

При исследовании процессов, разворачивающихся во времени и в пространстве (теплопроводности, кристаллизации, диффузии и т.п.), а также нестационарных физических полей измерительная система экспериментальной установки должна включать множество (N) датчиков, расположенных в разных точках исследуемого объекта или среды [1-3]. Регистрация сигналов каждого из этих датчиков (стробирование) осуществляется периодически, с некоторым интервалом, который должен быть короче, чем $T/2$, где T – характеристическое время самой быстрой стадии исследуемого процесса [4]. Если время обращения к датчику (t), необходимое для регистрации сигнала, удовлетворяет условию $t \ll T/2N$, то датчики могут стробироваться последовательно, друг за другом. Это позволяет использовать одноканальную измерительную систему, в которой аналоговая информация от множества датчиков передается по общему кабелю в центральный блок, осуществляющий аналого-цифровое преобразование, временное хранение массива цифровых данных и их передачу в э. в. м. Наиболее просто управление измерительным каналом может быть осуществлено с помощью цифрового регистра сдвига (SRG). Сдвиг логической единицы от одного разряда SRG к другому обеспечивает необходимую последовательность подключения датчиков без дополнительной дешифрации управляющих кодов; использование регистра сдвига позволяет легко изменять количество датчиков в канале. Для минимизации числа и длины соединительных проводников, особенно при значительном удалении датчиков друг от друга и от центрального блока, отдельные разряды SRG удобно размещать в непосредственной близости от датчиков, вместе с усилительными и согласующими каскадами, аналоговыми ключами и другими элементами, обслуживающими датчик. Совокупность этих элементов (дискретных и интегральных, аналоговых и цифровых) можно назвать ячейкой датчика; измерительный канал в этом случае представляет собой множество одинаковых ячеек, соединенных последовательно. На рис. 1 представлена блок-схема такого канала. Пунктирными рамками на рисунке выделены отдельные ячейки. Двойными стрелками изображено направление аналоговых сигналов, одинарными – цифровых сигналов. Каждая i -тая ячейка включает датчик B_i , предварительный усилитель A_i , повторитель F_i , аналоговый ключ S_i и один разряд регистра сдвига SRG - i . Управление регистром и обработка аналоговой информации, поступающей от ячеек, осуществляется центральным блоком Z . Для данной конструкции измерительного канала оптимальной была бы микросхема, включающая несколько операционных усилителей (ОУ) для обработки аналогового сигнала датчика и триггер типа D или T, на которых SRG собирается наиболее просто. К сожалению, подобные микросхемы не выпускаются промышленностью, применение так называемых «систем на кристалле» (System On Chip – SOC [5]) в данном случае нецелесообразно из-за их функциональной избыточности и относительно высокой стоимости. Одновременное использование в составе ячейки датчика

аналоговых и цифровых микросхем увеличивает число корпусов, контактных площадок, шин питания, габариты и массу ячейки, усложняет топологию и монтаж печатной платы, повышает стоимость измерительной системы.

Поскольку без аналоговых узлов обойтись нельзя, можно попытаться использовать их и для выполнения цифровых функций. На рис. 2 представлена принципиальная схема первых двух разрядов цифрового регистра сдвига на аналоговых элементах. Каждый i -тый разряд содержит два ОУ ($OA1i$ и $OA2i$). Первый ОУ включен по схеме триггера Шмитта (инвертирующего усилителя, охваченного глубокой положительной обратной связью). Второй ОУ включен как инвертирующий повторитель (инвертирующий усилитель с коэффициентом усиления, равным 1). Каждая пара операционных усилителей, образующих один разряд регистра ($OA1i$ и $OA2i$), входит в состав микросхемы, содержащей четыре ОУ. Как обычно, регистр сдвига имеет информационный вход D и вход синхронизации C , каждый из разрядов регистра имеет два выхода (Q и \bar{Q}). По сравнению с регистром сдвига на цифровых элементах данный регистр имеет особенности, которые необходимо учесть при разработке измерительной системы.

- 1) Сдвиг информации в регистре инициируется как фронтом, так и спадом синхроимпульсов, поступающих на вход C . Следовательно, чтобы время обращения к каждому датчику было одинаковым, синхросигнал должен иметь форму меандра (со скважностью 2).
- 2) Прямые и инверсные выходы (Q и \bar{Q}) в нечетных и четных разрядах меняются местами. Для нечетных разрядов прямые выходы – это выходы $OA1i$, инверсные выходы – выходы $OA2i$. Для четных разрядов наоборот: – это выходы $OA2i$, – выходы $OA1i$. Чтобы привести регистр сдвига в рабочее состояние, необходим один «холостой» цикл, в ходе которого триггеры Шмитта нечетных и четных разрядов устанавливаются в нужные состояния: нечетных – в «0», четных – в «1». Это позволяет обойтись без дополнительных цепей сброса/установки. Для построения измерительного канала на основе такого регистра сдвига удобно использовать микросхемы, включающие четыре ОУ – большое разнообразие подобных микросхем выпускается в настоящее время разными производителями [6]. В этом случае в каждом разряде регистра сдвига используются два ОУ каждой микросхемы; два оставшихся ОУ могут быть использованы для обработки аналогового сигнала датчика (в инструкциях по применению микросхем, содержащих два ОУ, можно найти множество практических схем включения ОУ для обработки сигналов различных датчиков [7]).

На рис. 3а представлена схема формирователя синхроимпульсов, обеспечивающего работу измерительного канала. Формирователь входит в состав центрального блока и реализован на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС), он может быть построен также на цифровых микросхемах средней степени интеграции или с использованием цифровых ресурсов SOC. На входы формирователя подаются тактовые импульсы $P0$ с частотой $4/t$ (напомним, t – время обращения к ячейке

датчика) и стартовый импульс PS. Формирователь вырабатывает последовательность импульсов PC длительностью t со скважностью 2 (для сдвига информации в SRG) и синхронизованный с импульсами PC импульс PD длительностью $2t$ (для записи логической единицы в SRG). Кроме того, формируются вспомогательные импульсы P1, P2, P3, P4, необходимые для запуска а. ц. п. и ввода данных в буферную память и в память э. в. м. Задержка импульсов P1 – P4 относительно импульсов PC определяется положением переключки, изображенной на рис. За пунктиром. Длительность вспомогательных импульсов составляет $t/4$, каждый из них сдвинут по отношению к предыдущему на время $t/4$, как показано на рис. 3б. Логические уровни импульсов PC и PD преобразуются с помощью компараторов в уровни, необходимые для управления ОУ, и подаются на входы C и D регистра сдвига измерительного канала (см. рис. 2). Проверка работы измерительного канала проводилась с использованием микросхем ОУ разного типа. При выборе микросхем необходимо учитывать не только «аналоговые» характеристики ОУ (входное сопротивление и ток, коэффициент усиления, уровень шумов и т. п.), но и такой «цифровой» параметр, как скорость нарастания выходного сигнала (slew rate – SR), от которого, в основном, зависит частота переключения ячеек. Так, например, микросхема LM348, содержащая четыре ОУ популярной 741-й серии с $SR \sim 1$ В/мкс, обеспечивает частоту переключения ячеек 10 – 20 кГц. Частоту переключения ячеек можно довести до 1 МГц, если использовать микросхемы с $SR \sim 100$ В/мкс (например, OP467), однако, это требует применения быстродействующего а. ц. п. в центральном блоке и дополнительных мер по сокращению длительности переходных процессов, возникающих в общем сигнальном кабеле и цепях питания при переключении ячеек. При использовании микросхем ОУ среднего быстродействия с $SR = 10 - 15$ В/мкс (например, TL084, LF347, MAX475) максимальная частота переключения ячеек датчиков достигает 200 кГц, что вполне достаточно для многих случаев. При такой частоте время обращения к каждому из датчиков $t = 5$ мкс, что вполне достаточно для надежной фиксации сигнала датчика устройством выборки и хранения а. ц. п. и аналого-цифрового преобразования. Если измерительный канал включает $N = 10$ ячеек, то время опроса всех датчиков канала составляет 50 мкс. Такой измерительный канал может быть использован для исследования процессов с характеристическими временами, начиная с $T = 100$ мкс.