

А.Г. Мирошниченко¹, В.Д. Шильцев¹, И.В. Харлан¹, К.Е. Смирнов²,

¹ ФГУП «Научно-исследовательский институт
электрофизической аппаратуры им. Д.В. Ефремова»

² ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Унифицированная автоматизированная система управления высокочастотными генераторами циклотронов на базе программируемой логической интегральной схемы

Представлены результаты схемотехнической, конструкторско-технологической и компьютерной разработки унифицированной системы управления высокочастотными генераторами различного назначения. Система построена на современной цифровой элементной базе и с помощью созданного программного обеспечения может быть использована для управления генераторами циклотронов, предназначенных для ускорения разнообразных типов частиц до требуемой энергии.

Ключевые слова: система управления генераторами циклотронов

Циклические ускорители заряженных частиц в настоящее время находят широкое применение в науке, медицине, атомной энергетике и других областях народного хозяйства. Физические частицы, обладающие зарядом, ускоряются в резонансной системе циклотрона за счет многократного прохождения зазора между дуантами с высокой разностью потенциалов, создаваемых высокочастотным генератором (ВЧ), при наличии магнитного поля. Электрическое поле, создаваемое на дуантах, должно быть переменным с высокой частотой (десятки МГц) и стабильными параметрами по амплитуде и фазе.

ВЧ генератор как и циклотрон в целом является сложным устройством, для которого получение стабильных и точных рабочих характеристик требует постоянного контроля, отслеживания большого количества параметров и незамедлительных действий при их отклонении от номинальных значений. Управление такими устройствами в ручном режиме очень затруднительно и неэффективно. Поэтому управлять и следить за работой генератора должна автоматизированная система. До недавнего времени такие системы управления разрабатывались на схемах с использованием электромеханических контакторов, реле и т.д. Таким системам управления был свойственен ряд недостатков, основными из которых были малое быстродействие, слабая надежность в работе и плохая стабильность. На данный момент в связи с бурным развитием цифровых технологий такие системы являются устаревшими и необходимо заменить их на более современные, обладающие меньшими габаритами, лучшим быстродействием, высокой степенью надежности и универсальности с возможностью адаптации к другим аналогичным структурам. В связи с этим было принято решение разработать унифицированную систему управления генератором и испытать ее на базе циклотрона СС-3-1 с последующим внедрением.

Структурная схема ВЧ генератора, разработанная в ФГУП «НИИЭФА им. Д. В. Ефремова» с выходной мощностью 5 кВт представлена на рис. 1. Схема включает контроллер управления генератором с использованием микропроцессорной технологии,

модуль управления с синтезатором частоты и автоматикой для стабилизации параметров генератора, трехкаскадный усилитель мощности с устройством пуска и источниками питания.

Как известно, алгоритм управления любым сложным устройством, в данном случае генератором, представляет собой поэтапное поступление команд управления, анализ их выполнения по сигналам с датчиков с описанием условий и принятие решения. Для реализации таких задач целесообразно применить программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС), для структурирования которой требуется специализированное программное обеспечение. Для реализации этой задачи использовался программный пакет Quartus II[1], который поддерживает достаточно большое количество ПЛИС различных семейств микросхем фирмы ALTERA, в том числе и MAX II[2], на основе которой и была создана данная схема управления. Программный пакет позволяет создавать схемы с помощью соединения простых логических элементов или описанием алгоритма работы на языке VHDL[3].

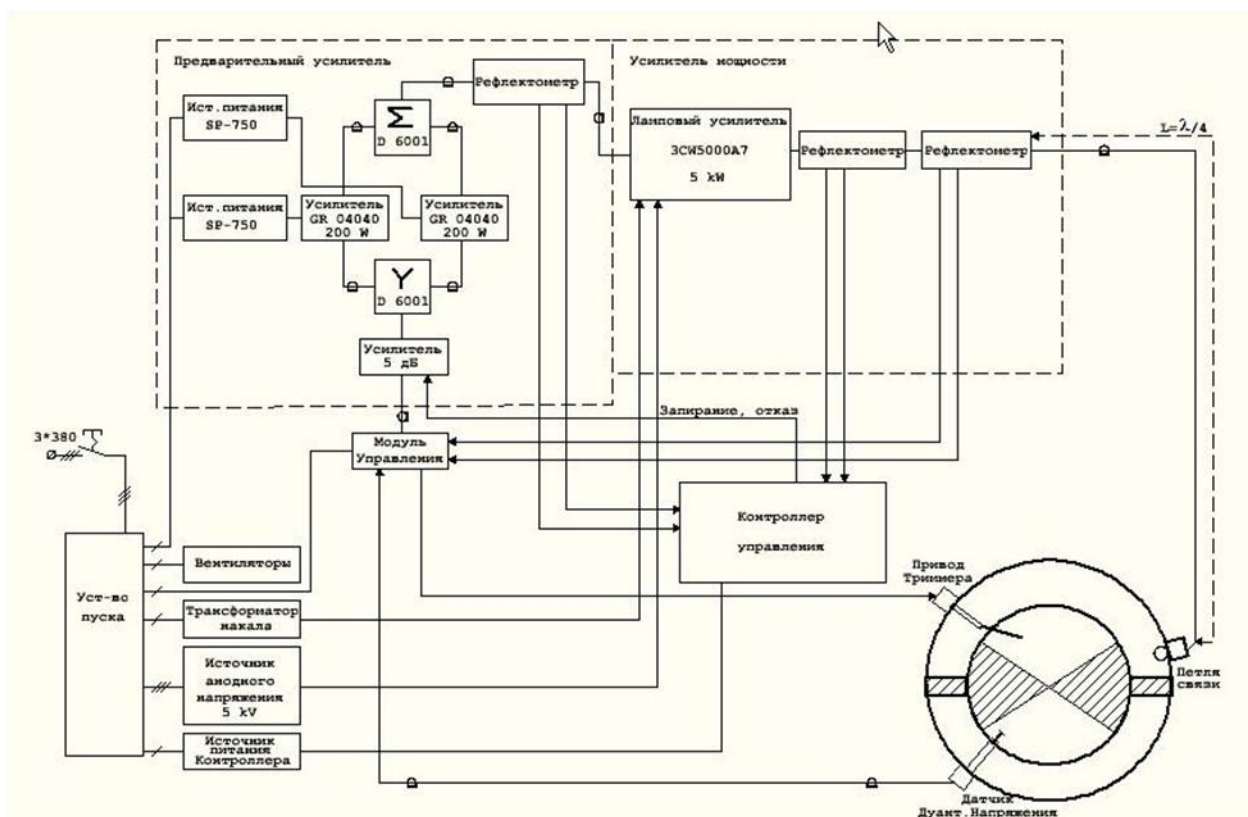


Рисунок 1

Алгоритм управления строится таким образом, чтобы все было максимально автоматизировано и упрощало действия оператора. В функции автоматического управления в частности входят:

- включение и выключение системы с обязательным выполнением условий техники безопасности;
- автоматическое управление частотой, уровнем возбуждения и скважностью;
- непрерывное измерение параметров генератора и контроль за их состоянием;
- надежная защита при сбоях в работе.

В связи с вышесказанным автоматическое управление генератором разбито на ряд подпрограмм, поэтапно связанных между собой. Вследствие сложности устройства генератора требуется особый порядок включения и выключения.

Сразу после подачи питания на шкаф генератора начинают работу все датчики, следящие за состоянием его работы, а именно:

- датчики состояния дверей шкафа;
- датчики системы охлаждения (вода и воздух);
- датчики температуры;
- датчики тока и напряжения;
- датчик измерения КСВ.

При возникновении какой – либо аварийной ситуации генератор полностью или частично (в зависимости от типа аварии) выключается и на лицевую панель выводится информация о причине аварии. Также в процессе работы контролируются выходные параметры генератора, при выходе которых за допустимые пределы также происходит отключение и остановка работы генератора.

Для реализации алгоритма необходимо два вида датчиков: логические – для реализации функций включение – выключение и аналоговые – для измерения основных параметров. К числу первых можно отнести компараторы, концевые выключатели, аэроконтакты, датчики протока жидкости и т.д. Большинство датчиков представляет собой аналоговые сигналы (измерители прямой и обратной волны, температуры, мощности, напряжения и токов). Для ввода в микроконтроллер их преобразовывают в цифровой код с помощью АЦП, измеренные результаты контроллер выводит на дисплей, расположенный на передней панели шкафа. В штатном режиме работы на дисплей выводится значения падающей и отраженной выходной мощности, значения питающих напряжений и потребляемых токов. В случае аварийной остановки генератора, произошедшей по причине выхода за пределы допустимых значений какой-либо из указанных величин, на дисплее фиксируется превышенное значение.

Основное требование к датчикам – быстродействие, определяющее надежность работы аппаратуры. Например, для твердотельных усилителей LD600-10.80 время выключения при аварии (например, превышении КСВ) составляет 5 мкс. Такое быстродействие не может обеспечить контроллер управления, принимающий сигнал аварии и формирующий сигнал запрета с передачей по последовательному интерфейсу RS232. Поэтому для выработки такого сигнала применяется компаратор, расположенный непосредственно в устройстве контроля и защиты, стоящего рядом с усилителями и запирающим ВЧ тракт при аварии на время, достаточное для формирования и дальнейшего запрета с помощью микроконтроллера управления.

Основные требования к измерительным сигналам – точность измерения, которой определяется надежность и стабильность параметров. Например, чем шире температурные уходы контура по частоте, тем выше должна быть точность измерения. В нашем случае она составляет 0,5%. При выходе сигнала датчика за пределы допуска контроллер реагирует по-разному. Так, например, пропадание мощности в нагрузке или превышение токов источников питания воспринимается как полный отказ и запирает ВЧ тракт. При частичных

отказах (снижение уровня мощности или напряжения питания ниже порога) контроллер может ограничиваться сигналами предупреждения. Часть электрической схемы управления генератором на этапах включения и выключения приведена на рис. 2.

Чтобы уменьшить вероятность прохождения помехи все сигналы, идущие с контроллера управления и поступающие в него, гальванически развязаны через оптопары. Также для обеспечения защиты от коротких помех и дребезга контактов схема работает таким образом, что все команды срабатывают только если их длительность больше 40 мс. Данная схема является синхронной. Поэтому на один из входов подается тактовый сигнал с кварцевого генератора. Частота тактового сигнала составляет 50 МГц. Тактовый сигнал последовательно проходит несколько делителей, чтобы получить сигналы с большим периодом, чем выдает кварцевый генератор. Сигнал с периодом 5 мс используется для защиты от дребезга, с периодом 0,25 с для работы аварийной индикации, с периодом 1 с для отсчета времени. В зависимости от включенного вида управления (местное или дистанционное) в схеме переключаются мультиплексоры. Для построения схемы используются различные логические элементы.

Тестирование системы управления проводилось на базе генератора циклотрона СС-3-1. Однако при соответствующем перепрограммировании, вследствие ее унифицированности, она может быть использована для управления генераторами циклотронов других типов.

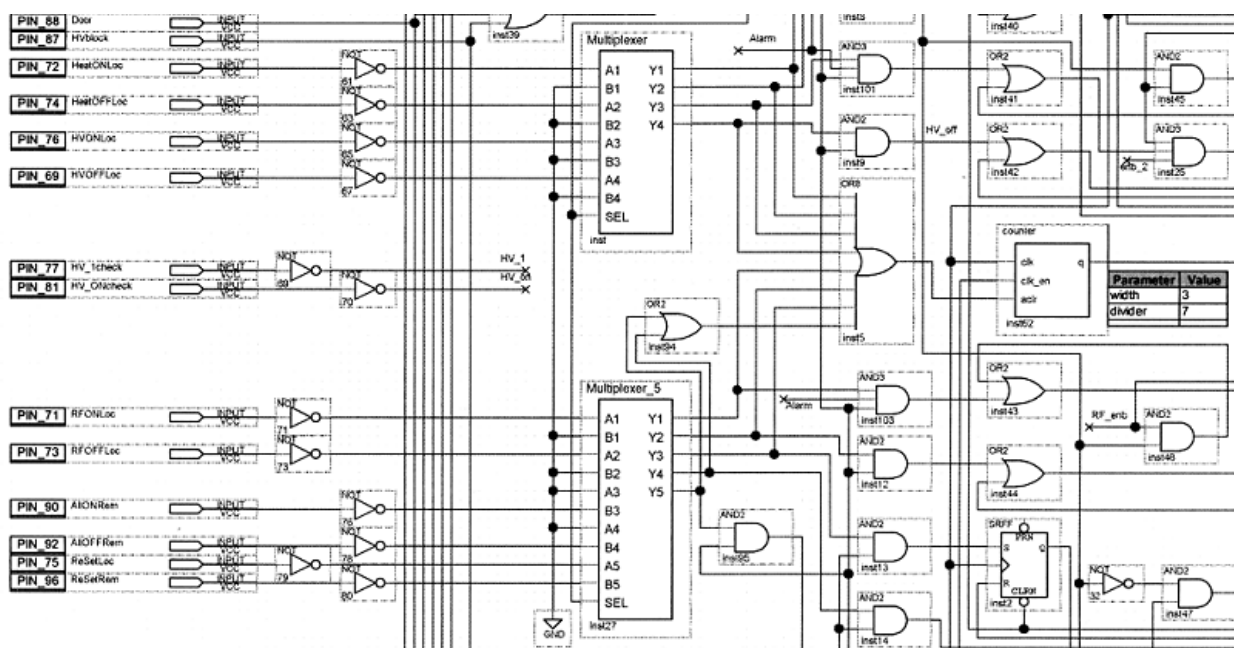


Рисунок 2

Библиографический список

1. Altera Corporation. Quartus II Version 8.0 Handbook. 2008.
2. Altera Corporation. MAX II Device Handbook. 2004.
3. Volnei A. Pedroni. Circuit Design with VHDL / Pedroni, Volnei A. // MIT Press - 2004