

# Некоторые проблемы управления ускорительно-накопительным комплексом ВЭПП-4

С.Е.Карнаев, Б.В.Левичев, И.Я.Протопопов  
ГНЦ РФ ИЯФ им.Г.И.Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

## Введение

Ускорительно-накопительный комплекс ВЭПП-4 включает в себя четыре крупные подсистемы: коллайдер ВЭПП-4М для экспериментов со встречными электрон-позитронными пучками в диапазоне энергий от 1,5 до 6 ГэВ, бустер-накопитель ВЭПП-3, импульсный инжектор “Позитрон” и импульсный канал транспортировки ВЭПП-3 – ВЭПП-4М. Организация управления таким комплексом — многоплановая задача по анализу объектов и процессов, подлежащих управлению, выработке принципов и построению схемы управления, подбору электроники, созданию программного обеспечения. В докладе освещаются некоторые проблемы, возникающие при управлении ускорительно-накопительным комплексом ВЭПП-4, и приводятся примеры их решения, в значительной мере определяющие структуру системы управления ВЭПП-4 и программного обеспечения.

## 1. Управление магнитными системами коллайдера ВЭПП-4М и накопителя ВЭПП-3

Режимы работы накопителя ВЭПП-3 и коллайдера ВЭПП-4М выглядят следующим образом.

В накопителе ВЭПП-3 пучок электронов или позитронов накапливается на энергии 350 МэВ. После накопления нужного тока пучка частицы ускоряются либо до энергии проведения различных экспериментов в диапазоне энергий от 350 МэВ до 2 ГэВ на ВЭПП-3, либо до энергии перепуска из накопителя в коллайдер ВЭПП-4М. После “отработки” пучка, либо после его выпуска магнитная система накопителя переводится в режим инжекции.

Схема работы коллайдера ВЭПП-4М подобна схеме работы накопителя ВЭПП-3. После инжекции пучков электронов и позитронов в ВЭПП-4М на энергии 1,8 ГэВ пучки либо ускоряются, либо “замедляются” до энергии проведения экспериментов в диапазоне от 1,5 до 6 ГэВ.

Магнитные системы накопителя ВЭПП-3 и коллайдера ВЭПП-4М представляют собой жесткофокусирующие структуры, состоящие из нешихтованных магнитов, изготовленных из низкоуглеродистого железа. При изменении энергии пучка требуется выдерживать соотношение полей между отдельными элементами структур с точностью до  $10^{-4}$ . Поскольку магниты отличаются друг от друга как по конструкции, так и по величине рабочего поля [1], то при пропорциональном изменении токов в обмотках в процессе ускорения или “замедления” пучка из-за влияния остаточных полей и из-за различного насыщения железа происходит рассогласование магнитных полей.

При настройке режима ускорения (или “замедления”) эта проблема решается пошаговым изменением состояния магнитной структуры путем задания небольших пропорциональных добавок токов во все элементы с последующей коррекцией.

Другой проблемой, возникающей из-за отсутствия шихтовки магнитов, является воспроизведение величин магнитных полей в режиме инжекции после включения магнитов или возвращения из режима эксперимента. Для обеспечения повторяемости величин полей в режиме инжекции после процедуры ускорения (или “замедления”) пучка выполняется т.н. “стандартный цикл” (см. рис. 1, путь ACDA,  $\Delta B \simeq 0.2\%$ ): переход в режим инжекции по частной петле гистерезиса.

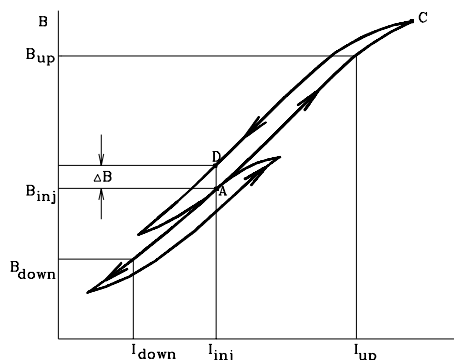


Рис. 1: Диаграмма стандартного цикла.

При этом по окончании эксперимента элементы магнитной системы плавно переводятся в фиксированное, завышенное относительно режима эксперимента состояние. Затем после установления полей делается переход в фиксированное состояние, заниженное относительно режима инжекции. Снова делается пауза для установления полей. И, наконец, элементы плавно переводятся в режим инжекции.

Таким образом достигается одинаковость “пути” установления полей в режим инжекции. Практически в любом случае (даже после полного отключения источников питания) для повторяемости полей исходного режима инжекции с точностью  $10^{-4}$  достаточно выполнения одного, максимум двух “стандартных циклов”.

## 2. Ускорение пучков в коллайдере ВЭПП-4М и накопителе ВЭПП-3

В процессе ускорения пучков в накопителе ВЭПП-3 и коллайдере ВЭПП-4М требуется синхронно изменять значения токов и напряжений в сотнях управляющих каналов. Поскольку желательно, чтобы рассогласование между основными элементами магнитных структур (диполи, квадруполи) не превышало величины  $\simeq 0.01\%$ , то требуется уменьшать величины добавок, увеличивая частоту засылки кодов, что в свою очередь ограничивается возможностями управляющей ЭВМ ( $\simeq 2 \times 10^3$  посылок в секунду). Таким образом, процесс изменения энергии пучка является достаточно напряженным моментом при управлении коллайдером.

В действительности, проблема обеспечения нужной частоты засылки кодов в управляющие устройства при ускорении пучка в значительной мере упрощается благодаря наличию запаздывания прорастания магнитного поля в железо элементов (рис. 2). Если суммарное время засылки во все каналы ЦАП много меньше, чем характерное время прорастания  $\tau$ , то с точки зрения магнитного поля, рассогласования не происходит, можно изменять коды реже, но с большим шагом. Это обстоятельство используется в процессе управления перестройкой магнитной системы накопителя ВЭПП-3. Для коллайдера ВЭПП-4М эта проблема решается благодаря использованию ЦАП с интерполяцией выходного сигнала [2].

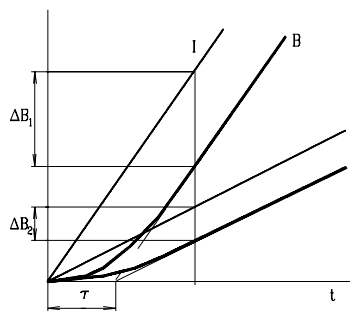


Рис. 2: Запаздывание магнитного поля относительно тока в процессе изменения тока.

Рассмотрим другую сторону задачи управления ускорительно-накопительным комплексом — организацию прикладного программного обеспечения. В процессе разработки программного обеспечения современной системы управления становится очевидной практическая невозможность создания единой обзримой программы, выполняющей все необходимые функции: раздачу управляющих воздействий, измерение различных параметров пучков и установок, контроль состояния устройств, отображение информации на дисплеях, поддержка режима диалога с оператором и т.п. Отсюда однозначно вытекает необходимость организации многопрограммного режима работы управляющей ЭВМ и в связи с этим возникает ряд проблем: межпрограммные накладки при обращении к одним и тем же устройствам, межпрограммные обмены, очередность выполнения программ и др.

Проблема многопрограммности для систем управления, базирующихся на разработанной в ИЯФ микроЭВМ “Одренок” [3], решена на уровне операционной системы, обеспечивающей многозадачный (до 10 одновременно выполняемых программ) режим и предоставляющей специализированные услуги по управлению [4].

Для управления установками комплекса ВЭПП-4 разработано большое число программ, даже кратко охарактеризовать которые в данной работе не представляется возможным. Приведем только перечень основных групп программ прикладного уровня, выделенных по функциональному назначению:

- а) статические базы данных, содержащие описание аппаратуры, устройств и каналов, режимов подсистем и установок и различные программы-редакторы для их модификации и обработки;
- б) программы взаимодействия с аппаратным уровнем, содержащие динамические базы данных, отображающие состояние устройств; все запросы на взаимодействие с аппаратурой от других программ обслуживаются программами этой группы;
- в) программы управления, с помощью которых осуществляется управление установками со стороны оператора;
- г) программы наблюдения и контроля, обеспечивающие обработку и отображение информации о состоянии элементов и различных физических параметров (токов пучков, бетатронных частот, орбит пучков и т.п.);

Запаздывание прорастания поля относительно меняющегося тока ограничивает скорость изменения энергии ускоряемых частиц [1]. Поскольку величина  $\tau = f(I)$  различна для каждого типа элементов, то с увеличением скорости изменения тока эта разница приводит к недопустимому рассогласованию магнитной структуры и потере пучка. На сегодняшний день удалось достичь максимальной скорости изменения энергии  $\simeq 10 \div 15$  МэВ/с.

### 3. Разделение задач управления внутри одного компьютера между многими программами и взаимосвязь программ

- д) программы автоматизации процессов управления, обеспечивающие согласованную автоматическую работу подсистем комплекса без вмешательства оператора;
- е) программы обеспечения межпроцессорной связи;
- ж) программы тестирования и диагностики, позволяющие проверять работоспособность устройств и аппаратуры.

### **Заключение**

К сожалению, слишком малый объем доклада не позволяет подробно рассмотреть упомянутые проблемы, а также ряд других. Авторы надеются, что изложенный материал поможет полнее представить круг вопросов, с которыми приходится сталкиваться разработчикам систем управления сложными ускорительными комплексами.

### **Список литературы**

- [1] Ю.В.Заруднев и др. Управление магнитной системой накопителя ВЭПП-4М. *Доклад на XIV Сессии по УЗЧ*, – Протвино, 1994.
- [2] S.Karnaev et.al. Control of VEPP-4M Magnetic System. *Talk on ICALEPCS'95*, Chicago, USA.
- [3] А.Н.Алешаев и др. Системы управления в ИЯФ (состояние и перспективы развития). *Труды XIII Международной конференции по ускорителям частиц высоких энергий*. Новосибирск, 1986, т.2, с.213
- [4] А.Н.Алешаев. Программное обеспечение для микроЭВМ “Одренок”. Операционная система ОДОС. – *Препринт ИЯФ СО АН СССР 89-67*