

ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛЬНОТОЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА

Шестаков А.А.

Научный руководитель: Заревич А.И., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
anton.shestakov001@gmail.com

В рамках программы разработки высокоточных преобразователей тока, в частности токовых шунтов, стоит задача экспериментального определения их частотных характеристик. Традиционный метод проверки характеристик основан на использовании эталонного источника тока и эталонного измерителя напряжения. Но для токовых шунтов, рассчитанных на токи порядка десятков килоампер, этот метод является неприменимым, поскольку нет в наличии прецизионного источника тока с необходимыми характеристиками. Так как высокоточные шунты дают большое ослабление сигнала по мощности, при использовании генератора-калибратора тока, обеспечивающего с высокой точностью сигнал с амплитудой порядка 100 мА, выходной сигнал шунта будет очень малой величиной, неразличимой на фоне шумов. Другим способом проверки характеристик шунта является сравнение выходных сигналов исследуемого шунта и эталонного шунта. Однако при этом встает подобная проблема генерации стабильного сигнала порядка десятков килоампер.

Для решения поставленной задачи возможно применение импульсных методов [1], основанных на определении реакции объекта на импульсное входное воздействие. Получаемая импульсная характеристика, описывает динамические свойства объекта и позволяет определить амплитудно-частотную (АЧХ), фазо-частотную (ФЧХ) и переходную характеристики.

Импульсная характеристика является комплексной величиной, несущей информацию и об амплитуде, и о фазе.

В качестве входного воздействия был использован высокочастотный импульсный сигнал с генератора G, представляющий физическую реализацию дельта-функции. Выходной сигнал снимался с сигнальных выводов шунта. Сила тока в цепи измерялась с помощью трансформатора тока T, имеющего коэффициент передачи 0,1 В/А. Для наблюдения и регистрации формы сигнала использовался двухканальный цифровой осциллограф. Электрическая принципиальная схема эксперимента представлена на рис. 1.

Было использовано следующее оборудование:

- генератор Aktakom AWG 4110;
- осциллограф LeCroy WaveSurfer 62Xs;
- трансформатор тока Lilco 13W0100;
- шунт на 5 кА.

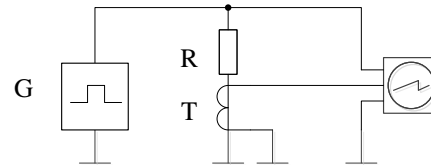


Рис.1 Принципиальная схема эксперимента

Параметры входного импульсного сигнала:

- частота – 100 кГц (период 10 мкс);
- амплитуда – 10 В;
- скважность – 10 (длительность импульса 1 мс).

Экспериментально измеренные сигналы на экране осциллографа представлены на рис. 2.

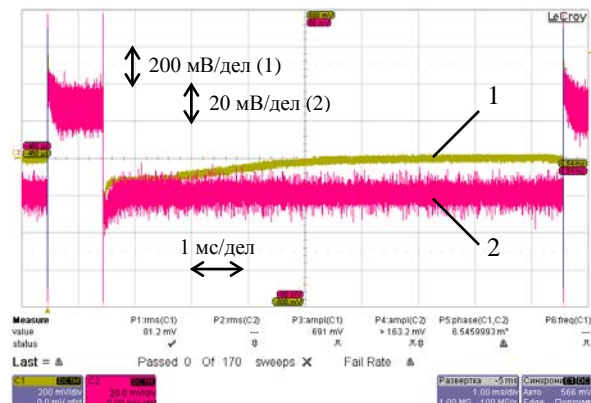


Рис. 2. Сигналы выхода трансформатора тока и выхода шунта, канал 1 – выход трансформатора, канал 2 – выход шунта

Из рис. 2 видно, что сигналы сильно зашумлены. Для уменьшения влияния случайных помех обычно применяется усреднение нескольких реализаций одного и того же сигнала. Однако в данном случае такой способ неприменим из-за нестабильности длительности импульсов и развертки осциллографа. Поэтому было применено усреднение по спектру.

Исходя из предположения, что шумы и искажения измеряемых сигналов приводят к случайной погрешности определения спектральных компонент на конкретных частотах, для снижения уровня шумов и повышения точности расчета применялось усреднение реализаций сигналов по спектру.

С помощью осциллографа было зафиксировано 50 пар сигналов при одинаковых условиях, полученные данные подвергались цифровой обработке в пакете инженерных вычислений MATLAB. Из каждого сигнала был выделен один полный период, затем сигналы были дополнены последними значениями до числа выборок,

кратным степени 2. Спектральный анализ входного и выходного сигналов (для каждой реализации отдельно) был проведен с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье [1].

Результаты преобразований всех реализаций были усреднены по спектру. Затем был определен комплексный коэффициент передачи шунта как отношение спектра выходного сигнала шунта к спектру входного сигнала с трансформатора.

АЧХ и ФЧХ шунта были определены соответственно как модуль и аргумент комплексного коэффициента передачи. АЧХ шунта представлена на рис. 4.

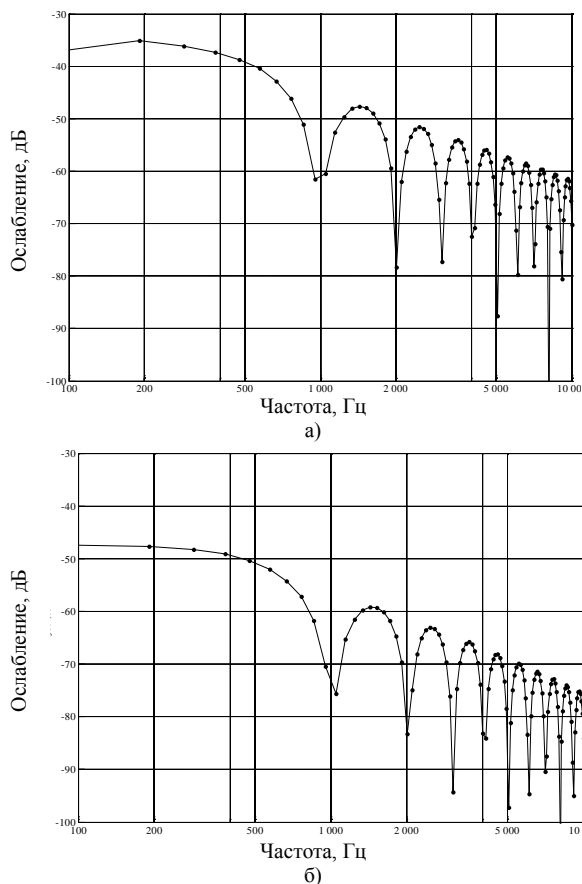


Рис. 3. Амплитуда спектра сигнала трансформатора (а) и сигнала шунта (б)

Погрешность определения АЧХ коэффициента передачи шунта в зависимости от частоты [3] представлена на рис. 5.

По приведенным графикам можно сделать вывод, что представленный метод позволяет определить частотные характеристики токового шунта. График АЧХ представляет собой зависимость, близкую к линейной, на которой наблюдаются резкие выбросы. Частотный диапазон, в котором погрешность не превышает 2 %, ограничен 10 кГц. По характеру графиков спектров можно судить о том, что наибольшая погрешность соответствует точкам минимумов

спектров. Это выявляет недостаточность частотного разрешения метода.

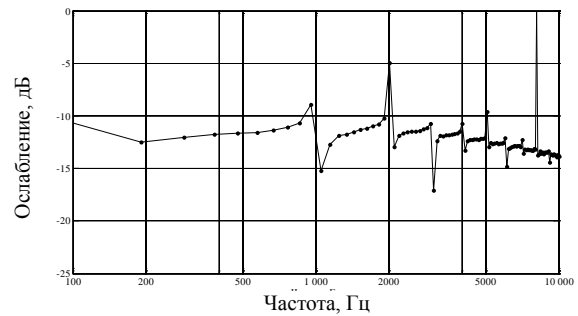


Рис. 4. АЧХ (а) и ФЧХ (б) коэффициента передачи шунта

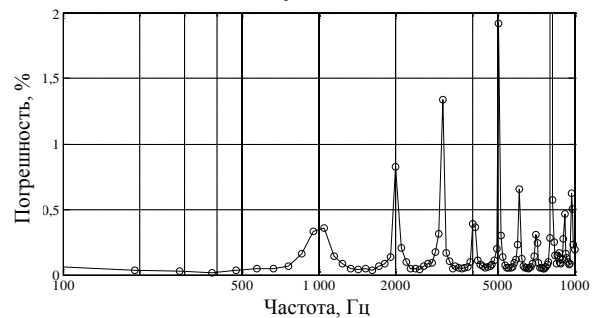


Рис. 4. Погрешность определения коэффициента передачи шунта

Отметим основные направления совершенствования метода:

- повышение частотного разрешения путем увеличения числа точек сигнала за счет интерполяции;
- приведение сигнала к аналитическому виду путем кусочно-непрерывной аппроксимации, что позволит применять преобразование Фурье в интегральной форме;
- повышение точности измерений сигналов, путем цифровой обработки данных с осциллографа с целью повышения разрешающей способности аналого-цифрового преобразования сигналов и шумоподавления.

К достоинствам представленного метода можно отнести удобство его использования, универсальность и сравнительно низкие требования к оборудованию.

Литература

1. Заревич А.И., Муравьев С.В., Бедарева Е.В., Величко О.Н. Цифровая обработка импульсных сигналов для определения частотных характеристик преобразователей тока // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 5. – С. 116–120.
2. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки данных [пер. с англ.]. М: Мир, 1972. – 848 с.
3. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных [пер. с англ.]. – М: Мир, 1989. – 540 с.