

Модернизация источников питания системы локального искажения орбиты ускорителя У-70

С.А. Белов, М.Н. Горохов, А.А. Кардаш, В.А. Медведев, Е.Ф. Троянов
ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

Развитие систем вывода У-70 потребовало улучшения параметров источников питания обмоток цепей локального искажения орбиты. Разработанные в 1976 году источники питания системы медленного наведения протонного пучка на внутренние мишени [1] на основе статических релейных регуляторов напряжения (сменившие источники формирования тока в дополнительных обмотках на основе управляемых тиристорных преобразователей, питаемых от синхронных генераторов [2]) имели большую надежность, возможность быстрого тиражирования, но и существенный недостаток – невозможность работы вне пределов плато магнитного поля. При наличии наведенной ЭДС эти источники могли выходить из строя, что иногда и имело место при сбоях в работе ускорительного комплекса (например, при аварийном укорочении плато магнитного поля). При длительности плато магнитного цикла в 2 сек. системы позволяли иметь растяжку вторичных частиц пучка в пределах 1.6 – 1.65 сек, остальное время использовалось на нарастание, спад тока и страховочное время на плато магнитного поля.

В работе рассматривается модернизация системы. По-прежнему используется мостовая полууправляемая схема ключевого регулятора (рис. 1), в плечах которого применяются мощные полевые транзисторы типа IRFP460 (20 А, 500 В, 280 Вт) и ультрабыстрые диоды типа HFA15TB60 (15 А, 600 В, 60 нсек) [3], включенные по 46 штук в параллель.

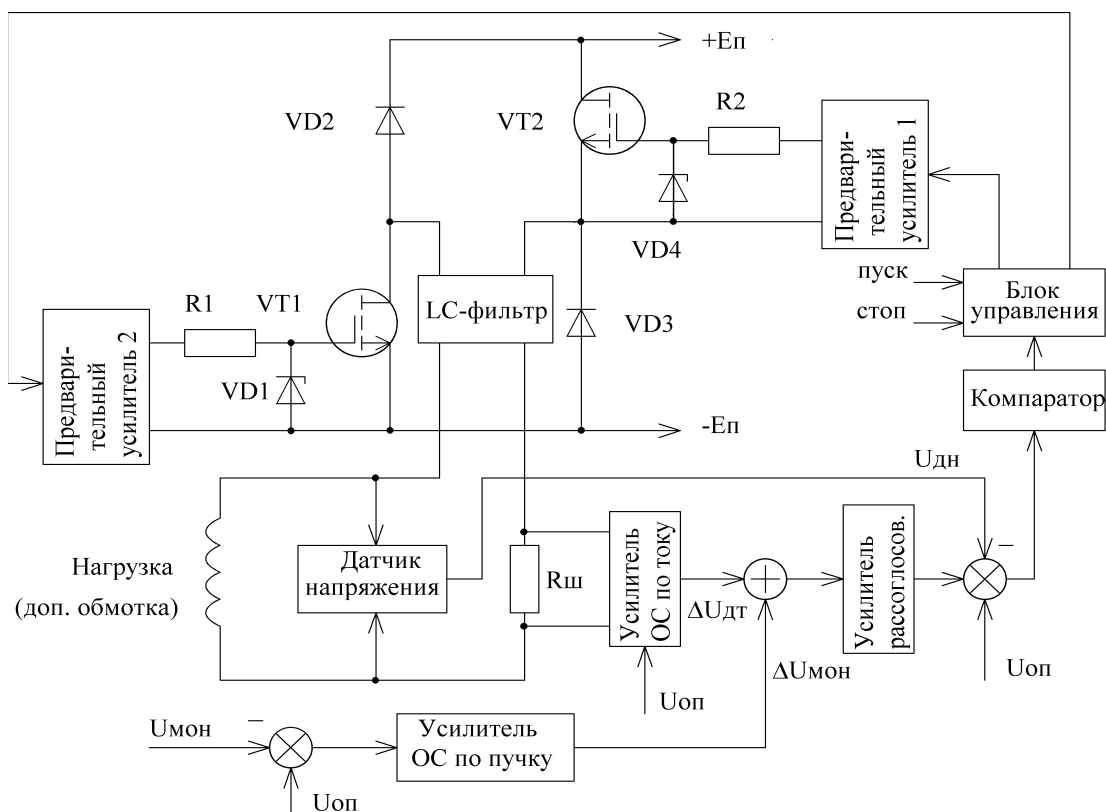


Рис. 1. Схема ключевого источника питания системы локального искажения орбиты.

Основное преимущество новой системы – более высокая надежность и возможность включения/выключения источников за пределами основного плато магнитного поля, то есть при наличии знакопеременной наведенной ЭДС (рис. 2). Это позволяет увеличить время вывода вторичных частиц на 0.2 – 0.25 сек (рис. 3). Для защиты затворов полевых транзисторов (ПТ) от пробоя на входе каждого транзистора включены ограничивающий напряжение стабилитрон и сопротивление, демпфирующие паразитные колебания в контуре, образованном индуктивностью подводящих проводов и входной емкостью ПТ [4, 5]. Особенностью работы предварительного усилителя является то, что он должен работать на значительную суммарную входную емкость мощных полевых транзисторов (~ 0.25 мкФ), поэтому в его оконечном каскаде используются полевые транзисторы с *p*- и *n*-каналом (IRF9540 100 В, 19 А и BUZ11 50 В, 30 А). Гальваническая развязка сигналов управления производится через оптопару типа АОД 130А.

Источники питания (180 В, 200 А) должны работать в двух режимах: с обратной связью по пучку (стабилизация интенсивности потока вторичных частиц с мишени) или с обратной связью по току (создание стабильных искажений орбиты пучка в заданном районе).

Поскольку коэффициент передачи системы в схеме с обратной связью по пучку необходимо менять в широких пределах (он зависит от интенсивности ускоренного пучка, его формы, материала мишени и др.), то для построения усилителя обратной связи были использованы программируемые инструментальные усилители (PGA202 и PGA207) с коэффициентом усиления, регулируемым цифровым кодом. Регулирование осуществляется от системы автоматического управления ускорителем или вручную.

Напряжение обратной связи по току снимается со стандартного шунта типа 75ШСММ3 (75 мВ/100 А /0.5). Сигнал с шунта усиливается усилителем с большим коэффициентом подавления синфазной помехи и через прецизионный изолирующий усилитель ISO122 [6] подается в схему сравнения системы стабилизации тока и на систему контроля для осциллографического наблюдения.

Синхронизация и управление источниками осуществляется через блок управления. Он также контролирует состояние источника питания и при возникновении аварийного режима (I_{max} , $U_{с. max}$, обрыв защитных предохранителей в цепях стока мощных выходных ПТ, длительное протекание тока) блокирует прохождение сигналов управления на систему.

Применение в ключевом регуляторе полевых транзисторов и ультрабыстрых диодов позволило резко снизить потери на переключение. В результате этого стало возможным поднять частоту переключения релейного регулятора до 10 кГц и снизить уровень пульсаций в режиме стабилизации тока. Для этого также был изготовлен широкополосный датчик напряжения с большим коэффициентом подавления синфазной помехи с применением маломощного прецизионного усилителя типа ОРА37 и изменена схема выходного фильтра, формирующего ЛАФЧХ.

В схемах формирования локального искажения орбиты используются, как правило, нормальные и короткие блоки электромагнита. При одинаковых токах силы отклонения наводящего и компенсирующего блоков различаются на 10%. С помощью обратных проводников произведено увеличение силы отклонения коротких блоков (добавлено по 2 витка на верхнем и нижнем полюсе). В результате различие в силах отклонения уменьшено до 1%.

Для выравнивания токов наводящих и компенсирующих блоков предусмотрена возможность последовательного соединения источников питания и обмоток этих блоков, как в схемах стабилизации тока, так и при обратной связи по пучку.

С целью дальнейшего снижения потерь времени на плато магнитного поля разработан новый источник питания для локального искажения орбиты в районе мишени-перехватчика пучка. Источник питания собран также по мостовой полупроводниковой схеме с использованием IGBT транзисторов типа IRG4PH50U (1200 В, 45 А, 200В т) и диодов типа HFA30PB120 (1200 В, 30 А, 37 нсек). Он позволяет в четыре раза увеличить скорость наведения пучка на мишень-перехватчик за счет увеличения скорости нарастания тока в обмотке блока (питающее напряжение источника повышено до 500 В).

Заключение

В настоящее время модернизировано 16 источников питания из 20. В результате повышена надежность источников питания систем медленного наведения пучка на мишени, появилась возможность включать и выключать их за пределами плато магнитного поля, что дает увеличение длительности растяжки вторичных частиц пучка на 0.2 – 0.25 сек. Создание нового источника питания локального искажения орбиты для мишени-перехватчика пучка дает дополнительно увеличение растяжки вторичных частиц пучка на 20 – 40 мсек.

Выравнивание сил отклонения наводящих и компенсирующих блоков дает возможность последовательно соединить источники питания и обмоток этих блоков (с целью компенсации искажений равновесной орбиты пучка, что важно для работы установки “Кристалл – 19” и внутренних мишеней).

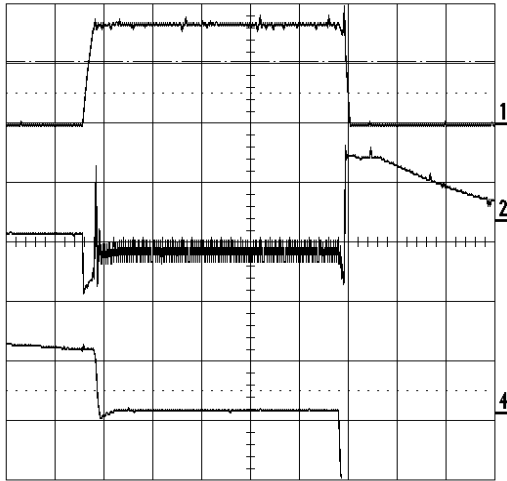


Рис. 2. Режим стабилизации тока:
 1 – ток бампа 26-го блока (100 А/дел),
 2 – напряжение на выходе РР (125 В/дел),
 4 – наведенная ЭДС 5-го блока.

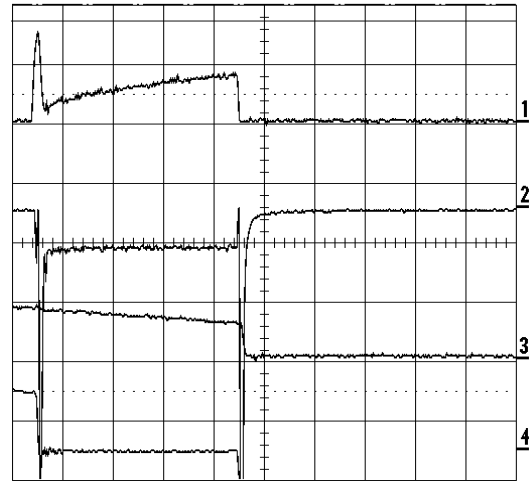


Рис. 3. Режим с обратной связью по пучку:
 1 – ток бампа 20-го блока (100 А/дел),
 2 – сигнал монитора 24 мишени,
 3 – сигнал интенсивности,
 4 – наведенная ЭДС 5-го блока.

Авторы выражают благодарность Ю.С. Федотову за обсуждение данной работы, В.В. Жаренкову, С.Р. Журавлеву, В.П. Карнаухову, А.С. Клинышеву, С.И. Коновалову, Н.В. Никулову, Н.Д. Соковинову и В.В. Шемякину за огромный труд по модернизации систем и выравнивание сил отклонения блоков.

Литература

- [1] С.А. Белов, А.А. Кардаш и др. – Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, том I, стр. 198, (Дубна, 1978), Дубна, 1979.
- [2] В.И. Гридасов, А.А. Кардаш и др. Атомная энергия, №6, с.520; Препринт ИФВЭ 70-57, Серпухов, 1970.
- [3] Каталог “КОМПЭЛ”. Электронные компоненты, Москва, 2000.
- [4] “Защита IGBT и MOSFET от действия электростатического электричества”. Электронные компоненты, №1, Москва, 1998.
- [5] J.B. Forsythe. “Paralleling of Power MOSFETs”, IEEE-IAS Conference Record, October, 1981.
- [6] Burr-Brown IC Data Book. Burr-Brown Corporation, 1998.