

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ НАСТРОЙКЕ БЕТАТРОНА

Сухарников К.В., Рычков М.М.

Научный руководитель: Евтушенко Г.С., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет
E-mail: suharnikov@tpu.ru

Бетатроны прочно занимают свою нишу на рынке неразрушающего контроля. Несмотря на то, что массовое производство бетатронов, которое имело место во второй половине прошлого века, приостановлено, и во многих своих традиционных приложениях бетатрон был заменён на другие ускорители [1], вследствие своей простой конструкции и надёжности работы он до сих пор применяется в научных исследованиях и прикладных задачах [2].

В рамках модернизации бетатронов, производимых в Томском политехническом университете, планируется переход на технологии, позволяющие упростить работу с ускорителем. Одна из концепций, применяемых в новой системе — управление и настройка ускорителя с использованием одной линии связи. В качестве интерфейса связи принят стандарт Ethernet.

Целью работы является построение универсальной системы настройки бетатрона с возможностью её дальнейшей модернизации. Отсюда вытекает чётко поставленная задача работы — разработка устройства, использующего в качестве канала связи стандарт Ethernet, и позволяющего заменить использовавшиеся ранее решения.

Правильная настройка должна обеспечить нормальную длительную и эффективную эксплуатацию бетатрона. Под настройкой в общем случае понимают совокупность подготовительных работ с ускорителем. Обычно сюда входят: коррекция магнитного поля, синхронизация отдельных процессов работы бетатрона, подбор оптимальных условий инжекции, обеспечение возможности ускорения в камере, выбор оптимальных условий вывода электронов из камеры или сброса на мишень [3].

В монографии [3] выделяются следующие этапы настройки бетатрона:

1. Настройка электромагнита: определение положения равновесной орбиты, исправление азимутальной неоднородности поля в межполюсном пространстве.
2. Синхронизация и согласование работы систем инжекции и смещения с направлением кругового движения электронов в камере бетатрона и направлением изменения магнитного поля.
3. Подбор оптимальных условий инжекции электронов: подбор оптимального положения инжектора в поле бетатрона и тока инжекции, подбор оптимальной фазы подачи импульса напряжения, настройка схем, стабилизирующих

излучение. Для малогабаритных бетатронов характерна так же подстройка системы контрактора, которая является обязательной в таких системах.

Последние пункты являются весьма малоисследованными. На данный момент в литературе не встречается подробного и исчерпывающего описания методики настройки. Специалисты, занимающиеся настройкой бетатронов на конечном этапе, выполняют подбор параметров эмпирическим путём. Процесс настройки в данном случае получается весьма трудоёмким, требует специальной подготовки и высокой квалификации специалиста.

Подбор оптимальных условий заключается в изменении нескольких параметров с целью поиска максимального значения мощности выходного излучения. При настройке изменяются такие параметры, как фазы и амплитуды токов инжекции и контрактора, форма импульса тока и напряжение на обмотке контрактора в момент инжекции. Традиционно настройка нескольких параметров производится включением в цепь управления потенциометра, с целью плавного регулирования управляющего напряжения. Другие параметры изменяются дискретно грубыми шагами.

Поскольку работающий бетатрон является источником ионизирующего излучения, он должен быть расположен в специализированном помещении, и доступ к нему во время излучения закрыт. Поэтому включаемый в цепь потенциометр переносится в защищённое от излучения помещение, при этом линия связи, передающая слаботочный аналоговый сигнал, может достигать десятков метров в длину.

Очевидно, что для настройки большего числа параметров потребуется большее число линий связи. Это вносит дополнительные трудности в процесс настройки. Помимо вышеперечисленного, важным недостатком такой системы является её слабая помехозащищённость.

Использование цифровых технологий позволяет избежать этой проблемы. В отличие от аналогового сигнала, цифровой сигнал может быть восстановлен без искажений [4]. Использование в данном случае стандарта Ethernet увеличивает надёжность системы настройки, повышает её совместимость с другими элементами ускорителя. Так же следует отметить и другие преимущества сети Ethernet:

1. Надёжность, невысокая цена и доступность оборудования, лёгкость настройки и обслуживания.

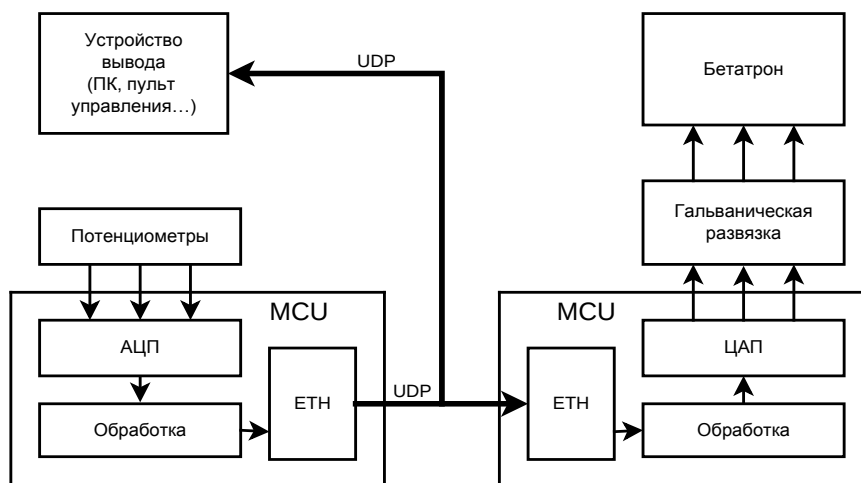


Рис. 1. Структурная схема устройства

2. Высокая помехоустойчивость вследствие использования дифференциального сигнала.

3. Гальваническая развязка трансформаторного типа при использовании витой пары.

4. Полная поддержка TCP/IP, что позволяет произвести лёгкий переход от витой пары на беспроводной или оптический каналы [5].

В качестве основного элемента системы, структурная схема которой показана на рис. 1, был выбран микроконтроллер STM32F407VG. В составе периферии микроконтроллера имеются все необходимые для работы схемы элементы: таймеры, двенадцатиразрядные аналого-цифровые преобразователи (АЦП/ADC), контроллер прямого канального уровня Ethernet MAC10/100 с поддержкой стандарта IEEE 1588 v2 [6].

Конструктивно система состоит из двух устройств. Первый элемент — устройство ввода. Оно преобразует аналоговые сигналы с прецизионных потенциометров в двенадцатибитные числа (от 0 до 4095) и передаёт их в UDP-пакете по сети. Фактически присутствие этого устройства необязательно, те же функции могут успешно выполняться программным обеспечением на ПК, включённом в сеть. Оно было разработано и включено в систему из соображений удобства для специалиста-настройщика, то есть для постепенного перехода к цифровой настройке. Вторая часть устройства выполняет обратное преобразование с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ) и фильтра нижних частот. Устройство имеет три гальванически развязанных канала, что делает его универсальным при настройке системы. Диапазон регулировки зависит от величины опорного напряжения, которое может достигать 30 В.

В качестве устройства вывода может быть использован любой ПК, включённый в сеть. В рамках разработки системы была так же создана программа для ПК, отображающая текущее значение.

Результатом работы являются два универсальных самостоятельных устройства, которые могут быть использованы как в системе, так и по отдельности. Устройство было испытано в лабораторных условиях на рабочем бетатроне. Также были проведены испытания с переходом на радиоканал (стандарт Wi-Fi). Устройство продемонстрировало стабильную работу в условиях сильных электромагнитных помех и ионизирующего излучения.

Разработка устройства косвенным образом приближает процесс модернизации бетатрона к одной из основных её целей — переходу к полностью автоматической цифровой настройке ускорителя. Методики, разработанные в процессе проектирования устройства, будут применены в будущем при реализации системы автоматической настройки. А разработанные устройства, благодаря своей гибкости и возможности перепрограммирования, могут применяться в широком диапазоне задач дистанционного регулирования параметров в прикладных инженерных разработках и научных исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Krieger H. Strahlungsquellen für Technik und Medizin. — Auflage: 2. — Springer Spektrum, 2013. — 503 с.
- 2) Черняев А.П., Ускорители в современном мире. — М.: Издательство Московского университета, 2012. — 368 с.
- 3) Ананьев Л.М., Воробьев А.А., Горбунов В.И., Индукционный ускоритель электронов — бетатрон. — М.: Госатомиздат, 1961. — 350 с.
- 4) Хоровиц П., Искусство схемотехники : пер. с англ. / П. Хоровиц, У. Хилл. — 6-е изд.. — М.: Мир, 2003. — 704 с.
- 5) Таненбаум Э.С. Компьютерные сети : пер. с англ. / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл. — 5-е изд.. — Санкт-Петербург: Питер, 2012. — 955 с.
- 6) STM32F407xx Advanced ARM-based 32-bit MCUs // Reference manual, STMicroelectronics