

3171/2-79



объединенный  
институт  
ядерных  
исследований  
дубна

13/8-79

X-68

10 - 12316

Хоанг Као Зунг, Ф.Хованец, Л.Яншак

СИСТЕМА НА ЛИНИИ С ЭВМ ТРА-70  
В СТАНДАРТЕ КАМАК  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ  
В СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАГНИТАХ И КАБЕЛЯХ

1979

10 - 12316

Хоанг Као Зунг, Ф.Хованец, Л.Яншак

СИСТЕМА НА ЛИНИИ С ЭВМ ТРА-70  
В СТАНДАРТЕ КАМАК  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ  
В СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАГНИТАХ И КАБЕЛЯХ

*Направлено в ПТЭ*

Общесоюзный институт  
высокочастотных исследований  
БРЕЛЮТЕНА

Хоанг Као Зунг, Хованец Ф., Яншак Л.

10 - 12316

Система на линии с ЭВМ ТРА-70 в стандарте КАМАК для измерения динамических потерь в сверхпроводящих магнитах и кабелях

Описывается система для измерения потерь энергии в импульсных сверхпроводящих магнитах и коротких образцах сверхпроводящих кабелей. Потери энергии в коротких образцах измеряются по калориметрическому методу, а потери энергии в магните - с помощью джоульметра с двойной интеграцией.

Система работает на линии с ЭВМ ТРА-70. Цифровая электронная аппаратура, обеспечивающая измерения параметров магнитного цикла, выполнена в стандарте КАМАК и связана с ЭВМ ТРА-70 через специализированный контроллер крейта.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

## ВВЕДЕНИЕ

При разработке и реализации проектов сверхпроводящих синхротронов необходимо проводить испытания большого количества коротких образцов сверхпроводящих кабелей и импульсных сверхпроводящих магнитов. Одним из основных параметров, определяющих качество магнита, является величина динамических тепловыделений при его циклической работе. До изготовления магнита эту величину можно оценить по результатам измерения потерь энергии в коротких образцах кабеля. Испытание магнитов позволяет выявить дефекты, возникшие в процессе их изготовления, и определить суммарные потери энергии.

В настоящей работе приводится описание системы, которая обеспечивает измерения потерь энергии и работает на линии с ЭВМ ТРА-70. Для измерений потерь энергии в коротких образцах используется калориметрический метод: образец без тока находится в калориметре, помещенном во внешнее пульсирующее магнитное поле. Потери энергии определяются по количеству испарившегося из калориметра газа гелия<sup>1/2</sup>. Потери энергии в магните измеряются с помощью джоульметра с двойной интеграцией. Напряжение, снимаемое с выхода джоульметра, пропорционально потерям энергии в магните.

## ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ

Блок-схема системы представлена на рис. 1. При измерении коротких образцов кабеля /см. рис. 1а/ источник тока 2, управляемый программатором 1<sup>2/</sup>, запитывает сверхпроводящий диполь 3, который создает непрерывно пульсирующее поле.

а)

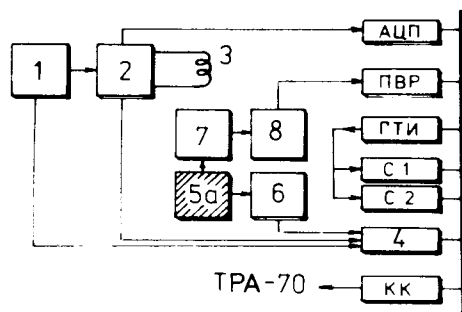
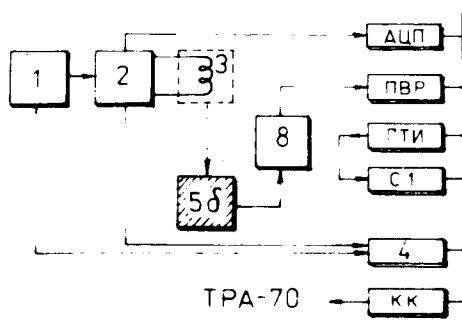


Рис.1. Блок-схема системы.

б)



Внутри диполя помещен калориметр с образцом. Испаряющийся из калориметра газ поступает в газгольдер 5а, и его объем регистрируется блоком 6. Этот блок выполнен на фотодиодах и вырабатывает сигналы СТАРТ и СТОП при прохождении колокола газгольдера через метки, определяющие объем в один литр. Температура входящего в газгольдер газа измеряется диодным датчиком 7. Напряжение, снимаемое с этого датчика, пропорционально значению температуры и подается на вход цифрового вольтметра 8, где преобразуется в цифровой код. Коэффициент преобразования равен  $10 \text{ мВ/град}$ .

При испытании магнитов /см. рис. 1б/ источник тока 2 запитывает измеряемый магнит 3. Потери энергии в магните регистрируются джоульметром 5б. Напряжение с выхода джоульметра с коэффициентом преобразования  $10 \text{ мВ/Дж}$  подается на вход цифрового вольтметра 8.

4

В обоих случаях измерение производится с помощью цифровой электронной аппаратуры<sup>4/</sup>, которая размещается в одном крейте КАМАК и связана с ЭВМ ТРА-70 через специализированный контроллер крейта КК<sup>5/</sup>. Модуль КАМАК 4 предназначен для формирования сигналов НАЧАЛО, СЕРЕДИНА и КОНЕЦ импульса тока /см. рис. 2а/ и запоминания соответствующих состояний, которые определяют моменты измерений. Счетчики С1 и С2 используются для преобразования интервалов времени в цифровой

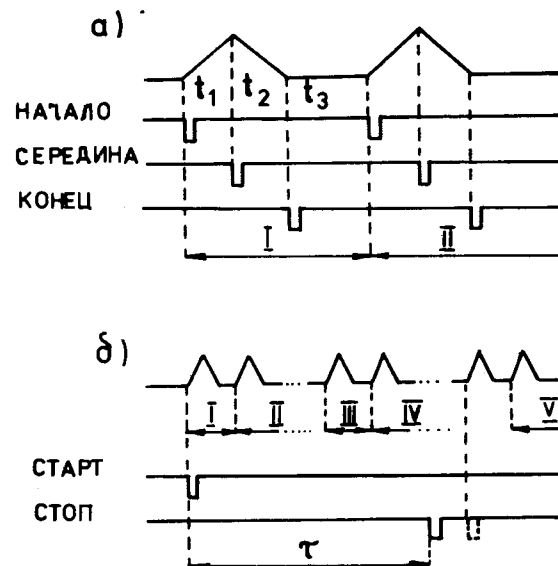


Рис.2. Временная диаграмма работы системы.

код способом пересчета импульсов опорной частоты, поступающих из генератора тактовых импульсов ГТИ. Счетчик С2 используется для измерения времени заполнения газгольдера одним литром газа гелия, а С1 - для измерения времени нарастания, времени спада тока в магните и длительности паузы между импульсами тока. Аналого-цифровой преобразователь АЦП<sup>6/</sup> определяет максимальное напряжение на шунте в токовой цепи магнита. Параллельный входной регистр ПВР используется в качестве интерфейса между магистралью КАМАК и цифровым вольтметром.

5

Одним из параметров, получаемых после обработки результатов измерения на ЭВМ, является величина потерь энергии в одном цикле измерения при заданных значениях амплитуды магнитного поля и скорости его изменения. Возможное подключение графопостроителя к системе позволит получать результаты в виде зависимости потерь энергии от амплитуды и скорости изменения магнитного поля и выделять из общих потерь гистерезисные потери в сверхпроводнике.

### РАБОТА СИСТЕМЫ

Временная диаграмма работы системы представлена на рис. 2. Параметры магнитного поля и потери энергии в магните определяются в течение одного цикла измерений, который начинается в момент возникновения импульса тока в магните и заканчивается в момент появления следующего импульса тока /см. рис. 2а/. При измерении коротких образцов, когда магнит работает в непрерывном режиме, циклы измерений повторяются до тех пор, пока объем газа в газгольдере не достигнет одного литра /см. рис. 2б/.

Перед началом измерений блоки приводятся в состояние готовности. При появлении тока в магните вырабатывается сигнал НАЧАЛО, запускающий счетчик для измерения интервалов времени. Когда ток в магните достигает максимального значения, появляется сигнал СЕРЕДИНА, по которому запускается АЦП, определяющий значение максимального напряжения  $U_m$  на шунте в токовой цепи магнита. В этот момент времени значение счетчика определяет время нарастания тока  $t_1$  в магните. По концу импульса тока в магните вырабатывается сигнал КОНЕЦ. Он запускает цифровой вольтметр для измерения напряжения  $U$ , которое представляет собой аналоговое значение температуры газа при испытании коротких образцов, или потерь энергии при испытании магнита. По сигналу КОНЕЦ определяется время спада тока  $t_2$  в магните. При появлении следующего сигнала НАЧАЛО измеряется длительность паузы  $t_3$  между импульсами тока в магните. По окончании цикла измерений ЭВМ проводит обработку полученных данных и печатает результаты на телетайпе.

После этого система приводится в состояние готовности и ожидает прихода сигнала НАЧАЛО для пуска очередного цикла измерений.

При испытании коротких образцов система одновременно обеспечивает измерение промежутка времени  $\tau$ , за который объем испаряющегося из калориметра газа в газгольдере достигает одного литра /см. рис. 2б/. Сигнал СТАРТ разрешает, а сигнал СТОП запрещает поступление опорных импульсов из ГТИ в счетчик С2. По сигналу СТОП система заканчивает текущий цикл измерений. Содержание С2 определяет время  $\tau$ .

ЭВМ обрабатывает полученные данные и печатает на телетайпе следующие параметры:

а/ при испытании коротких образцов

- |  |   |
|--|---|
| $t_c = t_1 + t_2$  | - длительность импульса тока в магните;   |
| $t_p = t_3$  | - длительность паузы между импульсами тока;   |
| $B_m = k_1 \frac{U_m}{R}$                                  | - максимальное магнитное поле, где $k_1$ - постоянная магнита, $U_m$ - максимальное напряжение на шунте, $R$ - сопротивление шунта;   |
| $\dot{B}_+ = \frac{B_m}{t_1}$                              | - среднюю скорость нарастания магнитного поля;  |
| $\dot{B}_- = \frac{B_m}{t_2}$                              | - среднюю скорость спада магнитного поля;   |
| $\dot{B} = \frac{\dot{B}_+ + \dot{B}_-}{2}$                | - среднюю скорость изменения магнитного поля;   |
| $T = k_2 U$  | - температуру газа на входе газгольдера, где $k_2$ - коэффициент преобразования напряжения в температуру /10 мВ/град./;   |
| $P = \frac{k_3}{T \cdot \tau} \cdot \frac{t_c + t_p}{t_c}$ | - выделяемую мощность в образце, где $k_3 = A \rho_0 \gamma T_1 \frac{p_2}{p_1}$ . $\rho_0$ - плотность газообразного гелия при нормальных условиях, $\gamma$ - скрытая теплота испарения при рабочих условиях в калориметре, $p_1$ и $T_1$ - нормальные давления и температура |

тура,  $p_2$  - давление газа в газгольдере,  $A$  - поправка холодного газа, остающегося в калориметре и не попадающего в газгольдер;

$$W_1 = P \cdot t_c$$

- потери энергии в образце за один цикл;

б/ при испытании магнита

$$\dot{B}_m; \dot{B}_+; \dot{B}_-; \dot{B}$$

- параметры магнитного поля;

$$W_1 = k_4 U$$

- потери энергии в магните за один цикл, где  $k_4$  - коэффициент преобразования напряжения в потери энергии /10 мВ/Дж/.

На основании результатов измерений можно построить графики зависимости потерь энергии в сверхпроводниках от средней скорости изменения магнитного поля для разных значений его амплитуды. На рис. 3 показана такая зависимость для амплитуд

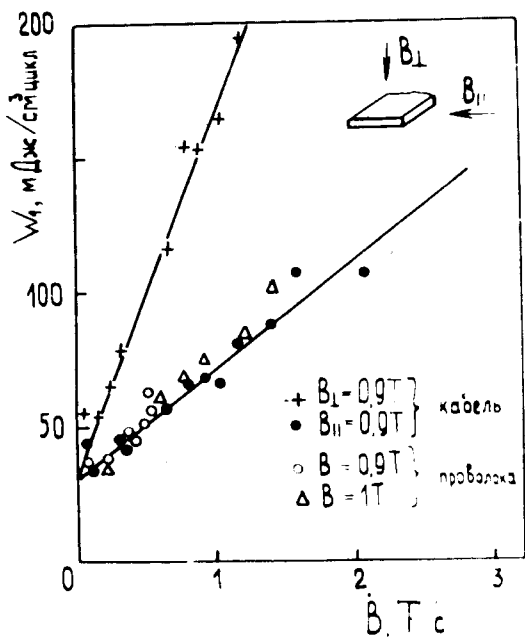


Рис.3. Зависимость величины потерь энергии в коротких образцах от средней скорости изменения магнитного поля.

0,9 Т на  $1 \text{ см}^3$  плоского кабеля. Кабель сечением  $9,9 \times 1,7 \text{ см}^2$  состоит из 23 проволок диаметром 0,85 мм. Потери измеряются для двух ориентаций плоской стороны кабеля относительно направления магнитного поля, а также для отдельной проволоки диаметром 0,85 мм.

На рис. 4 представлена зависимость потерь энергии в магните от скорости изменения магнитного поля для разных значений амплитуды. Потери измеряются в импульсном сверхпроводящем диполе с апертурой 9 см.

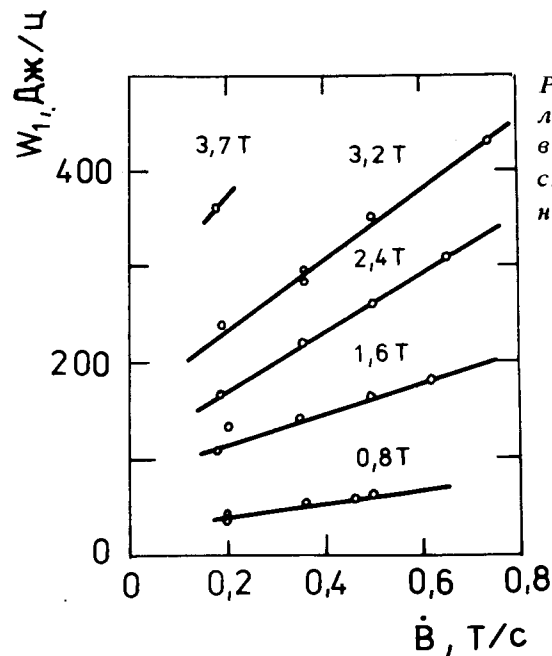


Рис.4. Зависимость величины потерь энергии в магнитах от средней скорости изменения магнитного поля.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанная система позволяет осуществлять быструю диагностику свойств сверхпроводящих кабелей и импульсных сверхпроводящих магнитов с точки зрения динамических потерь энер-

гии. Результаты измерений дают ответы на вопросы, годен ли данный кабель к применению в магнитах циклических ускорителей, не нарушен ли технологический режим при его изготовлении, имеются ли дефекты, возникшие в процессе намотки магнита.

В заключение авторы выражают благодарность А.Г.Зельдовичу, Е.И.Дьячкову, И.Ф.Колпакову и В.А.Смирнову за постоянный интерес к работе и ценные советы, а также В.М.Дробину, И.С.Хухаревой, П.И.Никитаеву и Нгуен Вьет Зунгу за помощь при создании и наладке системы.

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Дробин В.М. и др. ОИЯИ, Р13-12052, Дубна, 1979.
2. Яншак Л. и др. ОИЯИ, 13-11676, Дубна, 1978.
3. Аверичев С.А. и др. ОИЯИ, Р8-11700, Дубна, 1978.
4. Арефьев В.А. и др. ОИЯИ, Р10-7326, Дубна, 1973.
5. Нгуен Вьет Зунг и др. ОИЯИ, Р10-10523, Дубна, 1977.
6. САМ 4.05, Analog-to-digital converter. KFKI, Budapest, 1973.

*Рукопись поступила в издательский отдел  
21 марта 1979 года.*