

УДК 681.3.06(076.5)

**ПРОГРАММНО-ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ СВЧ ИМПУЛЬСОВ**

В.С. Косицын, В.Г. Гальченко, Т.А. Гладкова

Томский политехнический университет

E-mail: gal@am.tpu.ru; am@am.tpu.ru

Оценка параметров СВЧ импульсов является важной задачей при проведении экспериментальных исследований. Существующие программы построения графиков СВЧ импульсов и оценка их параметров реализованы в среде MathCad и обладают существенными недостатками, так как многие параметры среды, по которой проходят СВЧ импульсы, требуется вводить непосредственно в программе. В работе описано программное обеспечение оценки параметров СВЧ импульсов, реализованное в среде Qt 4.5 C++.

**Ключевые слова:**

СВЧ импульс, система программирования, параметры импульса, программное обеспечение.

**Key words:**

Microwave pulse, programming system, pulse parameters, software.

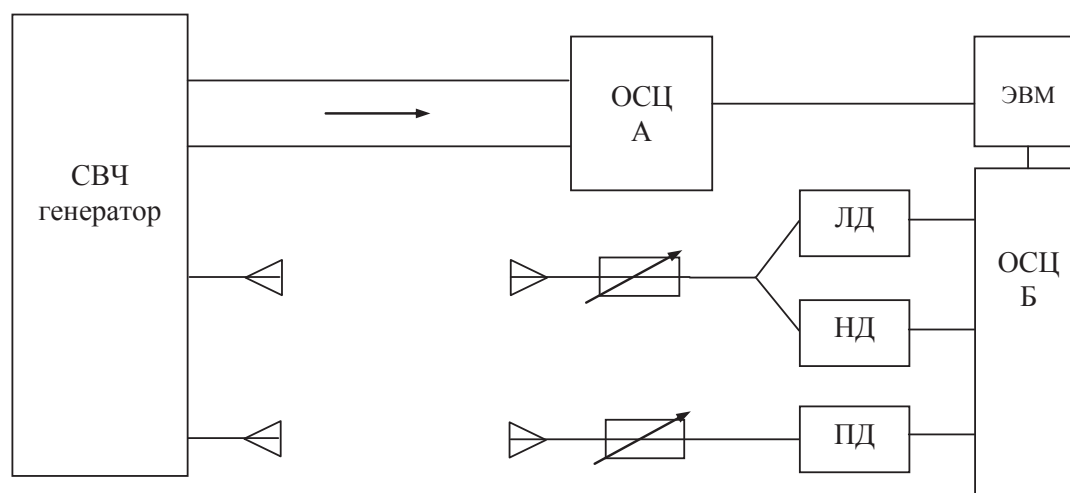
**Введение**

В работе [1] описана схема измерения параметров СВЧ импульса. Детектированные сигналы с трёх измерительных каналов поступают на цифровой осциллограф и записываются в виде текстовых файлов. Для приёмных детекторов имеются предварительно полученные с помощью генератора импульсов (ГИН) калибровочные кривые. Кривые показывают зависимость выходного напряжения датчиков от СВЧ мощности на входе измерительного канала при различных частотах СВЧ сигнала. Обработка экспериментальных данных, полученных с помощью цифрового осциллографа, проводилась с использованием программного обеспечения, созданного в среде MathCad. Текстовые файлы считывались программой MathCad для получения графиков различных параметров СВЧ импульса. Для экспериментатора программное обеспечение в среде MathCad является достаточно неудобным, так как требует ввода множества исходных данных непосредственно в программе.

В работе для обработки экспериментальных данных, записанных с помощью цифровых осциллографов, представлено программное обеспечение в среде Qt4.5 C++. В отличие от программы в MathCad, представленной в работе [1], все необходимые исходные данные вводятся из файла входных параметров, которые пользователь может изменить в диалоговом окне.

**Измерения параметров СВЧ импульса**

Схема эксперимента представлена на рис. 1. В соответствии с этой схемой СВЧ импульс поступает на антенну и далее через согласованный тройник распространяется по двум измерительным каналам. В одном из каналов, называемом «линейным», после фиксированного аттенюатора установлена коаксиальная детекторная головка с полупроводниковым СВЧ диодом. СВЧ диод в головке осуществляет детектирование СВЧ импульса. Во втором канале – «нелинейном», между фиксированным аттенюатором и коаксиальной детектор-



**Рис. 1.** Схема эксперимента: ОСЦ А, Б – осциллографы А, Б; ЛД – линейный детектор; НД – нелинейный детектор; ПД – подвижный детектор

ной головкой, которая подобна головке в линейном канале, установлен «запредельный» аттенуатор, величина ослабления которого изменяется от частоты по определенному закону. Кроме этого, СВЧ импульс принимается антенной пространственно-подвижного линейного детектора, что позволяет построить диаграмму направленности СВЧ-генератора и определить общую излучаемую мощность.

Регистрация параметров СВЧ импульса осуществляется линейным, нелинейным и подвижным детекторами измерительных каналов, которые подключаются к осциллографу Б. Частотные зависимости измеренной мощности линейного и нелинейного каналов для выходных напряжений датчиков и приведенная импульсная мощность находятся с использованием калибровочных характеристик линейного и нелинейного каналов.

### Структура программного обеспечения

В процессе эксперимента данные подаются на два цифровых осциллографа – А и Б, и записываются в виде текстовых файлов. На один осциллограф подаются сигналы с датчиков, регистрирующих параметры самого СВЧ-генератора, что позволяет оценить динамику его работы и осуществить временную привязку СВЧ импульсов с детекторов, которые поступают на вход второго осциллографа. Имя каждого текстового файла с осциллографов является составным и содержит букву с номером канала, далее через точку пять цифр номера эксперимента и через точку расширение txt или dat. Наличие номера эксперимента в имени файла позволяет выбрать файлы, соответствующие нужному эксперименту.

Входные данные, необходимые для обработки экспериментальных данных, находятся в файле входных данных, который считывается при запуске программы. Эти данные размещаются в таблице данных. После считывания экспериментальных данных из текстовых файлов, записанных с помощью двух цифровых осциллографов А и Б, создаются формы изображения малых графиков, на которые добавляются экспериментальные данные сигналов с датчиков.

Для расчета параметров СВЧ импульсов по полученным сигналам с датчиков используются файлы, которые формируются в процессе калибровки датчиков. При этом используется необходимый набор частот и соответствующие уровни мощности СВЧ-генератора импульсов. После преобразования сигналов с датчиков с учетом калибровочных параметров осуществляется расчет временной задержки каждого сигнала с учетом среды прохождения сигнала и длины кабеля, по которому передается сигнал. Данные о задержке сигнала по каждому измерительному каналу представлены в таблице.

После преобразования сигналов с датчиков осуществляется создание форм графиков и добавление графиков на форму. На каждом графике имеется возможность подробно исследовать его от-

дельные участки. С этой целью используется временное отсечение графика с помощью задания начальной и конечной временной точки отсечения.

Таблица. Входные данные

Осциллограф А			
Канал 1			
Данные	Обозначение	Значение	
Напряжение ГИН (кВ)	Um	Файл С1	
Делитель 1А	Div_m	8,80E+03	
Ослабитель 1А	DB5fix	50	
Коэффициент	Kum=DB5fix*Div_m	4,40E+05	
Канал 2			
Напряжение на диоде (кВ)	Un	Файл С2	
Делитель 2А	Div_n	2,05E+03	
Ослабитель 2А	D1fix	205	
Коэффициент	Kun=D1fix*Div_n	4,20E+05	
Канал 3			
Ток в диоде (кА)	Ish	Файл С3	
Шунт	Rsh	3,00E-02	
Ослабитель 3А	D3fix	440	
Коэффициент	KIsh=D3fix/Rsh	1,47E+04	
Канал 4			
Ток в диоде, пояс Роговского (2) (кА)	Irc	Файл С4	
Коэффициент	RCoil	1,92E+02	
Ослабитель 4А	DA6fix	50	
Коэффициент	KIrc=DA6fix*RCoil*2	1,92E+04	
Осциллограф Б			
Канал 1			
Данные	Обозначение	Значение	
Ток в диоде, пояс Роговского (1) (кА)	Ikp	Файл С4	
Коэффициент	RCoil	1,92E+02	
Ослабитель 1А	DA6fix	50	
Канал 2			
Напряжение линейного детектора (кВ)	U7	Файл С2	
Канал 3			
Напряжение нелинейного детектора (кВ)	U8	Файл С3	
Канал 4			
Напряжение подвижного детектора (кВ)	U1d	Файл С4	
Суммарное запаздывание			
Номер канала ОСЦ	Обозначение	Вычисление	Значение
1 канал А	TSCns	TLCns	122
4 канал А	TSCrc	DLrc+TLCrc	131,373
3 канал А	TSCsh	DLsh+TLCsh	126,352
2 канал А	Hrc	TSCrc-TSCns	9,373
1 канал Б	Hrc_sn	TSCrc-TSCsh	5,021
4 канал Б	TSCdet	Dldet+TLCdet	183,797
2 канал Б	Hdet	TSCdet-TSCns+hAB	60,618
3 канал Б	Hkp	TSCkp-TSCns+hAB	8,194

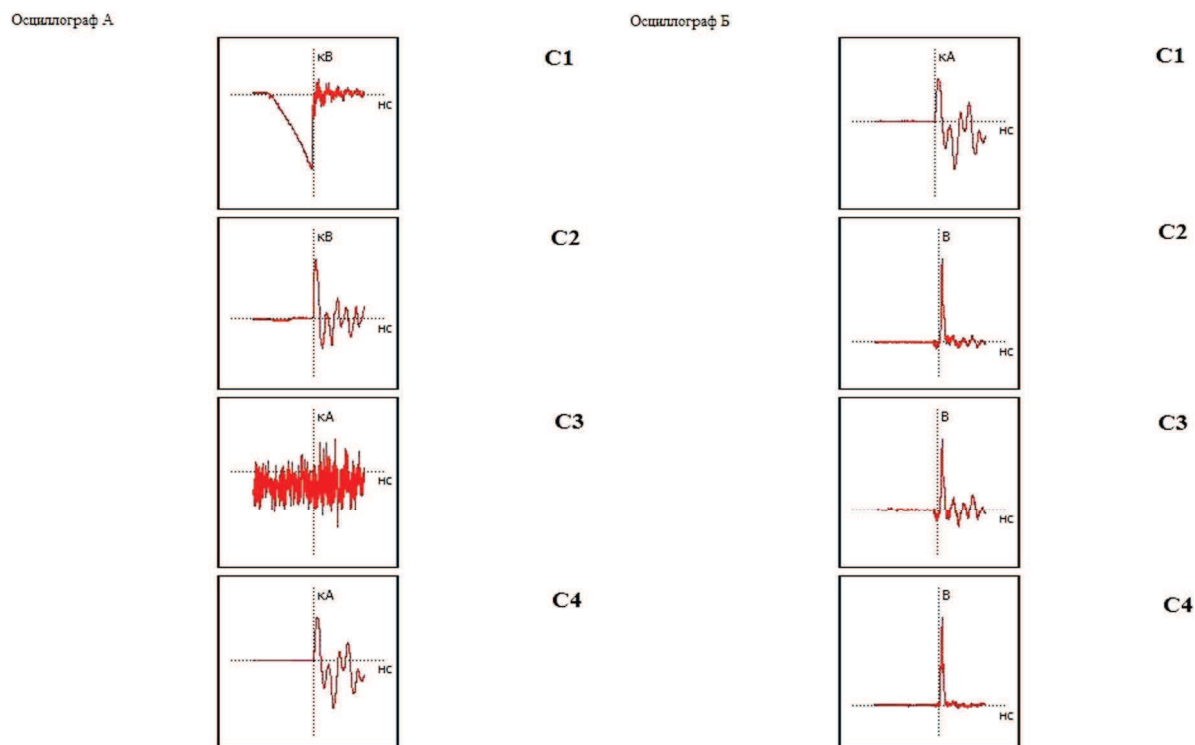


Рис. 2. Графики сигналов с каналов осциллографов А и Б

Для количественной оценки параметров СВЧ импульса на отдельном графике используется красный маркер, перемещая который по графику в соответствующем окне можно получить количественное значение данного параметра. На графике предусмотрена возможность регистрации временной задержки между отдельными элементами. Для этого используется синий маркер, задавая положение которого в соответствующем окне, можно получить временную задержку между положением красного и синего маркера.

#### Экспериментальные графики

На рис. 2. представлены графики сигналов с датчиков, преобразованных в цифровую форму с помощью цифровых осциллографов А и Б. Экспериментальные данные имеют интервал дискретизации 2 нс.

В программе предусмотрена возможность получить увеличенное изображение графика, если дважды щелкнуть по нему левой кнопкой мыши.

При анализе экспериментальных данных важное значение имеют следующие параметры: форма импульса СВЧ на диод, форма импульса с линейного детектора, форма импульса СВЧ с подвижного детектора. Формы импульса данных параметров импульса СВЧ представлены на рис. 3, где показано расположение красного и синего маркера, с помощью которых оценивается значение параметров в месте нахождения курсора в соответствующем окне и запаздывание между максимумами импульсов выбранных параметров.

Сравнение напряжений с линейного, нелинейного и подвижного детектора представлено на рис. 4. Экспериментатор по форме импульса может оценить правильность взаимного расположения датчиков.

Мощность импульса относится к одному из важнейших параметров СВЧ-генератора, от которого зависит в целом качество самой установки, поэтому данный параметр необходимо оценивать при эксплуатации всей системы. На рис. 5 показана мощность импульса, которая измеряется линейным детектором.

Очень важно установить на какой частоте находится максимальная мощность СВЧ импульса. Оценка данного параметра показана на рис. 6.

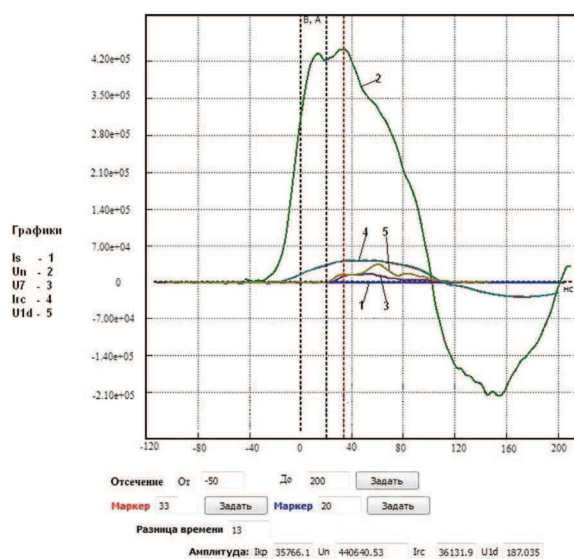


Рис. 3. 1)  $I_s$  – ток в диоде; 2)  $U_p$  – импульс СВЧ на диоде; 3)  $U_7$  – импульс с линейного детектора; 4)  $I_{rc}$  – ток в диоде (пояс Роговского 2); 5)  $U_{1d}$  – импульс СВЧ с подвижного детектора

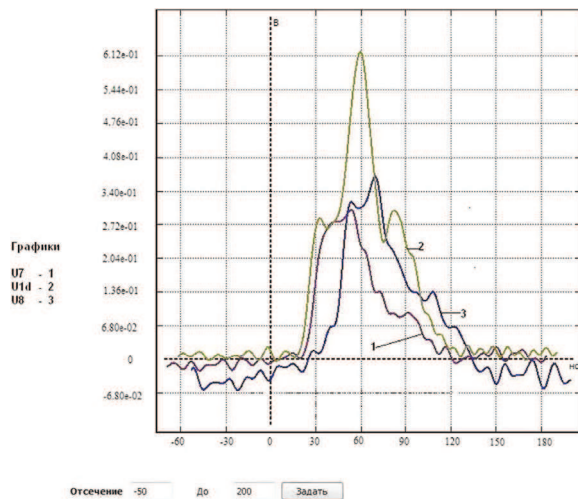


Рис. 4. Напряжения с датчиков: 1) U7 – линейного; 2) U1d – подвижного; 3) U8 – нелинейного детекторов

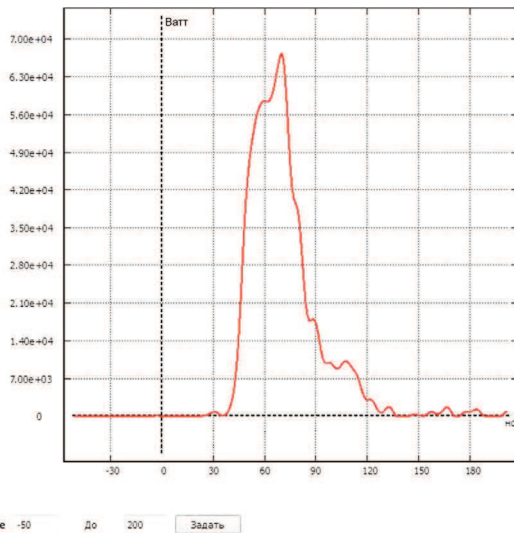


Рис. 5. Мощность импульса с линейного детектора

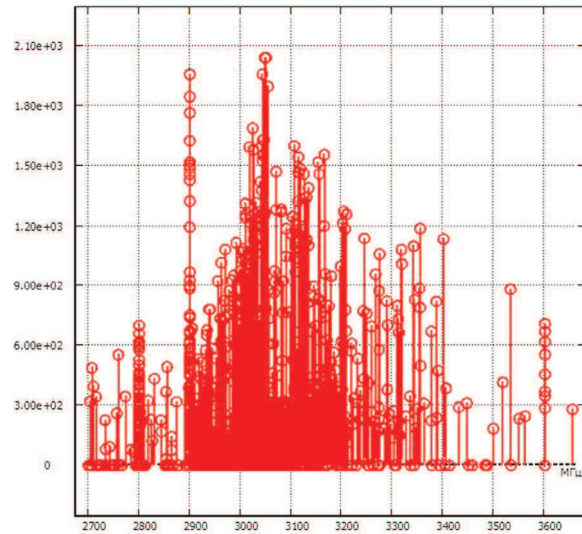


Рис. 6. Мощность импульса (Вт) по частотам с линейного детектора

### Выводы

1. Разработанное программное обеспечение оценки параметров СВЧ импульсов в среде Qt4.5 C++ [2] имеет удобный интерфейс, доступный экспериментатору, содержит все необходимые исходные данные, которые легко могут быть исправлены при замене датчиков, а также изменения параметров среды прохождения СВЧ сигнала и применении различных типов генераторов мощных СВЧ-импульсов.
2. Экспериментатору не требуется редактировать программное обеспечение, достаточно только откорректировать параметры в диалоговом окне, имеющем вид таблицы.
3. Все исходные данные, находящиеся в таблицах, имеют пояснительный текст, что существенно упрощает процедуру внесения изменений.
4. Графический интерфейс позволяет в удобной форме представлять параметры СВЧ импульса, задавая необходимые временные отсечения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабичев Д.А., Шиян В.П., Мельников Г.В. Измеритель частотного состава мощных СВЧ импульсов наносекундной длительности // Приборы и техника эксперимента. – 2003. – № 3. – С. 93–96.

2. Шлее М. Qt4.5 C++. Профессиональное программирование на C++. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 896 с.

Поступила 15.02.2013 г.