

АЛГОРИТМЫ РАБОТЫ И АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ ПАРАМЕТРОВ СИНУСОИДАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ В ЦЕПЯХ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ

А.В. Бумагин, А.В. Руткевич, К.В. Сахаров (НПП "Цифровые решения"),
В.Б. Стешенко (ФГУП "РНИИ КП"), Г.В. Шишкин (НПП "Цифровые решения")

Рассматривается алгоритм и аппаратная реализация способа измерения параметров токов и напряжений генерирующих станций в период их возбуждения. Известно, что время измерения этих параметров играет ключевую роль. Быстродействие подобных устройств ограничивается частотой вырабатываемого напряжения 50 Гц. В статье рассмотрен алгоритм и вариант аппаратной реализации измерителя – предсказателя параметров, работающего с более высоким быстродействием.

В настоящее время актуальной является задача повышения качества электроэнергии. Одной из задач является улучшение характеристик систем автоматической регулировки возбуждения (АРВ) электрических машин на генерирующих станциях. Процесс регулировки возбуждения в значительной мере критичен к задержкам в тракте измерения первичных параметров: амплитуд тока и напряжения статора, тока ротора и разности фаз между током и напряжением.

Инерционность измерения параметров приводит к запаздыванию реакции АРВ, к броскам в сетях, снижению КПД электрической машины, запаздыванию реакции на короткие замыкания, и как следствие, к существенному экономическому ущербу. Существующие АРВ включают измерители, обладающие существенной задержкой в измерении параметров, особенно это негативно проявляется при коротком замыкании (КЗ) в нагрузке. Поэтому актуальна задача разработки быстродействующего измерителя параметров тока для генерирующих станций.

Измеритель должен подключаться непосредственно на шину генератора через измерительные трансформаторы. При КЗ анализируемые сигналы обогащаются гармониками высших порядков, амплитудным и фазовым шумом. Это приводит к существенному увеличению погрешности в алгоритмах, основанных на непосредственной оценке. Нестационарность и малая длительность выбросов сигнала во время КЗ также затрудняют измерение параметров. Поэтому работа направлена на разработку алгоритма измерения параметров переменного тока, устойчивого к указанным факторам.

Основную техническую сложность составляют два противоречивых требования: точность и время усреднения. Современные системы управления требуют определения параметров с задержкой, не превышающей полупериода колебания 50 Гц (10 мс).

Рассматриваемые в статье алгоритмы и их аппаратная реализация предназначены для измерения параметров периодических входных аналоговых сигналов. Априорно задается синусоидальная форма входных сигналов. Устройство получает на входе четыре сигнала, три из которых являются синусоидами, сдвинутыми по фазе относительно друг друга на 120°. Эти три сигнала являются повторением напряжения на зажимах трехфазного синхронного генератора. Четвертый сигнал повторяет ток одной из обмоток статора генератора, и он опережает или отстает по

фазе от напряжения данной фазы на некоторый угол.

Измеряемыми (вычисляемыми) параметрами являются – действующие значения амплитуд напряжения и тока, фаза тока относительно первого канала напряжения, частота напряжения и тока.

Выдача параметров должна производиться постоянно с частотой ≥ 400 Гц, точность измерения $\geq 0,3\%$ после проведения калибровки. Задержка в выдаче измеренных (вычисленных) параметров не должна превышать 3 мс после текущего мгновенного значения тока или напряжения. Выдача измеренных параметров осуществляется в цифровом и аналоговом виде.

При решении данной задачи были рассмотрены следующие алгоритмы измерения (вычисления) параметров периодических входных аналоговых сигналов.

1. Алгоритм мгновенной оценки амплитуды, основанный на минимизации среднеквадратичной ошибки оценки параметра сигнала:

$$\sum_k (x_k - \hat{x}_k)^2 \rightarrow \min,$$

где x_k и \hat{x}_k – соответственно величина и оценка дискретных отсчетов измеряемого сигнала.

Для реализации этого метода необходимо решить уравнение:

$$\frac{d}{dw} \sum_k (x_{n-k} - \hat{x}_{n-k}(w_n))^2 = 0, \quad (1)$$

где n – номер реализации; w_n – оцениваемый параметр входного сигнала.

Этот алгоритм дает ожидаемо хорошие результаты в оценке амплитуды, но совершенно не устойчив к шумам. Использование низкочастотного фильтра на входе несколько улучшает ситуацию, но все равно не дает желаемого результата при белом шуме в 15% по амплитуде. Таким образом, алгоритм мгновенной оценки не удовлетворяет требуемым точностным характеристикам.

2. Оценка амплитуды RC-цепочкой. Данный алгоритм дает неприемлемо большую задержку, хотя устойчив к заданному уровню шума 15%. Его достоинством является простота вычислений при реализации в цифровом виде по сравнению с мгновенной оценкой, где требуется деление и извлечение корня.

3. Энергетический алгоритм оценки амплитуды основан на постоянстве энергии синусоидального сигнала на длительности кратной половине периода. Выбираем период интегрирования, равным в полпе-

для установки на DIN-рейку. Конструкция модуля допускает установку платы расширения, позволяющую реализовать дополнительные интерфейсы, увеличить объем памяти и реализовывать специфические для потребителя функции.

Устройство предназначено для работы в системе управления возбуждением электрического генератора в качестве измерителя параметров выходных напряжений. Устройство измерения параметров синусоидальных сигналов также может применяться и как самостоятельная измерительная система для учета и контроля параметров электроэнергии.

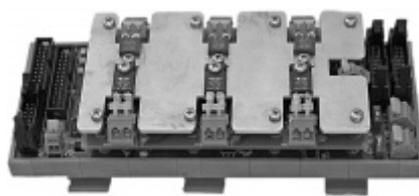


Рис. 4. Внешний вид прибора

Особенностью данной системы является быстрая оценка действующего значения синусоидального сигнала. Задержка составляет ≤ 5 мс. В месте с тем достигается высокая точность измерения всех параметров — 0,3%. Такие технические характеристики обеспечиваются специально

разработанными алгоритмами, основанными на энергетических и корреляционных свойствах входных сигналов.

Измеренные параметры выдаются в цифровом и аналоговом виде. Все входные/выходные сигналы имеют гальваническую развязку. Для подключения сигналов используются пружинные соединители WAGO, позволяющие ускорить монтаж системы.

Устройство содержит по три канала тока и напряжения. Каналы попарно независимые. В каждой паре каналов измеряется амплитуда напряжения, амплитуда тока, частота напряжения и разность фаз. Внешний вид прибора представлен на рис. 4.

В ходе испытаний прибора были определены точности измерения действующих значений напряжения, токов частоты и фазы. Полученные данные подтвердили высокую эффективность выбранного корреляционного алгоритма (рис. 5).

Таким образом, разработанное устройство обладает высокими точностными характеристиками и может быть применено для систем автоматизации электростанций и ТЭЦ.

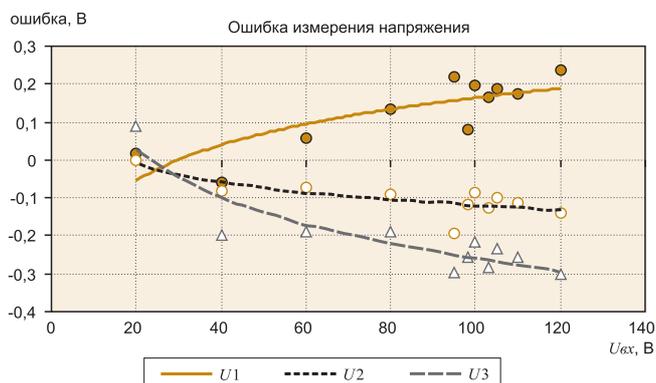


Рис. 5. Ошибки измерения напряжения, где U1, U2, U3 — ошибки измерения напряжения по трем каналам

Бумагин А.В. — канд. техн. наук, руководитель проекта, **Руткевич А.В.** — исполнительный директор, **Сахаров К.В.** — инженер-конструктор, **Шишкин Г.В.** — главный конструктор НПП "Цифровые решения", **Стешенко В.Б.** — канд. техн. наук, зам. начальника центра ФГУП "РНИИ КП".

Контактный телефон (495) 978-28-40.

Каменск-Уральский металлургический завод автоматизирует управление ТОиР

НПП СпецТек начал проект полномасштабного внедрения TRIM и автоматизации управления техобслуживанием и ремонтами (ТОиР) в ОАО "Каменск-Уральский металлургический завод" (КУМЗ). На момент подписания договора совместная работа КУМЗ и НПП СпецТек в области ТОиР имела уже двухлетнюю историю. В мае 2006 г. завод приобрел 5 лицензий на "коробочный" программный продукт TRIM-PMS (TRIM-Planned Maintenance System) и начал самостоятельное внедрение ИСУ ТОиР на его основе в группе планирования ремонта для механического оборудования основных технологических цехов. НПП СпецТек провел тогда обучение специалистов КУМЗ, занимавшихся внедрением и использованием TRIM-PMS, и в дальнейшем обеспечивал техническую поддержку пользователей. В итоге, средствами TRIM-PMS на заводе была проведена паспортизация основного механического оборудования с созданием соответствующей БД, пользователи системы освоили базовые функции ИСУ ТОиР, такие как ведение каталогов и справочников по оборудованию, планирование регламентных работ по ТОиР, ведение журналов работ, внесение отчетов о проведенных работах и использованных запчастях и т.д.

Пилотный проект на базе TRIM-PMS дал предприятию объективную основу для уточнения требований к ИСУ ТОиР завода, позволил подготовить персонал к внедрению такого рода систем и в целом сформировал хороший задел для полномасштабного проекта. Речь идет о том, чтобы теперь выйти на фор-

мирование финансовых показателей в сфере ТОиР в масштабе завода, на решение задач взаимодействия с подрядными ремонтными организациями при требуемой детализации, включить в область действия проекта здания, сооружения, энергетическое и транспортное оборудование, охватить все производственные подразделения с учетом их специфики в сфере ТОиР.

К настоящему времени специалисты НПП СпецТек провели обследование процессов ТОиР заказчика, разработано техническое задание и спецификации на создание БД и на аналитические отчеты. Проведено обучение рабочей группы специалистов КУМЗ. В рамках первого этапа проекта средствами TRIM будет автоматизировано более 40 АРМ пользователей. Планируется развернуть систему в следующих подразделениях: отделы главного механика, главного энергетика, металлургических печей, экономического планирования ремонтов, капитального строительства, в цехах — прокатном, прессовом, кузнечно-прессовом, прокатно-сварных изделий, литейных, трубопрессовом, инструментальном, КИПиА, в бюро технического надзора за оборудованием и бюро технического надзора за зданиями и сооружениями, в дочерней компании "КУМЗ-Ремонт" и инженерном центре. Предусмотрена интеграция TRIM с действующей системой бухгалтерского и управленческого учета, в последствии — с внедряемой на предприятии информационной системой на основе программных продуктов SAP.

[Http://www.trim.ru](http://www.trim.ru)