

**сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна**

11-84-794

**В.Н.Крючков, Ле Кхак Мань, К.Г.Родионов,  
Б.Н.Соловьев, В.Г.Тишин**

**МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА  
ДЛЯ ПРЕРЫВАТЕЛЯ НЕЙТРОННОГО ПУЧКА**

**1984**

## ВВЕДЕНИЕ

Для улучшения фоновых условий в физических измерениях на импульсном реакторе ИБР-2, в основном с целью уменьшения вклада сателлитов импульса мощности в спектр нейтронов, получаемых от реактора, необходимо использовать прерыватель нейтронного пучка. Основным требованием, предъявляемым к работе прерывателя, является обеспечение необходимой точности совпадения момента прохождения отверстия прерывателя канала нейтронотода с моментом генерирования реактором импульса мощности. При этом надо учитывать расстояние между зоной реактора и диском прерывателя. Требуемые точность и долговременная стабильность фазировки этих двух процессов должны быть не хуже  $\pm 0,5^\circ$  или  $\pm 0,14\%$  от периода следования импульсов мощности, т.е. при частоте работы ИБР-2 5 Гц /период 200 мс/ величина временной фазировки должна находиться в пределах  $\pm 0,28$  мс.

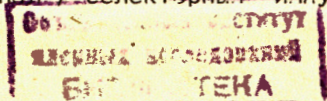
Проведенные ранее испытания варианта прерывателя в режиме релейного регулирования показали, что на асинхронном двигателе большой мощности /25 ÷ 30 кВт/ и диске прерывателя большого веса и габаритов этот принцип управления двигателем путем вырезания напряжения фазы сети через мощные тиристоры неприемлем, так как создается высокий уровень вибрации, что вызывает внутренние удары на двигателе<sup>1/</sup>.

Получить более мягкую характеристику регулирования позволило использование для привода асинхронного двигателя промышленного преобразователя частоты типа ТПЧ-15У4, который управляет скоростью двигателя путем изменения частоты питающего двигателя напряжения. Поскольку зависимость числа оборотов асинхронного двигателя от частоты питающего напряжения имеет почти линейный характер, то применение пропорциональной системы регулирования в данном случае имеет больше преимуществ по сравнению с релейной системой.

В Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ разработана электронная аппаратура с использованием микропроцессора для автоматизации работы прерывателя, стабилизации скорости его вращения и фазы в режиме прерывания нейтронного пучка.

## 1. ПРИНЦИП РАБОТЫ СИСТЕМЫ

Блок-схема системы регулирования с основными узлами цепи показана на рис.1. Прерыватель представляет собой диск на валу двигателя. С датчика, установленного на диске прерывателя, снимается электрический сигнал /"селекторный" импульс/, который по-



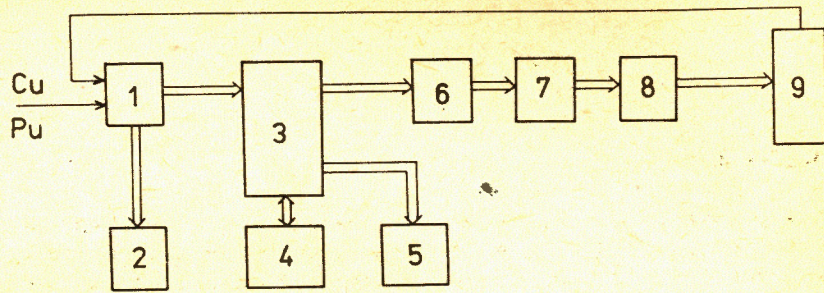


Рис.1. Блок-схема системы. 1 - входной блок, 2 - цифровой дисплей входного блока, 3 - микропроцессорное устройство, 4 - устройство ввода/вывода, 5 - графический дисплей, 6 - ЦАП, 7 - привод двигателя, 8 - двигатель прерывателя, 9 - диск прерывателя.

дается на входной блок. На второй вход этого блока поступает "реакторный" импульс/начало генерации импульса мощности реактора/. Микропроцессорное устройство принимает информацию, предварительно обработанную входным блоком, и управляет состоянием цифро-аналогового преобразователя /ЦАП/ по заданной программе. Напряжение низкого уровня  $U_{уп}$  с ЦАП подается на привод двигателя, который обеспечивает преобразование питающего напряжения по частоте. Зависимость частоты напряжения, питающего двигатель, от управляющего напряжения  $U_{уп}$  - линейная. Зависимость числа оборотов двигателя от частоты питающего напряжения тоже линейная, и, следовательно,  $Q = a \cdot U_{уп}$ , где  $Q$  - число оборотов двигателя прерывателя,  $U_{уп}$  - управляющее напряжение на входе привода двигателя,  $a$  - коэффициент пропорциональности.

При начальном разгоне двигателя прерывателя микропроцессорное устройство плавно увеличивает выходное напряжение ЦАП, обеспечивая увеличение скорости двигателя до номинальной в течение заданного времени.

При равенстве скоростей вращения диска прерывателя и модулятора реактивности ИБР-2 микропроцессорное устройство контролирует работу системы в режиме пропорционального регулирования, воздействуя на подвижную систему прерывателя по алгоритму, определяемому в динамике процесса регулирования и стабилизации.

Составить единое уравнение движения системы для процесса регулирования не представляется возможным из-за наличия многих нелинейных факторов воздействия на систему. Однако общий характер уравнения движения диска прерывателя позволяет определить алгоритм воздействия на систему в различные фазы движения диска прерывателя относительно модулятора реактивности.

Это уравнение имеет вид:  $J\ddot{\phi} + k\dot{\phi} + r\phi = k\omega_d$ , где:  $\phi$  - угол рассогласования /угол отклонения реперной отметки диска прерывателя от реперной отметки модулятора/,  $J$  - момент инерции вращающихся масс прерывателя, приведенных к оси двигателя,  $k, r$  - коэффициенты пропорциональности,  $\omega_d$  - угловая скорость электродвигателя.

Динамическая погрешность системы зависит от способа регулирования и, как предсказывает теория, значительно уменьшается при стабилизации системы с помощью не только угла рассогласования, но и его производной. Сокращается затухание колебаний.

Для описываемой системы в режиме стабилизации зависимость управляющего напряжения  $U_{уп}$  от угла и его производной может быть представлена в виде:  $U_{уп} = U_1 \pm U_2(\phi) \pm U_3(\dot{\phi})$ , где:  $U_1$  - постоянное напряжение, зависящее от скорости диска прерывателя,  $U_2$  - величина напряжения, зависящая от величины угла рассогласования,  $U_3$  - величина напряжения, зависящая от величины производной угла рассогласования. Знаки в уравнении зависят от фазы движения диска прерывателя.

## 2. ОПИСАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ

Реализация этой зависимости осуществляется микропроцессорной системой, включающей в себя входной блок, микропроцессорное устройство<sup>1/2/</sup> и цифро-аналоговый преобразователь.

Входной блок представляет собой устройство, выполняющее следующие операции:

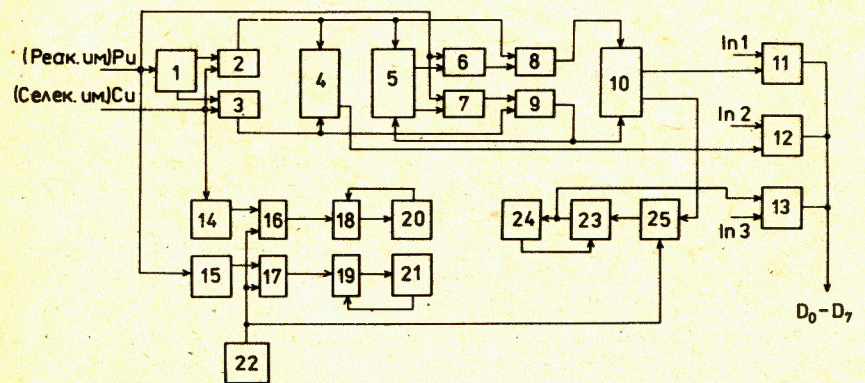


Рис.2. Блок-схема входного устройства. 1 - одновибратор  $T_p/2$ ; 2;3; 6;7 - схемы выделения начала угла рассогласования, 4 - триггер знака, 5 - триггер начала угла рассогласования, 8,9 - схемы ИПИ, 10 - триггер величины угла рассогласования, 11-13 - схемы вывода данных, 14,15 - схемы выбора интервалов измерения  $T_p$  и  $T_n$ , 18,19,23 - двойные счетчики, 22 - генератор, 20,21,24 - цифровые дисплеи.

а/ измерение периода вращения модулятора реактивности  $T_p$  /период реактора/,

б/ измерение периода вращения диска прерывателя  $T_n$  /период прерывателя/,

в/ измерение угла рассогласования вращения модулятора реактивности и диска прерывателя от воздействий на систему в течение одного периода вращения /модуль разности  $T_p - T_n$ /,

г/ определение знака угла рассогласования.

На входной блок /рис.2/ поступают два реперных импульса /"реакторный" и "селекторный"/, по которым определяется скорость вращения модулятора реактивности ИБР-2 и диска прерывателя. Периоды вращения измеряются по числу импульсов, поступивших в счетчики /18,19/ от эталонного генератора /22/ за время одного оборота, а угол рассогласования - по числу импульсов, зафиксированных счетчиком /23/ в течение промежутка времени между поступлением на блок "селекторного" и "реакторного" импульсов. Промежуток времени фиксируется триггером /10/, на установочные входы которого поступают эти импульсы. При относительном равенстве скоростей знак определяет положение диска прерывателя относительно модулятора реактивности /отставание или опережение/. Знак угла рассогласования определяется по положению селекторного импульса относительно реакторного. Если селекторный импульс попадает в интервал  $T_p/2$  от начала реакторного импульса, знак соответствует отставанию, если не попадает - опережению. Это состояние фиксируется триггером /4/, на установочные входы которого подаются импульсы со схемы отбора /1,2,3/.

Информация о  $\phi$  и знаке  $\phi$  в виде двоичного кода поступает в микропроцессорное устройство. Последнее по программе, записанной в память с учетом входных данных, вычисляет функцию  $N = M + m + n$ , где:  $M = c \cdot \omega_g$ ,  $m = p \cdot \phi$ ,  $n = k \cdot \phi$ . Величина и знаки коэффициентов  $p, k$  для различных фаз движения диска прерывателя зависят от величин и знаков угла рассогласования и его производной в момент измерения угла. Число  $N$  в виде двоичного кода заносится в регистр ЦАП, с выхода которого напряжение  $U_{yn}$  подается на привод двигателя. Номинальные обороты двигателя, при которых  $T_n = T_p$ , обеспечиваются напряжением управления  $U_{yn.n} = M \cdot c'$ , где  $c'$  - чувствительность ЦАП в мВ/бит. Поэтому двоичное число  $M$  присутствует в регистре ЦАП постоянно. Двоичные числа  $m$  и  $n$  добавляются в регистр ЦАП или вычитаются из него на время  $\Delta t$  один раз за период. На выходе ЦАП величина напряжения изменяется по тому же алгоритму, добавляя или вычитая величины  $U_2 = m \cdot c'$  и  $U_3 = n \cdot c'$ .

### 3. ПРОВЕРКА РАБОТЫ СИСТЕМЫ

Проверка работы системы стабилизации фазы вращения прерывателя нейтронного пучка проводилась по указанной выше блок-схеме /рис.1/. Вал асинхронного двигателя типа А02-12-8 /17 кВт,

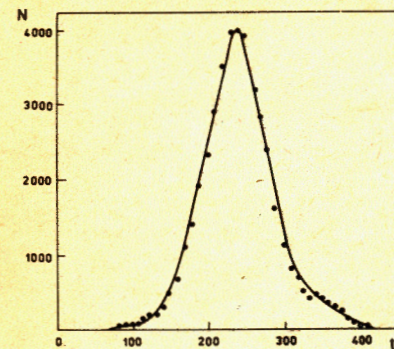


Рис.3. Временное распределение фазы прерывателя,

380/660 В, 725 об/мин./ соединен муфтой с валом диска прерывателя /диаметр диска = 1205 мм, масса = 750 кг/. Момент инерции вращения подвижных частей прерывателя составляет 29 кгм·с<sup>2</sup>. Питание электродвигателя производилось от преобразователя типа ТПЧ-15У4 с диапазоном ре-

гулирования выходного напряжения от 20 до 230 В и выходной частоты - от 5 до 60 Гц. Для воздействия на преобразователь использовался 10-разрядный ЦАП с шагом  $c' = 10$  мВ/бит. При работе реактора с частотой 5 Гц проводились разгон двигателя прерывателя до рабочей скорости, стабилизация ее и фазы прерывателя в рабочем режиме в течение длительного времени. Коэффициенты  $k$  и  $p$  уравнения, а также интервал времени задавались в виде таблиц, заносимых в память ППЗУ. Исследовались временные распределения фазы для различных коэффициентов  $k, p$  и  $\Delta t$ .

Разгон двигателя прерывателя до 300 об/мин производился автоматически путем увеличения напряжения на выходе ЦАП от 0 до  $U_{yn} = 5,36$  В в течение 10 мин. При  $T_p = T_n$  включалась система стабилизации фазы. Программные операции режимов разгона и стабилизации задавались с устройства ввода/вывода микропроцессорной системы. На рис.3 приведено временное распределение фазы прерывателя для оптимальных коэффициентов. Время измерения - 3 ч, через 2 ч после выхода двигателя на номинальную скорость. Расстояния между двигателем и приводом, приводом и микропроцессорной системой были соответственно равны 75 и 50 м. Среднеквадратичное отклонение распределения фазы не превышает  $50 \times 10^{-6}$  с, т.е. менее  $0,1^\circ$ .

Результаты проведенных исследований показали, что применение микропроцессоров в подобных системах предоставляет широкие возможности для оптимизации процессов регулирования.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность Г.П.Жукову за постоянный интерес к работе.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Попов А.К. и др. ОИЯИ, 13-10640, Дубна, 1977.
2. Беттге М. и др. ОИЯИ, P11-80-422, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел  
13 декабря 1984 года.

В Объединенном институте ядерных исследований начал выходить сборник "Краткие сообщения ОИЯИ". В нем будут помещаться статьи, содержащие оригинальные научные, научно-технические, методические и прикладные результаты, требующие срочной публикации. Будучи частью "Сообщений ОИЯИ", статьи, вошедшие в сборник, имеют, как и другие издания ОИЯИ, статус официальных публикаций.

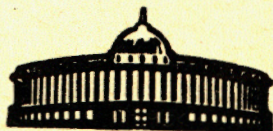
Сборник "Краткие сообщения ОИЯИ" будет выходить регулярно.

The Joint Institute for Nuclear Research begins publishing a collection of papers entitled *JINR Rapid Communications* which is a section of the JINR Communications and is intended for the accelerated publication of important results on the following subjects:

Physics of elementary particles and atomic nuclei.  
Theoretical physics.  
Experimental techniques and methods.  
Accelerators.  
Cryogenics.  
Computing mathematics and methods.  
Solid state physics. Liquids.  
Theory of condensed matter.  
Applied researches.

Being a part of the JINR Communications, the articles of new collection like all other publications of the Joint Institute for Nuclear Research have the status of official publications.

*JINR Rapid Communications* will be issued regularly.



Крючков В.Н. и др.

11-84-794

Микропроцессорная система для прерывателя нейтронного пучка

Описывается электронная аппаратура с использованием микропроцессора для автоматизации работы, стабилизации скорости и фазы прерывателя нейтронного пучка импульсного реактора ИБР-2. При работе реактора на частоте 5 Гц среднеквадратичное отклонение не превышает 50 мкс.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Kryuchkov V.N. et al.

11-84-794

A Micriprocessor System for a Neutron Chopper

An electronic system with the use of a microprocessor for performance automation stabilization of speed and phase in the IBR-2 neutron chopper is described. The root mean square deviation of chopper phase for 5 Hz frequency of reactor operation does not exceed 50  $\mu$ s.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984