

С. И. Акунович, канд. техн. наук; Н. А. Жилияк, аспирант

БАЗОВЫЙ АЛГОРИТМ СИНТЕЗА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Discussed are some aspects of implementation of a unified basic algorithm of synthesis of real-time computation structures in the PM-2201 electronic recorder designed for DC current and voltage measurements via 6, 9, 12 or 15 decoupled channels as well as for measurements of non-electric values converted to electric signals of DC current and resistance. Measurement results are further processed, displayed, collected and stored; emergency situations are announced.

Development of hardware and software was one of the main tasks in designing the instrument. Basically, software for the PM-2201 recorder comprises one of the algorithms providing for computer resources share. A novel algorithm and the software utilizing this algorithm provide for thermo EMF-to-temperature processing and conversion. All that resulted in saving labor and instrument computing resources.

Введение. Республика Беларусь обладает развитой структурой машиностроительных предприятий, предприятий стройиндустрии, теплоэнергетического и нефтехимического профилей, предприятий по переработке и производству сельскохозяйственной продукции и фармацевтической индустрии. Для этих отраслей основной формой эксплуатационного контроля является измерение, обработка, визуализация и активный допусковый контроль длительных реализаций технологических процессов. В настоящее время на большинстве предприятий Республики Беларусь и странах СНГ применяются бумажные электромеханические самописцы, находящиеся в эксплуатации с начала 80-х гг. К существенным недостаткам бумажных регистраторов можно отнести большую трудоемкость проведения ретроспективного анализа информации с бумажной ленты, отсутствие возможности оперативного накопления данных в долговременном архиве на машинных носителях информации; сложность проведения оперативного синхронного анализа данных по нескольким каналам с привязкой ко времени и дате съема информации.

Основная часть. Появление на мировом рынке безбумажных электронных регистраторов и опыт их эксплуатации в различных отраслях промышленности позволили отчетливо обрисовать тенденцию их развития и сформировать технические требования на современном этапе.

К наиболее важным эксплуатационным характеристикам любого промышленного прибора можно отнести степень многофункциональности и универсальности, получаемые не за счет избыточности, а за счет аппаратно-программной агрегируемости. Реализация этих требований возможна при использовании современных встроенных промышленных компьютеров.

Безбумажный самописец-регистратор PM-2201 – электронный самописец, осуществляющий сбор, обработку и архивирова-

ние результатов измерения, разработан в ОАО «МНИПИ» с использованием новых технологий и представляет собой современный прибор, не уступающий по своим техническим характеристикам и функциональным возможностям приборам аналогичного класса таких известных фирм, как YOKOGAWA, JUMO и SIEMENS.

Регистратор измерительный многоканальный PM-2201 предназначен для измерения по 6, 9, 12 или 15-ти гальванически изолированным каналам силы и напряжения постоянного тока, а также неэлектрических величин, преобразованных в электрические сигналы постоянного тока, и сопротивления постоянному току, для обработки результатов измерений, их визуализации, сбора, хранения и сигнализации аварийных ситуаций [1].

Отображение измерений производится по группам каналов. Количество каналов в группе – от 1 до 6. Скорость обновления отображения в каждой группе выбирается пользователем из списка: 1, 2, 3, 5, 10, 15, 30 с, 1, 2, 3, 6 мин.

Запись в архив происходит в соответствии с настройками пользователя. Пользователь имеет возможность сохранять мгновенные значения результатов измерений с назначенным периодом записи, а также средние значения за минуту или час и экстремальные значения за минуту или час. Также предоставляется возможность ограничения размера файлов и автоматическое удаление старых архивов.

Настройка измерительных (аналоговых) каналов включает в себя:

- набор идентификатора канала (на виртуальной клавиатуре);
- назначение вида сигнала и диапазона;
- назначение уставок;
- выбор шкалы для графиков и гистограмм;
- выбор цвета отображения канала;
- выбор ширины линии для графика.

Для каждого канала (аналогового или математического) можно назначить до четырех

уставок. В данной версии программы доступными являются четыре состояния.

1. Сигнал выше уставки. Для данного типа уставки назначается значение уставки, время задержки T и гистерезис.

Значение гистерезиса можно задавать по абсолютной величине (в выбранных единицах измерения) или в процентах от разности верхней и нижней границ диапазона измерений.

Если значение гистерезиса равно нулю, событие «Вход в зону нормы (из максимума)» регистрируется, когда измеренное значение станет меньше, чем значение уставки.

Если значение гистерезиса больше нуля, то событие «Вход в зону нормы (из максимума)» регистрируется только тогда, когда измеренное значение станет меньше, чем значение уставки минус абсолютное значение гистерезиса.

2. Сигнал ниже уставки. Аналогично пункту 1 назначается значение уставки, время задержки T и гистерезис.

Если время задержки равно нулю, событие «Превышение уставки по минимуму» регистрируется, когда измеренное значение станет равным или ниже значения уставки.

Если время задержки больше нуля, то событие «Превышение уставки по минимуму» регистрируется через время T после момента, когда измеренное значение станет равным или ниже значения уставки, и если измерения остаются ниже значения уставки в течение этого периода времени.

Значение гистерезиса можно задавать по абсолютной величине (в выбранных единицах измерения) или в процентах от разности верхней и нижней границ диапазона измерений.

Если значение гистерезиса равно нулю, событие «Вход в зону нормы (из минимума)» регистрируется, когда измеренное значение станет выше, чем значение уставки.

Если значение гистерезиса больше нуля, то регистрируется событие «Вход в зону нормы (из минимума)» только тогда, когда измеренное значение станет больше, чем значение уставки плюс абсолютное значение гистерезиса.

3. Скорость изменения сигнала по возрастанию. Проверяется величина измеренных значений за определенный интервал времени. Событие регистрируется, если величина возрастания становится больше или равной указанному значению.

4. Скорость изменения сигнала по убыванию. Проверяется величина измеренных значений за определенный интервал времени. Событие регистрируется, если величина убывания становится больше или равной указанному значению.

Прибор регистрирует следующие события, которые отображаются в таблице обзора сигнализаций (журнал событий), записываются в файл (если установлен соответствующий ре-

жим) и подают сигнал на включение или выключение реле (номер реле указывает пользователь в настройках канала).

Многофункциональность и универсальность прибора достигается, в частности, за счет использования компьютера с тактовой частотой 500–800 МГц (на этих тактовых частотах в настоящее время не требуется принудительного охлаждения процессора, что очень важно для промышленного использования). Также применяются модули с универсальными измерительными входами, позволяющими производить измерение постоянного напряжения и тока, сопротивления постоянному току, что даст возможность подключать почти все используемые на практике первичные датчики, преобразующие неэлектрические сигналы в электрические, в частности термоЭДС в температуру от термоэлектрических преобразователей (ТП).

Одно из основных и наукоемких звеньев рассматриваемого прибора – это разработка программно-аппаратного комплекса прибора.

Программная часть регистратора РМ-2201 включает в себя один из алгоритмов, позволяющих реализовать наиболее оптимальное распределение машинных ресурсов. В свою очередь программное обеспечение, созданное на основе предложенного алгоритма, обеспечило обработку и преобразование термоЭДС в температуру, что ускорило процесс производства и освободило другие не менее важные машинные ресурсы прибора [2].

При отладке программного обеспечения была обеспечена работа аналоговых каналов, которые содержат настройки на виды измерений, например на измерение термоЭДС типа В, S, R, T, L, N, E и т. д. Зависимости выдаваемого ими электрического сигнала от температуры описываются полиномом высокой степени, т. е. номинальной статической характеристикой (НСХ), аппроксимируемой полиномами 8–14-й степени.

Алгоритм обработки сигналов от ТП создан на основе теории синтеза вычислительных систем реального времени. Теория синтеза вычислительных систем реального времени позволила синтезировать вычислительную систему обработки сигналов от ТП в условиях жестких требований к временным параметрам на основе полиномов, заданных аналитическим выражением во временной области и алгоритмом их реализации, обеспечивающих высокие метрологические показатели регистратора РМ-2201 за счет распараллеливания и конвейеризации реализации его путей. Исходя из предложенной теории, вершинами исходного графа алгоритма представляются полиномы, описывающие зависимость термоЭДС от температуры в градусах Цельсия, которые требуются для измерения ЭДС при определенной постановке задачи. При этом с помощью

предложенных данных назначаются уровни временной иерархии вершинам графа вычислительного алгоритма реализации математической модели процесса и условия реализуемости пути графа в реальном масштабе времени.

Обобщенный алгоритм, основанный на базовых положениях данной теории, представляет последовательность процедур реализации частных алгоритмов синтеза [3].

Вычислительная структура реального времени осуществляет вычислительный процесс общего вида

$$Y = F(X, Z, C), \quad (1)$$

где Y, X, Z – множество соответственно выходных, входных и промежуточных переменных; C – множество констант.

Алгоритм решения задачи предполагает выполнение следующих процедур.

1. Формирование графа вычислительного алгоритма:

$$F(X, \dots, C) \rightarrow G(V, E), \quad (2)$$

где множество вершин V соответствуют множеству операций отдельных фрагментов алгоритма, множество E -ребер – информационным связям. Граф G может быть описан матрицей инцидентности, которая имеет I вершин, J дуг и элементы a_{ij} .

2. Определение полных путей графа вычислительного алгоритма (путь, связывающий одну из вершин первого яруса с одной из концевых вершин графа).

Полным путем L_v графа алгоритма будем называть путь, связывающий вершину $v \leftrightarrow x_n$, $x_n \in X$ с вершиной v :

$$v \leftrightarrow y_m, y_m \in Y, \quad (3)$$

где v – дуги графа вычислительного алгоритма; y_m – ряд входных переменных.

3. Назначение уровней временной иерархии вершинам графа вычислительного алгоритма.

Уровнем γ временной иерархии подмножества вершин графа $V = (G, V)$ называется их приоритет, соответствующий требуемой скорости обработки данных каждой из вершин данного подмножества и определяемый следующим образом:

$$\forall v_i \leftrightarrow V: v_i \leftrightarrow \Delta t(\varphi_i) = \Delta t(\gamma) | \gamma = 1, \dots, \Gamma, \\ \Delta t(\gamma) = \min(\Delta t(\varphi \subset \Phi)),$$

$$\Gamma \leftrightarrow \min \Delta t(\varphi_i) \vee C, \quad (4)$$

где $\Phi = X \cup Y \cup Z \leftrightarrow V$; $\Phi(j) = \cup \varphi_j \leftrightarrow \Delta t(\gamma)$ – подмножества переменных модели (1) мощностью K_v .

Подмножество вершин V_γ графа алгоритма $V = (V, E)$, для которого найдено соответствие

$$V(\gamma) \leftrightarrow \Delta t(\gamma), \quad (5)$$

называется множеством вершин γ -го уровня временной иерархии.

Интервал времени $\Delta t(\gamma)$, для которого установлено соответствие

$$\Delta t(\gamma) \leftrightarrow V(\gamma) : G = G(V, E), V(\gamma) \subset V, \quad (6)$$

называется шагом дискретизации γ -го уровня временной иерархии.

4. Назначение функциональных устройств вершинам графа базовой структуры («нагруженный» граф), формирование векторов назначения вида

$$R = \left\{ \bar{R}^{(1)}, \bar{R}^{(2)}, \dots, \bar{R}^{(w)} \right\}, w = \prod_{i=1}^I \sum_{j=1}^J d_{ij}, \quad (7)$$

векторов размером I , элементы которых $r_i^{(u)} = j$; $d_{ij} = 1, j = 1, \dots, J, I = 1, \dots, I, u = 1, \dots, w, R^{(-n)} \neq R^{(-m)} \forall n \neq m; n, m = 1, \dots, w$ называются множеством векторов назначения.

Если вершина v_i принадлежит множеству вершин $V(\gamma) \leftrightarrow \Delta t(\gamma)$, то данной вершине может быть назначено функциональное устройство в виде термopары, для которого выполняется условие

$$\tau^j = (\gamma) \leftrightarrow \Delta t(j), \quad (8)$$

где τ^j – время обработки j -м устройством операции, отождествленной с вершиной v_i .

Все последующие шаги алгоритма (5–17) должны быть выполнены для каждого из найденных векторов назначения, множество которых определяется из выражения (8).

5. Формирование вектора реализации (элемент τ_i равен времени выполнения операции, отождествленной с i -й вершиной функционального устройства (в нашем случае – термopарой), назначенного в соответствии с вектором назначения).

6. Формирование графа алгоритма с буферной памятью для систем, рассчитанных на использование средств с различными уровнями временной иерархии.

7. Формирование усеченных путей Υ -х уровней временной иерархии. J -м усеченным путем γ -го уровня временной иерархии называется путь γ -го уровня временной иерархии, для множества вершин V которого справедливо

$$V(j, \gamma) = V_L(\gamma) \bigcup_{k=1}^{j-1} V(k, \gamma). \quad (9)$$

8. Определение конвейеризируемых путей и ступеней конвейера.

В ступень конвейера должны входить ФУ, для которых суммарное время выполнения операций меньше или равно его циклу.

9. Определение множества свертываемых вершин (для неконвейеризированных путей).

10. Построение вычислительного графа алгоритма (добавление вершин при необходимости введения служебных устройств (мультиплексоры)).

11. Проверка реализуемости вычислительной структуры реального времени (выполнение условия реализуемости пути графа алгоритма в РМВ).

12. Формирование вектора временной развертки.

13. Формирование вектора требований к памяти для хранения промежуточных результатов (с регистровыми файлами, индексы положительных элементов данного вектора являются номерами дуг, требующих выполнения операции добавления вершины, которой назначается блок памяти).

14. Анализ реализуемости вычислительной структуры (наличие отрицательных элементов в данном векторе указывает на нереализуемость ВС на выбранном векторе назначения).

15. Разработка графа вычислительной структуры.

16. Построение функционала временной развертки (определяет программу взаимодействия функциональных устройств, составляющих вычислительную систему, на одном цикле ее функционирования).

17. Выбор из множества работоспособных синтезированных структур структуры, наилучшим образом удовлетворяющей заданным критериям оптимальности [4].

Заключение. В результате реализации алгоритма, основанного на теории синтеза вычислительных систем реального времени, будут сформированы:

– граф вычислительной структуры, транспонируемый в структурную схему проектируемой системы, и спецификация его вершин;

– вектор назначения, который может стать основой создания принципиальных схем;

– функционал временной развертки, являющийся основой синхронизации проектируемой системы и создания средств управления данной системой; представление процессов формирования управляющих сигналов в виде функционала временной развертки по-

зволяет формировать управляющие сигналы для управления регистратором многоканальным РМ-2201 и технологическими процессами.

Алгоритм функционирования системы составлен таким образом, чтобы обеспечить надежное функционирование всей системы в целом. Основными требованиями к системе являются бесперебойный сбор данных, запись измеренных данных на флэш-диск, своевременная сигнализация оператора о превышении сигналом уставки, запись данных в базу данных. Алгоритм, выполняемый на персональном компьютере, реализуется параллельно основному алгоритму и входит в состав общего алгоритма функционирования системы.

Основной причиной выбора данного регистратора для построения информационно-измерительной системы является то, что прибор не уступает зарубежным аналогам по функциональности, имеет значительно меньшую стоимость и полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системе. Его стоимость в два, а по сравнению с некоторыми моделями и в три, раза ниже стоимости вышеперечисленных самописцев. А так как регистрирующее устройство является наиболее дорогостоящим элементом системы, то выбор самописца с меньшей стоимостью позволит существенно сократить стоимость системы в целом.

Литература

1. Носенко, В. А. Специализированные информационно-измерительные системы / В. А. Носенко, А. В. Дзюба, А. И. Денис // Доклады Национальной академии наук Беларуси. Минск. – 2005. – Т. 49, № 4.

2. Никифорова, З. С. Роль измерительно-информационных систем в повышении технического уровня и качества выпускаемой продукции / З. С. Никифорова, С. А. Попоудина, А. В. Дзюба. – Минск: БелНИИТИ, 1983. – 13 с. – (Обзорная информация).

3. Жилияк, Н. А. Базовый алгоритм синтеза вычислительных структур реального времени / Н. А. Жилияк, А. С. Кобайло // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информ. – 2007. – Вып. XV. – С. 147–150.

4. Шпаковский, Г. И. Архитектура параллельных ЭВМ / Г. И. Шпаковский. – Минск: Университетское, 1989. – С. 24–36.