

Линейный модулятор микротрона

Г.М. Казакевич, В.В. Ращенко, Ю.Ф. Токарев

Институт ядерной физики им. Г.И.Буджера СО РАН, Новосибирск, Россия

Введение

Модулятор предназначен для работы с магнетроном МИ-456, входящим в состав ВЧ-системы 10-см микротрона-инжектора [1], который используется в настоящее время для создания ИК-лазера на свободных электронах. Модулятор обеспечивает получение импульсов тока с амплитудой до 130 А при напряжении до 55 кВ и длительностью по уровню 0,5–8 мкс. Частота следования импульсов 1–25 Гц.

Одной из особенностей модулятора является применение высокочастотных импульсных преобразователей с быстродействующей системой управления для зарядки фильтровой емкости высоковольтного выпрямителя. Это позволило существенно повысить точность установки зарядного напряжения, а также существенно уменьшить габариты и вес модулятора. Управление модулятором осуществляется от персонального компьютера через систему КАМАК.

Описание установки

Упрощенная схема модулятора приведена на рис. 1. В модуляторе используется резонансный заряд 20-звенной искусственной линии Л1–Л4 через отсекающий диод D1. Коммутация линии осуществляется тиратроном ТГИ1–1000/25.

Зарядный преобразователь представляет собой мостовой инвертор с ключевым стабилизатором тока, преобразующий выпрямленное напряжение сети в переменное напряжение 250 В 25 кГц с ограничением выходного тока до 8 А. По внешней команде РАБОТАЙ/СТОЙ преобразователь включает/выключает выходной ток. Время включения/выключения не превышает 40 мкс.

Один преобразователь обеспечивает работу модулятора с частотой 10–15 Гц. Для увеличения выходной мощности предусмотрена возможность объединения в параллель по выходу нескольких преобразователей. При этом их выходной ток суммируется. Упрощенная принципиальная схема силовой части преобразователя представлена на рис.2 [2]. Напряжение сети, выпрямленное диодным мостом VD1–VD4, поступает через тиристор VD5 и зарядный резистор R1 на фильтровую емкость C4. На транзисторе VT1, диоде VD6 и дросселе L1 построен ключевой стабилизатор тока, который задает величину выходного тока преобразователя. Мостовой инвертор на транзисторах VT2–VT5 преобразует постоянное напряжение, снимаемое с выхода ключевого стабилизатора, в переменное частотой 25 кГц. Выход преобразователя гальванически отведен от сети через трансформаторы Т3–Т7 и нагружен на повышающий трансформатор Т1 (рис.1) с выходным напряжением 4 кВ.

При поступлении извне команды РАБОТАЙ открывается транзистор VT1 ключевого стабилизатора, и поочередно с частотой 25 кГц открываются пары транзисторов VT2VT5 и VT3VT4 мостового инвертора, формируя на первичных обмотках трансформаторов Т3 – Т7 переменное напряжение. Транзистор VT1 поддерживается открытым непрерывно до тех пор, пока ток дросселя L1 не превысит заданного уровня. После этого транзистор запирается, ток дросселя течет через диод VD6, и дроссель отдает накопленную энергию в нагрузку. При снижении тока до определенного значения транзистор VT1 снова отпирается. Таким образом ток дросселя, а значит и выходной ток преобразователя поддерживается около заданной величины. При поступлении команды СТОЙ все транзисторы запираются, а дроссель возвращает свою энергию в фильтровую емкость через диоды VD6 и VD7.

Одной из особенностей описываемого преобразователя является то, что процессы переключения в нем синхронизируются от внутреннего задающего генератора, работающего на частоте 50 кГц. Это обеспечивает высокую помехоустойчивость всех узлов преобразователя. Кроме того, имеется возможность внешней синхронизации задающего генератора. В описываемом источнике питания модулятора установлен единый задающий генератор, который синхронизирует работу преобразователя, а также процессы измерения в блоке управления.

При параллельном соединении выходов нескольких преобразователей с целью увеличения выходной мощности частота и фаза выходного напряжения каждого преобразователя должны быть строго синхронизированы. Как было указано выше, система имеет единый задающий генератор. Этот генератор помимо синхросигнала 50 кГц вырабатывает для преобразователей сигнал полярности частотой 25 кГц. Этим сигналом определяется полярность выходного напряжения каждого преобразователя.

Блок управления управляет процессом зарядки. Напряжение на фильтровой емкости высоковольтного выпрямителя через высоковольтный делитель сравнивается с заданным уровнем, и в зависимости от результата сравнения генерируется команда РАБОТАЙ/СТОЙ для зарядного преобразователя. Данная система обеспечивает точность зарядки не хуже 0,1%.

Для повышения надежности работы всей системы питания предусмотрено принудительное отключение зарядного преобразователя непосредственно перед запуском тиратрона и возобновление процесса зарядки только через 3 мс после разряда линии. Для этого перед импульсом запуска тиратрона в блок управления приходит импульс БЛАНК, который блокирует систему зарядки на 3 мс. Запуск тиратрона осуществляется подмодулятором на тиристоре ТЧ–25.

Искусственная линия модулятора состоит из четырех пятизвенных линий ПЛ–02 со средним волновым сопротивлением 25 Ом. Защита модулятора от перенапряжения в линии, возникающего при искрении в магнетроне, осуществляется резистивно–диодными цепочками R1D2, R2D3. Цепочка L2R3 позволяет существенно уменьшить амплитудную модуляцию вершины импульса тока магнетрона [3]. Индуктивности искусственной линии допускают перестройку в пределах 16–33 мкГ, что позволяет изменять волновое сопротивление вдоль линии примерно в 1,5 раза. Благодаря этому удается осуществить компенсацию потерь на намагничивание сердечника импульсного трансформатора и получить скос вершины импульса не более 1% при токе около 100 А и длительности импульса тока магнетрона по уровню 0,9 не менее 6,5 мкс. Осциллограммы импульса тока магнетрона (кривая а) и огибающей СВЧ–

импульса (кривая b) представлены на рис.3. Модулятор размещен в шкафу размером 1900 × 900 × 600 мм. Зарядные преобразователи и блок управления занимают 1 этаж радиостойки ВИШНЯ.

Заключение

Описанный модулятор эксплуатировался примерно в течение года в составе ускорителя типа микротрон и продемонстрировал высокую надежность и стабильность в работе. Осциллограмма импульса тока пучка на мишени, установленной на последней орбите микротрона, при использовании данного модулятора приведена на рис.4.

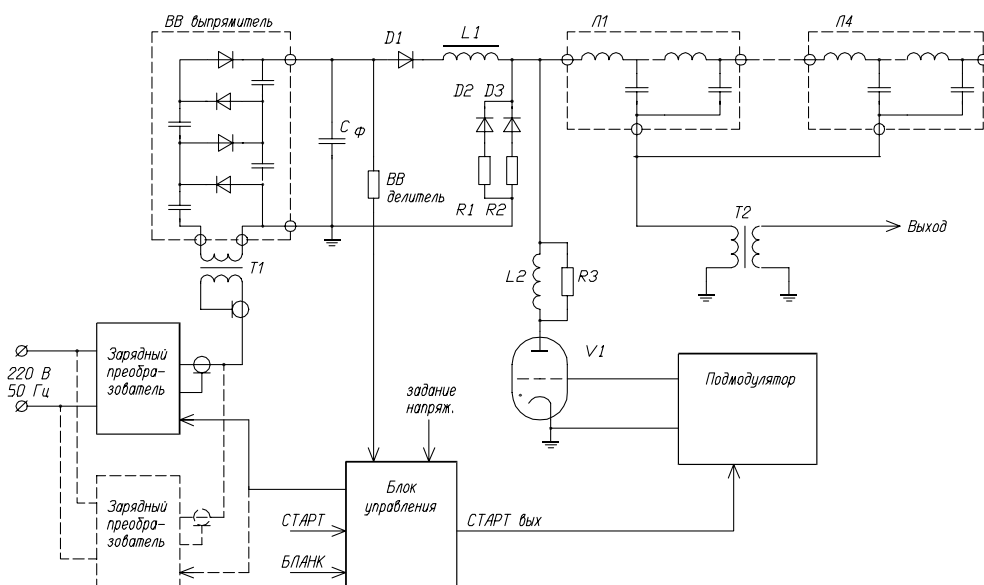


Рис.1. Упрощенная схема модулятора.

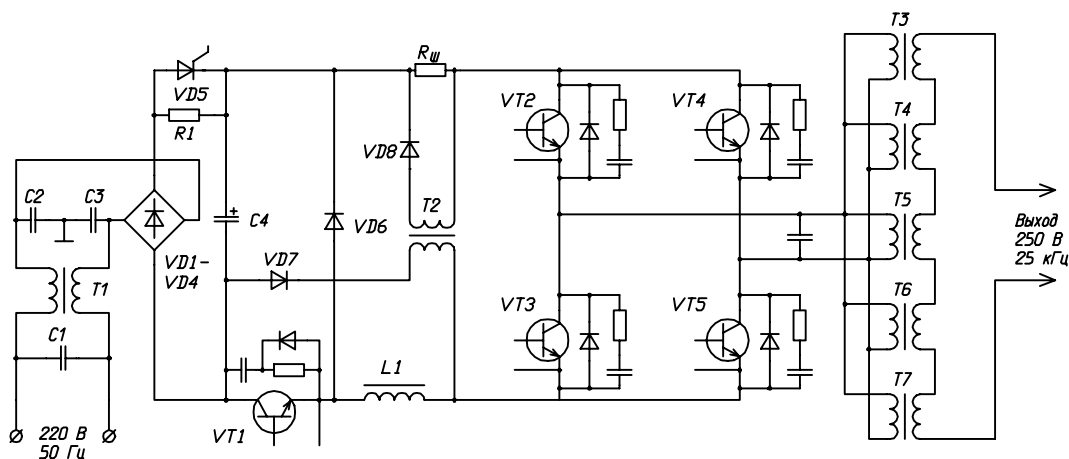


Рис.2. Принципиальная схема силовой части преобразователя.

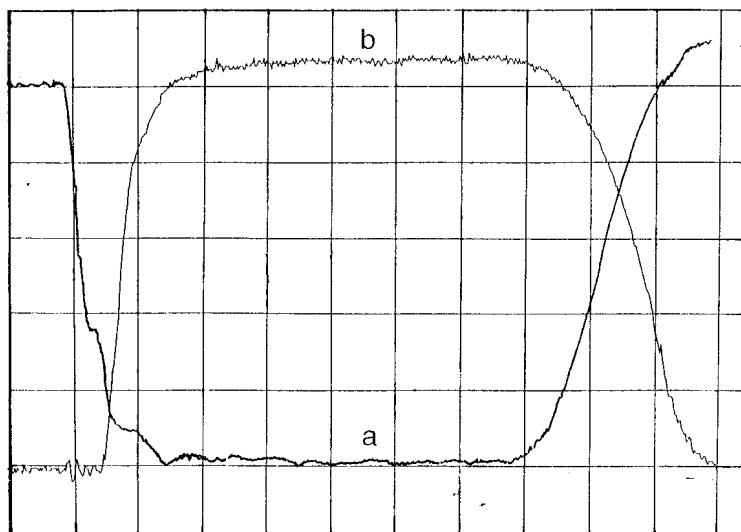


Рис.3. Осциллограмма импульса тока магнетрона (а) – 20 А/дел. и огибающей СВЧ – импульса (b) – 50 мВ/дел. Временной масштаб – 1 мкс/дел.

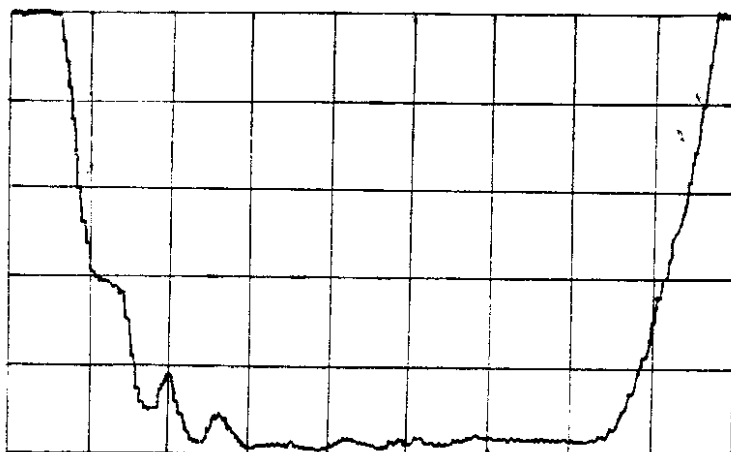


Рис.4. Осциллограмма импульса тока пучка 10 мА/дел., 1 мкс/дел.

Список литературы

- [1] *G. M. Kazakevich, V. N. Marusov, G. I. Silvestrov.* 8 MeV Microtron - the Injector for an Electron Synchrotron. ASFEL, Novosibirsk, 1996, с. 257-261
- [2] *И. Е. Валька, Ю. Ф. Токарев.* Многоканальный импульсный генератор для магнитных элементов установки ВЭПП-2М. XIV конференция, Протвино, 1994, с.114.
- [3] *С. И. Евтянов, Г. Е. Редькин.* Импульсные модуляторы с искусственной линией. М., “Советское радио”, 1973.