

ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА

Н.Е. Руднева, А.И. Заревич
Томский политехнический университет
antonzarevich@ngs.ru

Введение

В современных технологических процессах используются источники импульсного тока сложной формы. Амплитудные и временные параметры, формируемых этими источниками импульсов, влияют на качество технологического процесса и конечного продукта. Типичной задачей в таких применениях является измерение формы больших импульсных и кратковременных токов в широком частотном диапазоне. Важно с достаточной для практики точностью измерять эти параметры для целенаправленного управления технологическим процессом.

Целью работы является разработка, практическая реализация и применение импульсного метода определения динамических характеристик силовых токовых шунтов.

Импульсный метод определения динамических характеристик токовых шунтов

Импульсный метод основан на подаче импульсного сигнала на вход шунта и получении отклика на выходе шунта, измерении и последующей цифровой обработке этих сигналов [1, 2]. Искомые динамические характеристики вычисляются на основе спектральных преобразований сигналов тока и напряжения на шунте. Отношение спектральных плотностей выходного сигнала и входного сигналов дает возможность определить комплексный коэффициент передачи шунта. Амплитудно-частотная (АЧХ) и фазочастотная (ФЧХ) характеристики шунта определяются соответственно как модуль и аргумент комплексного коэффициента передачи.

Использование предложенного метода для шунтов, рассчитанных на токи большой амплитуды, основывается на том, что зависимость напряжения на шунте от измеряемого тока линейна, как показано в работах специалистов [3,4,5]. Это означает, что его характеристики являются практически неизменными независимо от амплитудных параметров сигнала тока. Следовательно, возможно измерение частотных характеристик шунта с применением тестовых сигналов сравнительно небольших амплитуд и доступных лабораторных средств измерений.

Математическая модель импульсного метода определения динамических характеристик токовых шунтов

Математическая модель импульсного метода состоит в следующем. При практическом применении метода на вход исследуемого шунта пода-

ется импульс тока малой длительности, причем импульс может иметь любую форму. К источнику сигнала не предъявляются высоких требований точности и стабильности, поэтому им может являться высокочастотный генератор либо специально спроектированный генератор импульсов.

При протекании импульсного тока через цепь шунта на сигнальных выводах шунта формируется отклик в виде выходного напряжения. Для измерения входного тока используется образцовый преобразователь тока в напряжение. Формы сигналов одновременно регистрируются высокочастотным двухканальным осциллографом с большим разрешением по времени.

Входной и выходной сигналы сохраняются в памяти осциллографа (в файлы текстового формата) в виде последовательности N отсчетов напряжения $x(t_k)$ и $y(t_k)$ в соответствующие моменты времени t_k , $1 \leq k \leq N$. Интервалы времени между отсчетами зависят от частотных характеристик осциллографа.

Экспериментальные исследования импульсного метода

Для подачи короткого импульса тока большой амплитуды был использован опытный образец формирователя импульсного тока ФИТ-1.2 [6]. Данный прибор позволяет генерировать сигнал высокой мощности при малой длительности импульса.

Сила тока в цепи измерялась трансформатором тока Lilco 13W0100, принятым в качестве образцового. Трансформатор тока надевается на токоведущий кабель и формирует на выходе напряжение, пропорциональное протекающему току.

Выходные сигналы трансформатора тока и исследуемого шунта поступали на входы цифрового осциллографа LeCroy WaveSurfer 62Xs.

Измерительная установка была собрана в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1.

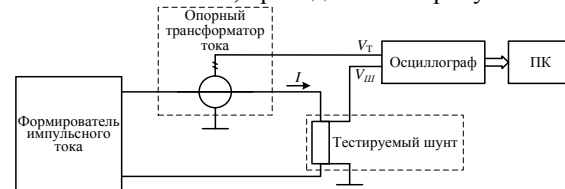


Рисунок 1 Схема экспериментальной установки

Экспериментальные исследования проводились последовательно для шунтов №1 (на 1 кА) и №2 (на 20 кА).

К токовым выводам шунта подключается выход ФИТ-1.2. С контактных выводов исследуемо-

го шунта сигнал подавался канал 2 цифрового осциллографа WaveSurfer 62Xs. Сигнал с выхода трансформатора тока 13W0100 подавался на канал 1 осциллографа.

Коэффициент отклонения осциллографа по амплитуде составлял 75 В для канала 1, 600 мВ и 130 мВ для канала 2 для шунта №1 и шунта №2 соответственно. Временная развертка составляла 20 мкс/дел при частоте дискретизации 50 МГц. Количество временных отсчетов сигналов при выбранных настройках составляло 10000.

Результаты экспериментальных исследований

Расчитанные в соответствии с алгоритмом импульсного метода АЧХ шунтов №1 (на 1 кА) и №2 (на 20 кА) приведены на рисунках 1 и 2 соответственно. По физическому смыслу АЧХ для шунтов является частотной зависимостью сопротивления. С точки зрения измерений переменного тока АЧХ для шунтов является частотной зависимостью коэффициента преобразования, поэтому на графиках по вертикальной оси отложен коэффициент преобразования шунта в единицах мкВ/А. По оси частот выбран логарифмический масштаб.

Дополнительно для наглядного контроля достоверности импульсного метода на графики АЧХ наложены границы, соответствующие погрешности $\pm 1\%$ и $\pm 5\%$ от теоретического значения, а на графики ФЧХ – соответственно $\pm 2^\circ$ и $\pm 5^\circ$.

По рисункам 1, 2 можно сделать вывод, что погрешность определения АЧХ импульсным методом не превышает $\pm 1\%$ в диапазоне частот до 36 кГц для шунта №1 (на 1 кА), и не превышает 2% в диапазоне частот до 33 кГц для шунта №2 (на 20 кА). Погрешность определения АЧХ не превышает $\pm 5\%$ в диапазоне частот до 160 кГц для шунта №1 (на 1 кА) и в диапазоне частот до 36 кГц для шунта №2 (на 20 кА).

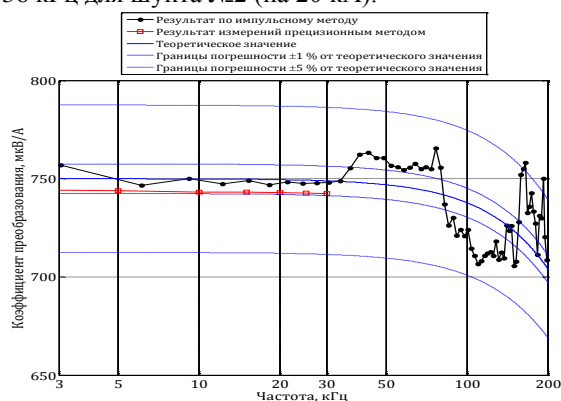


Рисунок 2 – Коэффициент преобразования шунта №1 (на 1 кА)

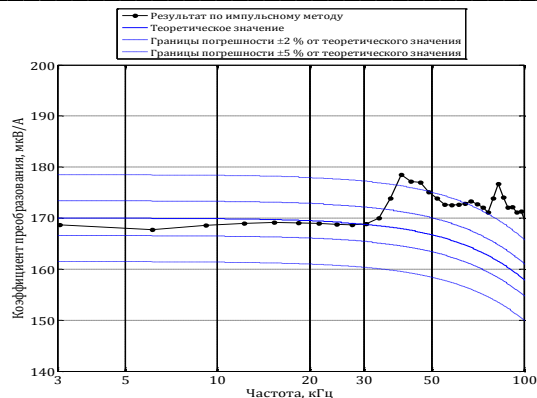


Рисунок 3 – Коэффициент преобразования шунта №2 (на 20 кА)

Заключение

Таким образом, было проведено экспериментально определение частотных характеристик исследуемых образцов сильноточных токовых шунтов импульсным методом. Следует отметить, что импульсный метод позволяет проводить измерения с приемлемой точностью в более широком частотном диапазоне, чем образцовый метод

Литература

- 1 Cherbaucich C., Crotti G., Kuljaca N., Novo M. Evaluation of the dynamic behavior of heavy current shunts // Metrology in the 3rd Millennium: Proc. XVII IMEKO World Congress. – 22–27 June, 2003. – Dubrovnik, Croatia, 2003. – P. 586–589.
- 2 Цифровая обработка импульсных сигналов для определения частотных характеристик преобразователей тока / Заревич А.И., Муравьев С.В., Бедарева Е.В., Величко О.Н. // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 5. – С. 116–120.
- 3 Клебанов И.Я. Рабочие эталоны единицы электрического сопротивления (активного) // Metrologia и точные измерения. – 1982. – №1. – С. 25–36.
- 4 Ferreira J.A., Cronje W.A., Relihan W.A. Integration of High Frequency Current Shunts in Power Electronic Circuits // IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.10, No.1, 1995. P. 32–37.
- 5 Filipski P.S., Boecker M. AC-DC Current Shunts and System for Extended Current and Frequency Ranges, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 55, No.4, 2006. P. 68–75.
- 6 Аппаратно-программный комплекс для автоматизированных испытаний сильноточных преобразователей. Заревич А.И., Муравьев С.В., Бедарева Е.В., Баранов П.Ф., Сарычев С.В. Известия Томского политехнического университета 2013 Т. 322 №4. С. 180-184.