

ФОРМИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ КОРАБЕЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ И СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ ЭЭС: МЕТОД ПРЯМОГО ЦИФРОВОГО СКАНИРОВАНИЯ

Губанов Ю.А.

ФГУП НПО "Аврора" Санкт-Петербург, Россия

Работы, проведенные в ходе комплексной автоматизации кораблей, привели к существенным успехам в деле совершенствования систем управления (СУ) корабельными электроэнергетическими системами (ЭЭС). Между тем используемое основное оборудование ЭЭС остается консервативным. Начальный этап развития средств управления ЭЭС протекал вне рамок комплексной автоматизации. Он завершился созданием функциональных устройств ЭЭС и первых поколений СУ ЭЭС. СУ и ГРЩ использовали единые средства, элементную базу, организацию управления. На практике шел процесс "вертикальной" интеграции средств управления ЭЭС.

Комплексная автоматизация кораблей, начав процесс интеграции СУ техническими средствами (ТС) кораблей ("горизонтальная" интеграция), стимулировала определенный технологический и организационный отрыв СУ ЭЭС от средств управления, размещаемых в составе главных распределительных щитов (ГРЩ) и корабельных электrorаспределительных устройств (КЭРУ). Результатом этого явился процесс "вертикальной" дезинтеграции средств управления ЭЭС, что, прежде всего, отразилось на ухудшении интерфейсных характеристик каналов управления [1].

В основе концепции "вертикальной" интеграции лежит положение о том, что естественным путем преодоления существующей дезинтеграции средств управления ЭЭС является дальнейшая децентрализация периферийных устройств СУ с размещением их в составе ГРЩ, устранение средств промежуточного преобразования информации, совершенствование интерфейсов, создание единых устройств преобразования исходной информации в цифровую форму, способных по цифровым каналам транслировать ее средствам управления СУ и ГРЩ для реализации целей измерения, контроля, управления [2].

В качестве развития методов измерения мгновенных значений параметров электрических величин предлагается оригинальный метод прямого цифрового сканирования параметров рабочей синусоиды сети главного тока корабельной ЭЭС. Для его реализации необходимо в ГРЩ на места установки измерительных трансформаторов разместить сканирующие устройства, которые, непрерывно отслеживая изменения рабочей синусоиды, создают ее виртуальный цифровой образ. Этот образ по определению заведомо содержит полную информацию о всех электрических параметрах рабочей синусоиды. После цифровой обработки сканирующим устройством все параметры синусоиды могут быть получены для использования, как переменные входной базы данных, чисто алгоритмическими методами.

После цифровой обработки и цифрового представления синусоиды в СУ дальнейших преобразований информации, связанных с метрологией не требуется. Алгоритм сканирования включает повторяющиеся с заданной дискретностью операции одновременного запуска всех каналов аналого-цифровых преобразователей для фиксации достоверного «фазового среза» измеряемых мгновенных значений входных сигналов, выполнение задержки на собственно аналого-цифровое преобразование и последующий последовательно-параллельный ввод результата измерения в оперативную память микроконтроллера для регистрации и экспресс обработки.

Существенным отличием представленной системы измерения по отношению к ранее принятым в СУ ЭЭС является использование метода сбора информации, основанного на регистрации исходных данных в виде массивов мгновенных значений с целью их последующей экспресс обработки. Фиксация входных данных в виде таких массивов, измеренных с надлежащей дискретностью и на достаточном для последующих оценок интервале времени, предоставляет существенно большее количество исходной информации для последующей многоцелевой обработки, нежели традиционное использование предварительно проинтегрированных значений некоторых параметров. При наличии исходных данных в виде массивов мгновенных значений, возможно как репродуцирование известных методов и алгоритмов, так и разработка принципиально новых, опирающихся на расширенную и более «прозрачную» базу исходных данных.

Измерение значений основных параметров ЭЭС осуществляется под управлением микроконтроллера блока сканирования. Непосредственному измерению подлежат мгновенные значения двух фазных токов и двух линейных напряжений, при этом, мгновенные значения «недостающих» токов и напряжений, а также значение мгновенной мощности вычисляются процессором контроллера по правилам работы трехфазных цепей с изолированной нейтралью. Для вычисляемых мгновенных значений параметров после каждой выборки исходных данных

$$i_B(t_0) = -(i_A(t_0) + i_C(t_0))$$

$$u_{AC}(t_0) = (u_{AB}(t_0) - u_{CB}(t_0))$$

$$p(t_0) = i_A(t_0) * u_{CB}(t_0) + i_C(t_0) * u_{AB}(t_0),$$

где (t_0) – указатель момента фиксации измеряемых мгновенных значений; $i_A(t_0)$, $i_C(t_0)$, $u_{AB}(t_0)$, $u_{CB}(t_0)$ – измеряемые мгновенные значения; $i_B(t_0)$, $u_{AC}(t_0)$, $p(t_0)$ – вычисляемые мгновенные значения; $p(t_0)$ –

мгновенная трехфазная мощность нагрузки. Для вычисляемых средних значений параметров после окончания каждого периода следования входных сигналов

$$\begin{aligned} I_x &= 1/T_0 \sum I_x(t_k); \\ U_{xx} &= 1/T_0 \sum u_{xx}(t_k); \\ P &= 1/T_0 \sum p(t_k), \end{aligned}$$

где x – обозначение фаз трехфазной системы A, B, C ; xx – обозначение линий трехфазной системы AB, BC, CA ; P – трехфазная мощность нагрузки; T_0 – период следования входных сигналов, вычисляемый устройством «захвата» микроконтроллера; \sum – символ суммирования от $k = 0$ до $k = T_0 / N$ ($N=50$) соответствующих мгновенных значений параметров; (t_k) – указатель одноименных моментов фиксации измеряемых мгновенных значений.

Интегральные оценки основных параметров электроэнергии трехфазного источника переменного тока, такие как средние (действующие) значения всех фазных токов и всех линейных напряжений, а, кроме того, средние значения частоты и электромагнитной мощности нагрузки, также вычисляются процессором контроллера. Вычисление среднего значения частоты входных сигналов выполняется как результат обработки значений параметров массива мгновенных значений любого из измеряемых напряжений, либо аппаратно-программными средствами.

На щитовой контроллер, реализующий функции прямого цифрового сканирования, с учетом его размещения в секциях ГРЩ, возлагаются функции отображения текущей информации о значении основных параметров электроэнергии ЭЭС.

Комбинированная щитовая панель индикации и управления станции включает в свой состав собственный локальный микроконтроллер, связанный с основным микроконтроллером сканирующего блока по одному из его трех штатных каналов связи. Результаты обработки исходной информации передаются по каналам связи в СУ ЭЭС в любой момент времени в соответствии с принятой в ней дисциплиной обслуживания, обеспечивается оперативный прием команд управления от СУ ЭЭС.

Предлагаемые схмотехнические решения успешно применены для решения достаточно сложных функциональных задач управления ЭЭС, например, для задачи точной автоматической синхронизации корабельных генераторов. Щитовой контроллер в режимах, связанных с подготовкой к синхронизации источников переменного тока, одновременно решает задачи 1) контроля величин напряжения на шинах источников ЭЭС с целью формирования сигнала на разрешение/запрет проведения их синхронизации; 2) контроля электрических частот на шинах тех же источников для формирования управляющих воздействий в процессе регулирования их частот или формирования сигнала на запрет проведения синхронизации; 3) контроля разности фаз.

Первая из этих задач совершенно очевидно решается на общих ресурсах узла сканирования контроллера. Для решения двух других задач требуется выделение дополнительных аппаратно-программных и/или временных ресурсов контроллера. Микроконтроллер располагает имеющими одну временную базу (общий внутрикристалльный таймер-счетчик) устройствами захвата, существенно облегчающими процедуру измерения временных параметров контролируемых сигналов. Каждое событие (в рассматриваемом случае фронт, соответствующий началу периода входного сигнала) аппаратно фиксируется в памяти микроконтроллера, при этом процессор микроконтроллера немедленно информируется о возникновении события.

В результате период следования каждого входного сигнала может быть вычислен процессором микроконтроллера как разность показаний таймера-счетчика для двух последовательных захватов в одноименных каналах измерения, а текущее значение фазового сдвига входных сигналов - как соответствующая разность показаний таймера-счетчика в соседних каналах измерения. Результат измерения подлежит сохранению для последующего анализа.

Для повышения информационной защищенности входных цепей узла синхронизации применены электрические фильтры Бесселя 5-го порядка в интегральном исполнении, которые имеют исключительно высокие технические и эксплуатационные характеристики. Наиболее болезненный вопрос прежних технических решений, связанный с необходимостью тщательного подбора значений параметров как пассивных, так и активных элементов электрических фильтров, нашел также свое радикальное разрешение в интегрированных схемах: частота среза фильтров нижних частот с достаточно высокой степенью воспроизводимости (точность 0,5%) задается одним параметром - значением частоты задающего сигнала фильтра. Повышение порядка фильтрации входных сигналов при снижении ширины полосы пропускания фильтра позволяет, практически не влияя на величину относительного фазового запаздывания исходной информации, более эффективно подавлять сигналы, находящиеся вне пределов его полосы прозрачности.

В связи с тем, что технологический разброс основных значений параметров, в частности фазового сдвига, отдельных фильтров в интегральном исполнении незначителен, а опорная частота, формируемая прецизионным генератором является общей для обоих фильтров, удается свести к минимуму относительные инструментальные погрешности между попарно включаемыми измерительными каналами.

Для адекватного формирования сигнала разрешения синхронизации, то есть физического воздействия на цепи управления автоматического выключателя (АВ) ЭЭС, следует учитывать задержки, возникающие в тракте управления. Эти задержки вызваны как инерционностью исполнительных промежуточных электромагнитных реле, так и электромеханической инерционностью в цепи управления АВ.

Расчетное время опережения включения АВ в общем случае зависит как от типа примененных исполнительных элементов, так и от совокупности дестабилизирующих воздействий.

Литература

1. *Губанов Ю.А.* Принципы синтеза корабельных интеллектуальных интегрированных электротехнических систем//Третья Международная конференция и выставка по морским интеллектуальным технологиям: Материалы конференции. Сб. докл. - С-Пб.: Моринтех, 1999. - Т.3. -С.61-70.

2. *Yu.A.Gubanov* Integration of Control Facilities Ship Electropower Systems// Third International Shipbuilding Conference "ISC`2002". Section D. Ship Powerplants, Computer-Assisted Systems of Control for Ships, Ship Machinery & Equipment, Sound & Vibration, Dynamic Strength & Reliability of Ship Machinery. Proceedings / Krylov Shipbuilding Research Institute. St.Peterburg. 2002. - С.282-285