

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

13-81-802

А.П.Крячко

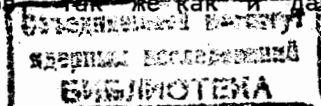
АППАРАТУРА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ  
ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ЛИНИИ С ЭВМ  
В ЛАБОРАТОРИИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ ОИЯИ

1981

В Лаборатории высоких энергий физические эксперименты на линии с ЭВМ проводятся с конца 1966 года<sup>1/</sup>. Связь между физическими установками в корпусах синхрофазотрона и ЭВМ осуществляется на расстоянии около 1 км. Первая система передачи данных представляла последовательную линию связи с ЭВМ БЭСМ-3М. При этом ЭВМ осуществляла только прием информации. Время передачи одного 45-битного машинного слова составляло 60 мкс, слова следовали с интервалом 120 мкс. Линия связи была выполнена на основе 4 радиочастотных кабелей типа РК-2: по двум из них шли информационный и синхронизирующий сигналы, по двум другим - сигналы типа "Запрос", "Ответ". Максимальная скорость передачи информации по линии /возможная/ составляла 0,1 Мбайт/с. Практически она была равна 0,05 Мбайт/с, в то время как скорость ввода - 0,7 Мбайт/с. В качестве элементной базы аппаратуры передачи данных /АПД/ использовались функциональные диодно-транзисторные ячейки ЭВМ БЭСМ-3М или специальные, построенные по этому принципу. Тактовая частота таких схем - 1 МГц. Низкая пропускная способность линии ограничивала возможности канала ввода-вывода ЭВМ. Элементная база и достигнутый в то время уровень разработок не позволяли решить эту задачу.

Скорость передачи данных по линии связи в системах без буфера зависит от скорости ввода-вывода канала ЭВМ и отношения форматов данных канала и линии. Это следует из требования сохранения равенства между поступающим из канала в единицу времени объемом данных и передаваемым по линии, т.е. равенства их пропускных способностей:  $v_K N_K = v_L N_L$ . Здесь  $v_K$  и  $v_L$  - скорости передачи сигналов в канале и по линии соответственно, слов/с;  $N_K$  и  $N_L$  - форматы данных /слов/ канала и линии в битах. /Пропускная способность совпадает с максимально возможной скоростью передачи/. Пропускную способность каналов ввода-вывода различных ЭВМ и линий связи удобно для сравнения выражать в Мбайт/с. Таким образом, скорость передачи слов /электрических сигналов/ по линии должна быть  $v_L \geq v_K / (N_L / N_K)$ .

Ввиду низкой пропускной способности последовательная линия связи уже в середине 1967 года была заменена параллельной. Были проложены 5 высокочастотных магистральных кабелей типа МКСБ 7x4x1,2+6x0,9<sup>1/4</sup>. В дальнейшем на их основе строились различные системы передачи данных. Для сравнения основные параметры этих систем приводятся в первых трех столбцах табл.1. Скорость передачи сигналов так же как и данных, выражается в бит/с<sup>1/30/</sup>.



Параметры канала ввода-вывода и АПД	БЭСМ-3М		ЕС-1040		ЕС-1040	
	БЭСМ-4		ЛВЭ ОИЯИ		СНЭО ОИЯИ	
Формат данных канала ввода-вывода, бит	45 инф., 5 упр.		8 инф., 1 к 8 упр., 1 к			
Скорость ввода-вывода, Мбайт/с	0,7		1,25; 0,5,...			
Формат данных на линии, 1 направл., бит	45 инф. 5 упр.	24 инф. 6 упр.	8 инф., 1 к 5 упр.	24 инф. 3 к 8 упр.	8 инф. 1 к 5 упр.	
Скорость передачи данных по линии, Мбайт/с	0,7	0,5- -0,7	1,25	0,5	1,25	1,25
Скорость передачи синхр. имп., Мбит/с	0,125	0,5	1,25	0,5	0,416	1,25
Длит. синхр. имп., мкс	1	1	0,4	1	0,2	0,4
Миним. длит. инф. сигналов, мкс	~4	~2	0,8	2	2,4	0,8
Код на линии	ВН		БВН			
Каналов приема-передачи	50 прм. 5 прд.	по 30	по 14	по 35	по 14	
Длина линии, м	850		1200	120	120	
Число используемых кабелей	Одна и та же линия 5		2	1	2	1
Тип кабеля	МКСБ 7x4x1,2+6x0,9		ТПП 30x2x x0,5	ТПП 50x2x x0,5	ТПП 30x2x x0,5	
Экспериментальные установки	"АЛЬФА" СЯО	"ДИСК-1" "АЛЬФА" ЛГУ ЛВТА	"ДИСК-2" СЯО ЛГУ	"Кристалл"		БИС-2
Время работы, годы	1967- 1972 /4/	1974- 1979 /6-10/	1979- /18/	1979 /15/	1977- 1981 /14/	1981-

Элементная база первого варианта системы с параллельным способом передачи данных /1 столбец/ была та же, что и у системы с последовательной линией связи. Несмотря на возросший объем линейного оборудования, эта система устранила возникшее противоречие, так как имела ту же пропускную способность, что и канал ввода-вывода ЭВМ.

Передача и прием сигналов на линии связи осуществлялись несимметричным способом: с одним сигнальным проводом, соединенным с сопротивлением 110 Ом с обоих концов. Другой, возвратный провод пары заземлялся на обоих концах, но на стороне приемника - через конденсатор. В качестве передатчика на линию работал эмиттерный повторитель на транзисторе П601/5. Прием производился усилителем-инвертором на транзисторе П416 с ускоряющей цепочкой в цепи базы /5/. На выходе передатчика - входе приемника потенциал -6 В соответствовал логической "1", а потенциал 0 В - логическому "0". Ток в линии составлял 50-55 мА.

С появлением стандарта КАМАК была разработана вторая система передачи данных /2-ой столбец табл.1/. Работа происходила в двух направлениях. За один цикл работы машины /8 мкс/ можно было организовать как 1, так и 2 цикла КАМАК. Машинное слово /45 бит/ разбивалось на 2 слова КАМАК. Наиболее эффективным был вариант обмена 2 слова x 16 бит. Из-за несоответствия форматов скорость обмена информацией несколько снизилась.

Объем оборудования на 1 разряд собственно АПД сократился за счет применения интегральных схем в приемно-передающей аппаратуре и интерфейсе БЭСМ-4 /8/. На стороне физических установок часть узлов перешла в аппаратуру КАМАК: регистры приема-передачи и управляющая логика вошли в контроллер БЭСМ-4 /9/. Однако дополнительно потребовались преобразователи уровней электрических элементов БЭСМ в уровни ТТЛ и обратно /10/.

Передача и прием осуществлялись несимметричным способом. Сигналы на линии имели уровни ТТЛ. В качестве выходного каскада передатчика на линию работал эмиттерный повторитель на транзисторе КТ-315/5, возбуждаемый схемой И-НЕ ТТЛ (1/4 155 ЛА8) /15/. Приемник был построен на аналогичной схеме И-НЕ. В цепи эмиттера и на входе приемника были установлены согласующие резисторы 110 Ом. При нагрузке 55-60 Ом эмиттерный повторитель должен был обеспечивать ток 70 мА. При этом ток в линии составлял около 30 мА.

В работе /18/ утверждается, что наибольшая помехоустойчивость получается при выборе на линии в качестве логической "1" низкого, а в качестве "0" - высокого уровней напряжений ТТЛ. К этому следует сделать несколько замечаний. Приводимые в работе справочные данные о помехоустойчивости относятся к случаю прямого соединения выхода и входа двух логических элементов

микросхем ТТЛ<sup>11</sup>/В рассматриваемом же случае эта связь осуществляется через эмиттерный повторитель и линию. Фактически высокий уровень напряжения на выходе передатчика был равен 3,8 В.

Более точно можно характеризовать помехоустойчивость системы через аналогичные параметры приемника, например, через его порог переключения, равный +1,4 В при 25°С. Чтобы не уменьшать помехоустойчивость до величины ниже потенциально возможной, высокий уровень напряжения на входе приемника не должен быть ниже  $2U_{пор.} \approx 2,8$  В. Если падение напряжения на сигнальной жиле пары незначительно /в данном случае <1 В/, то помехоустойчивость по отношению к отрицательным напряжениям помех может быть несколько выше. Напряжения внешних по отношению к кабелю случайных помех обычно симметричны, а появление состояний логических "0" и "1" в процессе передачи также равновероятно.

Режим работы системы передачи данных был таков, что большую часть времени на линии сохранялось состояние логического "0", т.е. высокий уровень напряжения. Это имело место при отсутствии передачи. Время передачи занимало не более 0,5 с 10-секундного цикла работы ускорителя, т.е. составляло не более 0,05 цикла ускорения. Поэтому с точки зрения энергетического и теплового режима в качестве логического "0" на линии лучше выбрать низкий уровень напряжения 0 В /пассивная пауза/. В этом случае уменьшается также вероятность выхода из строя транзисторов вследствие замыканий на линии при переключении разъемов и т.д. При проверке линии связи более удобно, когда логической "1" соответствует высокий уровень напряжения. При низком уровне трудно заметить состояние неисправности при обрывах и т.д.

Отметим некоторые особенности рассматриваемой системы передачи данных. Она обеспечивала как двухстороннюю связь с аппаратурой КАМАК /24 бита на каждое направление/, так и передачу в ЭВМ 45-битных слов с установок с нестандартной аппаратурой. Это требовало изменения конфигурации системы: смены направления работы приемно-передающих блоков и переключения кабелей. На стороне физических установок находился один комплект такой аппаратуры, который по мере необходимости перемещался с одной установки на другую. Основная линия связи оканчивалась в помещении синхрофазотрона /называемом измерительным центром/ двумя 32-контактными плоскими разъемами типа РР-15<sup>12</sup>. Сюда же сходились также абонентские линии связи /50-100 м кабеля ТПП 50x2x0,5<sup>13</sup>/ с установками. Для подключения абонентской линии связи данной установки к основной /продление ее до установки/ необходимо было отключать от нее абонентскую линию ранее работавшей установки.

Следует отметить большое число разъемных соединений и в то же время низкое качество их исполнения. Кабельные части разъемов не имели надлежащим образом изготовленных корпусов, отсутствовали фиксирующие замки. Частые переключения привели к сильному износу разъемных соединений. В конце эксплуатации этой системы передачи данных основной стала проблема ненадежности контактов.

Как уже отмечалось, недостатком эмиттерных повторителей, работающих на линии связи, являлось отсутствие соответствующей защиты от коротких замыканий на землю.

Промежуточными между вторым и третьим поколением систем передачи данных явились параллельные системы для экспериментальных установок БИС-2 в ИФВЭ, Серпухов<sup>14</sup>/5 столбец табл.1/ и "Кристалл" в ЛВЭ ОИАИ<sup>15</sup>/4 столбец табл.1/ на линии с ЭВМ ЕС-1040. Первая из них имела возможность обмена традиционно 3 байтами в соответствии с форматом данных стандарта КАМАК.

Из-за различия форматов данных канала ЕС-1040 /1 байт/ и КАМАК /3 байта/ в конечных пунктах системы передачи данных необходимо производить операции разворота-свертки. Для этого требуется определенный объем оборудования, не зависящий от того, на каком конечном пункте производятся эти операции. Однако с целью экономии оборудования для передачи данных обмен по линии связи целесообразно вести 1 байтом. При этом

- скорость обмена данными сохраняется,
- объем электронной аппаратуры оконечных устройств остается приблизительно прежним,
- число микросхем передатчиков, приемников и других радиодеталей уменьшается в 2,5 раза /с учетом управляющих рядов/,
- расход кабеля уменьшается в 2,5 раза.

Сокращение объема приемно-передающего оборудования приводит к увеличению надежности его работы.

Со стороны ЕС-1040 подключение аппаратуры производилось к наиболее быстрому селекторному каналу №1, работающему со скоростью 1,25 Мбайт/с /цикл-0,8 мкс/. При традиционном 3-байтном формате на линии скорость передачи данных по ней составляла  $1,25/3 \approx 0,4$  Мбайт/с. При переходе на 1-байтный формат она должна быть равна также 1,25 Мбайт/с.

Задача по увеличению скорости была успешно решена. Фактически возможна работа с большими скоростями при приемлемом коэффициенте ошибок<sup>18,17</sup>. В столбце 3 табл.1 приводятся характеристики системы передачи данных, работающей в ЛВЭ с 1979 года<sup>18</sup>. Следует различать скорости передачи информационных и синхронизирующих сигналов по линии связи. Последние имеют наибольшую скорость и наименьшую длительность /см.табл.1/.

Лабораторные линии связи для передачи данных Таблица 2

	Скорость передачи эл. сигналов Мбит/с	Скорость передачи данных Мбайт/с	Коэффициент ошибок	Тип линии связи	Год
ЦЕРН <sup>/21/</sup>	1	1	10 <sup>-10</sup>	Параллельная, дуплексная, 2-кабельная; 9 бит/направление	1968
Дэсбери /20,28/	0,625	1,25	-	Параллельная, дуплексная, 1-кабельная, 25 бит/направление	1969
Харуэлл /25,26/	1,76	0,11	10 <sup>-8</sup>	Последовательная, дуплексная, 2 скруч. пары; ИКМ	1968
ЦЕРН <sup>/2,3/</sup>	10/5/	1,25/0,4/	10 <sup>-(10-11)</sup> /10 <sup>-12/</sup>	Последовательная, дуплексная, коакс. кабель; модуляция	1974
ЦЕРН <sup>/3/</sup>	2,5/1,25/	0,31	-	Последовательная, дупл., 1-кабел. 4-проводная; 2 пары - синхронизация	-
КЕК <sup>/29/</sup>	2	0,188	10 <sup>-9</sup>	Последовательная, полудуплексная, в форме петли; коаксиальн. кабель; модуляция	1978
ЛВЭ ОИЯИ <sup>/18,34,35/</sup>	1,25	1,25	10 <sup>-8</sup>	Параллельная, дуплексная; 2-кабельн; 14 бит/направление	1979

Примечание к табл.2: 1. Длина рассматриваемых линий связи 1-1,5 км. 2. В скобках указаны рабочие значения величин в системе, определяемые скоростью каналов ввода-вывода ЭВМ. 3. В работе<sup>/3/</sup> скорость передачи электрических сигналов указана в бодах. В таблице она приводится в Мбит/с исходя из минимальной длительности сигналов и 50%-ного коэффициента заполнения. Последнее относится и к линии, описанной в<sup>/2/</sup>.

На различных установках лаборатории с многокрейтными системами КАМАК на основе универсального драйвера ветви /УДВ/<sup>/19/</sup> цикл обмена данными в среднем составляет 3 мкс/слово. Если слово имеет 24 бита, то это будет соответствовать 1 мкс/байт, т.е. больше цикла работы канала. Таким образом, аппаратура новой системы передачи данных не накладывает ограничений на скорость обмена в существующих установках. Характеристики АПД, и в особенности скорость передачи данных по линии связи, определяются скоростью работы каналов ввода-вывода ЭВМ<sup>/20/</sup>, типом электронной аппаратуры физических установок, существующей элементной базой и уровнем разработок.

В ЛВЭ изменения в АПД /параллельные системы/ имели место, как уже отмечалось, в связи с применением стандарта КАМАК и интегральных микросхем<sup>/7/</sup> и при замене ЭВМ БЭСМ-4 на ЕС-1040. В настоящее время характеристики АПД находятся в полном соответствии с приведенными выше требованиями.

Системы передачи данных со скоростями 0,5-1 Мбайт/с относятся к высокоскоростным. Они используются как в экспериментах на линии с ЭВМ, так и для связи ЭВМ в распределенных вычислительных системах<sup>/20/</sup>. В зарубежных физических центрах параллельные линии связи создавались в конце 60-х годов. Это было экономически оправданно<sup>/2/</sup>. По мере развития элементной базы, уровня разработок, а в последнее время в связи с "драматическим ростом цен на медь"<sup>/22/</sup> в физических центрах Западной Европы, США и Японии разрабатываются и эксплуатируются высокоскоростные последовательные линии связи большей частью на основе коаксиальных кабелей. Скорость передачи электрических сигналов составляет обычно 10 Мбит/с, а данных - 1 Мбайт/с. /Для примера, в Англии в 1981 году стоимость 1 пары в 20- или 50-парном кабеле, используемом для подключения к ЭВМ различных внешних устройств, составляла 20 фунтов за 100 м<sup>/23/</sup>, в то время как 8-разрядный сдвиговый регистр типа SN7491 стоил 0,6 фунта<sup>/23/</sup>, а приемно-передающий канал на основе микросхем SN 75107 и SN 75110 - 2,5-3 доллара<sup>/24/</sup>.

В последовательных системах передачи данных иногда используется<sup>/25,26/</sup> техника импульсно-кодовой модуляции /ИКМ/, в настоящее время широко применяемая в области связи. Здесь до-

стигнут наибольший технический прогресс. Скорости передачи на расстояние около 2 км при коэффициенте ошибок  $\sim 10^{-10}$  составляют: 2 Мбит/с для низкочастотной симметричной пары, 8 Мбит/с - для высокочастотной; 34 Мбит/с - для микроаксиального кабеля  $\varnothing 0,6/2,8$  мм; 120 Мбит/с - для коаксиального кабеля  $\varnothing 1,2/4,4$  мм и 400 Мбит/с - для коаксиального кабеля  $2,6/9,5$  мм<sup>27</sup>. Системы связи с ИКМ построены по иерархическому принципу. Более высокий уровень объединяет от 4 до 7 групп низкого уровня, и его пропускная способность должна быть во столько же раз больше. Следует отметить сложность реализации таких систем для лабораторных применений.

В табл.2 приводятся собственные характеристики лабораторных линий связи для передачи данных, используемых в некоторых зарубежных физических центрах. Характеристики систем передачи данных, применяемых в других лабораториях ОИЯИ, а также зарубежных можно найти в работах<sup>/31-33/</sup>.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Голутвин И.А. и др. ОИЯИ, 10-3144, Дубна, 1967.
2. Joosten J.M. In: Proc. Meeting on Technology Arising from High Energy Physics. CERN, Geneve, 1974, vol.2, p.265-266.
3. Parkman C.F., Lee J.S. CERN DD-79-11, Geneve, 1979.
4. Астахов А.Я. и др. ОИЯИ, P10-3592, Дубна, 1967.
5. Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам /под ред. Н.Н.Горюнова/. "Энергия", М., 1979.
6. Дульски Р. ОИЯИ, 10-7664, Дубна, 1974.
7. Коба Т. и др. В кн.: Труды VII Международного симпозиума по ядерной электронике. Будапешт, 1973.
8. Коба Т., Сусова Г.М. ОИЯИ, 10-8483, Дубна, 1974.
9. Коба Т., Сусова Г.М. ОИЯИ, 10-8484, Дубна, 1974.
10. Дульски Р. ОИЯИ, 10-7665, Дубна, 1974.
11. Designing with TTL Integrated Circuits. McGraw Hill Book Company, USA, 1972.
12. Белоусов А.К., Савченко В.С. Электрические разъемные контакты в радиоэлектронной аппаратуре. "Энергия", М., 1976.
13. Брискер А.С. и др. Городские телефонные кабели. Справочник. "Связь", М., 1979.
14. Айхнер Г. и др. ОИЯИ, 10-80-434, Дубна, 1980.
15. Водопьянов А.С. и др. ОИЯИ, P13-80-225, Дубна, 1980.
16. Крячко А.П., Као Дак Хьен. ОИЯИ, 13-80-489, Дубна, 1980.
17. Крячко А.П., Као Дак Хьен. ОИЯИ, 13-80-511, Дубна, 1980.

18. Ефимов Л.Г., Крячко А.П., Садовников В.Н. ОИЯИ, 10-80-224, Дубна, 1980.
19. Нгуен Фук и др. ПТЭ, 1976, №3, с.65.
20. Zacharov B. In: Proc. of the 1976 CERN School of Computing. CERN, Geneve, 1976.
21. Joosten J.M. In: Proc. Int.Symp. on Nucl.Electr., France, 1968, p.115-2 - 115-16.
22. Borer Journal No.13, Switzerland, 1979, p.5.
23. INMAC Catalog. 2nd Ed., England, 1981.
24. NEARK Electronics Catalog 103. USA, 1977.
25. Austin J.S. et al. AERE-R-5529, Harwell, 1967.
26. Fergus P.J.B. AERE-R-6970, Harwell, 1972.
27. Былянский П., Ингрэм Д. Цифровые системы передачи /пер. с англ./, "Связь", М., 1980.
28. Zacharov B. In: Proc. of the 1972 CERN Comput. and Data Proces. School CERN 72-21, Geneva, 1972, p.262.
29. Kameyama A., Yamanaka K. Nucl.Instr. and Meth., 1979, p.7-19.
30. "Электросвязь", 1968, №1, с.71-76.
31. Забиякин Г.И. и др. ОИЯИ, 10-4622, Дубна, 1969.
32. Забиякин Г.И., Поляков Б.Н. ОИЯИ, 10-5026, Дубна, 1970.
33. Семенов А.А. ОИЯИ, 11-11627, Дубна, 1978.
34. Крячко А.П. ОИЯИ, 13-81-662, Дубна, 1981.
35. Крячко А.П. ОИЯИ, 13-81-663, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел  
17 декабря 1981 года.