



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

98-213

P9-98-213

Б.Д.Омельченко, Б.В.Василишин, В.И.Волков,
В.Н.Карпинский, А.Д.Коваленко, А.А.Смирнов,
А.П.Царенков

СТАТУС ГЛАВНОЙ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ
НУКЛОТРОНА

Направлено в Оргкомитет XVII Международной конференции
по ускорителям на высокие энергии, 7-12 сентября 1998 г., Дубна

1998

1. ВВЕДЕНИЕ

Нуклотрон предназначен для ускорения нуклонов и многозарядных ионов, включая тяжелые ионы (урана), до энергии 6 ГэВ/нуклон при отношении заряда к массе $Z/A = 1/2$ [1].

Длина окружности магнитного кольца нуклотрона составляет около 251,1 м. Магнитные цепи синхротрона содержат 96 дипольных СП-магнитов (поворотных магнитов ВМ, суммарная индуктивность около 100мГн) и 64 квадрупольных СП-магнитов (QM, суммарная индуктивность около 20мГн), разделенных на две группы (фокусирующие и дефокусирующие магниты), соединенные последовательно. Кроме того, имеются два эталонных дипольных СП-магнита (BRM) и четыре эталонных квадрупольных СП-магнита (GRM), которые смонтированы и соответствующим образом подключены для измерения магнитных полей методом так называемых В- и G-часов.

Максимальная величина магнитного поля - около 2 Тл; максимальная величина тока возбуждения - до 6 кА; длительность площадки медленного вывода пучка в кривой тока возбуждения - до 10с; повторяемость циклов возбуждения - $0,05 \pm 0,2$ Гц.

2. ОБОРУДОВАНИЕ ГСПН

2.1. Источник питания ВМ

Источник (1) питания ВМ изображен на рис.1. Основа источника - 12-фазный тиристорный выпрямитель (TR₁, выходные параметры - 300В, 6кА).

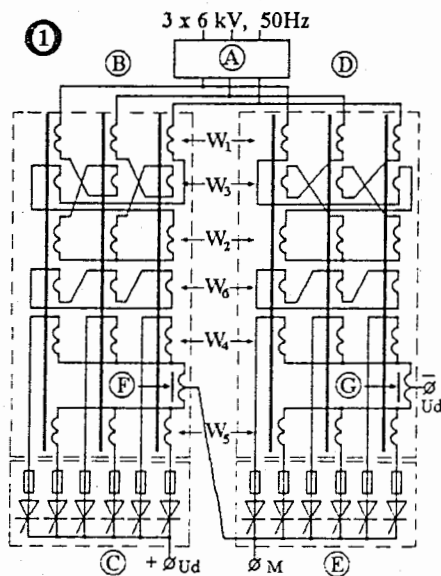


Рисунок 1. Источник питания поворотных магнитов.

A - высоковольтный токочный выключатель.

M - средняя точка каскадной схемы.

TR₁ построен из двух 6-фазных тиристорных выпрямителей Кюблера (С и Е), которые содержат уравнивательные реакторы (F и G) и имеют каскадное соединение.

Необходимые фазовые сдвиги напряжений питания TR₁ достигнуты за счет фазового сдвига на ± 15 электрических градусов с помощью сетевых обмоток (W_1+W_2 и W_3) трансформаторов (В и D) выпрямителей.

Сетевые обмотки соединены в схемы зигзагов. При этом зигзаги выполнены с прецизионными сдвигами синусоид:

$$K_z = \frac{W_3}{W_1 + W_2} = 0,36604,$$

в то время как теоретический $K_z = 0,36603$.

Вторичные обмотки (W_4 и W_5) трансформаторов В и D соединены в классические схемы Кюблера.

В дополнение магнитопроводы указанных трансформаторов снабжены балансирующими обмотками W_6 , которые соединены в схемы треугольников и служат для создания цепей тока 3-ей гармоники и для балансирования (симметрирования) магнитных потоков магнитопроводов трансформаторов.

2.2. Источник питания QM

Источник (2) питания QM изображен на рис.2. Основа источника - 12-фазный тиристорный выпрямитель (TR₂, выходные параметры - 150В, 6кА).

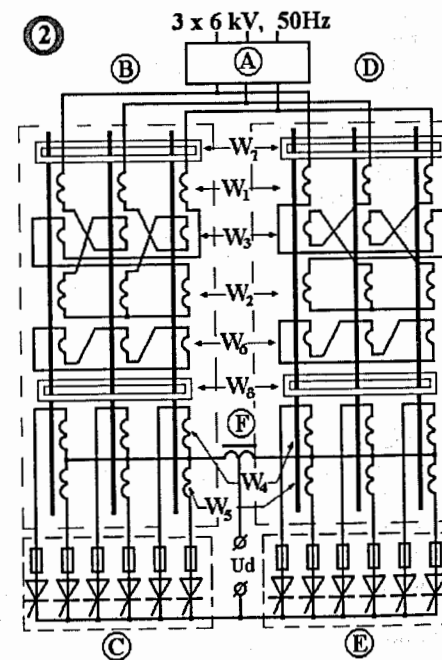


Рисунок 2. Источник питания квадрупольных магнитов

TR₂ построен из двух 6-фазных двухзвездных (прямая звезда и обратная) тиристорных выпрямителей (С и Е, обмотки W₄ и W₅), которые совместно с уравнительным реактором (F) образуют быстродействующий 12-фазный тиристорный выпрямитель Кюблера. Действие трансформаторных обмоток W₁+W₂, W₃ и W₆ было описано в 2.1. Кроме того, оба выпрямительных трансформатора (В и D) снабжены мощными симметричными супербалансирующими обмотками W₇ и W₈, которые охватывают все три ядра каждого трансформатора и существенно повышают эффективность действия обмоток W₆, увеличивая тяговую способность TR₂ путем повышения жесткости нагрузочной характеристики. Последнее обстоятельство особенно существенно при соединении сетевых обмоток в схему «зигзаг-звезда».

2.3. Силовые цепи нагрузки

Силовые цепи нагрузки (СЦН) источника (1) питания ВМ и источника (2) питания Q изображены на рис.3. Выходные цепи источников снабжены лишь однозвенными низкочастотными пассивными фильтрами (LPF, L₁-PF₁-L₂ и L₅-PF₂-L₆) и однозвенными высокочастотными фильтрами (HPF, L₃-C₁-C₂-L₄ и L₇-C₇-C₈-L₈).

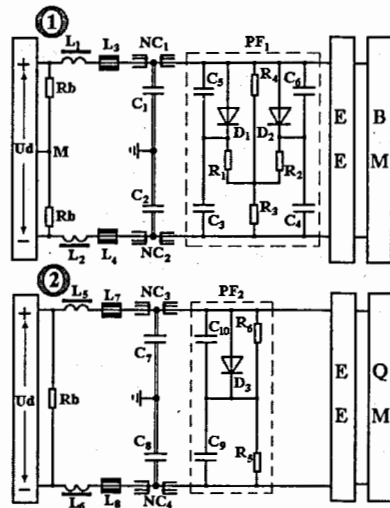


Рисунок 3. Силовые цепи нагрузки
 $L_1=L_2=L_5=L_6=3\text{мГн}$; $L_3=L_4=L_7=L_8=180...15\text{мкГн}$;
 $R_b=3,0$; $R_1=R_2=0,1$; $R_3=R_4=1,5$; $R_5=R_6=0,75$;
 $C_1=C_2=C_7=C_8=12\text{мкФ}$; $C_3...C_6=C_9=C_{10}=3,2\text{мФ}$

Фильтры LPF снабжены коммутаторами на кремниевых диодах, которые переключают структуру фильтров при переходе выпрямителей в инверторный режим. Делается это с целью экономии электроэнергии.

Фильтры HPF содержат шинные дроссели (L₃-L₄ и L₇-L₈), магнитопроводы которых выполнены из ламинированного трансформаторного железа и имеют так называемый распределенный воздушный зазор, и концентраторы электрических помех (NC₁-NC₂ и NC₃-NC₄). Концентраторы NC шунтированы демпфирующими

конденсаторами (C₁-C₂ и C₇-C₈), которые подключаются с помощью гибких полосовых волноводов. Кроме того, СЦН оборудованы тиристорными ключами (ЕЕ) для эвакуации энергии при переходе СП-обмоток ВМ и QM в так называемую нормальную фазу. Общее сопротивление постоянному току цепи ВМ составляет 10,7 мОм, для цепи QM - 8,5 мОм.

3. ЦЕПИ УПРАВЛЕНИЯ ГСПН

Цепи управления источника (1) питания ВМ и источника (2) питания QM изображены на рис.4.

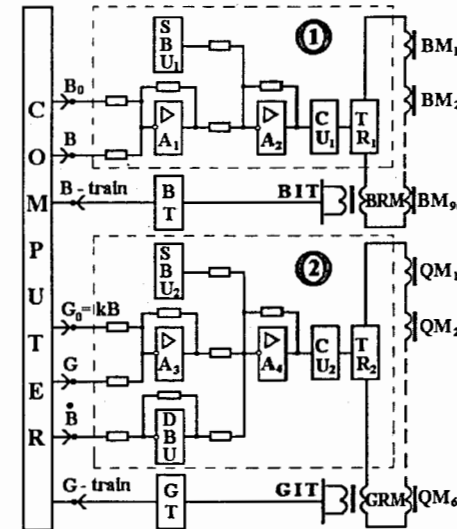


Рисунок 4. Схема цепей управления ГСПН.

Система управления состоит из одноконтурной системы регулирования с управлением по задающему воздействию (В₀) - для управления величиной магнитной индукции в ВМ, и из одноконтурной системы регулирования с управлением по задающему воздействию (G₀ = κ·В) и его первой производной (В̇) - для управления величиной градиента магнитной индукции в QM, образуя при этом следующую систему автоматического регулирования. Оборудование управления, в основном, состоит из блоков управления TR₁ и TR₂ (CU₁ и CU₂), суммирующих усилителей (A₂ и A₄), усилителя сигнала рассогласования (A₁), усилителя сигнала рассогласования следящей системы (A₃), блоков статического смещения (SBU₁ и SBU₂), блока динамического смещения (DBU), индукционного измерителя В (БИТ), индукционного измерителя G (ГИТ), В - таймера (BT), G - таймера (GT) и компьютера.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанная система управления и источники питания позволили выполнить необходимые требования к стабильности полей ВМ и QM в точке инъекции с

точностью лучше чем $5 \cdot 10^{-4}$; при этом 600-герцевая пульсация поля на площадке медленного вывода пучка в кривой тока возбуждения составила менее чем $5 \cdot 10^{-7}$ (пик-пик).

Системы показали высокую термостабильность и постоянство характеристик управления. ГСПН успешно и безаварийно использовалась во всех сеансах для прецизионного возбуждения магнитных структур нуклотрона при скорости подъема магнитного поля от одного до 10 кГ/с.

Реальный цикл потребления активной сетевой мощности (см. рис.5) характеризуется следующими параметрами: общая средняя мощность - 0,112 МВт, общая пиковая мощность - 2,6 МВт. Приведенные параметры указывают на высокую эффективность использования СП-обмоток возбуждения магнитных структур ускорителя.

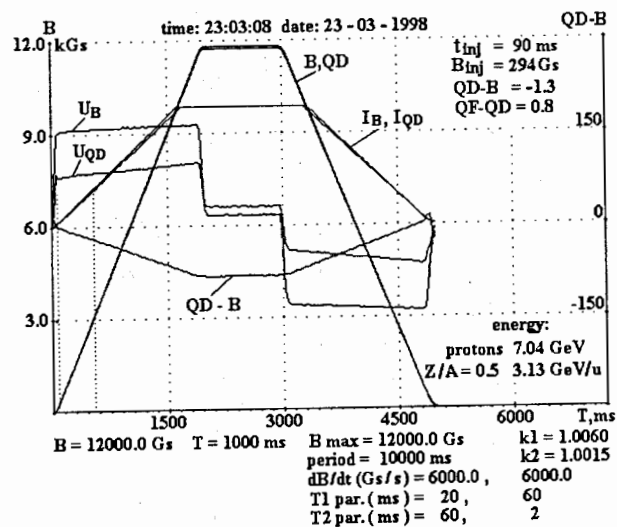


Рисунок 5. Пример реального цикла возбуждения ВМ и QM

В данное время благодаря потенциальным возможностям описанных систем процесс настройки и работа ускорителя стали обыденной процедурой [2].

5. БЛАГОДАРНОСТЬ

Мы рады выразить благодарность нашим коллегам за их вклад в дело создания главной системы питания нуклотрона. Авторы выражают особую признательность Л.Е.Свешниковой за помощь в подготовке данной работы к печати.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] A. D. Kovalenko, "Status of the Nuclotron", EPAC'94, London, June 1994.
 [2] V.Gorchenko et al, "Nuclotron main magnet power supply control system", EPAC'98, Stockholm, June 1998.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 июля 1998 года.

Омельченко Б.Д. и др.

P9-98-213

Статус главной системы питания нуклотрона

Дано описание главной системы питания нуклотрона — сверхпроводящего синхротрона, базирующегося на использовании СП-магнитов, поля которых формируются миниатюрными железными магнитопроводами, и введенного в действие в марте 1993 г. в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ. По настоящее время нуклотрон и его главная система питания (ГСПН), которая постоянно совершенствуется, успешно отработали 12 сеансов.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1998

Перевод авторов

Omelchenko B.D. et al.

P9-98-213

Status of the Nuclotron Main Power Supply System

The designed and achieved parameters of the Nuclotron main power supply system (MPSS) are presented. The MPSS consists of two separate circuits for dipole magnets and quadrupole lenses connected by feedback units.

The MPSS was used during 12 runs of the Nuclotron operation. The essential experimental results of the MPSS at the superconducting synchrotron are described.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1998