

КАЛИБРОВКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОЩНЫХ СВЧ ИМПУЛЬСОВ

В.Г. Гальченко, Т.А. Гладкова., Д.Д. Богданов

(г. Томск, ФГАОУ ВО НИ ТПУ, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томский политехнический университет)

e-mail:gal@am.tpu.ru, am@am.tpu.ru

CALIBRATION OF MEASURING CHANNELS FOR RESEARCH OF PARAMETERS OF HIGH-POWER MICROWAVE IMPULSES

V.G. Galchenko, T.A. Gladkova, A.A. Bogdanov

(г. Tomsk, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk Polytechnic University)

e-mail:gal@am.tpu.ru, am@am.tpu.ru

The calibration of measuring channels of microwave impulses, passing through various elements of the experimental setup, is an important task for quantifying the microwave impulse parameters during experimental research. Other currently available calibration software packages have a significant disadvantage of having to enter various additional parameters within the software. This article presents the software implemented in QT 4.5 C++ which significantly simplifies the input process of calibration data by utilizing the dialog mode for specifying the medium passage parameters of microwave impulses.

Keywords: calibration, measuring channels, microwave impulses, software, QT 4.5 C++ application framework, microwave impulse parameters

Калибровка детекторов СВЧ импульсов

Схема стенда калибровки приемных детекторов приведена на рис. 1. Импульсы от калибровочного СВЧ генератора, работающего в импульсном режиме, через коаксиально-волновой переход, тройник, аттенюаторы, и другие элементы экспериментальной установки поступают на два СВЧ детектора – частотно-независимый и частотно-зависимый, содержащий запредельный аттенюатор, и ответвитель. С ответвителя производится измерение средней мощности стандартным измерителем. С учетом отличия формы импульса калибровочного СВЧ генератора от прямоугольной формы строятся калибровочные кривые детекторов.

В процессе калибровки детекторов с помощью аттенюатора СВЧ генератора формируются 8 уровней мощности импульсов в пределах от 15 до 33 дБ Вт. Эти уровни с градициями 3 дБ составляют примерно 15.625, 31.25, 62.5, 125, 500, 1000, 2000 Вт на частотах от 2700 МГц до 3700 МГц с шагом 100 МГц (11 частот). Напряжение на выходе частотно-независимого и частотно-зависимого детекторов на указанных частотах СВЧ импульсов записывается с помощью четырехканального осциллографа в два файла по 1001 отсчетов с временным интервалом 2 нс. Таким образом, в процессе градуировки с каждого датчика регистрируется 88 файлов, которые используются для получения градуировочных кривых. Использование 1001 отсчета значительно повышает точность оценки калибровочных коэффициентов.

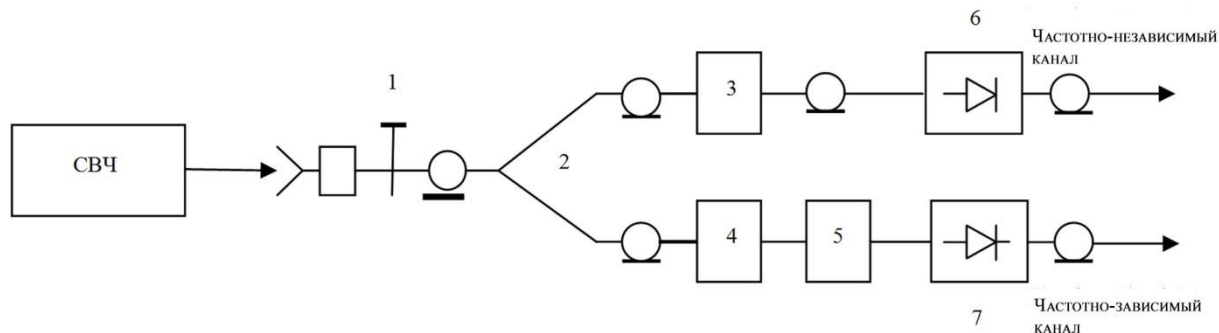


Рис. 1. Схема стенда калибровки детекторов.

1-коаксиально-волновой переход; 2-тройник; 3, 4-фиксированный аттенюатор; 5-запредельный аттенюатор; 6, 7-детекторные головки.

Математическое описание процесса калибровки

Как показали исследования [1], градуировочные кривые линейного (частотно-независимого) и нелинейного (частотно-зависимого) детекторов достаточно хорошо описываются полиномом 6 порядка, при этом существенно значимыми являются коэффициенты при 1, 2, 5, 6 степени полинома, так как 3, 4 степени аппроксимирующего полинома вносят вклад не более 1-2%. Таким образом, градуировочный полином на фиксированной частоте, для заданного уровня импульсов с СВЧ генератора можно представить в виде:

$$F(x) = a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_5 \cdot x^5 + a_6 \cdot x^6, \quad (1)$$

a_1, a_2, a_5, a_6 - неизвестные коэффициенты, x - значение сигнала детектора на частоте, для которой производится градуировка.

Для нахождения коэффициентов полинома калибровки по полученным экспериментальным данным используется метод наименьших квадратов. В соответствии с этим методом для каждой частоты СВЧ генератора формируется функционал наименьших квадратов для частотно-независимого детектора в виде:

$$F_1 = \sum_{j=1}^8 \sum_{i=1}^{1001} \left(U_{ild} - (a_1 x_i + a_2 x_i^2 + a_5 x_i^5 + a_6 x_i^6) \right)^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

U_{ild} - дискретные значения напряжений с СВЧ генератора на фиксированной частоте, для j - уровня импульсов с СВЧ генератора, $j = 1, \dots, 8$,

a_1, a_2, a_5, a_6 - градуировочные коэффициенты детектора на фиксированной частоте,

i - номер отсчета с детектора на заданной частоте, для фиксированного уровня сигнала с СВЧ генератора,

x_i - значение i - того отсчета с детектора на частоте, для которой производится градуировка.

Аналогично записывается функционал наименьших квадратов F_2 для частотно-зависимого детектора.

Функционал достигает минимального значения при равенстве нулю частных производных от функционала по неизвестным коэффициентам:

$$\frac{\partial F_1}{\partial a_{1i}} = 0 \quad \frac{\partial F_1}{\partial a_{2i}} = 0 \quad \frac{\partial F_1}{\partial a_{5i}} = 0 \quad \frac{\partial F_1}{\partial a_{6i}} = 0. \quad (3)$$

Отсюда получим систему линейных уравнений для нахождения 4-х градуировочных коэффициентов для линейного детектора на каждой из 11 частот:

$$\begin{aligned}
\sum_{j=1}^8 \sum_{i=1}^{1001} U_{ild} x_i &= \sum_{j=1}^8 \sum_{i=1}^{1001} (a_1 x_i + a_2 x_i^2 + a_5 x_i^5 + a_6 x_i^6) \cdot x_i; \\
\sum_{j=1}^8 \sum_{i=1}^{1001} U_{ild} x_i^2 &= \sum_{j=1}^8 \sum_{i=1}^{1001} (a_1 x_i + a_2 x_i^2 + a_5 x_i^5 + a_6 x_i^6) \cdot x_i^2; \\
\sum_{j=1}^8 \sum_{i=1}^{1001} U_{ild} x_i^5 &= \sum_{j=1}^8 \sum_{i=1}^{1001} (a_1 x_i + a_2 x_i^2 + a_5 x_i^5 + a_6 x_i^6) \cdot x_i^5; \\
\sum_{j=1}^8 \sum_{i=1}^{1001} U_{ild} x_i^6 &= \sum_{j=1}^8 \sum_{i=1}^{1001} (a_1 x_i + a_2 x_i^2 + a_5 x_i^5 + a_6 x_i^6) \cdot x_i^6.
\end{aligned} \tag{4}$$

Решение системы уравнений (4), дает возможность получить матрицу градуировочных коэффициентов, размером (4x11) – 4 коэффициента для каждой из 11 частот калибровки.

Описание программного обеспечения

Программное обеспечение процесса градуировки реализовано в среде Qt 4.5 C++. Проект программного обеспечения состоит из 5 модулей, последовательно обеспечивающих функцию загрузки файлов градуировки, записанных с помощью цифровых осциллографов, расчет 4-х градуировочных коэффициентов для детекторов для каждой из 11 частот, построение градуировочных графиков и запись градуировочных коэффициентов в два файла. Полученные градуировочные коэффициенты используются для расчета параметров СВЧ импульса. Результаты расчета градуировочных коэффициентов представлены в виде графиков для линейного и нелинейного детекторов.

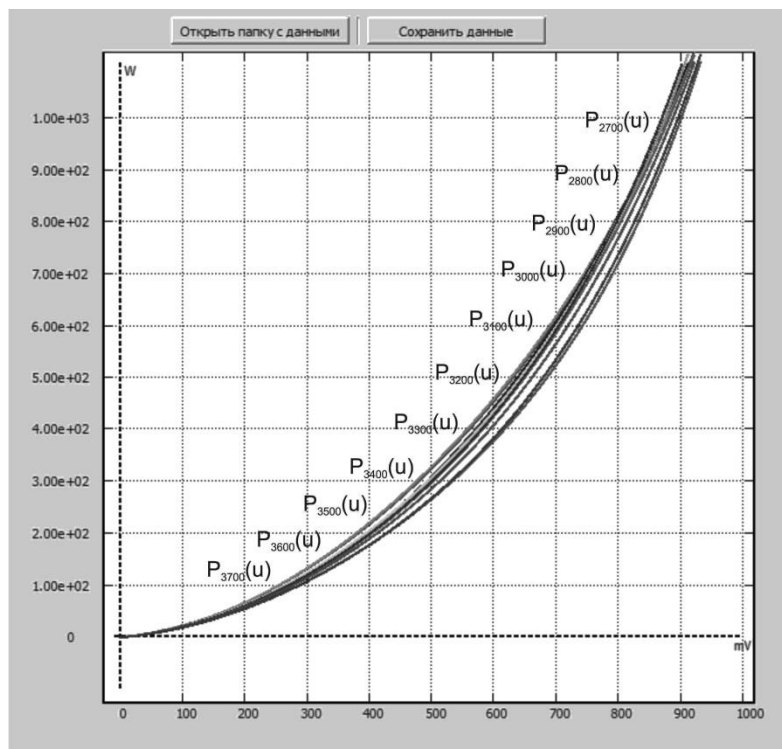


Рис. 2. Градуировочные кривые для линейного детектора

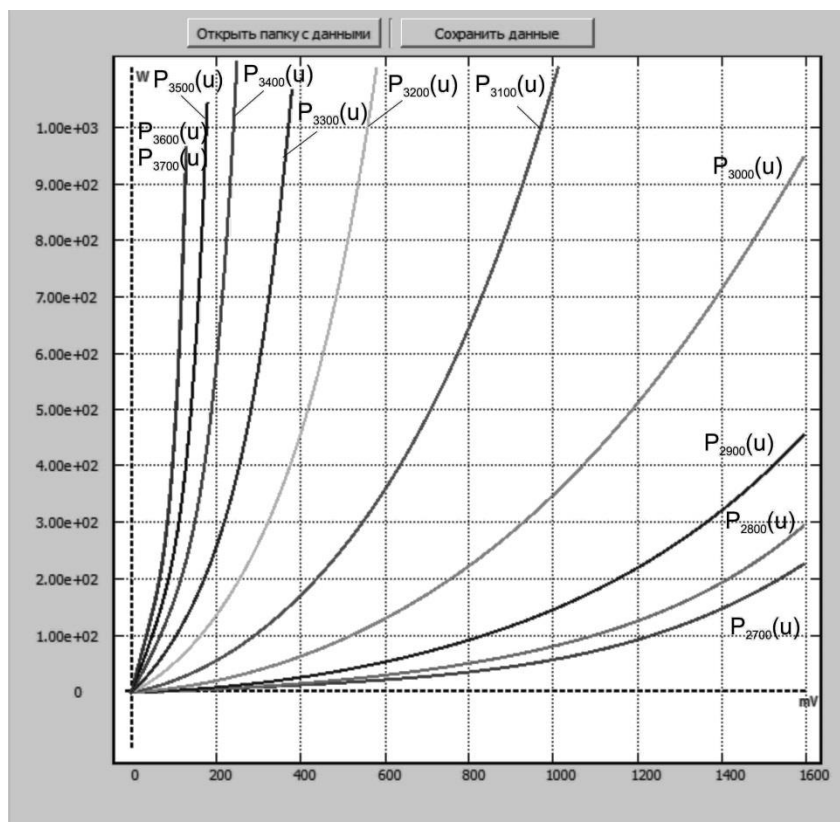


Рис. 3. Градуировочные кривые для нелинейного детектора

Практическая процедура калибровки измерительных каналов показала, что экспериментатор, используя разработанный программный интерфейс, не испытывает трудностей, как при проведении калибровки, так и при оценке параметров СВЧ импульса и других параметров экспериментальной установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баби́чев Д.А., Ши́ян В.П., Мельни́ков Г.В. Измеритель частотного состава мощных СВЧ импульсов наносекундной длительности. Приборы и техника эксперимента, №3, 2003. С 93-96.
2. Qt4.5 C++. Профессиональное программирование на C++. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 896 с.
3. Косицын В.С., Гальченко В.Г., Гладкова Т.А. Программно-информационное обеспечение оценки параметров мощных СВЧ импульсов // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – т. 322. – № 5. – С. 205-208.