



АНАЛИЗ СИГНАЛОВ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНДУКТОРА ПРИ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКЕ В ХОЛОДНОМ ТИГЛЕ

А. О. Акимов, А. В. Вавилов, Д. Б. Лопух, А. П. Мартынов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ)

Для проведения высококачественных измерений высокочастотных электрических параметров индуктора при индукционной плавке в холодном тигле (ИПХТ) требуется проводить сложный анализ сигналов напряжения и тока индуктора. Качество данного анализа напрямую зависит от выбранного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) по следующим основным параметрам: разрядность, частота опроса и объем встроенной памяти [1]. Все эти параметры АЦП влияют на точность и время измерения электрических параметров индуктора, что определяет возможности систем контроля и управления ИПХТ, а также влияет на стоимость АЦП, которая может различаться в несколько раз.

Выбор АЦП для ИПХТ был сделан по следующему алгоритму, который в свою очередь представляет собой цели данной работы:

1. Разработка программного обеспечения для моделирования сигналов напряжения и тока индуктора, содержащих амплитудную модуляцию, фазовую модуляцию, шум и несколько гармоник высших порядков, форма которых максимально близка к форме реальных сигналов индуктора при ИПХТ.

2. Анализ влияния факторов, перечисленных в п. 1, на качество вычисления электрических параметров индуктора, в частности, частоты тока индуктора, действующих значений тока и напряжения индуктора, а также разности фаз между их первыми гармониками.

3. Определение влияния параметров и режимов работы АЦП на качество аналого-цифрового преобразования сигналов индуктора, в частности, влияние частоты опроса F_s , длины выборки N и разрядности АЦП.

Анализ и моделирование сигналов тока и напряжения индуктора при ИПХТ

Для определения гармоник высших порядков при помощи встроенных функций системы графического программирования NI LabVIEW был проведен частотный анализ нескольких выборок мгновенных значений тока и напряжения индуктора до 26-й гармоники включительно (рисунок 1). Выборки были получены в различных экспериментальных плавках в печи ИПХТ, где для оцифровывания сигналов тока и напряжения индуктора использовался АЦП NI PCI-5152. Все эксперименты проводились на установке ИПХТ, где в качестве высокочастотного источника питания индуктора использовался ламповый генератор ВЧИ1-60/1,76.

Как видно из рисунка 1, в исследованном диапазоне экспериментальных данных, а также схожих условиях плавки и настройках двухконтурной схемы лампового генератора из гармоник высших порядков в основном наблюдаются 2-я, 3-я, 5-я и 7-я гармоники с амплитудами до 4,5 %, 7,5 %, 2 % и 1 % от амплитуды основной гармоники, соответственно. На рисунке 2 показан пример модельного сигнала в сравнении с реальным сигналом, где в качестве АЦП использована программная модель с частотой опроса 100 МГц и разрядностью 8 бит; U_{test} – сигнал датчика напряжения на индукторе, полученный в эксперименте, а U_{mod} – сигнал, полученный в программной модели.

Как видно из рисунка 2, форма модельного сигнала очень близка к форме реального сигнала датчика напряжения на индукторе [1]. Поскольку ламповый генератор питается от промышленной сети с напряжением 380 В и в нём установлен тиристорный регулятор напряжения, то сигнал также характеризуется амплитудной модуляцией с частотой 300 Гц. В процессе работы регулятора тиристоры открываются, несинхронно в связи с чем возникает фазовая модуляция сигнала. В ходе данных исследований принято, что ошибка угла открытия тиристоров не превышает 5° при угле открытия, равном 60° . Как правило, в сигнале также присутствует шум. Для примера в модельном сигнале шум был установлен на уровне 2 % от уровня основной амплитуды. Исследование влияния параметров АЦП на качество измерения, описанного выше сигнала, выполнено в диапазоне частот опроса от 3 МГц до 1 ГГц и длин выборок от 256 до 8192 тыс. отсчетов.

На рисунке 3 показаны зависимости колебания действующего значения модельного сигнала датчика индуктора и разности фаз между первыми гармониками тока и напряжения индуктора относительно истинного значения с частотой основной гармоники 1,76 МГц в зависимости от частоты опроса и длины выборки мгновенных значений тока и напряжения индуктора. В качестве примера представлены зависимости погрешности для разности фаз, полученные при частотах опроса 5 и 100 МГц. На рисунке 4 представлена зависимость времени вычисления от длины выборки для двух различных по производительности центральных процессоров вычислительного сервера.

Выбор АЦП

Таким образом, на основании ряда зависимостей, пример которых представлен на рисунках 3 и 4, установлено, что оптимальным соотношением между частотой опроса, длиной выборки, погрешностью и временем расчёта для сигнала, изображенного на рисунке 2, можно принять частоту опроса 5 Гц и длину выборки 1 млн. отсчетов, при этом время расчёта не превышает 40 мс при использовании low-end процессора. Влияние на качество вычисления разрядности АЦП в диапазоне от 8 до 12 бит выявлено, вследствие чего, для сигналов, изображенных на рисунке 2, рекомендуется использовать АЦП разрядностью 8 бит.

Основные результаты работы

Для определения ключевых факторов, влияющих на вычисление высокочастотных электрических параметров индуктора, в среде NI LabVIEW было разработано программное обеспечение, представляющее собой генератор синусоидальных сигналов тока и напряжения индуктора, который совмещен с программой математической обработки выборок мгновенных значений тока и напряжения индуктора с последующим вычислением электрических параметров индуктора [1].

Установлено, что для аналого-цифрового преобразования сигналов тока и напряжения индуктора при ИПХТ на частоте тока 1,76 МГц и при использовании в качестве источника питания лампового генератора можно рекомендовать АЦП разрядностью 8 бит с частотой опроса 5 МГц на канал и памятью 1 Мб на канал.

Результаты исследований будут использованы в системах измерения электрических параметров индуктора для инновационных печей ИПХТ повышенной надежности и производительности [2].

Список литературы

1. Вавилов А. В. Исследование тепловых и электрических параметров плавки оксидов и стекол в индукционной печи с холодным тиглем: дис. канд. техн. наук: 05.09.10 / Вавилов Антон Валерьевич; СПбГЭТУ «ЛЭТИ». -СПб., 2011. -226 с.
2. Обоснование новой российской концепции построения установки остекловывания радиоактивных отходов методом индукционной плавки в холодных тиглях / Д. Б. Лопух // Вопросы радиационной безопасности, №2, Озёрск, 2009, с. 26-32.

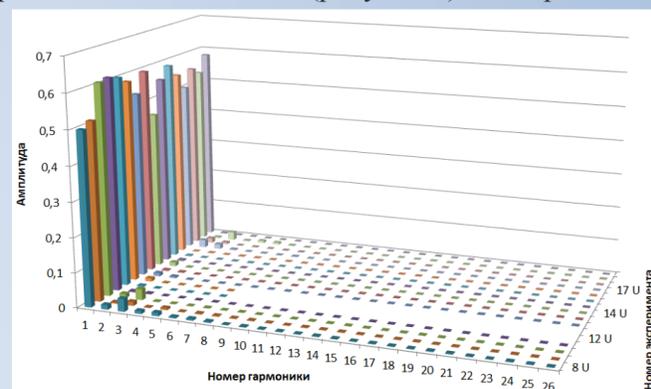


Рисунок 1 – Результат частотного анализа реальных сигналов тока и напряжения индуктора

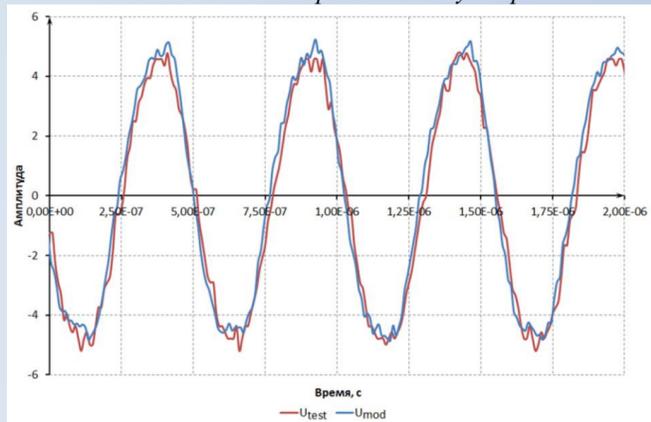


Рисунок 2 – Сравнение модельного и реального сигналов датчика напряжения на индукторе

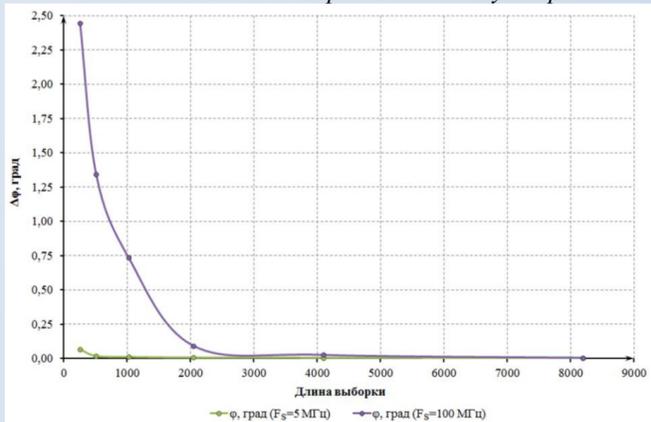


Рисунок 3 – Зависимость погрешности вычисления разности фаз между током и напряжением индуктора от параметров АЦП

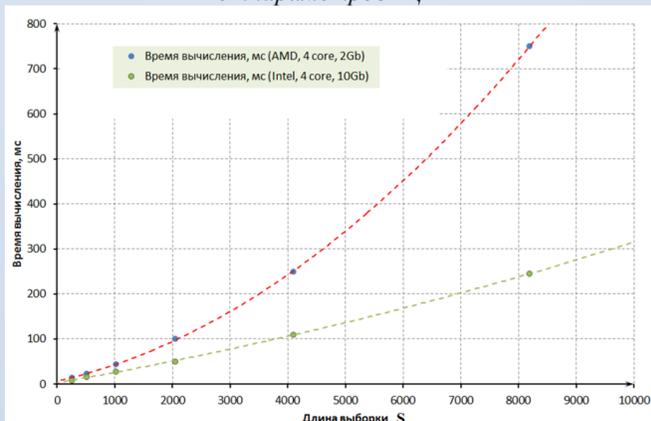


Рисунок 4 – Зависимость времени вычисления от длины выборки