

С 344.3ж

К-401

Ким Вон Зу и
Б2-10-6569.



Палман И.

+

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б2-10-6569

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1972

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

С 344.3 мс
К-401

КИМ ВОН ЗУ, И. ПАЛМАИ

Б2-10-6569

ЦИФРО-АНАЛОГОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ФАЗЫ СЕРВОМОТОРОВ
ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ СЕЛЕКТОРА МЕДЛЕННЫХ НЕЙТРОНОВ.

Импульс 72

Импульсный реактор вырабатывает импульсные потоки нейтронов широкого энергетического спектра I , что дает почти неограниченные возможности для целого ряда спектроскопических измерений. Одной из важных частей спектрометров является, синхронно вращающийся с реактором, нейтронный селектор, с помощью которого, поместив его на пути выходящего из реактора нейтронного пучка, можно получать импульсный поток нейтронов требуемого дискретного энергетического диапазона. (рис.1).

Получаемая величина энергии нейтронов зависит от времени задержки фазы T_D (рис.1/а,б) при неизменных других факторах, а ширина энергетического диапазона зависит от числа оборотов T_{ω} .

Необходимые для осуществления синхронизации эталонные импульсы подаются из управляющего центра реактора.

1. Описание блок-схемы.

Рассмотрим работу регулятора фазы на основании рис.2 подаваемые с главного диска реактора импульсы подаются через

вход КРАТНАЯ и формирователь в делитель частоты (блок ДЕЛИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ). Основные сигналы реактсра, попадающие на вход ОСНОВНАЯ через соответствующие интервалы времени приводят в основное положение делитель частоты. Отношение деления делителя $1/5$ при частотах реактора 4; 5 или 10 гц, и $1/4$ при частотах 25 и 50 гц. Этим простым методом образуется основная частота, кратными которой можно формировать синхронные числа оборотов.

Импульсы, появляющиеся на выходе делителя попадают через линию задержки (ЗАДЕРЖКА) на вход 1 фазового дискриминатора. Импульсы, подаваемые раз за оборот с диска вращающегося селектора, попадают через магнитных датчик, входной усилитель (блок ВХОДНОЙ УСИЛИТЕЛЬ) и делитель частоты с изменяемым от 1 до 10 коэффициентом деления (ДЕЛИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ) на вход 2 фазового дискриминатора. При соответствии частот и фаз попадающих на входы 1 и 2 фазового дискриминатора сигналов, дискриминатор вырабатывает постоянное напряжение такой величины и полярности, которое через усилитель мощности (блок УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ) сохраняет неизменными число оборотов и фазу двигателя. Изменение числа оборотов может производиться в дискретных шагах. При этом число оборотов двигателя будет кратным попадающей на вход 1 фазового дискриминатора основной частоты, а эта кратность может меняться от 1 до 10 (см. таблицу 1).

Пуск устройства может производиться вручную (РУЧНОЙ СТАРТ) или автоматически (АВТОМАТИЧЕСКИЙ СТАРТ). При ручном пуске переключатель режима работы системы (ПК) находится в положении Б. Двигатель разгоняется напряжением, подаваемым из внешнего источника Цвш через потенциометр, затем в подходящий

момент времени замыкается цепь регулирования. Проверка числа оборотов и фазы в течение времени пуска и разгона производится осциллографом. Если двигатель выпадает из синхронного режима работы, устройство выключается. При автоматическом пуске (ПК в положении A) двигатель получает расномерно ускоряющее управление. Частоты подаваемых на вход фазового дискриминатора сигналов проверяются устройством СРАВНЕНИЕ ЧАСТОТЫ. При равенстве частот устройство прекращает разгон двигателя и подает команду логической схеме для установки фазы вращающегося диска. Автоматическим замыканием цепи регулирования, что производится в подходящий момент времени, происходит установка фазы. Если вследствие внешних или внутренних помех двигатель выпадает из синхронного режима, логическое устройство размыкает цепь регулирования, снова срабатывает устройство сранения частоты и снова протекает процесс. Описанный выше метод обеспечивает работу системы без человеческого надзора при минимальных потерях времени измерения.

Для предотвращения опасных для системы толчков тока, возникающих при пуске двигателя или вследствие днфекта, служит устройство ОГРАНИЧИТЕЛЬ ТОКА, выполненное в виде отрицательной обратной связи по току. В том случае, если эта защита оказалась недостаточно эффективной и ток превысит опасный предел, то предохранительное устройство (блок ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЕ СЕТЕВОЕ РЕЛЕ) обесточит прибор.

2. Автоматический пуск и синхронизация.

Как уже писали в первой главе, пуск и синхронизация двигателя могут быть произведены вручную и автоматически (см. рис. 2, положения А и Б переключателя ПК). При ручном пуске скорость и фаза управляются посредством внешнего источника напряжения питания. Когда подаваемые с диска двигателя сигналы попадают внутри интервалов времени T_a (см. рис. 3) необходимо замкнуть цепь регулирования, а потом можно установить требуемую точность потенциометром в цепи фазового дискриминатора /10/.

Блок - схема устройства автоматического пуска и синхронизации изображена на рис. 3. На вход F_k подается выходной сигнал блока сравнения частот (СРАВНЕНИЕ ЧАСТОТЫ), что является постоянным напряжением отрицательной полярности при минимальной (или нулевой) разности частот сравниваемых сигналов. Выходной сигнал блока сравнения частот попадает через устройство задержки A_1 на один из входов "И" - схемы A_1 с четырьмя входами. Сигналы $T_{ас-1}$ и $U_{сд}$ фазового дискриминатора подключаются на другие два входа. При совпадении во времени подаваемых с вращающегося диска I_m с интервалами времени сигналов F_k , T_a и $U_{сд}$, что изображено штриховыми линиями, "И" - схема A_1 дает выходной сигнал. Этот импульс опрокидывает триггер $\bar{\Psi}$, когда сигналом через выход B_1 подается команда для замыкания цепи регулирования. Устройство задержки A_2 управляет

инвертором I , что производит автоматическую установку точности ($\bar{\alpha}_2$) через выход B_2 /10/.

При выходе двигателя из синхронного режима срабатывает "И"-схема A_2 с двумя входами, так как на один из ее входов подается сигнал $T_a(t)$ фазового дискриминатора, а на другой импульсы I_M . Если какой-нибудь импульс I_M не находится внутри интервала времени $T_a(t)$, то A_2 подает выходной сигнал, который опрокидывает триггер Ψ в исходное состояние, тем самым разомкнется цепь регулирования.

При этом вновь вступает в действие устройство сравнения частоты и логический процесс повторяется, как это было описано выше.

При переходе из одного режима в другой (из разгона в синхронизацию) могут возникать колебания в системе. Необходимое для их затухания время обеспечиваются каскадами задержки $\Delta_{1,1}$ и $\Delta_{1,2}$

4. Передаточная функция системы регулирования.

Сначала определим коэффициент усиления разомкнутой системы на основании рисунка 4. Воздействие изменения фазы ΔT_0 , появляющегося на входах 1 и 2 фазового дискриминатора при прохождении сигнала по цепи регулирования описывается следующими уравнениями:

$$u_1 = \alpha \Delta T_0 \quad (1)$$

$$u_2 = k u_1 \quad (2)$$

$$\Delta T_1 = \beta' u_2 \quad (3)$$

где

- $\alpha \left[\frac{\text{в}}{\text{сек.}} \right]$ - коэффициент усиления фазового дискриминатора,
 $k [1]$ - коэффициент усиления усилителя мощности,
 $\beta' \left[\frac{\text{сек}}{\text{в}} \right]$ - коэффициент передачи сервомотора постоянного тока,
 $\Delta T_0 [\text{сек.}]$ - изменение фазы на входе,
 $\Delta T_1 [\text{сек.}]$ - изменение фазы на выходе,
 $U_1 [\text{в}]$ - выходное напряжение фазового дискриминатора,
 $U_2 [\text{в}]$ - выходное напряжение усилителя мощности.

Из уравнений (1), (2) и (3) изменение фазы на оси двигателя (на выходе системы):

$$\Delta T_1 = \alpha k \beta' \Delta T_0 \quad (4)$$

Из уравнения (4) получим коэффициент усиления системы:

$$\hat{K} = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_0} = \alpha k \beta' \quad (5)$$

В фазовом дискриминаторе /10/ уже было рассказано о коэффициенте усиления фазового дискриминатора, зависящем от крутизны роста напряжения (заряда) на конденсаторе C . Крутизну можно изменять от минимального значения α_1 до максимального значения α_2 , а это изменение, как видно из уравнения (5) приводит к увеличению коэффициента усиления в контуре.

Усилитель мощности имеет постоянный коэффициент усиления. Рассмотрим передаточный коэффициент сервомотора. Известно, что число оборотов сервомотора пропорционально поданному на клеммы его якоря напряжению:

$$n = f(U_2) \quad (6)$$

где

- $n \left[\frac{\text{об.}}{\text{мин.}} \right]$ - число оборотов сервомотора

u_2 [в] - напряжение на клеммах якоря

Дифференцируя уравнение (6) получим:

$$dn = \beta du_2 \quad (7)$$

где $\beta \left[\frac{об}{мин \cdot в} \right]$ - крутизна графика функции числа оборотов от напряжения

Время периода получим образованием обратного уравнения от уравнения (6):

$$T = \frac{1}{f(u_2)} \quad (8)$$

Дифференцируя (8) получим:

$$dT = d\left(\frac{1}{n}\right) = -\frac{dn}{n^2} \quad (9)$$

что задает изменение времени периоде в некоторой непосредственной окрестности некоторого числа оборотов.

Подставляя уравнение (7) и (9) получим:

$$dT = -\frac{\beta}{n^2} du_2 \quad (10)$$

отсюда

$$\beta' = -\frac{\beta}{n^2} \quad (11)$$

что является передаточным коэффициентом сервомотора в некоторой непосредственной окрестности заданного числа оборотов.

Рассмотрим теперь передаточную функцию системы регулирования. Три, сохраняющие энергию, звена находятся в цепи регулирования. Их передаточные функции:

$$Y_1 = \frac{1}{1 + s T_d} \quad (I2)$$

$$Y_2 = \frac{1}{1 + s T_k} \quad (I3)$$

$$Y_3 = \frac{1}{s (1 + s T_M)} \quad (I4)$$

где

Y_1 - передаточная функция фазового дискриминатора

Y_2 - передаточная функция усилителя мощности

Y_3 - передаточная функция сервомотора

T_d, T_k, T_M - постоянные времени звеньев [сек]

Постоянная времени фазового дискриминатора вследствие его периодической работы выражается соотношением /4/

$$T_d = \frac{2\pi}{n_0}$$

где

$n_0 \left[\frac{\text{рад}}{\text{сек}} \right]$ - частота основного сигнала, подаваемого на вход I фазового дискриминатора.

Постоянная времени сервомотора составляется из двух частей:

$$T_\epsilon = \frac{L}{R}$$

и

$$T_M = \frac{R\theta}{c^2}$$

где

T_E [сек] - электромагнитная постоянная времени сервомотора

T_M [сек] - электромеханическая постоянная времени сервомотора

L [гН] - индуктивность якоря

R [ом] - сопротивление якоря

Θ [Мкг·сек²] - момент инерции якоря и подключенных к нему нагружающих частей

C [$\frac{б}{\text{рад/сек}}$] - постоянная, характеризующая сервомотор. Она определяется как отношение напряжения на клеммах якоря и скорости вращения при холостом ходе и при заданном возбуждении.

Из-за нагружающих якоря элементов величина электромеханической постоянной времени T_M такая, что при ней электромагнитной постоянной времени T_E можно пренебречь. Таким образом, в передаточной функции фигурирует только T_M (I4).

Постоянная времени усилителя мощности T_k меньше постоянных времени T_M и T_{α} на несколько порядков. Поэтому передаточной функцией Y_2 (I3) можно пренебречь.

На основании рассказанных выше передаточную функцию разомкнутой системы в виде произведения (5), (I2) и (I4) уравнений:

$$W = \hat{K} \frac{1}{s(1 + sT_M)(1 + sT_{\alpha})} \quad (I5)$$

Подставляя соответствующие данные в передаточную функцию можно исследовать устойчивость системы (методами Боде, Найквиста или другими методами), потом, после подбора помещенных в блоке ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ соответствующих

элементов компенсации, замкнутая цепь регулирования обеспечивает работу с требуемой точностью.

5. Результаты измерений.

Опытный экземпляр устройства регулирования фазы был изготовлен в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ. Устройство было испытано с синхронизирующими сигналами импульсного реактора ИБР-30 и работало с кристаллическим селектором сервомотора постоянного тока. В качестве селектора применялся вращающийся в вертикальном положении монокристалл алюминия цилиндрической формы диаметром в 70 мм и весом 1 кг.

Суммарный вес державки кристалла и подающего сигналы диска около 4кг, наибольший диаметр 135 мм. Использовался двигатель постоянного тока с независимым возбуждением (ти. УЛА 62).

Максимальная мощность двигателя 300 вт, а наибольшее допустимое число оборотов 8000 об/мин. Долговременная стабильность импульсов реактора $\pm 2\%$, а кратковременная стабильность $\pm 0,4\%$ /2/.

Испытания проводились трижды, каждое с длительностью 5 часов. Устройство работало безотказно при испытаниях. Стабильность по фазе кристаллического селектора лучше $\pm 3,5$ мксек, как это видно из рисунков 5,6 и 7 (т.е. по углу $\pm 0,15^\circ$), что является удовлетворительной на основании физических соображений.

В заключение авторы выражают глубокую признательность канд. физ.-мат. наук Ю.С. Язвицкому за внимание и постоянный интерес к работе, канд. техн. наук В.Н. Замрию, канд. техн. наук В.Г. Тихину за ряд ценных советов и участие в обсуждении работы.

Ким Век 27.

Литература:

1. В.Д.Ананьев, Д.И.Блохинцев, Б.Н.Бунин, Л.К.Кулькин, И.М.Матора, В.М.Назаров, В.Т.Руденко, И.М.Франк, Е.П.Шабалин, Ф.Л.Шапиро, Ю.С.Язвницкий "Опыт эксплуатации и развитие импульсных периодических реакторов в Дубне". Препринт ИЗ-4395, Дубна, 1969.
2. Р.Э.Багдасаров "Система управления механическими нейтронными прерывателями". Автореферат диссертации 260, Дубна, 1971.
3. Б.А.Котов и др. ИТЭ, 3, 197, 1970.
4. E.ONO, T.Kawabata."Digital Phase Control System and Speed for three type Neutron Choppers". Nuclear Instruments and Methods 39(1966) 109-118.
5. F.Szlavik, Gy. Orban. Electronic Engineering, August 1965.
6. R.A.Millar."Digital Control of Shaft Speed and Position" IEEE spectrum January 1968, 90-95
7. L.Balmer, O.P.Lewis."Logic System for Position Control of a Squirrel-cage Induction Motor". Electronic Engineering March 1969, 349-352.
8. G.P. Westphal, H.Rauch, G. Breitfuss."A Double Chopper Spectrometer for Cold Neutrons". Nuclear Instruments and Methods 98 no. 1. (1972) 87-92
9. O.K.Harling."Phased Rotating Crystal and Chopper for Time of Flight Neutron Spectroscopy" The Review of Scientific Instruments 37, no.6, June 1966, 697-709
10. Ким Вон Зу, И.Палмаи "Цифро-аналоговый фазовый дискриминатор для регулирования положения сервомоторов постоянного тока", Сообщение ОИЯИ, Дубна, 1972.

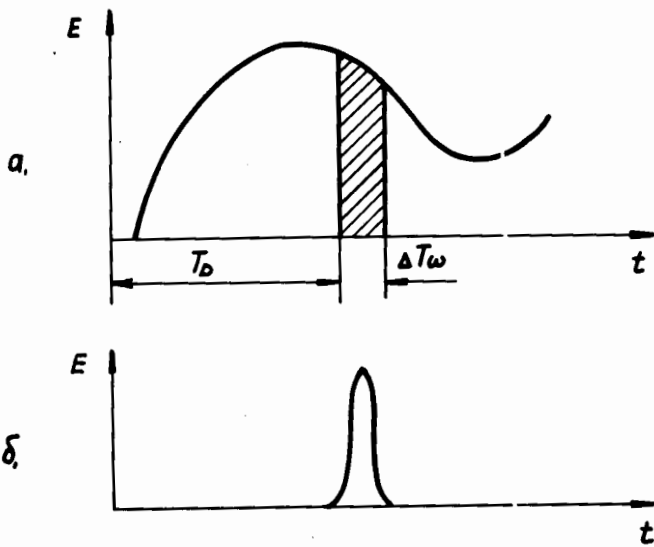


Рис. 1 Принципиальная схема селектора.

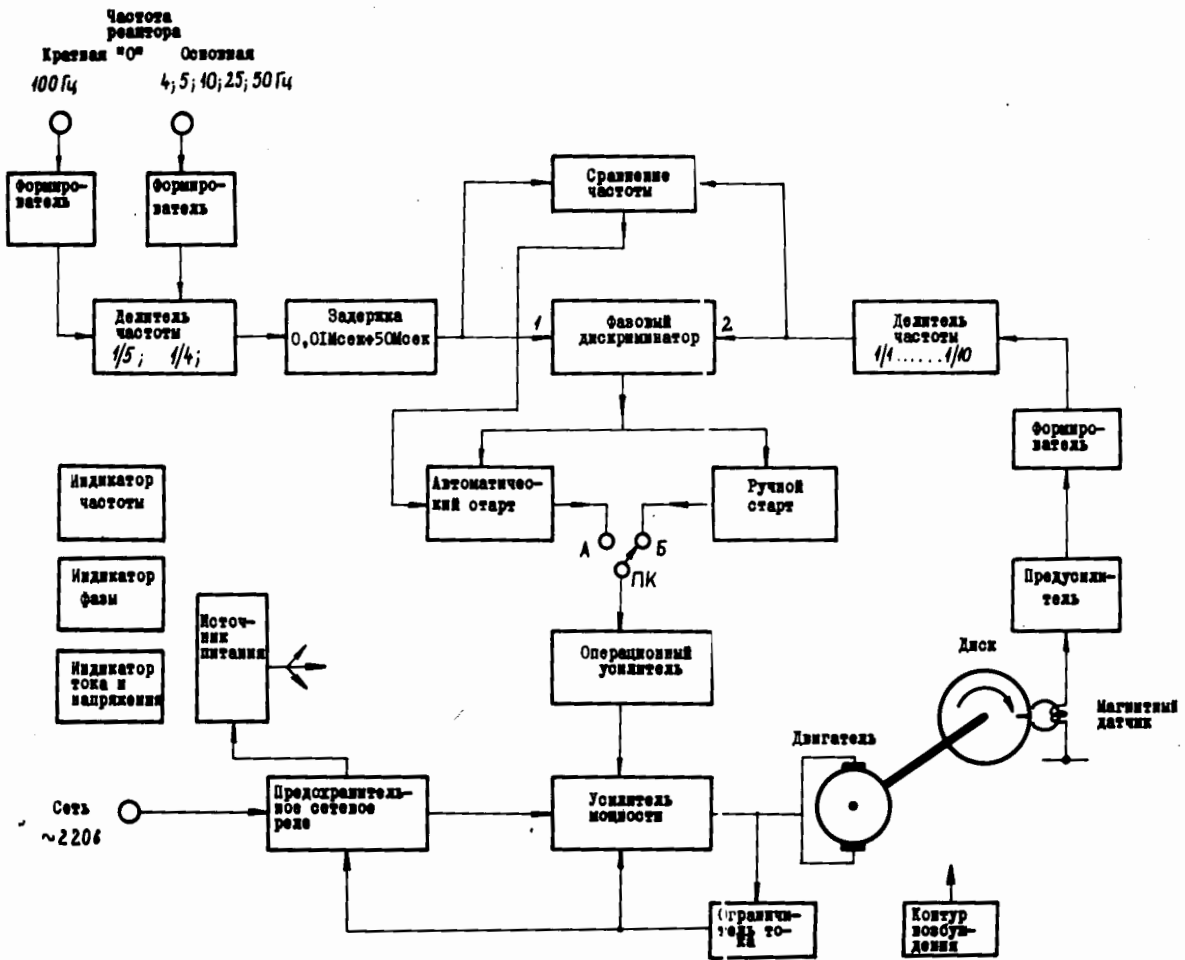


Рис. 2 Принципиальная блок-схема синхронизирующего устройства.

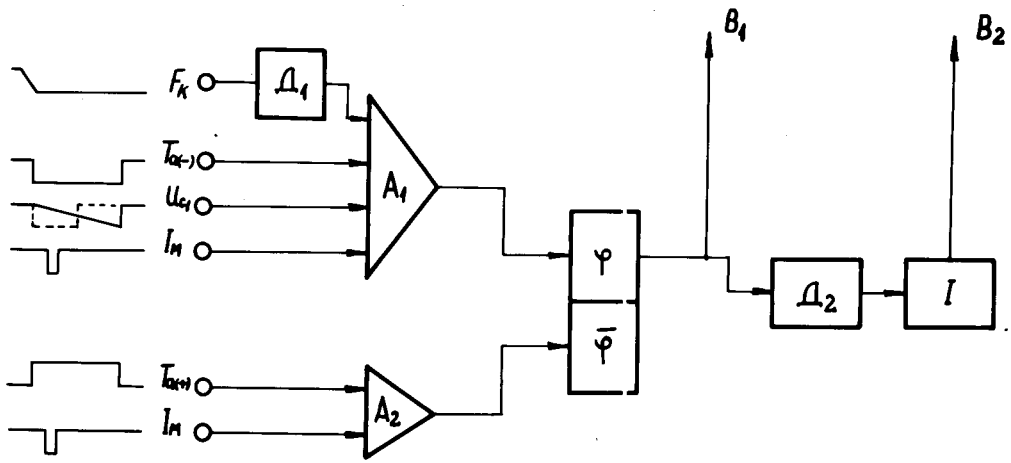


Рис. 3 Функциональная блок-схема автоматического старта.

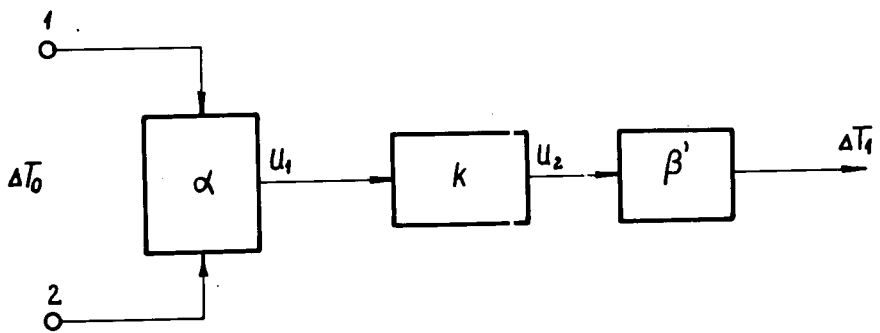


Рис. 4 Структурная блок-схема системы.

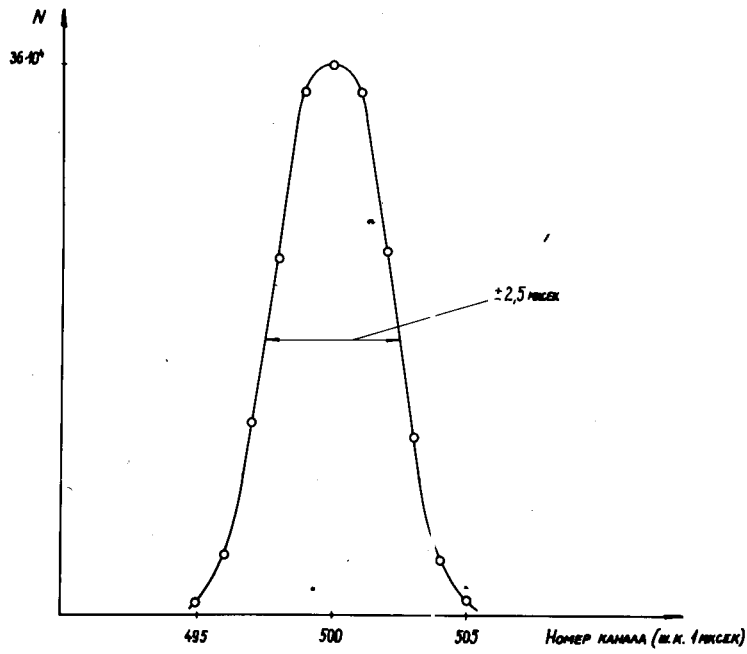


Рис. 5 Временное разрешение системы. Скорость вращения ротора 4500 об/мин.

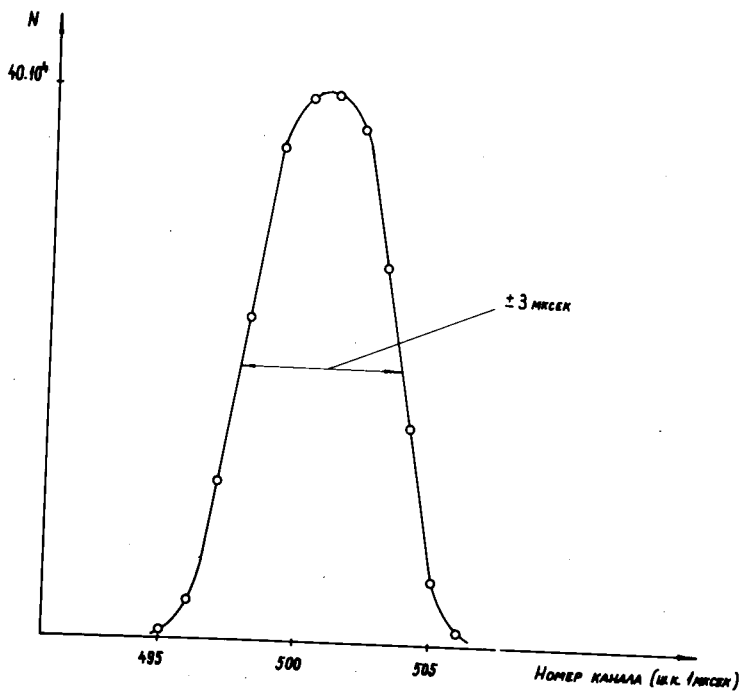


Рис. 6 Временное разрешение системы. Скорость вращения ротора 6000 об/мин.

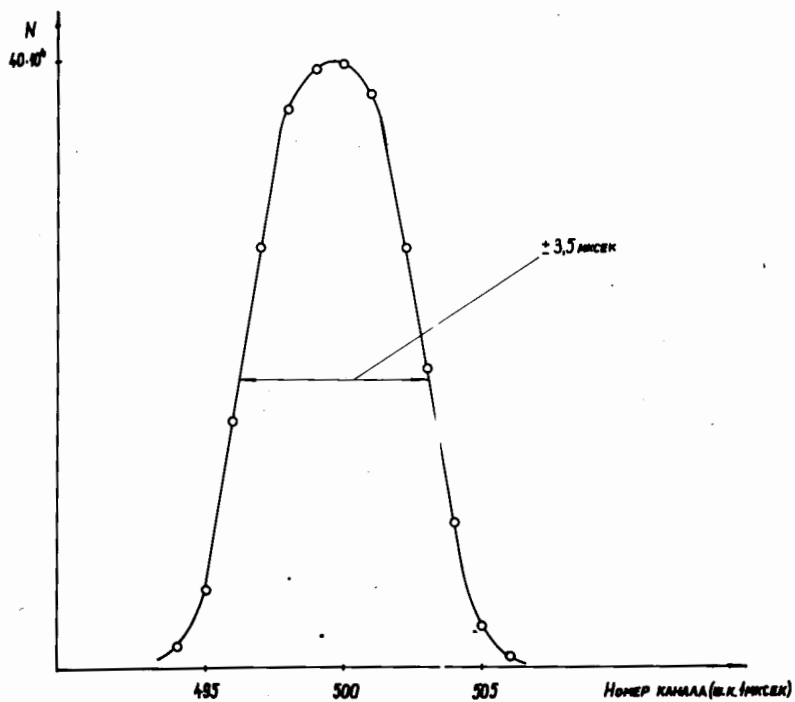


Рис. 7 Временное разрешение системы. Скорость вращения ротора 7500 об/мин.

Кратная частота "0" реактора [Гц]	Отношение частот	Основная частота реактора [Гц]	Синхрон частоты двигателя [Гц]
100	$\frac{1}{5}$	4; 5; 10	$n \cdot 20$ $n = 1, 2, 3 \dots 10$
100	$\frac{1}{4}$	5; 25; 50	$n \cdot 25$ $n = 1, 2, 3 \dots 8$

Таблица I.