

## Цифровой знаковый коррелометр для радиоастрономической спектроскопии

С.В. Степкин

*Радиоастрономический институт Национальной Академии наук Украины,  
310002, г. Харьков, ул. Краснознаменная, 4*

*Статья поступила в редакцию 10 апреля 1997 г., после переработки 24 апреля 1997 г.*

Описан 128-канальный цифровой знаковый коррелометр для поиска и изучения спектральных линий в межзвездном пространстве на основе БИС цифрового знакового коррелятора У2ВФ1891. Максимальная полоса анализа устройства - 2,5 МГц. Спектрометр работает в комплексе с ПЭВМ. Имеется возможность расщепления устройства на два и четыре независимых спектрометра с числом каналов  $n$ , равным соответственно 64 и 32. Частотное разрешение равно  $\sim 0,5f/n$ , где  $f_1$  - тактовая частота системы.

Описано 128-канальный цифровой знаковый коррелометр для пошуку та вивчення спектральних ліній у міжзоряному середовищі на базі ВІС цифрового знакового корелятора У2ВФ1891. Максимальна смуга аналізу пристрою - 2,5 МГц. Спектрометр працює у комплексі з ПЕОМ. Є можливість розщеплення пристрою на два та чотири незалежних спектрометра з числом каналів  $n$ , рівним відповідно 64 і 32. Роздільна здатність за частотою дорівнює  $\sim 0,5f/n$ , де  $f_1$  - тактова частота системи.

Высокая эффективность цифровых знаковых коррелометров в радиоастрономических исследованиях была обоснована в [1]. Они являются наиболее удобным инструментом для определения энергетических спектров гауссовых случайных процессов. В настоящее время подобные устройства широко используются во многих крупнейших радиоастрономических обсерваториях мира. Так, эксплуатация спектрометров, описанных в [2] и [3], на крупнейшем в мире декаметровом радиотелескопе УТР-2 обеспечила возможность обнаружения спектральных линий углерода на предельно низких частотах.

Применение БИС позволяет преодолеть ряд проблем, возникавших ранее при проектировании цифровых коррелометров, таких как, например, ограничения в разрядности накопительных счетчиков. При разработке описываемого радиоспектрометра была поставлена цель создания компактного, легко транспортируемого спектроанализатора, оптимизированного для задач радиоастрономии и способного функционировать в комплексе с современными ПЭВМ.

Блок-схема устройства приведена на рис. 1. Сигнал с антенны поступает на вход коммутатора К, второй вход которого подсоединен к эталонному генератору шума. Первый и второй входы коммутатора с частотой  $f_{mod}$  поочередно подсоединяются ко входам четырех радиоприемников Р1-Р4, настроенных на частоты, соответствующие спектральным линиям. Частота  $f_{mod}$  синхронна с тактовой частотой системы и равна  $\sim 1$  Гц. Сигналы с выходов промежуточной частоты (ПЧ) приемников Р1-Р4 поступают на входы компараторов

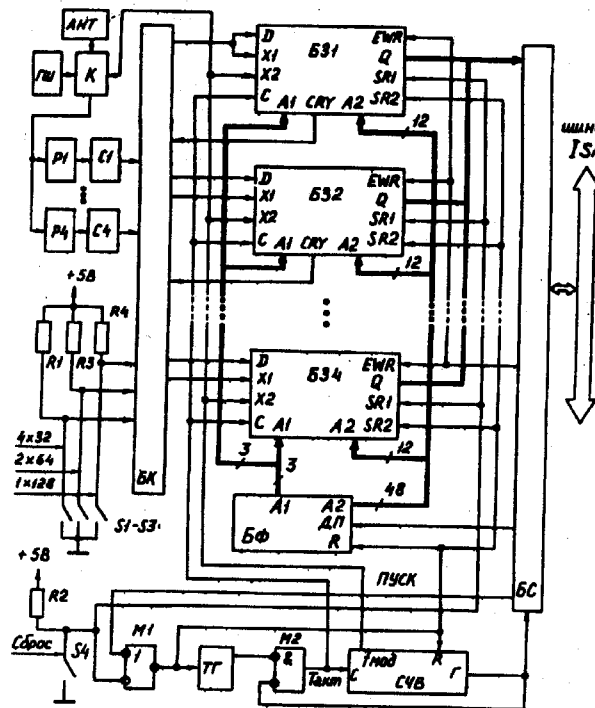


Рис. 1. Блок-схема цифрового знакового коррелометра для радиоастрономической спектроскопии

С1-С4, в которых происходит двухуровневая дискретизация исследуемых процессов (клиппирование). Сигнал  $y(t)$  на выходе компараторов равен:  
 $y(t)=1$  при  $x(t) \geq 0$  и  
 $y(t)=0$  при  $x(t) < 0$ ,

где  $x(t)$  - сигнал на выходе ПЧ радиоприемника.

Выходы компараторов подключаются ко входам блока БК (блок коммутации входных сигналов и сигналов сравнения), в котором в соответствии с выбранным режимом работы осуществляется соединение входов данных и входов сравнения блоков Б31-Б34 (блоков 32-канальных знаковых корреляторов) с выходами соответствующих компараторов. Устройство обеспечивает три режима: четыре 32-канальных, два 64-канальных или один 128-канальный коррелометры.

Тактовые импульсы с выхода тактового генератора ТГ начинают поступать в устройство через элемент М2 после нажатия кнопки "Сброс" или поступления на вход М1 сигнала "Пуск", вырабатываемого управляющей ПЭВМ и поступающего через блок сопряжения БС. Таким образом, начинается накопление коэффициентов автокорреляционной функции в накопительных счетчиках знаковых корреляторов.

Поступление тактовых импульсов прекращается после выработки сигнала "Готов к выдаче данных", который формируется в счетчике объема выборки СЧВ в момент, когда число выданных тактовым генератором импульсов станет равным заданному объему выборки  $M$ . Данный сигнал поступает на вход элемента М2 и, далее, через блок сопряжения БС в ПЭВМ, чем разрешает считывание данных в ОЗУ компьютера. В счетчике объема выборки СЧВ формируется также сигнал  $F_{mod}$  (частота модуляции) путем деления тактовой частоты в заданное число раз (частота сигнала равна  $f_{mod}$ ).

Блок сопряжения БС обеспечивает подключение устройства к гнезду расширения с интерфейсом ISA и, соответственно, передачу накопленной информации и сигнала "Готов к выдаче данных" в ПЭВМ, а также передачу из ПЭВМ в коррелометр сигналов синхронизации "ПУСК", ДП ("Данные приняты") и EWR (служебный сигнал для У2ВФ1891).

При поступлении сигнала ДП (сигнал подтверждения записи данных в ОЗУ ПЭВМ) на вход блока БФ (блок формирования адреса выдачи данных) в нем формируется следующий адрес накопительного канала, по которому ПЭВМ должна считать информацию.

Сигнал сброса R служит для начальной установки и запуска устройства.

Вычисление автокорреляционных функций исследуемых процессов происходит в блоках 32-канальных знаковых корреляторов Б31-Б34. Каждый из этих блоков содержит по четыре БИС У2ВФ1891. Описание микросхемы У2ВФ1891 приведено в [4]. Одна микросхема содержит по восемь корреляционных каналов, каждый из которых реализует функцию

$$K(mT) = \sum_{i=1}^M y(iT) \oplus y(iT - mT) \oplus F_{mod}, \quad (1)$$

где  $i=1, 2, \dots, M$  - текущее число периодов тактового сигнала;  $M$  - объем выборки (равен общему числу тактов накопления);  $m=1, 2, \dots, 7$  - номер корреляционного канала (эквивалентен дискретной задержке входного сигнала);  $y(iT)$  - текущее значение входного клиппированного сигнала;  $y(iT - mT)$  - задержанное на  $m$  тактов значение входного сигнала;  $F_{mod}$  - меандр с частотой  $f_{mod}$ , поступающий с выхода счетчика объема выборки (служит для организации модуляционного режима работы: при  $F=1$  на вход коррелометра поступает сигнал с выхода приемного устройства, а при  $F=0$  - с выхода эталонного генератора шума, таким образом, благодаря выполнению операции сложения по модулю 2 в накопительных счетчиках коррелометра, происходит вычитание коэффициентов корреляционных функций соответствующих сигналу из антенны и сигналу от эталонного генератора шума);  $\oplus$  - сложение по модулю 2;  $T$  - период дискретизации.

Так как в микросхеме У2ВФ1891 используются непереворсивные счетчики, накопленные данные необходимо отцентрировать:

$$R(mT) = K(mT) - \frac{M}{2}. \quad (2)$$

После этого в соответствии с теоремой Винера-Хинчина энергетический спектр вычисляется по формуле:

$$G(f) = \frac{TR(0)}{M} + 2T \sum_{i=1}^N w(nT) \sin\left(\pi \frac{R(nT)}{2M}\right) \cos(2\pi fnT), \quad (3)$$

где  $N$  - число корреляционных каналов,  $w(nT)$  - весовая функция, определяющая форму корреляционного окна.

Как указано в [2], влияние амплитудно-частотной характеристики и других мешающих факторов при работе в модуляционном режиме значительно ослабляется. При этом корреляционная функция вычисляется как разность:

$$R(nT) = R_i(nT) - R_o(nT), \quad (4)$$

где  $R_i(nT)$  и  $R_o(nT)$  - корреляционные функции исследуемого и опорного сигналов, измеренные соответственно за первую и вторую половины периода сигнала  $F_{mod}$ .

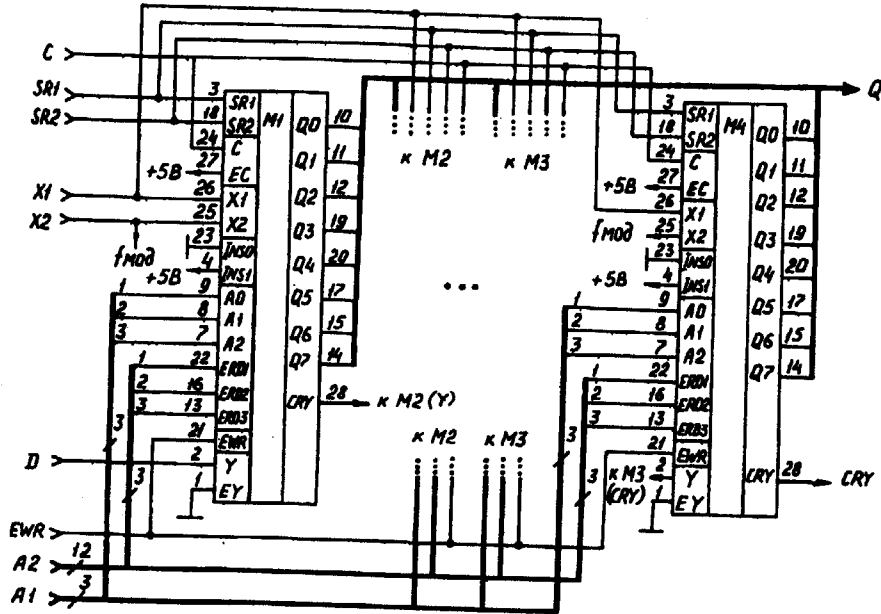


Рис. 2. Схема блока 32-канального знакового коррелятора БЗ

Схема блока 32-разрядных знаковых корреляторов приведена на рис. 2.

На вход Y микросхемы M1 поступает либо сигнал  $y(iT)$ , либо сигнал с выхода CRY другого блока БЗ (в режимах двух 64-канальных и одного 128-канального коррелометров). На вход X1 той же БИС подается сигнал  $y(iT)$ , который используется в качестве сигнала сравнения, а на вход X2 - сигнал  $F_{mod}$ . Вычисление  $K(mT)$  происходит при поступлении на вход C микросхем M1-M4 тактового импульса. Выход CRY микросхем M1-M4 служит для наращивания числа корреляционных каналов и является выходом сдвигового регистра БИС У2ВФ1891. Сигнал EWR служит для записи содержимого накопительных счетчиков в буферные выходные регистры M1-M4 после окончания цикла накопления. Разрядность накопительных счетчиков устанавливается сигналами на входах INS0 - INS1. В данном случае она равняется 28.

Накопленные данные поступают на выходы Q0 - Q7 микросхем M1 - M4 в соответствии с адресом на входах A0 - A2 и ERD1 - ERD3. При этом по-байтно выдается содержимое 24-х старших разрядов каждого накопительного счетчика. Входы A0 - A2 задают номер канала микросхемы (0,1...7), а входы ERD1 - ERD3 - номер выдаваемого байта (ERD3 соответствует старшему байту). Отключение третьего состояния и выдача данных происходит при поступлении активного сигнала на какой-либо из входов ERD.

После окончания считывания данных на вход SR2 поступает сигнал ПУСК, по которому сбрасываются счетчики и начинается новый цикл накопления.

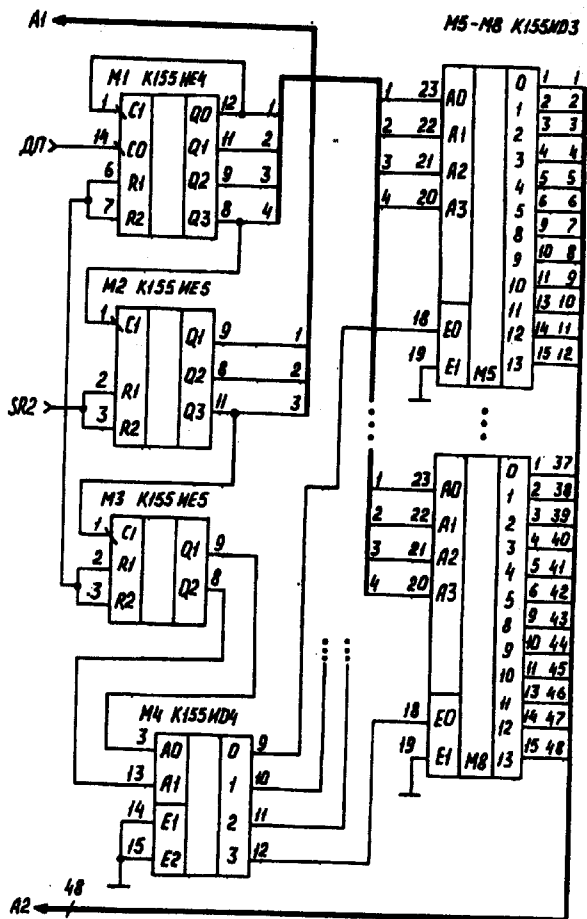


Рис. 3. Схема блока формирования адреса выдачи данных БФ

Схема блока БФ, формирующего адреса выдачи данных, приведена на рис. 3. Сигнал ДП ("данные приняты") поступает на вход С0 микросхемы М1. В микросхемах М1 - М3 подсчитывается число считанных байтов. Формирование сигналов ERD1 - ERD3 для каждой БИС У2ВФ1891 происходит в дешифраторах М4, М5 - М8.

Блок коммутации входных сигналов и сигналов сравнения БК является комбинаторным логическим устройством, собранным на микросхемах К155ЛА3 и К555КП11.

Характеристики спектрометра определяются по формулам, приведенным в [2].

При анализе низкочастотного процесса с полосой  $B$  период дискретизации  $T$  выбирается из условия Шеннона-Котельникова:

$$T \leq \frac{1}{2B}. \quad (5)$$

В случае, если сигнал сдвинут по частоте вверх на величину  $f_0$  (например, при анализе процесса на выходе промежуточной частоты радиоприемного устройства) необходимо также обеспечить выполнение дополнительного условия [2]:

$$T = \frac{2k+1}{4f_0}, \text{ где } k = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

Разрешающая способность спектрометра  $\Delta f$  в случае прямоугольного корреляционного окна ( $w(nT)=1$ ) равна:

$$\Delta f = \frac{1}{2NT}, \quad (7)$$

где  $N$  - число корреляционных каналов. В зависимости от режима работы  $N$  может быть равным 32, 64 или 128.

Дисперсия определяется выражением:

$$\sigma^2 = \frac{\pi^2}{4\tau\Delta f}, \quad (8)$$

где  $\tau$  - общее время накопления.

Описанное устройство в течение нескольких лет эксплуатируется на крупнейшем в мире радиотелескопе декаметровых волн УТР-2 по программе радиоспектроскопии межзвездной среды. В качестве примера на рис. 4 приведены результаты измерений радиорекомбинационной линии углерода  $C631\alpha$  в направлении радиоисточника Кассиопея А ( $T_l$  - температура линии,  $T_c$  - температура в континууме). Линия наблюдалась в поглощении вблизи частоты 26 МГц, время накопления равнялось примерно 200 часам.

Опыт использования устройства показывает, что специализированные БИС позволяют резко повысить эффективность спектрометрической

аппаратуры, применяемой в радиоастрономии. С помощью современных микросхем, таких как вентиляционные КМОП матрицы, аналогичные технические решения обеспечивают возможность создания быстродействующих сверхмногоканальных (с числом каналов большим, чем 1024) коррелометров.

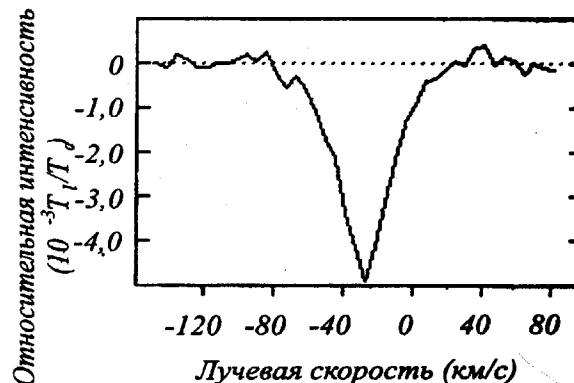


Рис. 4. Радиорекомбинационная линия углерода  $C631\alpha$ , измеренная в направлении радиоисточника Кассиопея А

Автор выражает благодарность Коноваленко А.А. за постановку задачи и обсуждения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда фундаментальных исследований Государственного Комитета Украины по Науке и Технологиям, ESO S&EE Программы, Международного Научного Фонда и Американского Астрономического Общества, и гранта INTAS-94-4010.

#### Литература

- Weinreb S. Proc. IRE, 1961, v.49, No. 6, p.1283.
- Коноваленко А.А. ПТЭ. 1981, №6, с.123-126.
- Голынкин А.А. ПТЭ. 1989, №1, с.101-103.
- Гербылев А.А., Журавлев В.И. Электронная промышленность. 1991, №2, с.81.

#### Digital Sign Correlometer for Radio Astronomical Spectroscopy

S.V. Stepkin

A 128 channel radio spectrometer based on the microcircuit of digital sign correlator U2VF1891 for searching and studying of spectral lines in the interstellar medium is described. The maximum analyzed band is not less than 2.5 MHz. The spectrometer is connected with personal computer and can be split into four or two independent correlometers with 32 or 64 channels correspondingly. The frequency resolution is  $\sim 0.5f_i/n$ , where  $f_i$  is system clock frequency,  $n$  - number of channels in independent spectrometer ( $n=32, 64, \text{ or } 128$ ).