

О НОВОЙ КОНЦЕПЦИИ ПОСТРОЕНИЯ СТРУЙНЫХ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ

А.М. Касимов

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: kasimov@ipu.ru

А.И. Попов

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: daten@ipu.ru

Ключевые слова: струйный усилитель, триггер, быстродействие, характеристика, надежность, счетчик.

Аннотация: Большое количество активных элементов требуют большой расход рабочего газа и являются потенциальными источниками возникновения помех и сбоев информационных сигналов в струйных преобразователях, снижающих надежность струйных СУ. Эту проблему предлагается решить построением струйных устройств на базе двух специально разработанных с высокой работоспособностью и с большими коэффициентами усиления по давлению и расходу струйных преобразователей – реле-усилитель и триггер. Все логические функции преимущественно выполняются пассивными элементами, которые более просты по выполнению и практически не порождают помех. Такое решение снижает расход рабочей среды, повышает надежность и быстродействие струйных устройств управления. Приводятся решения построения струйных пересчетных устройств.

1. Введение

Практика разработки различных струйных приборов и СУ осуществлялась по архитектуре, принятой в традиционных электронных структурах, но без дублирования для повышения надежности работы. Это связано с тем, что дублирование требует дополнительных ресурсов, которые для пневматических средств обременительны, т.к. увеличивают массогабаритные параметры аппаратуры и снижают их быстродействие.

При этом с растущими требованиями к надежности электронных СУ *«критических объектов»*, в связи с их зависимостью от различных электромагнитных воздействий требуются резервные каналы управления на других неэлектрических информационных сигналах, для чего струйная техника оказывается наиболее востребованной.

Несмотря на ряд методов повышающих быстродействие струйных элементов [1], они на три порядка ниже электронных и осложняются разводкой коммуникационных каналов между функциональными блоками СУ и каналами обеспечения питанием газовой средой большого количества активных струйных элементов, которые являются потенциальными источниками возникновения помех и сбоев информационных сигналов в функциональных преобразователях, снижающих надежность струйных СУ.

Предлагаемая концепция решает эту проблему сокращением количества активных струйных преобразователей до двух – струйное реле и триггер, которые специально разработаны с высокой работоспособностью и с большими коэффициентами усиления по давлению и расходу. Все логические функции преимущественно выполняются

пассивными элементами, которые более просты по выполнению и практически не порождают помех. Ранее похожее решение было реализовано в гибридной струйно-мембранной пневмоавтоматике [2], но по сравнению с чисто струйной автоматикой отличалось на порядок меньшим быстродействием и большим расходом воздуха.

2. Исследование концепции построения базового усилителя

В струйной технике получили наибольшее распространение струйные элементы с использованием аэродинамического эффекта Коанда [3-5], который позволяет сформировать отрицательную обратную связь (ООС) для устойчивости положения струи притягиванием её к стенке, и образующимся в таком положении круговым потоком части струи внутри камеры взаимодействия. ООС работает до определенного уровня давления управления, соответствующего началу переключения струи питания, после которого она начинает выполнять функцию положительной обратной связи (ПОС) и убыстряет переключение струи в противоположное положение, переходя в ООС нового положения. При этом на входные характеристики усилителей существенно влияют условия на выходных каналах, например, количество управляемых элементов, которые снижают надежность функциональной работы. Полностью устранить влияние выходной нагрузки (давление, расход) на характеристики переключения активных элементов с эффектом Коанда не удастся. Частично это компенсируют за счет снижения выходной мощности усилителей, т.е. уменьшением коэффициента разветвления, что в свою очередь, ограничивает быстродействие. При этом входные характеристики активных элементов с внутренней обратной связью обладают существенным недостатком, который демонстрируется рис. 1. На рис. 1 представлены характеристики переключения на примере реле-инвертора, где 1, а зависимость давления на выходе P_B/P_{Π} усилителя от давления управления P_Y/P_{Π} в относительных величинах к давлению питания P_{Π} , 1, б зависимость относительного расхода управления Q_Y/Q_{Π} от P_Y/P_{Π} . При переключении такого элемента расход по управлению Q_Y/Q_{Π} увеличивается (рис. 1, б), а давление управления P_Y/P_{Π} уменьшается из-за снижения сопротивления по каналу управления. При этом необходимо, чтобы соблюдалось условие $\Delta P_{\text{пет}}/P_{\Pi} > \Delta(P_{\text{пр}} - P_{\text{обр}})/P_{\Pi}$, где $\Delta P_{\text{пет}}/P_{\Pi}$ - ширина петли статической характеристики (разница между давлениями прямого и обратного срабатываний элемента); $\Delta P_Y/P_{\Pi}$ - изменение управляющего давления после переброса.

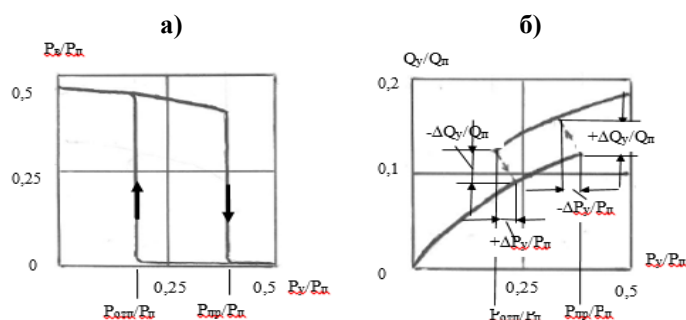


Рис.1 – Характеристики переключения реле-инвертора: 1,а – зависимость давления P_B/P_{Π} от давления управления P_Y/P_{Π} ; 1,б – зависимость расхода управления Q_Y/Q_{Π} от давления управления P_Y/P_{Π} .

Если $\Delta P_{\text{пет}}/P_{\Pi} < \Delta P_Y/P_{\Pi}$, то на выходе элемента может возникнуть дробный переброс струи. Для надежной работы устройств это недопустимо. Такая входная характеристика не вызывает осложнений при режиме запоминания, но требует на

выходе управляющего элемента иметь запас давления по срабатыванию из-за уменьшения $\Delta P_y/P_n$ после переключения. В [6] на примере реле-инвертора со свободным взаимодействием струй, где ООС и ПОС реализуется подачей части выходного давления в дополнительный канал управления (параллельный управлению) через внешний канал было показано, что возможно радикально изменить входную характеристику усилителей. Такое же решение применяем и к элементам с эффектом Коанда. Входная характеристика такого реле-инвертора представлена на рис. 2. На рис. 2, а зависимость давления на выходе P_v/P_n от давления управления P_y/P_n , а на рис. 2, б зависимость относительного расхода управления Q_y/Q_n от P_y/P_n . Вначале расход Q_y/Q_n растет с увеличением P_y/P_n . При достижении давления прямого переключения $P_{пр}/P_n$, струя питания переключается, а входной расход при этом уменьшается, давление увеличивается, т.к. в дополнительном канале ООС давление из отрицательного значения меняется на избыточное, которое в этот момент начинает выполнять роль ПОС, что убыстряет переключение струи питания в противоположное устойчивое положение.

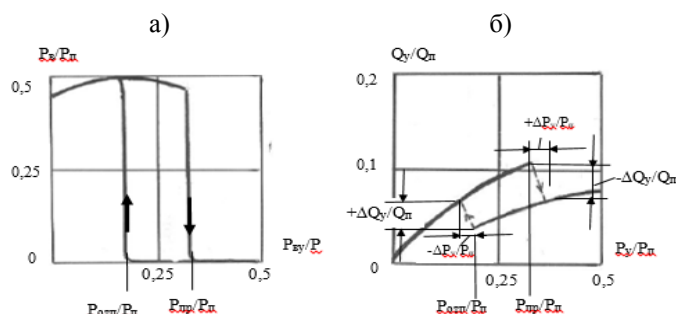


Рис. 2 – Характеристики переключения реле-инвертора: 2,а – зависимость давления P_v/P_n от давления управления P_y/P_n ; 2б – зависимость расхода управления Q_y/Q_n от давления управления P_y/P_n .

В камере элемента в результате создается область повышенного давления, увеличивающая сопротивление по каналу управления и, тем самым, уменьшая потребный расход управления Q_y/Q_n . Такая характеристика гарантирует переключение других управляемых элементов. При обратном срабатывании ускоряется отпускание $P_{отп}/P_n$ сигнала управления подключенных нагрузочных струйных элементов уменьшается, что гарантирует их возврат в исходное состояние. Введение дополнительной ООС качественно улучшает статические характеристики переключения струйных элементов, стабилизирует точку срабатывания при изменении нагрузки, но снижает нагрузочные пределы на выходе. Принципиально примирить (компенсировать) недостатки можно, если построить усилитель двух каскадным, где практически устраняются указанные противоречия с повышением надежности струйных информационных преобразователей.

Такой усилитель предназначен для усиления входных сигналов по давлению и расходу и выполнения логических операций «ИЛИ, НЕ-ИЛИ» в системах управления, например, интеграторы, сумматоры, регистры, командная аппаратура и др. На рис. 3 представлена принципиальная схема такого решения. На рисунке усилитель 1-го каскада **У1**, 2-ой каскад дискретный элемент **У2**. Элементы **У1** и **У2** подсоединены к питанию с разными уровнями питания. К управлению усилителем **У1** подключен пассивный двухвходовой логический элемент **ИЛИ** с входами X_1 и X_2 . Каналы Y_1 и Y_2 являются выходными, где формируются логические операции $Y_1 = X_1 + X_2 = \bar{Y}_2$ и $Y_2 = X_1 + X_2 = \bar{Y}_1$ с давлениями и расходами соответственно нагрузке. Каналы А предназначены для соединения камеры взаимодействия элементов с окружающей средой. Канал ОС

усилителя $U1$, выполняющий дополнительную ООС и ПОС в зависимости от положения струи питания, обеспечивает входную характеристику, которая показана на рис. 2, б.

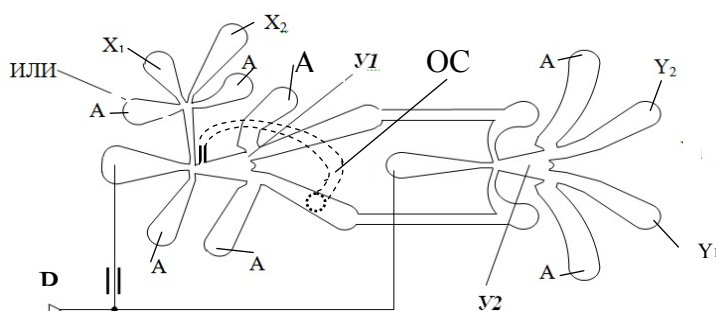


Рис. 3. Принципиальная схема двухкаскадного усилителя.

Выходной усилитель $U2$ разработан для усиления выходных давлений и расходов с высоким коэффициентом восстановления давления до 50%. Существующие усилители с эффектом Коанда имеют коэффициент восстановления не более 40%.

Принцип построения двухкаскадного усилителя по предложенной концепции отличается стабильной входной характеристикой, на которую не влияют нагрузки на выходах. Концепция наиболее эффективна в построении многотактных функциональных преобразователей.

Примеры построения струйных функциональных преобразователей.

На рис. 4,а показана принципиальная схема счетного триггера, а на рис. 4, б циклограмма его работы.

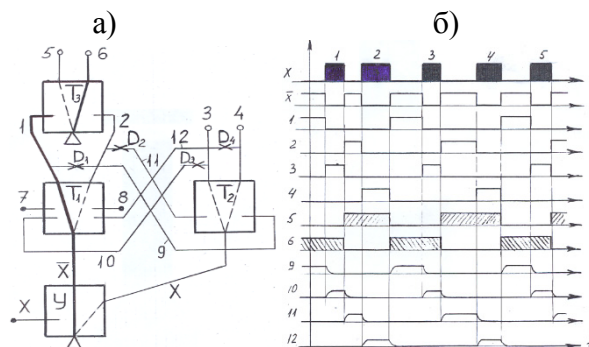


Рис. 4. Струйный счетный триггер: 4,а – принципиальная схема, 4,б – циклограмма работы.

Схема содержит три триггера T_1 , T_2 и T_3 с отдельными входами, разработанный усилитель U , выходы которого X и \bar{X} поступают к каналам питания триггеров T_1 , T_2 . Триггер T_3 активный предназначен для сохранения последнего сигнала триггера T_1 . Выходы 1 и 2 триггера T_1 подключены также к управляющим каналам триггера T_2 каналами 9 и 11 через дроссели соответственно D_1 и D_2 . Подобным же образом выходы 3 и 4 триггера T_2 подключены через дроссели D_3 и D_4 и каналы 10 и 11 к управляющим входам триггера T_1 . В исходном состоянии при $X = 0$ на усилителе U поступает сигнал на вход питания триггера T_1 . Под действием установочных сигналов по каналам 7 или 8 струя питания занимает правое или левое положение. На рисунке начальное положение струи показано левое жирной линией. Далее этот сигнал поступает на вход 1 триггера T_3 , где устанавливается сигнал давления на выходе 6, что соответствует логическому сигналу «1», а в левом выходном канале 5 устанавливается нулевой уровень давления,

соответствующий логическому сигналу «0». От давления на выходе 1 в канале 9, а, следовательно, в правом канале управления триггера T_2 , устанавливается некоторый уровень давления (2-3% от уровня давления перед дросселем D_1).

При подаче 1-го счетного импульса X появляется сигнал на прямом выходе усилителя $У$, являющийся питанием для триггера T_2 по длительности равным длительности счетного импульса (см. циклограмму работы на рис. 4, б.) Триггер T_1 обесточивается. Но из-за наличия остаточного динамического давления в канале 9, появившаяся струя питания в триггере T_2 поступит на левый выход 3 и в канал 10, в котором также на входе установлен дроссель D_3 , чем задается такой же уровень давления смещения в левом канале управления триггера T_1 . При снятии счетного сигнала X возникает струя питания в триггере T_1 . Но в этом случае струя займет правое положение и на выходе 2 установится уровень давления, который переключает выходной триггер T_3 в противоположное состояние, т.е. на выходе счетного триггера запишется «1». При подаче следующего (второго) импульса и его снятии триггер приходит в исходное состояние.

Как видно из циклограммы работы, если триггер T_3 подключить к выходам триггера T_2 , то счетный триггер будет работать по переднему фронту счетных сигналов. Каналы 3 и 4 используются для формирования сигналов переноса в следующий разряд в случае построения двоичного счетчика. Причем для суммирующего счетчика перенос осуществляется по каналу 4, где импульсы появляются при четных счетных импульсах и повторяют их по длительности. Для вычитающего счетчика перенос происходит через канал 3, где появляются только нечетные счетные импульсы.

Помимо универсальности такая схема обладает важным достоинством – отсутствие помех от давлений смещения в управляющих каналах пассивных триггеров T_1 и T_2 . Это смещение существует только в момент определения положения струи питания в одном из четырех управляющих каналов триггеров T_1 и T_2 , а затем исчезает при появлении струи питания, т.к. выключается источник подпитки от одного из соответствующих каналов 1, 2, 3, 4 при переключении усилителя от входных счетных импульсов X .

Такая схема весьма удобна для построения реверсивных двоичных счетчиков, т.к. в качестве сигналов переноса на последующие разряды можно использовать свободные выходы 3 и 4, которые формируются соответственно от четных или нечетных счетных импульсов X_i и повторяют их по длительности. Это свойство повышает надежность работы счетчиков, т.к. связи между разрядами отсутствуют, когда нет счетных импульсов на первом триггере. Отметим, что если требуется только деление частоты импульсов, то можно исключить триггер T_3 в промежуточных разрядах, но оставить его в последнем разряде для сохранения результата. В этом случае экономится расход питания рабочей среды почти в два раза.

Характеристики базового усилителя $У$ допускает возможность построения счетчика с основанием 2^3 по тому же принципу. Схема такого счетчика реализуется подобной надстройкой четырех триггеров (T_3, T_4, T_5, T_6) как на рис. 4 с дополнением счетного триггера перед усилителем и показана на рис. 5, где рис. 5, а принципиальная схема, а рис. 5, б циклограмма работы. Модульное исполнение повторяющихся фрагментов (два триггера с коммуникациями и дросселями) упрощает коммуникации и уменьшает расход рабочей среды.

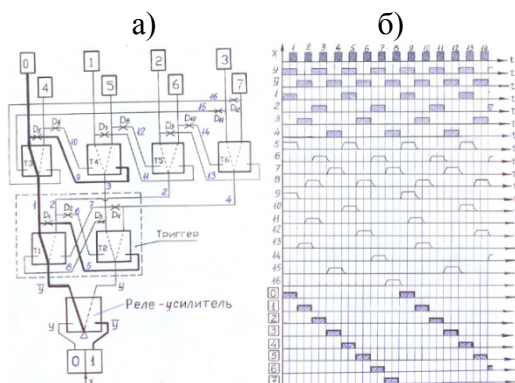


Рис. 5. Счетчик с основанием $2^3:5$, а принципиальная схема, б циклограмма работы.

3. Заключение

По предложенной концепции разработаны специальные базовые струйный реле-усилитель и триггер с высоким коэффициентом усиления по давлению, расходу и восстановлением давления до 50%.

Все логические функции преимущественно выполняются пассивными струйными элементами простыми по выполнению и практически не порождающие помех.

Принцип построения усилителя и триггера обеспечивает стабильность характеристик, на которые не влияют нагрузки на выходах.

Разработанная концепция наиболее эффективна в построении многотактных струйных функциональных преобразователей.

Список литературы

1. Касимов А.М., Мамедли Э.М., Попов А.И., Чернявский Л.Т. Радиальное повышение быстродействия элементной базы резервных систем управления летательными аппаратами // Датчики и системы. 2005. № 4. С. 29-33.
2. Берендс Т.К., Ефремова Т.К., Тагаевская А.А., Таль А.А., Юдицкий С.А., Атлас П.М. Построение пневматических дискретных управляющих устройств на базе аппаратуры системы ЦИКЛ. М. Институт проблем управления. 1975. 102 с.
3. Касимов А.М. Струйная техника и системы управления // Сб. трудов «Теория и техника управления». М.: Институт проблем управления, 1987. С. 32-42.
4. Струйные логические элементы и устройства программного управления станками и промышленными роботами / Под ред. Э.И. Чаплыгина. М.: НИИМаш, 1979. 70 с.
5. Трескунов С.Л., Чаплыгин Э.И. Анализ рабочего процесса струйного усилителя с внутренней связью // Пневматика и гидравлика. М.: Машиностроение, 1975. С. 291-301.
6. Вайсер И.В., Касимов А.М. Некоторые методы улучшения характеристик струйных элементов. // Пневматические средства и системы управления. М.: Наука. 1970. С. 258-265.