

# Система синхронизации ускорительно-накопительного комплекса ВЭПП-4

С.А.Беломестных, С.Е.Карнаев, Э.А.Купер, Г.Я.Куркин,  
С.И.Мишнев, В.М.Цуканов, Ю.И.Эйдельман  
ГНЦ РФ ИЯФ им.Г.И.Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

## Введение

Для создания систем управления сложными ускорительными комплексами разработка системы синхронизации имеет важное значение, поскольку она задает не только синхронизацию срабатывания систем, тактирование процессов, но и определяет взаимодействие программного обеспечения с аппаратурой, работу операторских интерфейсов. В докладе кратко рассмотрена система синхронизации ускорительно-накопительного комплекса ВЭПП-4 [1], который состоит из четырех крупных подсистем: коллайдера ВЭПП-4М для экспериментов со встречными электрон-позитронными пучками в диапазоне энергий от 1.5 до 6 ГэВ, бустера-накопителя ВЭПП-3, импульсного инжектора “Позитрон”, включающего линейный ускоритель на 50 МэВ и синхротрон Б-4 на 350 МэВ, и импульсного канала транспортировки ВЭПП-3 – ВЭПП-4М.

Система синхронизации комплекса ВЭПП-4 подразделяется на 3 уровня: синхронизация пучков, синхронизация импульсных устройств, синхронизация программ.

Система синхронизации пучков обеспечивает согласованное срабатывание устройств инжекции и выпуска-впуска пучков частиц на ускорителях комплекса, а также взаимную привязку импульсных систем и устройств выпуска-впуска к ВЧ-системам. Система синхронизации импульсных устройств определяет срабатывание импульсных систем для обеспечения ускорения и перепусков пучков. Программный уровень системы синхронизации обеспечивает взаимодействие в реальном времени программ, выполняемых как в одном, так и в различных компьютерах системы управления [2].

## 1. Синхронизация пучков

Система синхронизации пучков комплекса ВЭПП-4 состоит из двух подсистем. Первая синхронизирует выпуск из синхротрона Б-4 и инжекцию в накопитель ВЭПП-3. Вторая обеспечивает выпуск ускоренного пучка из ВЭПП-3 и инжекцию в коллайдер ВЭПП-4М. Обе подсистемы используют одни и те же принципы: подбор кратных частот обращения пучков в синхронизируемых установках и использование систем фазовой автоподстройки для точной синхронизации фаз.

Важным условием для успешного перепуска сгустка частиц из одного циклического ускорителя (типа синхротрона) в другой является правильное соотношение фаз ВЧ-напряжений на ускоряющих структурах установок. Кратность ВЧ и частоты обращения для больших установок достигает нескольких сотен (для ВЭПП-4М соотношение равно 222), т.е. имеется соответствующее число сепаратрис, в которые возможна инжекция. Настройка перепуска сгустка в нужную сепаратрису достигается обеспечением кратности ВЧ-напряжений и фазовым сдвигом одного ВЧ-напряжения относительно другого (см. рис. 1).

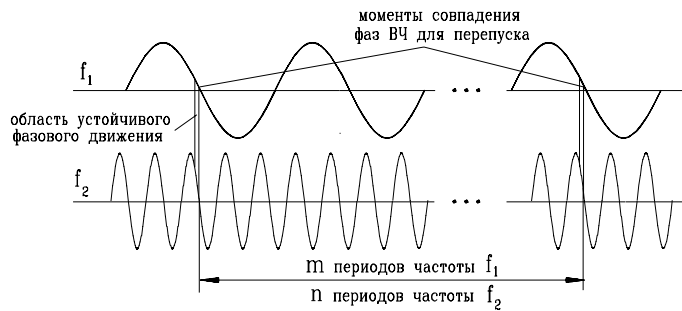


Рис. 1: Диаграмма напряжений на ускоряющем резонаторе 8 МГц накопителя ВЭПП-3 ( $f_1$ ) и ускоряющем резонаторе синхротрона Б-4 ( $f_2$ ).

Кратко рассмотрим систему синхронизации перепуска пучков из синхротрона Б-4 в накопителя ВЭПП-3. На рис. 2 приведена ее упрощенная схема. Опорными сигналами для выработки синхроимпульсов служат ВЧ-напряжения задающих генераторов частот обращения накопителя ВЭПП-3 (4,03 МГц) и синхротрона Б-4 ( $\approx 37,5$  МГц).

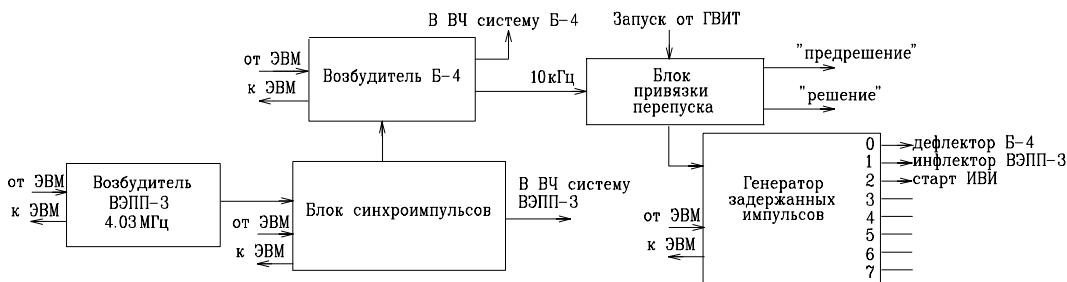


Рис. 2: Блок-схема синхронизации перепуска пучка из синхротрона Б-4 в накопитель ВЭПП-3.

Фазовый детектор перестраивает задающий генератор частоты обращения в синхротроне Б-4 таким образом, чтобы отношение частот обращения в Б-4 ( $f_2$ ) и ВЭПП-3 ( $f_1$ ) (см. рис. 1) равнялось:

$\frac{f_2}{f_1} = \frac{N}{402}$ , где число  $N$  в рабочем режиме равно 3760, и с помощью ЭВМ может быть изменено в пределах  $\pm 3\%$ .

Импульсы, следующие на вход блока привязки перепуска с частотой  $\approx 10$  кГц, вырабатываются в моменты совпадения фаз ВЧ-напряжений задающих генераторов Б-4 и ВЭПП-3 (моменты перепуска). При регулировании числа  $N$  фазовый детектор возбuditеля Б-4 таким образом меняет частоту задающего генератора Б-4, что частота следования выходных импульсов остается неизменной. Так осуществляется управление частотой обращения в синхротроне Б-4. При изменении частоты задающего генератора ВЭПП-3 фазовый детектор изменяет частоту задающего генератора Б-4, что приводит к изменению частоты следования импульсов, поступающих на блок привязки перепуска.

Блок привязки перепуска запускается импульсом, приходящим от системы синхронизации импульсных устройств (см. следующий раздел), и в момент прихода бли-

жайшего импульса частоты 10 кГц формирует импульс запуска модулей синхронизации импульсных устройств, называемый “предрешение”. После выработки импульса “предрешение” блок привязки перепуска отсчитывает 64 импульса частоты 10 кГц (примерно 6 мс) и 65-м импульсом запускает управляемую систему задержки запусков инфлектора ВЭПП-3 и дефлектора Б-4.

Система синхронизации пучков канала перепуска ВЭПП-3 – ВЭПП-4М работает аналогичным образом, опорными напряжениями в этом случае являются ВЧ-напряжения задающих генераторов ВЭПП-4М (181 МГц) и ВЭПП-3.

## 2. Синхронизация импульсных устройств

Система синхронизации импульсных устройств комплекса ВЭПП-4 так же, как и система синхронизации пучков, состоит из двух подсистем: синхронизации импульсных систем инжектора “Позитрон” и синхронизации канала транспортировки пучка ВЭПП-3 – ВЭПП-4М.

Блок-схема синхронизации импульсных устройств инжектора “Позитрон” приведена на рис. 3.

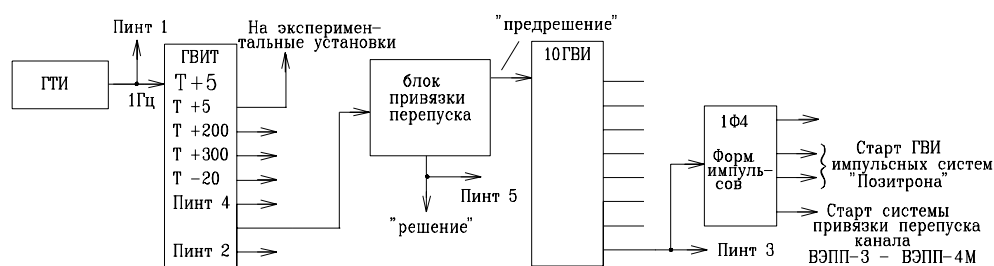


Рис. 3: Блок-схема синхронизации импульсных устройств инжектора “Позитрон”.

Для генерации синхроимпульсов используются разработанные в ИЯФ восьмиканальные управляемые линии задержки ГВИ-8М, выполненные в стандарте КАМАК и обеспечивающие время задержки выходных импульсов относительно стартового импульса до 838 мс с дискретностью от 0,1 до 12,8 мкс. Там, где необходимо, для усиления сигнала применяются дополнительные формирователи импульсов. В системе синхронизации используются импульсы со следующими параметрами: амплитуда  $\simeq +15$  В, длительность переднего фронта не более 100 нс, длительность импульса не менее 1 мкс. Импульсы передаются по коаксиальным кабелям РК-50 на расстояния 5 ÷ 150 м.

Система синхронизации импульсных устройств обеспечивает синхронное срабатывание  $\simeq 70$  импульсных генераторов и  $\simeq 35$  измерительных КАМАК-модулей.

Для запуска системы синхронизации инжектора используется генератор тактовых импульсов (ГТИ), выполненный в стандарте КАМАК, который обеспечивает “привязку” запускающего импульса к определенной фазе сети 50 Гц. Это необходимо для стабильной работы и контроля импульсных генераторов. Импульс с ГТИ запускает генератор временных интервалов ГВИТ (ГВИ-8М) с диапазоном отработки 838 мс, задающий последовательность событий внутри цикла работы инжектора “Позитрон”. Один из выходных импульсов ГВИТ запускает блок привязки перепуска (см. рис. 2, 3),

который возвращает импульс, “привязанный” к фазам ВЧ Б-4 и ВЭПП-3, называемый “предрешение”, а через 6 мс вырабатывает импульс “решение”. “Внутри” этих 6 мс происходит выработка выходных сигналов системы синхронизации импульсных устройств.

При изменении частоты обращения накопителя ВЭПП-3 происходит изменение масштаба шкалы “предрешение-решение”, так как изменяется частота следования импульсов 10 кГц. соотношение частот обращения синхротрона и накопителя. Импульс “предрешение” запускает генератор задержки 10ГВИ (см.рис. 3), который позволяет смещать начало шкалы отсчета времени системы синхронизации инжектора внутри “ворот” “предрешение-решение”. Этим достигается синхронизация срабатывания импульсных генераторов, обеспечивающих режим выпуска, и синхроимпульса “решение”, привязанного к ВЧ Б-4 и ВЭПП-3.

### 3. Синхронизация программ

В системе управления комплексом ВЭПП-4 для управления импульсными системами используется 3 микроЭВМ [2],[3]: УРО и ИРО для управления инжектором “Позитрон” и СНАН для управления каналом транспортировки пучка ВЭПП-3 – ВЭПП-4М. В этих компьютерах одновременно работает более 15 взаимно синхронизированных программ.

Основным средством синхронизации программ в реальном времени внутри одной микроЭВМ служит так называемый “пинт” (*pin*t, от слов (*Peripheral INTerruption*)). Взаимная синхронизация программ в различных ЭВМ достигается одновременной подачей пинтов в эти компьютеры. Пинт — это внешний импульс, обрабатываемый операционной системой, пришедший на один из 16 входов регистра прерываний РП (специального КАМАК-модуля, размещенного в одном крейте с микроЭВМ).

По приходу пинта операционная система в программах, находящихся в этот момент в оперативной памяти микроЭВМ, делает пометки. По запросу из программы пинт может генерироваться самой операционной системой. Промежуток времени от прихода импульса, отмечающего некоторое событие, до запуска программы, ожидающей это событие, составляет примерно 300 мкс. Сетка пинтов синхронизирует работу программ, распределяет процессорное время как внутри программ, так и между программами в течение такта работы (для импульсных систем это 1 секунда). Генераторами пинтов служат модули ГВИТ, управляемые от микроЭВМ УРО (см.рис. 3) и СНАН.

### Список литературы

- [1] В.В.Анашин и др. Состояние работ на комплексе ВЭПП-4М. *Труды XII Всесоюзного совещания по УЗЧ*, Дубна, 1988, т.1, с.295.
- [2] A.Aleshaev et.al. VEPP-4 Control System, *Talk on ICALEPCS'95*, Chicago, USA.
- [3] Г.С.Пискунов, С.В.Тарарышкин. Двадцатичетырехразрядная ЭВМ в стандарте КАМАК, *Автоматрия*, 1986, 4, с.32-38.