

Диагностика промышленных систем: практика разработки измерительных комплексов

Леонид Ермаков, Сергей Шилиев

Рассмотрены особенности построения измерительного комплекса для диагностики промышленных систем на основе измерения сигналов датчиков и сравнения их с эталонными значениями. Представлены характеристики разработанных авторами компонентов данного комплекса и даны рекомендации по выбору оптимального оборудования применительно к конкретным задачам заказчика. В статье рассмотрены особенности схемных решений диагностических измерителей ЗАО “Руднев – Шилиев”, которые были найдены в ходе разработок диагностических систем.

Надежность работы промышленного оборудования напрямую зависит от своевременности выявления дефектов ее элементов, поэтому диагностические комплексы становятся неотъемлемым атрибутом современных промышленных систем. Одним из путей проведения диагностики является использование измерительных комплексов. В основу работы таких измерительных систем положено сравнение эталонного сигнала или его производных характеристик (например, спектра сигнала) с записанными регистраторами сигналов с обследуемого или ремонтируемого оборудования для получения информации о состоянии корпуса судна, двигателя, турбины или иного оборудования. Для получения необходимых сигналов от оборудования используются датчики влажности, уровня воды или присутствия газа в шахте или любой другой датчик, преобразующий интересующий параметр в электрический сигнал. Практическая реализация диагностических систем на основе

измерителей сильно зависит от особенностей работы промышленного оборудования.

Практически вся продукция ЗАО “Руднев – Шилиев” сделана в той или иной мере по конкретным техническим заданиям заказчиков. Так, по заказу Московского метрополитена были сделаны системы для профилактической диагностики выходного контроля электрооборудования вагонов метро после капитального ремонта, а также для поиска и устранения трудно выявляемых дефектов серийных вагонов в депо. Несколько вариантов системы используются на морских и речных судах. Результатом унификации задач данных направлений применения является разработка прибора ЛА-5.

Автономный измерительный прибор ЛА-5 преобразует электрические информационные сигналы от 16 датчиков в цифровой код, который может быть передан в компьютер для дальнейшей обработки или сохранен во внутренней памяти ЛА-5. Возможен продолжительный

сбор данных о состоянии объекта или устройства. Удобный интерфейс Ethernet позволяет передать в компьютер и сохранить огромное количество измерений, отдельных характеристик сигналов, в том числе таких достаточно сложных, как частотные спектры. Сравнение этого спектра (эталонного) со спектром, получаемым с датчиков работающего оборудования, позволяет по гармоническому составу частот в спектре исследуемого оборудования выявить ошибки и, как следствие, неисправность исследуемого оборудования. Диагностика сводится к локализации зоны неисправности. Отличительной особенностью прибора ЛА-5 является то, что он может работать в автономном режиме и под управлением оператора. Если прибор подключен к переносному компьютеру, оператор может изменять параметры сбора данных и наблюдать результаты на мониторе непосредственно в поездке или на объекте. Данный метод наиболее эффективен для быстрого выявления дефектного узла при ре-

Таблица 1. Платы ЦАП и цифрового синтеза сигналов

	ГСПФ-051	ГСПФ-052	ГСПФ-053	ЛА-2ЦАП70/15
Количество разрядов ЦАП	14 разрядов	14 разрядов	14 разрядов	12 разрядов
U _{вых}	±5В/ ±10В	±5В/ ±10В	±5В/ ±10В	±5В; ±10В; 0-10В
R _{вых}	50 Ом/ 1МОм	50 Ом/ 1МОм	50 Ом/ 1МОм	10 Ом
Время установления	45 нс	45 нс	45 нс	70/15 мкс
Буферная память	256кСлов	256кСлов	256кСлов	—
Интерфейс	ISA-16	PCI	USB	ISA-16
Количество выходов	1	1	1	2
Гальваническая изоляция	—	—	—	+
Функциональный генератор	+	+	+	—
Сертификат (Госреестр)	RU.X.35.010AN№18433	RU.C.35.010AN№18433	RU.C.35.010AN№18433	—
Цена	10900	13000	14000	6800/8000

Таблица 2. Измерительные высокочастотные платы

Шаг 1. Выберите максималь- ную частоту дискре- тизации	Шаг 2. Выбе- рите разряд- ность АЦП	Шаг 3. Сколько входных аналоговых каналов Вам необходимо?	Шаг 4. Выбе- рите диапазон входного сиг- нала	Шаг 5. Входное сопро- тивление (импе- данс)	Шаг 6. Синхронизация (запуск)	Шаг 7. Бу- ферная па- мять	Шаг 8. Полоса сигнала	Шаг 9. Частота стробос- копа (если есть)	Шаг 10. Интер- фейс ус- тройства	Для Вашей задачи мы предлагаем следующую плату
2 ГГц	8	1 канал	от ±0,125В до ±25В	1 МОм, 17пФ	внутр., внешн.: ±5В, ±0,5В, 1 МОм, 50 Ом	ОЗУ 8 Мбайт	100 МГц	нет	USB	ЛА-n1USB
			от ±0,125В до ±1,25В	50 Ом		ОЗУ 8 Мбайт	300 МГц			ЛА-n1USB
1 ГГц	8	2 синхр. ка- нала	от ±0,125В до ±25В	1МОм, 17 пФ	внутр., внешн.: ±5В, ±0,5В, 1 МОм, 50 Ом	ОЗУ 8 Мбайт	100 МГц	нет	USB	ЛА-n1USB
		1 канал	от ±0,125В до ±1,25В	50 Ом		ОЗУ 8 Мбайт	300 МГц			ЛА-n1USB
500 МГц	8		1 канал	от ±0,5В до ±5В	1МОм, 17 пФ	внутр., внешн.: ±5В, ±0,5В, 1 МОм. ФНЧ, ФВЧ	ОЗУ 8 Мбайт	100 МГц	10 ГГц	ЛА-n1PCI
		от ±0,25В до ±2В		50 Ом	ОЗУ 8 Мбайт		300 МГц	ЛА-n1PCI		
	8	2 синхр. ка- нала	от ±0,125В до ±25В	1МОм, 17 пФ	внутр., внешн.: ±5В, ±0,5В, 1 МОм. ФНЧ, ФВЧ	ОЗУ 2 Мбайт	100 МГц	1 ГГц	USB	ЛА-n4USB
			от ±0,2В до ±2,5В	50 Ом		ОЗУ 2 Мбайт	180 МГц			ЛА-n10М8-500
250 МГц	8	2 синхр. ка- нала	от ±0,125В до ±25В	1МОм, 17 пФ	внутр., внешн.: ±5В, ±0,5В, 1 МОм. ФНЧ, ФВЧ	ОЗУ 2 Мбайт	100 МГц	1 ГГц	USB	ЛА-n4USB
			от ±0,125В до ±25В	1МОм, 17 пФ		ОЗУ 2 Мбайт	100 МГц			ЛА-n10М8-250
	8	1 канал	от ±0,25В до ±1В	1МОм	внутр.	ОЗУ 512 кбайт	50 МГц	нет	РС/104	ЛА-n-10РС104
			от ±0,5В до ±5В	1МОм, 30 пФ		ОЗУ 256 кСлов	50 МГц			ЛА-n10М6РС1
	8	2 синхр. ка- нала	от ±0,5В до ±5В	1МОм	внутр. или внешн. ±5В	ОЗУ 256 кСлов	50 МГц	нет	ISA	ЛА-n10М6
			от ±0,125В до ±25В	1МОм, 17 пФ		ОЗУ 2 Мбайт	100 МГц			ЛА-n10М8-100
100 МГц	12	2 синхр. ка- нала	от ±0,125В до ±25В	1МОм, 17 пФ	внутр., внешн.: ±5В, ±0,5В, 1 МОм. ФНЧ, ФВЧ	ОЗУ 2 Мбайт	100 МГц	1 ГГц	USB	ЛА-n10USB
			от ±0,2В до ±2В	50 Ом		ОЗУ 2 Мбайт	35 МГц			нет
		2 синхр. ка- нала	от ±0,2В до ±2В	50 Ом	внутр. или внешн. ±5В	ОЗУ 2 МСлова	35 МГц	нет	USB	ЛА-n10-12USB-у
			от ±0,2В до ±2В	50 Ом		ОЗУ 2 МСлова	35 МГц			нет

Таблица 2 (продолжение). Измерительные высокочастотные платы

80 МГц	12	2 синхр. канала	от $\pm 0,2В$ до $\pm 2В$	50 Ом	внутр. или внешн. $\pm 5В$	ОЗУ 1 МСлово	35 МГц	нет	USB	ЛА-н10-12USB
50 МГц	8	2 синхр. канала	от $\pm 0,2В$ до $\pm 2В$	50 Ом	внутр. или внешн. $\pm 5В$	ОЗУ 256 кСлов	35 МГц	нет	PCI	ЛА-н10-12PCI
			от $\pm 0,5В$ до $\pm 5В$	1МОм, 30 пФ	внутр. или внешн. $\pm 5В$	ОЗУ 256 кСлов	50 МГц	нет	PCI	ЛА-н10М6PCI
			от $\pm 0,5В$ до $\pm 5В$	1МОм	внутр. или внешн. $\pm 5В$	ОЗУ 256 кСлов	50 МГц	нет	ISA	ЛА-н10М6
			от $\pm 0,2В$ до $\pm 2В$	50 Ом	внутр. или внешн. $\pm 5В$	ОЗУ 256 кСлов	30 МГц	нет	PCI	ЛА-н20-12PCI
40 МГц	12	2 синхр. канала	от $\pm 0,2В$ до $\pm 2В$	1МОм, 30 пФ	внутр. или внешн. $\pm 5В$	ОЗУ 256 кСлов	30 МГц	нет	PCI	ЛА-н20-12MPCI
			$\pm 1В$	1 МОм	внутр. или внешн. $\pm 5В$	ОЗУ 64 МСлов	20 МГц	нет	ISA	ЛА-БПМ25-12МЕМ128
20 МГц	8	16 однополосн.	$\pm 1В$	1МОм	внутр. или внешн. $\pm 5В$	FIFO 8 кСлов	30 МГц	нет	PCI	ЛА-н50-12PCI
							30 МГц	нет	USB	ЛА-н50-12USB

монте и техническом обслуживании транспорта.

Однако часть дефектов электрооборудования выявляется только в процессе эксплуатации на линии в реальных условиях. Такие «плавающие» дефекты носят скрытый характер, являются трудно обнаруживаемыми и вследствие своей непредсказуемости оказывают наиболее неблагоприятное влияние на процесс эксплуатации транспортных средств. Для выявления таких дефектов требуются затраты времени и труда, во много раз превышающие заводские нормативы на аналогичные работы. Для таких случаев прибор ЛА-5 может быть запрограммирован для работы в автономном режиме. В этом режиме для программирования доступны все основные функции прибора: количество цифровых и аналоговых каналов, частота дискретизации и выбор входного диапазона для каждого канала. Отдельно хочется отметить возможность работы прибора с внутренней энергонезависимой памятью. Память может быть сконфигурирована как линейный массив или как циклический буфер. В последнем случае, после заполнения всей памяти самые старые данные будут стираться, а на их место записываться новые. Кроме того, существует возможность задавать условия, при выполнении которых текущие записи данных помечаются как «нестираемые». Например, выход одного из аналоговых каналов за критическую зону или срабатывание аварийной защиты. Таким образом, локомотивный состав эксплуатируется на линии, а в его памяти накапливаются данные, которые выходят за рамки нормальной работы. Прибор оснащен часами реального времени, поэтому помимо самих данных в файл записывается текущая дата и время измерения. Это значительно облегчает ведение документации в течение всего периода эксплуатации объекта исследования с данным прибором.

При условии нехватки квалифицированного персонала, особенно остро встает вопрос обслуживания таких систем, так как парк объектов, оборудованных такими системами, постоянно расширяется. Наличие в ЛА-5 радиоинтерфейса Wi-Fi значительно облегчает процесс обслуживания. Как только объект появляется в зоне радиовидимости центрального сервера, данные из энергонезависимой памяти, автоматически считываются и архивируются. При возникновении неполадок запрашиваются данные за последний период

эксплуатации данного объекта, и прослеживается процесс развития и появления дефекта. Количество применяемых устройств ЛА-5 не ограничено, и вы можете получать данные с них, перебирая только IP-адреса устройств.

До недавнего времени встраиваемые в средства скоростного контроля аппаратно-программные комплексы не использовали в полной мере возможности современных средств вычислительной техники. Фактически расшифровка данных велась в ручном режиме, требуя высокой квалификации персонала, его постоянного напряженного внимания. Пропуск дефектов при таком режиме работы почти неизбежен. В 2000 году начались разработки диагностических систем для скоростных автономных средств контроля рельсов в пути. И уже год спустя, был разработан автоматизированный программно-аппаратный комплекс для регистрации, хранения и обработки сигнала от искателей вагона-дефектоскопа, дефектоскопной автомотрисы — «ПОИСК-2000М». Он предназначен для регистрации и дешифровки дефектограмм в ручном и полуавтоматическом режимах. Специально для программно-аппаратного комплекса «ПОИСК-2000М» были разработаны платы ЛА-РДС и ЛА-РДС (USB). Они осуществляют сбор информации при дефектоскопии состояния железнодорожных рельсов. Информацию получают по 12 каналам и регистрируют в реальном времени с архивацией и записью в постоянную память компьютера. Кроме того, специально для НПП «ВИГОР» ЗАО «Руднев-Шилев» разработало счетчик путевой координаты, который используется в устройствах для стационарной установки контроля рельсов на рельсовых участках предприятий. Эти установки используются для приема информации о местоположении дефекта.

Для регистрации медленно меняющихся процессов и сигналов, при небольших скоростях информационных потоков можно достаточно просто решить задачу передачи данных и сохранения их в компьютере. Однако с ростом частоты дискретизации начинаются проблемы с надежной передачей непрерывного потока данных через используемый интерфейс. Например, у платы ЛА-н1 PCI скорость информационного потока достигает 1 Гбайт/с. Однако при таком информационном потоке в интерфейсах (PCI — для внутренних устройств и USB — для внешних

Таблица 3. Измерительные низкочастотные платы

Шаг 1. Выберите частоту дискретизации (С какой частотой необходимо опрашивать канал?)	Шаг 2. Выберите разрядность АЦП	Шаг 3. Сколько входных аналоговых каналов Вам необходимо?	Шаг 4. Выберите диапазон входного сигнала	Шаг 5. Наличие ЦАП, разрядность	Шаг 6. Количество цифровых линий	Шаг 7. Коэффициент усиления	Шаг 8. Интерфейс устройства	Для Вашей задачи мы предлагаем следующую плату
10 МГц	12	16 однополюсн.	±1В	нет	8 вывод/8 ввод	нет	USB	ЛА-Н50-12USB
	14	2 синхр. канала	от ±0,05В до ±5В	нет	8 вывод/8 ввод	нет	PCI	ЛА-Н50-12PCI
700 кГц	12	32 однополюсн/16 дифференц.	от ±0,05В до ±10В	нет	8 вывод/8 ввод	прогр. коэффициент усиления	PCI	ЛА-Н150-14PCI
500 кГц	12	32 однополюсн/16 дифференц.	от ±0,05В до ±10В	2 ЦАП 12 бит	8 вывод/8 ввод	прогр. коэф. усиления на канал отдельно 1,2...40,100,200	PCI	ЛА-1.5PCI-У
				нет	8 вывод/8 ввод	прогр. коэф. усиления на канал отдельно 1,2...40,100,200	USB	ЛА-2USB-12
400 кГц	14	32 однополюсн/16 дифференц.	от ±0,05В до ±10В	2 ЦАП 12 бит	8 вывод/8 ввод	прогр. коэф. усиления на канал отдельно 1,2...40,100,200	PCI	ЛА-1.5PCI
	12	32 однополюсн/16 дифференц.	от ±0,05В до ±10В	нет	8 вывод/8 ввод	прогр. коэф. усиления на канал отдельно 1,2...40,100,200	ISA	ЛА-2M5
		8 синхронных дифф.каналов	±2,5В	нет	8 вывод/8 ввод	прогр. коэф. усиления на канал отдельно 1,2...40,100,200	USB	ЛА-2USB-14
250 кГц	12	4 синхронных дифф.канала	от ±0,025В до ±5В	нет	8 вывод/8 ввод	прогр. коэф. усиления на канал отдельно 1,2...40,100,200	PCI	ЛА-1.5PCI-14
		16 однополюсн/8 дифференц.	от ±0,5В до ±10В	нет	8 вывод/8 ввод	прогр. коэф. усиления на канал отдельно 1,2...40,100,200	PCI	ЛА-2M5PCI
140кГц	16	16 однополюсн/8 дифференц.	от ±1В до ±10В	нет	8 вывод/8 ввод	нет	PCI	ЛА-2.5PCI
102,4 кГц	24	8 синхронных дифф.канала	±10В	нет	нет	1, 2, 4, 10, 20, 40, 10, 200	USB	ЛА-ISO4USB
50 кГц	12	32 однополюсн/16 дифференц.	от ±0,05В до ±10В	нет	8 вывод/8 ввод	1, 10 джампером на плате	ISA	ЛА-4
20 кГц	10	16 однополюсн/8 дифференц.	от ±0,1В до ±5В	нет	8 вывод/8 ввод	1, 10 джампером на плате	ISA	ЛА-7
14 кГц	12	16 однополюсн/8 дифференц.	от ±0,5В до ±5В	нет	8 вывод/8 ввод	задается при заказе	PCI	Леонардо-II
4 кГц	12	16 однополюсн/8 дифференц.	от ±0,05В до ±10В	нет	8 вывод/8 ввод	прогр. коэф. усиления на канал отдельно 1,2...40,100,200	USB	ЛА-20USB
				нет	8 вывод/8 ввод	1,5,10,50	USB	ЛА-50USB
				нет	8 вывод/8 ввод	пользовательский коэф. усиления	ISA	ЛА-70M4
				нет	16 входных	прогр. коэф. усиления на канал отдельно 1,2...40,100,200	Ethernet	ЛА-5
800 Гц	24	4 синхронных дифф.канала	от ±0,0625мВ до ±2,5В	нет	8 вывод/8 ввод	1, 2, 4, 8, 16, 32, 64	Ethernet, Wi-Fi	ЛА-5(Wi-Fi)
50 Гц	24	1/2/3 синх.; 2/4/6 мультитип.дифф.	от ±0,02В до ±2,5В	нет	нет	прогр.коэф.усил.	Ethernet, Optic	ЛА-5 (Optic)
							USB	ЛА-И24USB
							ISA	ЛА-И24-1/2/3

устройств) передачи данных не хватает скорости для достоверной записи сигналов. В этом случае информация собирается и хранится во внутренней памяти платы. Установленная на плате LA-n1PCI буферная память имеет суммарный объем 8 Мбайт. Это позволяет сохранить данные за промежуток 8 мс. Для некоторых задач этого достаточно, в то же время есть задачи с более продолжительным интервалом измерения: локация, импульсная техника, физические эксперименты, радиомониторинг и множество других. Здесь требуется решать задачи сохранения огромного массива данных в течение нескольких часов. Для таких случаев может быть использована система СПАСИ. Она позволяет непрерывно сохранять данные в потоке до 1 Гбайта в секунду в течение 4 часов. Кроме того, возможно создание системы со значительно большим интервалом сбора и сохранения данных, увеличивая количество устройств хранения. Система реализована в виде двух блоков с накопителями информации и объединительной платой. Данная конструкция может быть использована с платой LA-n1PCI или любой другой, выпускаемой ЗАО "Руднев – Шияев"

платой, для получения необходимой скорости записи и динамического диапазона записываемого сигнала.

Фирма разрабатывает также различные системы поверочного медицинского оборудования, которые пользуются спросом и успешно эксплуатируются у заказчиков. На основании методик Р50.2.009-2001 по проверке электрокардиографов был разработан и внедрен в серийное производство прибор "ДИАТЕСТ", который с успехом применяется во многих ЦСМ и других медицинских учреждениях. На данный прибор получен сертификат соответствия RU.C.35.010.A N23540. Этот небольшой и удобный в эксплуатации прибор формирует весь спектр сигналов для проведения первичной и периодической поверки электрокардиографов. Прибор получил множество положительных отзывов. Следующее поколение универсальных приборов "ДИАТЕСТ-4", уже позволяет проводить поверки не только электрокардиографов, но и электроэнцефалографов, реографов, миографов, каналов ЭКГ мониторов.

Для самостоятельного формирования измерительных систем можно приобрести готовые платы сбора данных с интерфейсами ISA, PCI,

USB, Ethernet и PC104. Программная часть, поставляемая вместе с устройствами, состоит из комплекта программ ADCLab: программа осциллограф — анализатор спектра; программа SAVER — для сохранения данных в памяти компьютера; программа VIEWER — для просмотра сохраненных данных. Поддерживается несколько различных форматов данных. Например, платы XLS позволяют достаточно просто проводить обработку результатов, используя широко распространенную программу EXCEL. Создавая свои системы, потребитель может включать оборудование фирмы, как отдельные модули. Кроме того, существуют законченные программные оболочки, которые позволяют произвести различную послесекансную программную математическую обработку.

Продукция, производимая ЗАО "Руднев – Шияев", представлена в табл. 1, 2 и 3. Поскольку выбор необходимого устройства не всегда просто сделать, то в табл. 2 и 3 описан пошаговый процесс для оптимизации этой задачи выбора. Авторы надеются, что следование рекомендуемой процедуре поможет читателю сделать выбор оптимальной по стоимости платы.