

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

9-87-755

А.В.Калмыков, А.Ф.Чеснов

**ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕГРЕВА
ЖЕЛЕЗНО-ТОКОВОЙ СЕКЦИИ
ВЫВОДНОГО КАНАЛА ФАЗОТРОНА ОИЯИ**

1987

Железно-токовая секция /ЖТС/^{1/} является первым элементом отклоняющего канала системы вывода пучка из фазотрона ОИЯИ на энергию протонов 680 МэВ^{2/}. Она состоит из ферромагнитной пластины и двух обмоток. Септумная обмотка содержит два независимо охлаждаемых витка, рассчитанных на рабочий ток $I=11$ кА. Максимальная плотность тока $j = 175$ А/мм². Септум выполнен в виде двух медных пластин с радиальной толщиной на входе /по движению пучка/ 0,4 см и на выходе - 1 см, которые имеют по три продольных канала для охлаждения размером 0,2x0,6 см² и $\phi = 0,56$ см соответственно. Корректирующая обмотка, рассчитанная на рабочий ток $I = 3,2$ кА, изготовлена из квадратного медного проводника со стороной 1 см и отверстием для охлаждения $\phi = 0,56$ см. Две обмотки охлаждаются дистиллированной водой при входном давлении $\Delta P = 6$ кг/см². В качестве изоляции обмоток используется окись алюминия (Al₂O₃), нанесенная на детали корпуса и части обмоток методом плазменного напыления, полиимидная пленка и стеклоткань.

При плотности тока ≥ 50 А/мм² возникает ряд специальных проблем^{3,4/}, которые необходимо учитывать при создании септумных магнитов. Одной из них является создание быстродействующей аппаратуры отключения в случае аварии в системе охлаждения и превышения максимально допустимой температуры нагрева септума. Время аварийного отключения при отсутствии охлаждающей воды можно оценить по выражению^{3/}

$$t_a = \frac{4,19 \rho C_p (T_M - T_H)}{P}, \quad /1/$$

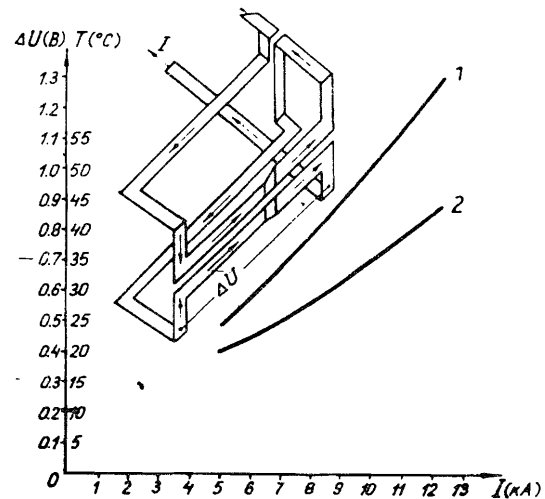
где ρ - плотность материала проводника, C_p - удельная теплоемкость, T_M - максимально допустимая температура охлаждаемой поверхности, T_H - максимально допустимая температура при нормальной работе, $P=j^2 r$ - выделяемая мощность в единице объема проводника, r - сопротивление. Величина T_H не может быть больше 100°С из-за возможности пленочного кипения на границе раздела металл - вода. Разность $T_M - T_H$ для тонкостенных септумных обмоток составляет $\sim 10 \div 20$ °С. При наличии охлаждающей воды время аварийного отключения будет расти пропорционально удельной теплоемкости воды, ее массе и допустимой разности температур. Для септумной обмотки ЖТС величина t_a составляет $\sim 0,09$ с.

Для защиты обмоток секции от перегрева и контроля температуры септума используется метод, основанный на измерении паде-

ния напряжений на верхней и нижней пластинах септума и на выходе корректирующей обмотки. Данные напряжения сравниваются с опорными напряжениями, которые соответствуют максимально допустимой температуре нагрева. Достоинством данного метода является то, что в качестве датчика температуры используется контролируемый объект, в результате чего исключается использование вторичных датчиков в условиях высоких радиационных и высокочастотных полей.

Для выбора величин опорных напряжений были сняты вольтамперные характеристики $\Delta U(I)$ обмоток ЖТС, зависимости температуры септума, корректирующей обмотки и охлаждающей воды на выходе от тока и величины давления охлаждающей воды. В качестве примера на рис.1 представлены вольтамперная характеристика для нижней пластины септума /кривая 1/ и зависимость температуры охлаждающей воды на выходе из септумной обмотки. При $I = 11$ кА, $\Delta P = 6$ кг/см² и $T_{вх} = 16^\circ\text{C}$ падение напряжения и температура воды на выходе соответственно равны 1,163 В и 40°C . Уменьшение давления на 1,5 кг/см² приводит к увеличению ΔU на 0,06 В и T на 10°C , что соответствует увеличению тока на 1 кА при $\Delta P = 6$ кг/см². Величины опорных напряжений выбраны для максимальных значений тока в септумной и корректирующей обмотках, равных 12 кА и 3,3 кА при $\Delta P = 6$ кг/см².

При проектировании защиты обмоток ЖТС было уделено особое внимание надежности системы и ее помехозащищенности. Для повышения надежности применен "горячий резерв": один датчик температуры подключен к двум каналам компараторов /рис.2/. Электронная схема канала "компараторов" представляет собой усилительный тракт, на выходе которого находится компаратор /5/.



Входной сигнал от датчика сравнивается с опорным напряжением, соответствующим аварийной ситуации. При срабатывании компаратора открывается тиристор Т, в анодной цепи которого находится обмотка реле Р /РЭС-22/. Контакты реле Р заведены в схемы

Рис.1. Зависимость падения напряжения /1/ и температуры охлаждающей воды /2/ в септумной обмотке железно-токовой секции канала.

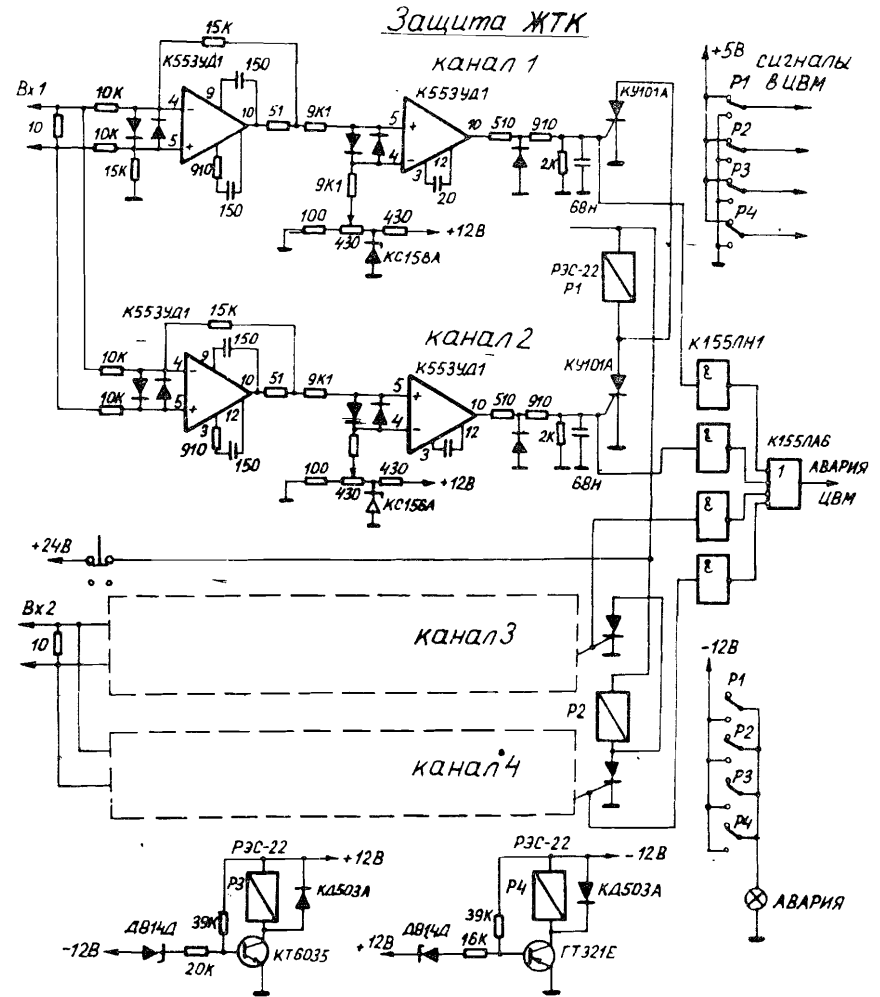


Рис.2. Электрическая схема защиты ЖТС.

защиты мощных источников тока (ВАК-12500/12, ВАКГ-3400/12), питающих основную и корректирующую обмотки ЖТС. При срабатывании реле отключается соответствующий источник тока и выдается информация в ЦВМ об аварийной ситуации. Время срабатывания защиты ~ 50 мс. Предусмотрено срабатывание защиты при отключении питания электронных схем каналов "компараторов".

В целях повышения помехозащищенности был предпринят ряд мер: 1/ для защиты от высокочастотных помех на входе каналов поставлены LC-фильтры; 2/ для уменьшения синфазных наводок первым элементом канала поставлен симметричный дифференциальный

усилитель $K = 1,5$, $KOCC \approx 150$; 3/ ввиду того, что датчиком температуры является идеальный источник напряжения, входы каналов зашунтированы резисторами $R = 10 \text{ Ом}$.

Защита ЖТС расположена на расстоянии $\sim 200 \text{ м}$ от секции канала, выполнена в корзине "Вишня" и содержит пять блоков: источники питания $+24 \text{ В}$, $+12 \text{ В}$, -12 В и два блока "каналов компаратора". Первый блок компараторов работает на источник тока основной обмотки ВАК-12500/12. В нем находятся четыре усилительных канала с компараторами. Второй блок компараторов задействован на источник тока корректирующей обмотки ВАКГС-3400/12. В блоках используются аналоговые и логические микросхемы типа К553УД1А и К155 ТТЛ. На передней панели блока "компаратор" расположен переключатель каналов и потенциометры, с помощью которых выставляются опорные напряжения. Также имеется кнопка сброса, приводящая схему "Защиты" в исходный режим "Готовность" и лампочка "Авария", загорающаяся при отключении источников питания обмоток.

Двухлетняя эксплуатация системы защиты ЖТС на фазотроне ОИЯИ показала ее высокую надежность в работе.

Авторы выражают благодарность В.В.Ахманову и В.В.Калинченко за полезные обсуждения рассматриваемых вопросов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Василенко А.Т. и др. ОИЯИ, Р9-12586, Дубна, 1979.
2. Аленицкий Ю.Г. и др. - в сб.: Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна: ОИЯИ, 1985, т.1, с.289.
3. Michael A. Green. In: Proc. of the Intern. Symp. on Magnet Technology. Stanford, 1965, p.643.
4. Keizer R.L. Dipole Septum Magnets. CERN, 74-13, Geneva, 1974.
5. Шило В.Л. Линейные интегральные схемы. М.: Советское радио, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 октября 1987 года.

Калмыков А.В., Чеснов А.Ф.

9-87-755

Защита от перегрева железно-токовой секции фазотрона ОИЯИ

Приведено описание тепловой защиты септумной и корректирующей обмоток железно-токовой секции /ЖТС/ выводного канала фазотрона ОИЯИ. Рабочий ток через септумную обмотку ЖТС равен 11 кА , плотность тока достигает 175 А/мм^2 . Через корректирующую обмотку течет ток $3,2 \text{ кА}$, плотность тока 45 А/мм^2 . Охлаждение токовых обмоток осуществляется дистиллированной водой. Для защиты обмоток секции от перегрева и контроля за температурой используется способ, основанный на измерении падения напряжения с части или всей обмотки и сравнение его с пороговым напряжением, соответствующим максимально допустимой температуре нагрева. Данная защита реагирует на изменение протока охлаждающей воды, короткое замыкание и позволяет измерять температуру части или всей обмотки в процессе работы ЖТС. В случае возникновения аварийной ситуации в системе охлаждения ЖТС время отключения мощных источников питания равно $0,07 \text{ с}$.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод авторов

Kalmykov A.V., Chesnov A.F.

9-87-755

Heat Projection of Iron Current Section of JINR Phasotron

The heat projection system for the septum and correction coils of the iron current section (ICS) of the JINR phasotron extraction channel is described. The operating current through the ICS septum coil is 11 кА , the current density is up to 175 А/мм^2 . The current through the correction coil is 3.2 кА , the current density is 45 А/мм^2 . Current coils are cooled with distilled water. To protect the section coils against overheating and to check the temperature, a method is used which is based on measuring a voltage drop across a part of the coil or the whole coil and on comparing it with the threshold voltage corresponding to the maximum permissible heating temperature. The protection system responds to any change in the cooling water flow, short-circuit and allows one to measure temperature of a part of the coil or the whole coil when ICS is in operation. In an emergency the power is cut off in 0.07 sec .

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987