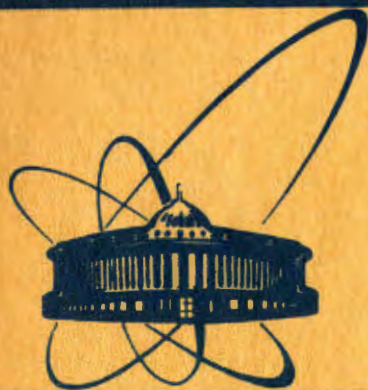


80-95



**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

13-80-95

А.К.Попов, А.Д.Рогов, В.Т.Руденко

**ОЦЕНОЧНЫЕ ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
И ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ ИМПУЛЬСНОГО
РЕАКТОРА ИБР-30**

1980

Знание частотных характеристик и передаточной функции любой линейной системы сильно упрощает анализ ее динамики. Реактор может рассматриваться как линейная система лишь при ограниченном отклонении его мощности от своего среднего уровня. Выдерживать это условие при экспериментальном определении частотных характеристик затруднительно из-за существенных флуктуаций мощности, присущих импульсному реактору. Поэтому частотные характеристики импульсного реактора на быстрых нейтронах ИБР-30, полученные путем обработки переходного процесса мощности при изменении уровня реактивности, можно рассматривать как оценочные.

Реактивность реактора изменялась путем перемещения стержня ручного регулятора с помощью штатной приводной системы, состоящей из пары силовых сельсинов - датчика и приемника. Сельсином - датчиком в течение одной секунды задавалось понижение реактивности на $3,6 \cdot 10^{-5}$ абсолютных единиц /т.е. на 0,012 долей β , где β - суммарная доля запаздывающих нейтронов/ и в относительных единицах регистрировалась последовательность амплитуд импульсов мощности, пропорциональных энергии, выделяемой в импульсах мощности. Огибающая последовательности импульсов показана на рис. 1 /ломаная линия \bar{E} /. Частота импульсов составляла 5 Гц, а средняя мощность реактора до момента уменьшения реактивности составляла 14 кВт. После выхода реактора на новый установившийся уровень средней мощности регистрация прекратилась.

Флуктуации импульсов мощности обусловлены шумами реактивности. Поэтому для вычисления частотных характеристик использовалась усредненная последовательность импульсов мощности. Их огибающая изображена на рис. 1 кривой E . Для интервалов времени как до, так и после изменения реактивности, которые составляли соответственно 76 с /380 импульсов мощности/ и 86 с /430 импульсов/, среднеквадратические относительные отклонения зарегистрированных амплитуд импульсов от усредненных, т.е. отнесенных к усредненным амплитудам, одинаковы и равны 0,026.

В качестве входной величины исследуемой системы "ручной регулятор - реактор" /рис. 2/ принималось отклонение реактивности от равновесного первоначального уровня ρ_0 в долях β , задаваемое сельсином-датчиком /т.е. программа изменения реактивности/, а в качестве выходной величины - относительное отклонение мощности реактора, усредненной по периоду следования импульсов,

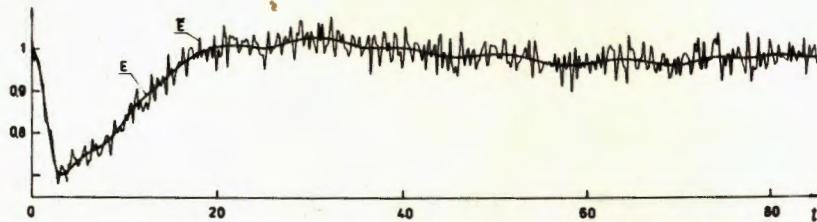


Рис. 1. Реакция на понижение уровня реактивности на 0,012 долей β .

\bar{E} - огибающая энергии зарегистрированных импульсов мощности в относительных единицах при наличии шумов реактивности,

E - огибающая энергии импульсов мощности без учета шумов реактивности,

t - время в с.

$$\Delta_1 = \frac{\bar{P}_1 - \bar{P}_0}{\bar{P}_0} = 0,95 \frac{E_i - E_0}{E_0}, \quad /1/$$

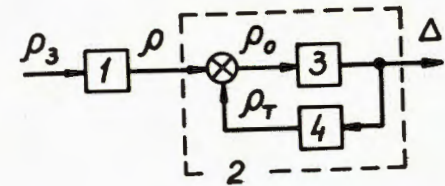
где \bar{P}_0 , \bar{P}_1 - усредненная по периоду мощность, а E_0 , E_i - энергия импульсов мощности соответственно до и после изменения реактивности, $i = 1, 2, \dots, 430$ - порядковый номер импульса мощности после изменения реактивности. Коэффициент 0,95 учитывает пятипроцентный вклад фона и побочных /не основных/ импульсов мощности в полную величину энергии, выделяемой за период следования импульсов.

Вычислены частотные фурье-изображения выходной $\Delta(j\omega)$ и входной $\rho_3(j\omega)$ величин и по ним - частотная передаточная функция $W(j\omega)$ системы "ручной регулятор - реактор":

$$W(j\omega) = \frac{\Delta(j\omega)}{\rho_3(j\omega)} = |W(j\omega)| e^{j\phi(\omega)}. \quad /2/$$

На рис. 3а показана логарифмическая амплитудная частотная характеристика $L(\omega) = 20 \lg |W(j\omega)|$, а на рис. 3б - логарифмическая фазовая характеристика $\phi(\omega)$. Вычисленные логарифмические характеристики /их значения помечены на рис. 3 точками/ аппроксимировались методом асимптотической амплитудной частотной характеристики, которая показана пунктиром на рис. 3а. Полученные в результате аппроксимации логарифмические частотные характеристики показаны на рис. 3 сплошными линиями.

Рис. 2. Структурная схема исследуемой системы. 1 - ручной регулятор, 2 - реактор, представленный в виде блока кинетики /реактора нулевой мощности/ 3 и блока температурной обратной связи 4.



ρ_3 - задающее /программное/ отклонение реактивности от первоначального уровня, ρ - фактическое отклонение реактивности, обусловленное ручным регулятором, ρ_0 - отклонение реактивности реактора нулевой мощности, ρ_T - отклонение реактивности, обусловленное температурной обратной связью, Δ - относительное отклонение мощности от первоначального уровня.

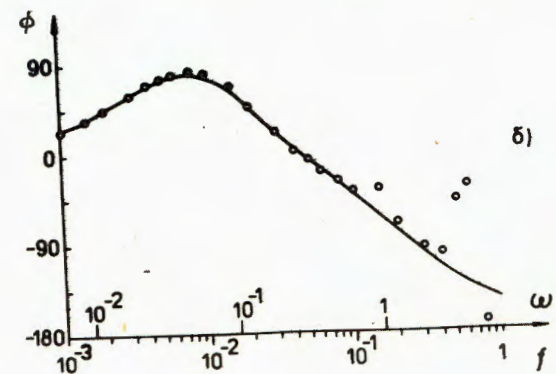
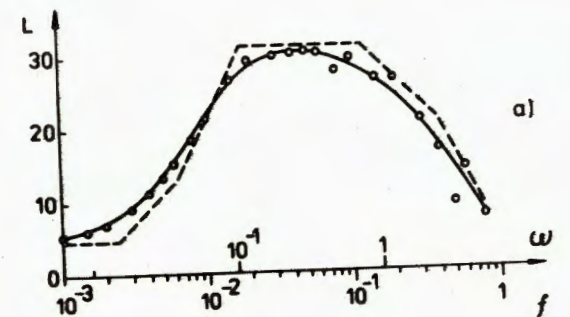


Рис. 3. Амплитудная L и фазовая ϕ логарифмические частотные характеристики системы "ручной регулятор-реактор". L - в децибелах, ϕ - в градусах, f - в Гц, ω - в рад/с.

Аппроксимирующим логарифмическим характеристикам соответствует следующая передаточная функция системы "ручной регулятор - реактор", представляющая собой отношение выходной величины к входной, преобразованных по Лапласу при нулевых начальных условиях:

$$W(p) = \frac{\Delta(p)}{\rho_3(p)} = \frac{k(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}{(T_3^2 p^2 + 2\zeta T_3 p + 1)(T_4 p + 1)(T_5 p + 1)}, \quad /3/$$

где p - комплексная переменная преобразования Лапласа.

Численные значения констант равны:

$$k = 1,72, \quad T_1 = 25 \text{ с}, \quad T_2 = 66 \text{ с}, \quad T_3 = 8,9 \text{ с}, \quad \zeta = 0,8, \\ T_4 = 1,33 \text{ с}, \quad T_5 = 0,4 \text{ с}.$$

Как видно из рис. 3, для частот выше 0,1 Гц наблюдается существенный разброс значений фазовой, а затем и амплитудной логарифмических характеристик, полученных обработкой переходного процесса мощности. В диапазоне частот от 0,001 до 0,1 Гц значения логарифмических характеристик изменяются достаточно плавно и довольно хорошо согласуются со значениями аппроксимирующих логарифмических характеристик. Расхождения между ними не превосходят по амплитуде 1,8 дБ, а по фазе - 5 градусов, составляя в среднем соответственно 0,45 дБ и 2 градуса, что позволяет считать проведенную аппроксимацию вполне удовлетворительной.

Падение амплитудной логарифмической характеристики на высоких частотах обусловлено динамическими свойствами ручного регулятора, передаточная функция которого, как следует из выражения /3/, должна иметь вид:

$$W_p(p) = \frac{1}{(T_4 p + 1)(T_5 p + 1)}. \quad /4/$$

Из выражений /3/ и /4/ вытекает, что реактор большой мощности /рис. 2/, т.е. с учетом температурной обратной связи - точнее, мощностной обратной связи, обусловленной влиянием температурных эффектов на реактивность, - имеет передаточную функцию

$$W_{RT}(p) = \frac{\Delta(p)}{\rho(p)} = \frac{k(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}{T_3^2 p^2 + 2\zeta T_3 p + 1}. \quad /5/$$

При аппроксимации шести групп запаздывающих нейтронов одной эквивалентной с постоянной времени T_1 ($T_1 = 1/\lambda_1$, где λ_1 - эквивалентная постоянная распада источников запаздывающих нейтронов) и при усреднении мощности по периоду следования импульсов передаточная функция реактора нулевой мощности имеет вид:

$$W_R(p) = \frac{\Delta(p)}{\rho_0(p)} = \frac{k_0(T_1 p + 1)}{p}, \quad /6/$$

где ρ_0 - отклонение реактивности реактора нулевой мощности /см. рис. 2/, k_0 - коэффициент усиления реактора нулевой мощности.

Передаточная функция температурной обратной связи $W_T(p)$ в предположении ее положительности связана с передаточными функциями $W_{RT}(p)$ и $W_R(p)$ соотношением

$$W_{RT}(p) = \frac{W_R(p)}{1 - W_R(p)W_T(p)}, \quad /7/$$

откуда с учетом /5/ и /6/ получена следующая передаточная функция температурной обратной связи:

$$W_T(p) = \frac{\rho_T(p)}{\Delta(p)} = \frac{k_T(r p - 1)}{T_2 p + 1}, \quad /8/$$

или, иначе,

$$W_T(p) = \frac{\rho_T(p)}{\Delta(p)} = k_1 - \frac{k_2}{T_2 p + 1}, \quad /9/$$

$$\text{где } k_T = k_2 - k_1, \quad r = \frac{k_1 T_2}{k_2 - k_1}.$$

Таким образом, обработка экспериментальных данных показала, что температурная обратная связь может быть представлена в виде двух параллельных цепей: положительной безынерционной с передаточной функцией

$$W_{T1}(p) = \frac{\rho_{T1}(p)}{\Delta(p)} = k_1 \quad /10/$$

и отрицательной инерционной с передаточной функцией

$$W_{T2}(p) = \frac{\rho_{T2}(p)}{\Delta(p)} = - \frac{k_2}{T_2 p + 1}, \quad /11/$$

где k_1 , k_2 - коэффициенты усиления, T_2 - постоянная времени, $\rho_{T1} + \rho_{T2} = \rho_T$.

Для рассматриваемого режима работы реактора $k_T = 0,58$, $\tau = 19,2$ с, $T_2 = 66$ с, $k_1 = 0,17$, $k_2 = 0,75$.

Следует отметить, что если рассматривать модель реактора не с одной, а с двумя эквивалентными группами запаздывающих нейтронов, выделив в отдельную группу более быстрые запаздывающие нейтроны, то параметры температурной обратной связи будут иными. В частности, это приведет к уменьшению значения коэффициента k_1 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Не прибегая к прямому методу экспериментального определения частотных характеристик, требующему специального осциллятора реактивности и длительного времени возмущения реактора, авторы получили оценочные передаточные функции как реактора в целом, так и его температурной обратной связи путем обработки зарегистрированного переходного процесса мощности при разовом программном изменении уровня реактивности штатным органом управления.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 февраля 1980 года.

Нет ли пробелов в Вашей библиотеке?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

P1,2-7642	Труды Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Гомель, 1973.	7 р. 15 к.
D1,2-8405	Труды IV Международного симпозиума по физике высоких энергий и элементарных частиц. Варна, 1974.	2 р. 05 к.
P1,2-8529	Труды Международной школы-семинара молодых ученых. Актуальные проблемы физики элементарных частиц. Сочи, 1974.	2 р. 60 к.
D6-8846	XIV совещание по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1975.	1 р. 90 к.
D13-9164	Международное совещание по методике проволочных камер. Дубна, 1975.	4 р. 20 к.
D1,2-9224	IV Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1975.	3 р. 60 к.
D13-9287	Труды VIII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1975.	5 р. 00 к.
D7-9734	Международная школа-семинар по взаимодействию тяжелых ионов с ядрами и синтезу новых элементов /Дубна, 1975/.	3 р. 00 к.
D2-9788	Нелокальные, нелинейные и неренормируемые теории поля /Алушта, 1976/.	2 р. 40 к.
D-9920	Труды Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра. Дубна, 1976.	3 р. 50 к.
D9-10500	Труды II Симпозиума по коллективным методам ускорения. Дубна, 1976.	2 р. 50 к.
D2-10533	Труды X Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Баку, 1976.	3 р. 50 к.
D13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
D10,11-11264	Труды Совещания по программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
D17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.