



Метод измерения плотности потока нейтронов и скорости его изменения по сигналам с ионизационной камеры

Выполнил:

Давыдкин Е.К., студент группы Б22-104

Научный руководитель:

Салахутдинов Г.Х. ,д.ф.-м.н., проф.

Научный консультант:

Узойкин А.П., начальник группы ККАЭ ОВНК НИЦ «Курчатовский институт»

2026 г.

Цель и задачи

- Проведение анализа существующих методов контроля параметров реактора по нейтронному потоку.
- Испытание алгоритма расчета средней скорости счета импульсов нейтронного детектора и периода ее изменения. Проведение функциональной симуляции аппаратного дизайна устройства реализующего этот алгоритм.

Контроль параметров ядерного реактора

Контроль значения мощности ядерного реактора позволяет поддерживать реактор в подкритическом состоянии и управлять цепной реакцией происходящей в активной зоне.

Мощность реактора пропорциональна плотности нейтронного потока. Период реактора - время, за которое мощность реактора увеличится в e раз (e - число Эйлера):

$$T = \frac{N}{\frac{dN}{dt}} = \frac{\Phi}{\frac{d\Phi}{dt}}$$

Детектирование нейтронов

Характеристика	Сцинтилляционный детектор	Ионизационный детектор
Чувствительность (эффективность к тепловым нейтронам)	Высокая (до ~90%), сильно зависит от толщины конвертера/сцинтиллятора	Высокая (до ~80–90% для He-3 при высоком давлении)
Мёртвое время	Малое (~10–100 нс)	Большое (~1–10 мкс)
Макс. мощность дозы гамма-излучения (при сохранении счётного режима)	0.1-0.01 Р/ч	10 ⁶ Р/ч

Измерительные схемы нейтронных ионизационных нейтронных детекторов

Режимы работы ионизационного детектора:

1. Импульсный
2. Токовый

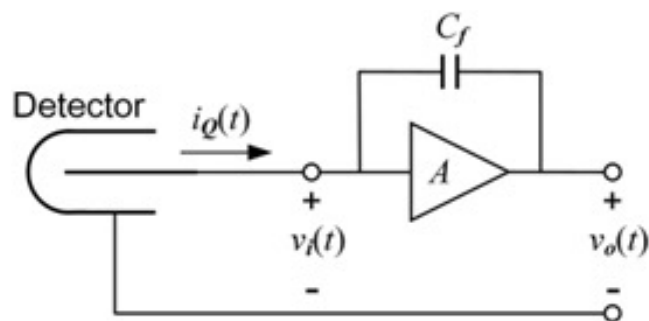


Рисунок 1 - Базовая конфигурация ЗЧПУ.

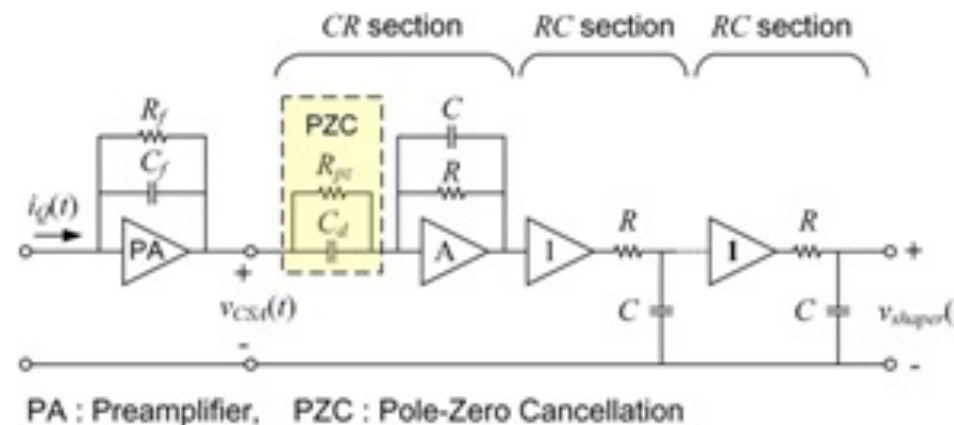


Рисунок 2 - CR-(RC)_n формирующий усилитель.

Алгоритм работы измерительного устройства



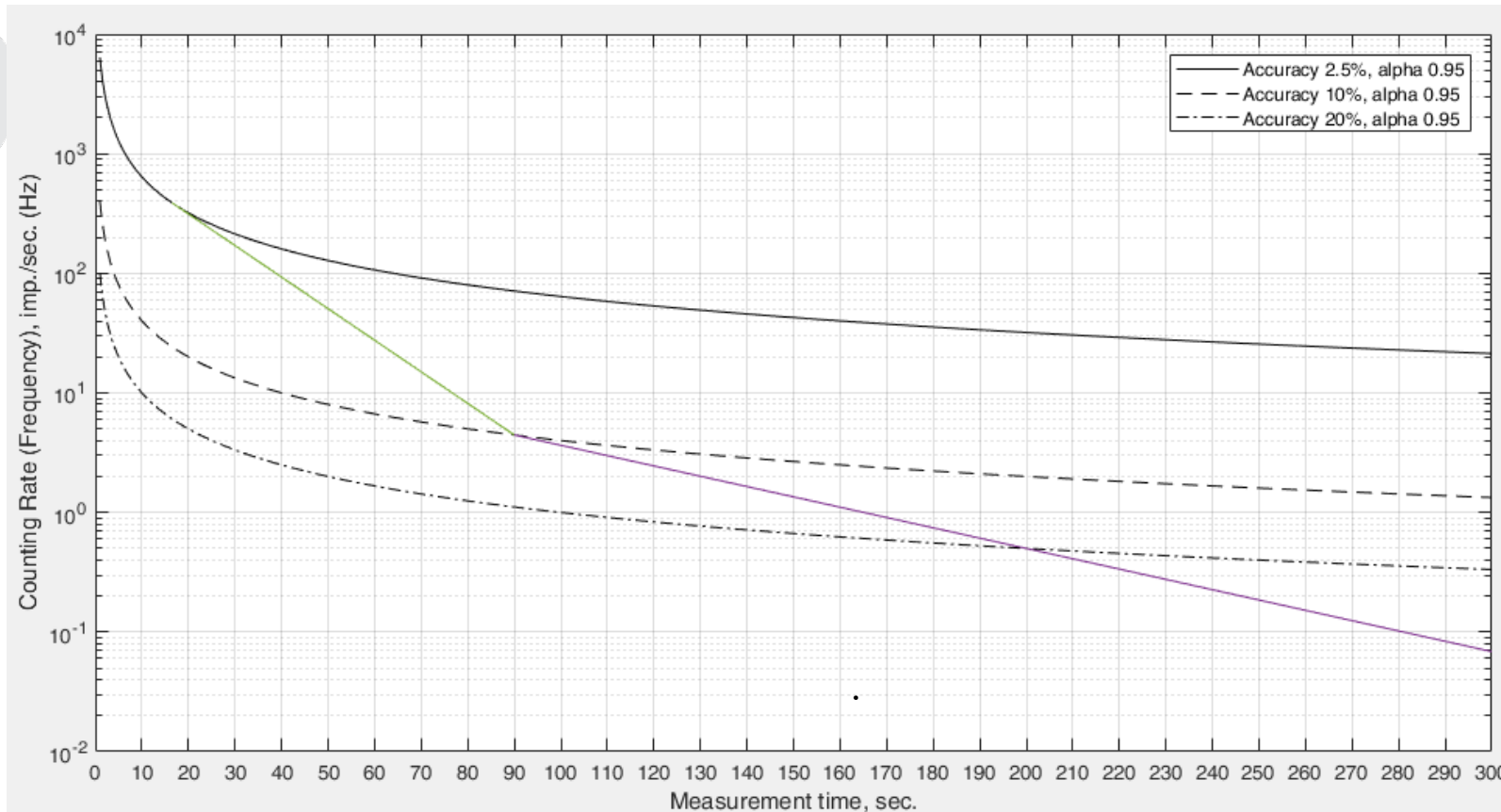
Рисунок 4 – Принципиальная схема алгоритма измерения скорости счета



Рисунок 5 – Принципиальная схема алгоритма измерения периода

Период рассчитывается по формуле: $T = \frac{t_1 - t_2}{\ln\left(\frac{F_1}{F_2}\right)}$

Алгоритм работы измерительного устройства



- Допущения по точности:
- При времени измерения 90 сек погрешность должна составлять 10%.
 - При скорости следования импульсов 0,5 имп./сек время измерения должно составлять 200 сек.
 - Скорость следования импульсов 7000 имп./сек должна измеряться за время 1 сек

Рисунок 6 – Требования по времени для измерения средней скорости счета

Спецификация функций



1) Расчет средней скорости счета.

При времени измерения 90 сек погрешность должна составлять 10%. При скорости следования импульсов 0,5 имп./сек время измерения должно составлять 200 сек. Скорость следования импульсов 7000 имп./сек должна измеряться за время 1 сек.

2) Расчет периода изменения скорости счета.

Расчет периода с точностью 20%.

3) Отклонение не валидных входных данных по приращению числа импульсов или времени.

Предел приращения по числу импульсов 65536. Валидное приращение по времени лежит в пределах от 0 до 5050000 импульсов тактовой частоты.(0-2.02 с)

Тестирование функции расчета средней скорости счета

Использованы направленные тесты. Значение числа импульсов подаваемых на вход генерировалось согласно распределению Пуассона, с учетом эталонного значения средней скорости счета. Результаты тестирования:

Таблица 1. Результаты тестирования расчета средней скорости счета.

№	Эталонное значение скорости счета, имп./с	Ответ модуля, имп./с	Время измерения, с	Соответствие в требований
1	0.01	0.015	200	Да
2	0.5	0.475	200	Да
3	5	5.47	87	Да
4	7000	6940	1	Да
5	10000	10100	1	Да

Тестирование функции расчета периода

Использованы направленные тесты. Результаты тестов расчета значения периода:

Таблица 2. Результаты тестирования расчета периода

№	Эталонное значение Т,с	Ответ модуля,с	Соответствие
1	10.000000	9.995563	Да
2	50.000000	50.012924	Да
3	80.000000	80.029999	Да
4	100.000000	100.159492	Да
5	200.000000	200.411545	Да

Тестирование отклонения не валидных входных данных по приращению числа импульсов или времени.

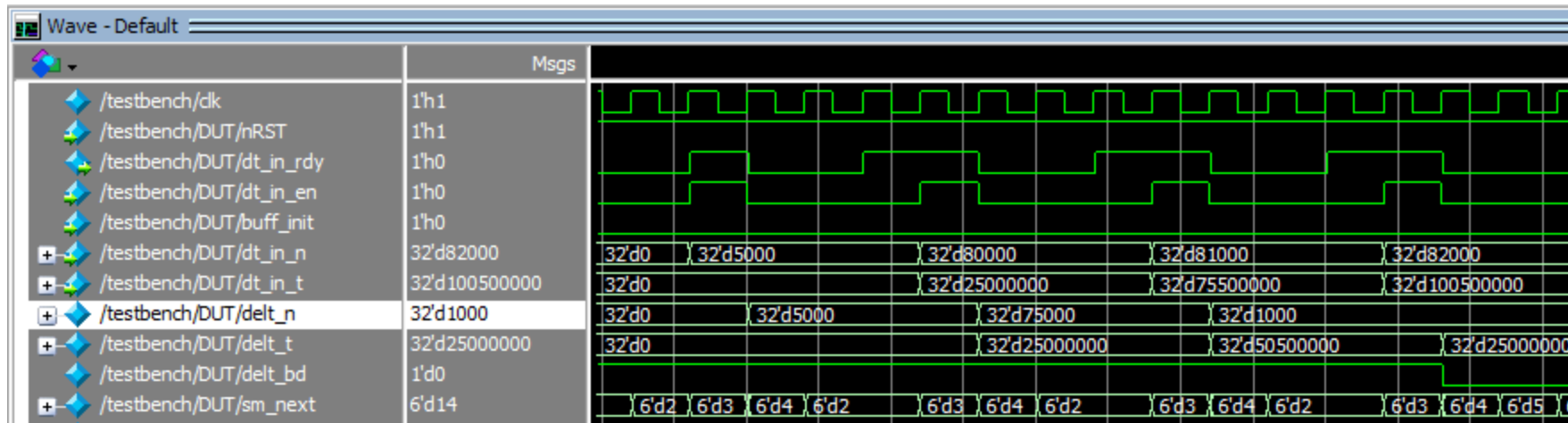


Рисунок 6 – Временные диаграммы

Таблица 3 – Результаты тестов

№	ΔN , имп.	ΔT , имп. тактовой частоты	Эталонный ответ (0 - данные не валидны, 1 - валидны)	Сигнал delt_bd (0 - данные валидны, 1- не валидны)
1	5000	0	0	1
2	75000	25000000	0	1
3	1000	50500000	0	1
4	1000	25000000	1	0

Выводы и результаты

1) Проведен анализ современных физических методов детектирования реакторных нейтронов, измерительных схем нейтронных датчиков, наиболее актуальных методов измерения средней скорости счета импульсов, поступающих с импульсного нейтронного датчика.

2) Рассмотрены современные возможности в разработке цифровых устройств, построенных на основе ПЛИС, и их применение в измерительной аппаратуре. Освоен процесс проектирования таких устройств, современные методы разработки и актуальное программное обеспечение.

Проведена верификация аппаратного дизайна устройства измерения средней скорости счета и периода ее изменения методом функциональной симуляции.

По результатам тестирования можно сделать выводы:

- 1) Тестирование показало, что измерение значения средней скорости счета дизайном устройства соответствует требованиям спецификации на всем исследуемом диапазоне.
- 2) Алгоритмически расчет периода производится верно.
- 3) Функция отклонения входных данных при превышении порога по приращению соответствует требованиям спецификации.



МИФИ

Национальный
исследовательский
ядерный университет

Спасибо за внимание!