра с двухбитовым аналого-цифровым преобразователем для исследования микроструктуры таких всплесков. Предложена методика измерений.

THE USE OF RADIOMETER WITH TO-BIT ADC FOR RESEARCH OF SOLAR RADIOBURST MICROSTRUCTURES BY RT URAN-4, *by I.O. Litvinenko, R.O. Kravets, A. V. Derevjagin.* Short solar HF radiobursts have duration from tens milliseconds to several seconds. The possibility to use the radiometer with two-bit quantization for research of a microstructure of such bursts is shown. The methods of measurement is offered.

Ключевые слова: декаметровая радиоастрономия, радиовсплески, радиометры, двубитовые АЦП

1 Особенности наблюдения микроструктуры радиовсплесков

Радиовсплески солнечного происхождения в декаметровом диапазоне волн отличаются большим разнообразием уровней мощности, продолжительностью, угловыми, спектральными и поляризационными характеристиками (Солнечная и солнечно-земная физика, 1980 г.). Классификация всплесков, как правило, основана на использовании спектральных диаграмм, получаемых с помощью радиоспектрографов. Временное разрешение такой аппаратуры обычно ограничено долями секунды. Это затрудняет исследование микроструктуры коротких всплесков, в которой отражаются особенности процесса генерации всплеска и его взаимодействия со средой распространения.

Исследование временной микроструктуры радиовсплесков в декаметровом диапазоне волн можно рассматривать как отдельную задачу, не связанную с получением спектральных диаграмм, если есть возможность идентификации радиовсплесков солнечного и ионосферного происхождения на фоне разнообразных импульсных радиопомех. В связи с этим возник вопрос о возможности использования для исследования микроструктуры всплесков стандартной аппаратуры радиотелескопа УРАН-4, входящего в систему радиоинтерферометров “УРАН” (Брауде, Мень, 1996). Аппаратурный комплекс интерферометров УРАН, методика наблюдений и обработки данных ориентированы на определение модуля функции видности компактных радиоисточников в режиме РСДБ (Мень и др., 1990; Брауде и др., 1993)

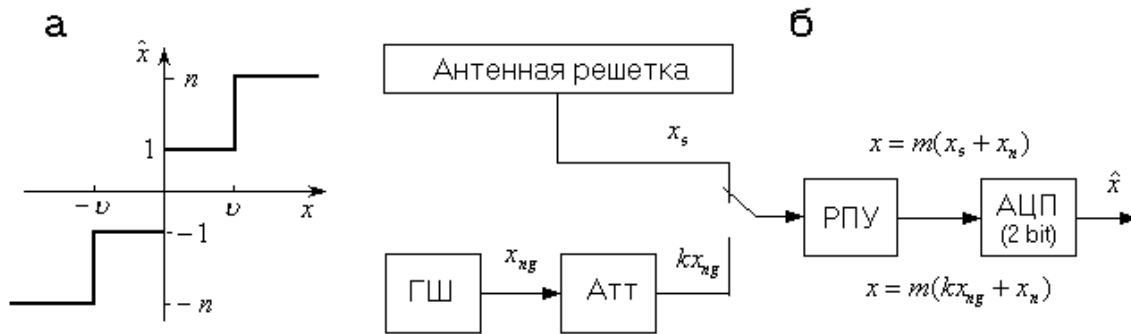


Рис. 1. Характеристика 4-х уровневое квантования сигнала (а). Схема измерений с использованием 4-х уровневое аналого-цифрового преобразователя (б)

Приемно-регистрирующая аппаратура радиотелескопа УРАН-4 включает радиометрические и интерферометрические каналы. Большое значение постоянной времени радиометрических каналов не позволяет использовать их для наблюдения микроструктуры радиовсплесков, имеющих вариации мощности с периодами от единиц до сотен миллисекунд.

Рассмотрим возможность использования для этой цели интерферометрических каналов, имеющих относительно высокую частоту оцифровки данных (50 кГц). Их особенностью этих каналов является применение двухразрядных аналого-цифровых преобразователей (АЦП) с четырехуровневым квантованием сигнала (Томпсон, Морган, Свенсон, 1989). Применение таких АЦП основано на предположении о стационарности принимаемых сигналов. При наблюдениях быстропеременных источников, например солнечных радиовсплесков, условие стационарности нарушается. Это требует изменения методики применения 4-уровневого АЦП.

2 Методика измерения мощности радиовсплесков при использовании 4-уровневого АЦП

Рассматриваемый АЦП является существенно нелинейным элементом. Этим обусловлены особенности его применения и методика дальнейшей обработки первичных данных. На рис. 1 приведена характеристика четырехуровневого квантования. По оси абсцисс отложено входное напряжение x , по оси ординат квантованное выходное напряжение \hat{x} . В стандартной методике, ориентированной на определение коэффициента корреляции двух сигналов, наилучшие результаты достигаются, если порог квантования v равен среднеквадратическому отклонению сигнала σ , а значение n равно 3 (Томпсон, Морган, Свенсон, 1989).

На рис. 1(б) приведена схема измерений с четырехуровневым аналого-цифровым преобразователем (АЦП). При радиоастрономических наблюдениях измерение мощности принимаемых сигналов $\sigma_s^2 = \langle x_s^2 \rangle$ основано на сравнении с мощностью эталонных (калибровочных) сигналов $\sigma_c^2 = \langle k^2 x_{ng}^2 \rangle = k^2 \sigma_{ng}^2$. В декаметровом радиодиапазоне калибровочный сигнал x_{ng} формируют с помощью высокостабильных генераторов шума (ГШ). Сигнал ГШ, поступает на аттенуатор (АТТ) с фиксированным набором коэффициентов ослабления k_i . Радиоприемное устройство (РПУ) с коэффициентом усиления m , является источником аддитивных шумов $m x_n$. Следует отметить, что специфика цифрового преобразования сигнала 4-х уровневым АЦП не позволяет простым способом определить мощность шумов $\sigma_n^2 = \langle x_n^2 \rangle$, отнесенных ко входу РПУ.

В РСДБ, зарегистрированные на различных пунктах сигналы \hat{x}_1 и \hat{x}_2 , затем перемножаются и интегрируются. Полученное значение ковариации сигналов, принятых на двух пунктах $\langle r_4 \rangle = \langle \hat{x}_1 \cdot \hat{x}_2 \rangle$, используется для вычисления коэффициента корреляции ρ . Так как нас интересует возможность получения зависимости мощности всплеска от времени, т.е. $\sigma_s^2(t)$, при наблюдении на

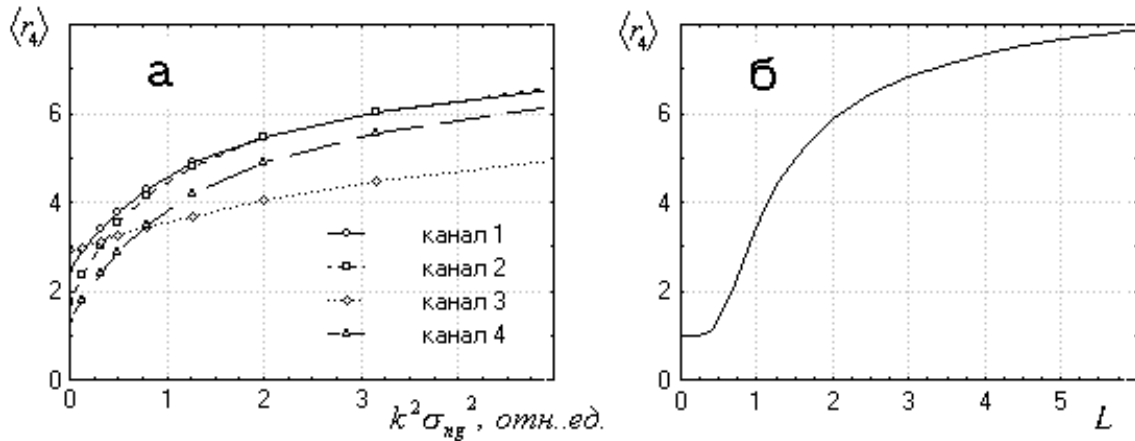


Рис. 2. Калибровочные функции для 4 каналов РТ УРАН-4 (а). График функции $\langle r_4 \rangle = f(L)$ (б)

одном пункте, то для измерения мощности, сигнал с выхода АЦП перемножается сам на себя. Это соответствует случаю, когда $\rho = 1$.

Прямым решением задачи измерения мощности является экспериментальное определение калибровочной зависимости $\langle r_4 \rangle_k = f(k^2 \sigma_{ng}^2)$ для каждого приемного канала радиотелескопа. На рис. 2а приведены калибровочные функции для 4 каналов РТ УРАН-4, измеренные в одном из сеансов наблюдений радиовсплесков. Отличие между каналами обусловлено разными уровнями шумов приемной аппаратуры и разными коэффициентами усиления приемников. Имея калибровочную зависимость, можно перейти от полученных в наблюдениях значений $\langle r_4 \rangle$ к относительной мощности всплеска $\sigma_s^2(t)$, выраженной в единицах мощности ГШ. Но при этом, остаются неизвестными мощности шумов и коэффициенты усиления каналов, которые необходимы для оценки погрешностей измерений и для контроля состояния аппаратуры.

Чтобы решить эту задачу, обратимся к теории 4-х разрядного АЦП. При гауссовских входных сигналах с нулевым средним x_1 и x_2 , их ковариация $\langle r_4 \rangle$ однозначно определяется параметром L и коэффициентом корреляции ρ этих сигналов 5:

$$\langle r_4 \rangle = \frac{1}{\pi} \int_0^\rho \frac{1}{\sqrt{1-s^2}} \left\{ (n-1)^2 \left[\exp\left(\frac{-1}{L^2(1+s)}\right) + \exp\left(\frac{-1}{L^2(1-s)}\right) \right] + 4(n-1) \exp\left(\frac{-1}{2L^2(1-s^2)}\right) + 2 \right\} ds, \quad (1)$$

где $L = \sigma/v$, $\sigma = \sqrt{\langle x_1^2 \rangle} = \sqrt{\langle x_2^2 \rangle}$.

На рис. 2(б) приведен графики функции $\langle r_4 \rangle = f(\rho, L)$ рассчитанной по (1) при $\rho = 1$. В интерферометрии, при определении функции видности, стремятся установить такое усиление m , при котором параметр L не выходит за интервал $0,7 \dots 1,5$. Это обеспечивает наиболее точное определение коэффициента корреляции входных сигналов. При наблюдении радиовсплесков это условие нарушается. Тем не менее, при измерении мощности сигнала с использованием калибровочной функции, этот интервал может быть существенно расширен. Кроме использования калибровочной функции, задача определения мощности всплесков может решаться путем численного решения уравнения (1) при $\rho = 1$, относительно L (параметра, пропорционального мощности сигнала), для каждого измеренного значения $\langle r_4 \rangle$. В этом случае калибровка каналов производится для привязки полученных значений мощности к мощности генератора шума, и для определения мощности шумов РПУ σ_n^2 , отнесенных ко входу приемного канала.

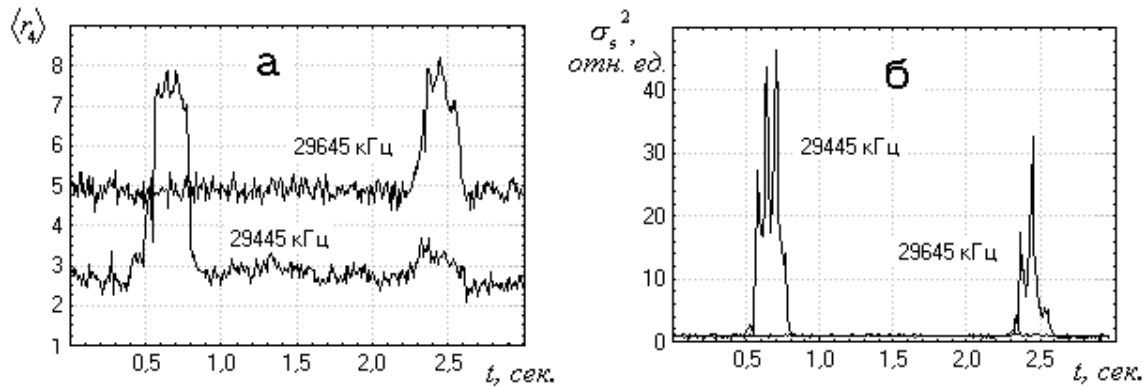


Рис. 3. Запись дрейфующего по частоте радиовсплеска, сделанная с использованием двух приемных каналов, разнесенных по частоте на 200 кГц. Сигналы на выходе радиометра (а). Радиовсплески после корректировки выходного сигнала радиометра (б)

Для определения σ_n^2 , воспользуемся тем, что шумы РПУ и ГШ являются некоррелированными сигналами. Поэтому $\sigma_c^2 = m^2(\sigma_n^2 + k^2\sigma_{ng}^2)$. Отсюда следует, что

$$L^2 = \frac{m^2}{\nu^2}(\sigma_n^2 + k^2\sigma_{ng}^2). \quad (2)$$

Проведя калибровку приемно-регистрирующего канала, при двух значениях калибровочного сигнала $k_1^2\sigma_{ng}^2$ и $k_2^2\sigma_{ng}^2$, получим два значения ковариации $\langle r_4 \rangle_1$ и $\langle r_4 \rangle_2$. Используя (1), определим два соответствующих значения L_1 и L_2 . Теперь подставив полученные величины в (2) будем иметь два линейных уравнения, решение которых определяет мощность шумов РПУ в единицах мощности ГШ:

$$\sigma_n^2 = \sigma_{ng}^2 \frac{L_2^2 K_1^2 - L_1^2 K_2^2}{L_1^2 - L_2^2}.$$

Для проверки описанной методики использования 4-х уровневого АЦП было разработано программное обеспечение и проведены наблюдения Солнца на РТ УРАН-4. На рис. 3 представлен пример корректировки первичных данных, полученных при наблюдении дрейфующего по частоте радиовсплеска. Наблюдения велись на двух близких частотах. На графике (а) изображены всплески, построены по данным, полученным с выхода 4-уровневого АЦП. На графике (б) – то же, но после корректировки с использованием описанной методики (мощность, равная единице, соответствует уровню галактического фона).

Результаты экспериментальной проверки радиометра с 4-уровневым АЦП показали, что с его помощью в декаметровом диапазоне волн можно исследовать микроструктуру радиовсплесков, мощность сигнала которых превышает мощность галактического фона. При этом, разрешение по времени может достигать 2 мс.

Литература

- Брауде С.Я., Мень А.В. // Радиофизика и радиоастрономия. 1996. Т. 1. N. 1. С. 9.
 Брауде и др. (Braude S.Ya., Men' A.V., Rashkovskiy S.L., et al.) // Astrophys. Space Sci. 1993 V. 201. P. 61.
 Мень А.В., Брауде С.Я., Рашковский С.Л. и др. // Известия вузов Радиофизика. 1990. Т. 33. N. 5. С. 534.
 Солнечная и солнечно-земная физика. Иллюстрированный словарь терминов. /Под редакцией А. Бруцека и Ш. Дюрана. М.: Мир. 1980. С. 254.

Томпсон Р., Морган Дж., Свенсон Дж. // Интерферометрия и синтез в радиоастрономии. М.: Мир. 1989. С. 568.