

УДК 621.317.71.001.2

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ
ПАРАМЕТРОВ ПЛОСКИХ ШУНТОВ
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Е.В. Бедарева, П.Ф. Баранов, А.А. Левицкий*

Томский политехнический университет

* Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

E-mail: bedareva@tpu.ru

Бедарева Елена Вячеславовна, ассистент кафедры компьютерных измерительных систем и метрологии Института кибернетики ТПУ.
E-mail: bedareva@tpu.ru
Область научных интересов: программное обеспечение измерительных систем, математическое моделирование измерительных систем.

Баранов Павел Федорович, аспирант кафедры компьютерных измерительных систем и метрологии Института кибернетики ТПУ.
E-mail: bedareva@tpu.ru

Область научных интересов: методы и средства измерений электрических величин, графические программные технологии, аналитическое приборостроение, интеллектуальные системы.

Левицкий Алексей Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой приборостроения и нанозлектроники Института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета, г. Красноярск.

E-mail: bedareva@tpu.ru
Область научных интересов: приборостроение, радиоэлектронные средства, микроэлектроника, нанозлектроника, микросистемная техника.

Показана возможность автоматизированного расчета параметров плоских бифилярных шунтов переменного тока. Выведены выражения, позволяющие рассчитать геометрические и электрические параметры плоских шунтов переменного тока, а также получены их частотные характеристики. Разработано программное обеспечение, позволяющее проводить расчеты данных параметров шунтов в автоматизированном режиме.

Ключевые слова:

Плоские шунты, геометрические и электрические параметры, динамические характеристики, коэффициент преобразования.

Введение

В процессе нанесения многофункциональных покрытий методом микродугового окислирования [1] или при контактной сварке [2] применяются источники импульсов сложной формы. Характеристики импульсов, формируемых такими источниками, влияют на количество дефектов, структуру сварного шва или его толщину, шероховатость упрочняющего покрытия. Поэтому важно с достаточной для практики точностью измерять параметры этих импульсов для целенаправленного управления технологическим процессом и, следовательно, качеством конечного продукта [3]. Считается, что для этих целей наиболее подходят резистивные преобразователи тока из-за своей малой стоимости, линейности, высоких метрологических характеристик и сравнительной простоты изготовления [4–7]. При прецизионных измерениях используются плоские шунты бифилярной конструкции, которые обеспечивают возможность подгонки номинала сопротивления, а также имеют относительно не-

большие габаритные размеры при больших рабочих токах по сравнению с шунтами коаксиальной конструкции.

Для изготовления шунтов с заданными метрологическими характеристиками необходимо произвести расчеты по определению требуемых геометрических и электрических параметров, а также динамических характеристик с учетом поставленной измерительной задачи.

В статье приводится методика расчета электрических и геометрических параметров, динамических характеристик плоских бифилярных шунтов переменного тока и предложено программное обеспечение, позволяющее автоматизировать данные расчеты.

Методика расчета параметров плоских бифилярных шунтов

Расчет геометрических и электрических параметров осуществляется для плоского бифилярного шунта, представленного на рис. 1.

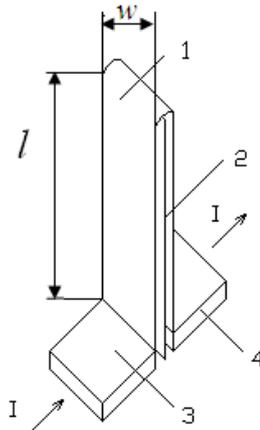


Рис. 1. Конструкция плоского бифилярного шунта: I – направление прохождения тока; l – бифилярная резистивная лента; 2 – диэлектрик между лентами бифиляра; 3, 4 – медные токовые выводы; l – длина бифилярной конструкции; w – ширина пластины

Так как параметры шунтов зависят от выделяемой мощности, которая, в свою очередь, определяется формой пропускаемого через него тока, то выделим два режима работы:

- 1) непериодический, когда используется однократный импульс тока;
- 2) периодический – импульсный или гармонический токи.

В первом случае определяется максимальная мощность непериодического тока:

$$P_{1\max} = U_{\max} I_{\max},$$

где $P_{1\max}$ – максимальная мощность постоянного тока, Вт; U_{\max} – напряжение на шунте при максимальном токе, В; I_{\max} – максимальный ток, А.

Во втором случае определяется средняя мощность рассеивания:

$$P_{2\max} = \frac{U_{\max} I_{\max} t_{\text{и}}}{T},$$

где $P_{2\max}$ – максимальная мощность переменного тока, Вт; $t_{\text{и}}$ – время действия импульса; T – период следования импульсов.

Тогда энергия, выделяющаяся в шунте, вычисляется по формуле:

$$W = Pt,$$

где $P = P_{1\max}$ или $P = P_{2\max}$ в зависимости от формы входного тока, Вт; W – энергия, выделяющаяся в шунте, Дж; t – время воздействия тока.

Геометрические размеры шунта определяются объемом резистивного элемента, в котором рассеивается тепло, и площадью его поверхности при заданном значении допустимой температуры перегрева. Таким образом, объем токовой пластины шунта определяется из выражения:

$$V = \frac{W}{C\gamma Q},$$

где V – объем токовой пластины шунта, м³; C – удельная теплоемкость манганина, Дж/кг·К; γ – плотность манганина, кг/м³; Q – температура перегрева, °С.

Минимальная площадь резистивного элемента определяется из выражения

$$S = \frac{V}{d},$$

где S – площадь резистивного элемента; d – толщина пластины.

Минимальное значение ширины пластины резистивной части шунта:

$$w_{\min} = \sqrt{\frac{\rho S}{dR}},$$

где w_{\min} – минимальное значение ширины резистивной ленты; ρ – удельное сопротивление материала; R – сопротивление шунта.

Длина бифилярной конструкции плоского шунта определяется по формуле

$$l = \frac{S}{2w_{\min}}.$$

Авторами в работе [4] индуктивность плоского бифилярного шунта определяется по следующей формуле:

$$L = \frac{\mu_0 l d (1 + \frac{\delta}{d})}{w_{\min}},$$

где μ_0 – магнитная постоянная; δ – толщина диэлектрика между лентами бифиляра.

Для плоского бифилярного шунта ширина w значительно превышает толщину d пластины, тогда полное сопротивление определяется в соответствии с выражением:

$$Z = \frac{2m\rho l \left[\frac{1}{md} + \frac{(2md)^3}{60} + \frac{2jmd}{3} \right]}{w}. \quad (1)$$

Следовательно, амплитудная и фазовая характеристики плоского шунта определяются следующими выражениями:

$$K(\omega) = \sqrt{\left(1 + \frac{\mu^2 d^4 \omega^2}{30\rho^2}\right)^2 + \left(\frac{\mu d^2 \omega}{3\rho}\right)^2}, \quad (2)$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \left[\frac{\frac{\mu d^2 \omega}{3\rho}}{1 + \frac{\mu^2 d^4 \omega^2}{30\rho^2}} \right]. \quad (3)$$

Формула (1) и выражения (2, 3) позволяют сделать вывод о том, что на динамические характеристики плоского шунта влияют физические параметры используемого материала и толщина резистивной пластины.

Программное обеспечение для расчета параметров шунта

Описанная выше методика расчетов параметров плоского бифилярного шунта была автоматизирована с использованием графической среды LabVIEW 2009 [8]. С этой целью было разработано программное обеспечение в виде экспресс-калькулятора (рис. 2), позволяющее проводить инженерные вычисления параметров шунтов для определения оптимальных параметров конструкции шунта и выбора используемого материала (манганин, константан).

Программное обеспечение позволяет производить расчеты параметров плоского шунта при однократном и периодическом режимах.

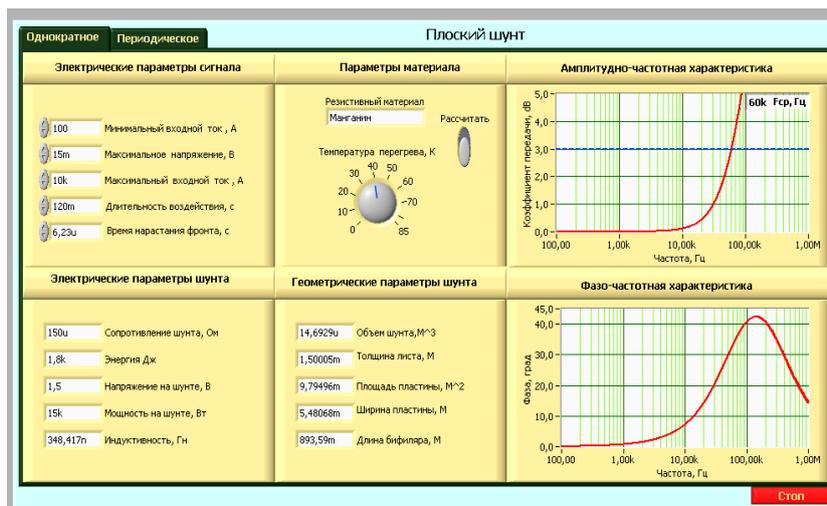


Рис. 2. Лицевая панель экспресс-калькулятора в неперидическом режиме работы

Работа экспресс-калькулятора начинается с выбора материала пластины и режима работы шунта. В зависимости от выбранного режима измерений на лицевой панели программы задаются электрические параметры измеряемого сигнала:

- максимальная и минимальная амплитуда измеряемого импульса тока, А;
- длительность импульса, с;
- длительность фронта импульса, мкс;
- минимальное входное напряжение осциллографа, мВ;
- длительность воздействия, мкс;
- длительность импульса, мкс.

Для расчета геометрических параметров и индуктивности шунтов необходимо задать температуру окружающей среды и толщину диэлектрической прослойки между пластинами в соответствующих окнах. Таким образом, на лицевой панели выводятся следующие результаты расчета:

- электрические параметры шунта;
- геометрические параметры шунта;
- динамические характеристики шунта.

К электрическим параметрам шунта относятся:

- сопротивление, МОм;
- напряжение на шунте при максимальном токе, мВ;
- максимальная мощность, Вт;
- энергия, выделяющаяся на шунте, Дж;
- индуктивность шунта, нГн.

Геометрическими параметрами шунта являются:

- объем шунта, см³;
- толщина пластины, мм;
- длина бифиляра, мм;
- площадь пластины, мм²;
- ширина пластины, мм.

К динамическим характеристикам относятся:

- амплитудная характеристика;
- фазовая характеристика.

После установки необходимых значений параметров для расчета нажимается кнопка «Расчитать», а результаты расчетов выводятся в соответствующие окна индикаторов. Нажатие кнопки «Стоп» приводит к сохранению полученных результатов в память компьютера и закрыванию программы.

Пример расчета параметров плоского бифилярного шунта

Рассмотрим использование калькулятора при расчете параметров плоского шунта для двух режимов работ: однократного и периодического.

В качестве примера работы и проверки разработанной программы рассчитаем параметры шунта для измерения однократного электрического сигнала со следующими данными:

- измерение импульсного тока максимальной амплитуды $I_{\max} = 20 \text{ кА}$;
- минимальный измеряемый ток $I_{\min} = 100 \text{ А}$;
- длительность импульса $t = 0,12 \text{ с}$;
- длительность фронта импульса $t_1 = 6,23 \text{ мкс}$;
- температура перегрева при естественном охлаждении $T_1 = 40 \text{ }^\circ\text{С}$;
- минимальное напряжение $U_{\min} = 15 \text{ мВ}$;
- толщина пластины $d = 1,5 \text{ мм}$.

Данные, полученные для однократного импульса плоского шунтов, представлены на рис. 2.

В режиме периодического сигнала для расчетов необходимо ввести следующие данные:

- измерение импульсного тока максимальной амплитуды $I_{\max} = 20 \text{ кА}$;
- минимальный измеряемый ток $I_{\min} = 100 \text{ А}$;
- длительность воздействия $t_{\text{возд}} = 120 \text{ мкс}$;
- длительность импульса $t_{\text{и}} = 1 \text{ мкс}$;
- период следования $T = 5 \text{ с}$;
- температура перегрева при естественном охлаждении $T_1 = 40 \text{ }^\circ\text{С}$;
- минимальное напряжение $U_{\min} = 15 \text{ мВ}$;
- толщина пластины $d = 1,5 \text{ мм}$.

Результаты расчета выводятся на лицевую панель экспресс-калькулятора в закладке «Периодическое воздействие», рис. 3.

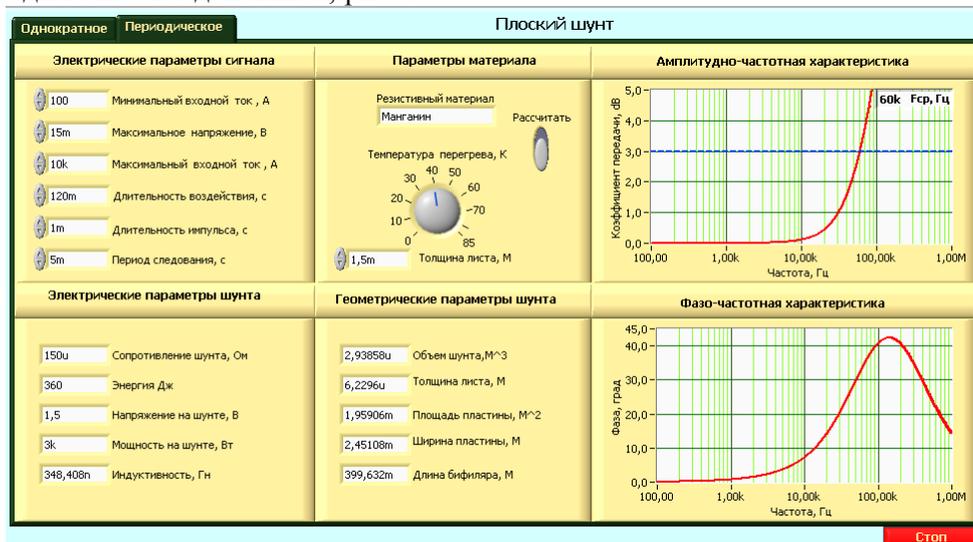


Рис. 3. Лицевая панель экспресс-калькулятора в периодическом режиме работы

Заключение

Представленная методика и разработанное на ее основе программное обеспечение позволяют автоматизировать процесс расчета геометрических и электрических параметров шунтов и сократить время на их проектирование/разработку. Использование такого подхода дает возможность уменьшить расход материалов на изготовление шунта с требуемыми параметрами за счет выбора оптимальной конструкции.

Программный продукт может быть полезным для предприятий, занимающихся

разработкой и изготовлением первичных преобразователей.

Работа проведена в соответствии с грантом РФФИ №13-08-90748 мол_рф_нр по теме «Исследование метрологических характеристик резистивных преобразователей переменного тока».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Muravyov S.V., Borikov V.N., Natalinova N.M. A Computer System: Measurement of Welding Surge Current // Measurement and Control. – 2009. – V. 42. – № 2. – P. 44–47.
2. Бориков В.Н., Сарычев С.В., Мамаев А.И. Промышленный источник питания для микродугового оксидирования в водных растворах электролита «Воу-2» // Приборы. – 2007. – № 3. – С. 11–15.
3. Бориков В.Н. Автоматизированный расчет электрических и конструктивных параметров коаксиальных шунтов в графической среде программирования LabVIEW // Приборы. – 2010. – № 3. – С. 42–46.
4. Векслер М.С., Теплинский А.М. Шунты переменного тока. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 120 с.
5. Данилов А.А. Современные промышленные датчики тока // Современная электроника. – 2004. – № 1. – С. 26–35.
6. Нефедьев Д.И. Метод поверки (калибровки) резистивных преобразователей больших постоянных токов // Датчики и системы. – 2006. – № 5. – С. 47–51.
7. Kawamura T., Haginomor E., Goda Y., Nakamoto T. Recent Developments on High Current Measurement Using Current Shunt // Transactions on electrical and electronic engineering. – 2007. – № 2. – P. 516–522.
8. Трэвис Дж. LabVIEW для всех. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 538 с.

Поступила 20.09.2013 г.