

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ С ПРЕДВАРЕНИЕМ

Л.Г. ЧУБРИКОВ, Т.Л. РОМАНЬКОВА

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

Имеется немало задач, в которых регулирующее воздействие на процесс требуется начинать с необходимым предварением. Причем это предварение обычно зависит от скорости изменения величины контролируемого параметра процесса, а также от запаздывания передачи информации об этом изменении на контролирующее устройство. Чем больше скорость и чем больше запаздывание, тем необходимо большее предварение. Однако всегда есть некоторая определенная граничная скорость V_{Γ} изменения величины контролируемого параметра, при которой не требуется предварение. Это значит, что напряжение датчика $U_{\text{д}}$ с допустимой погрешностью отражает истинную величину контролируемого параметра в данный момент. Следовательно, при скоростях, меньших V_{Γ} , не требуется предварение.

Задачи такого класса часто встречаются при контроле и автоматизации инерционных процессов, например, контроль, сигнализация и управление различными тепловыми процессами, в частности, защита двигателей механизмов, агрегатов, процессов от возможного перегрева, т. е. от превышения заданной допустимой величины температуры. Часто в таких случаях величину предварения заранее рассчитать и учесть невозможно. Поэтому в реальных условиях эксплуатации, в конкретных процессах устройство контроля необходимо настраивать на выполнение задачи таким образом, чтобы величина предварения определялась в зависимости от скорости изменения величины напряжения датчика, измеряющего величину контролируемого параметра. А это значит, что такие устройства контроля с предварением предпочтительнее строить на основе скоростных фильтров сигналов [1].

Устройство контроля с аналоговым скоростным фильтром сигналов

На рис. 1 приведена обобщенная блок-схема устройства контроля с предварением, построенного на основе фильтра верхних скоростей. Устройство содержит усилитель $У$, фильтр верхних скоростей ФВС, сумматор $С$, компаратор КМ. Устройство работает следующим образом. Напряжение $U_{\text{д}}$ датчика усиливается усилителем $У$ до требуемого значения напряжения $U_{\text{вх}}$, которое подается на вход фильтра ФВС и на первый вход сумматора $С$.

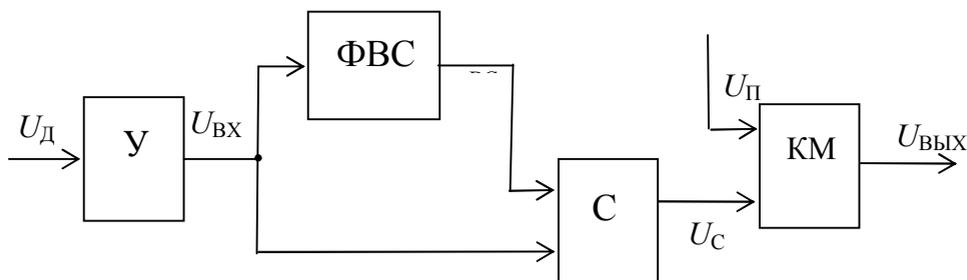


Рис. 1. Обобщенная блок-схема устройства контроля с предварением

Фильтр ФВС настроен таким образом, что скорость настройки фильтра V_ϕ равна граничной скорости $V_{\text{ВХГ}}$ изменения напряжения $U_{\text{ВХ}}$, которая определяется граничной скоростью изменения напряжения датчика:

$$V_{\text{ВХД}} = K \cdot V_{\text{ГД}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{ГД}} = V_\Gamma$, K – коэффициент усиления усилителя.

Фильтр ФВС формирует напряжение компенсации U_κ , которое полностью компенсирует входное напряжение $U_{\text{ВХ}}$ в диапазоне скоростей его изменения $V_{\text{ВХ}} \leq V_\phi$. Следовательно, напряжение U_κ в этом диапазоне «следит» за всеми изменениями $U_{\text{ВХ}}$, т. е. $U_\kappa = U_{\text{ВХ}}$.

Это значит, что пока скорость $U_{\text{ВХ}}$ изменения напряжения на входе ФВС не превышает скорости V_ϕ , напряжение $U_{\text{ВС}}$ на выходе ФВС будет равно нулю и на вход сумматора С будет поступать только напряжение $U_{\text{ВХ}}$. Следовательно, напряжение на выходе сумматора $U_\text{с} = U_{\text{ВХ}}$ будет поступать на вход компаратора КМ и сравниваться с пороговым напряжением U_Π , определяющим допустимое значение контролируемого параметра. В случае превышения $U_\text{с} = U_{\text{ВХ}}$ порогового напряжения U_Π на выходе компаратора КМ появится выходное напряжение $U_{\text{ВХ}}$, которое включит регулирующее воздействие на контролируемый процесс. Это регулирование без предварения.

Если же скорость $V_{\text{ВХ}}$ превысит скорость настройки фильтра V_ϕ , то напряжение компенсации U_κ не будет успевать компенсировать входное напряжение $U_{\text{ВХ}}$ и на выходе ФВС появится напряжение $U_{\text{ВС}}$, которое будет поступать на второй вход сумматора С. На выходе сумматора С появится напряжение $U_\text{с} = U_{\text{ВХ}} + U_{\text{ВС}}$. Это суммарное напряжение будет сравниваться компаратором КМ с пороговым напряжением U_Π , и в момент превышения $U_\text{с}$ над U_Π на выходе КМ появится напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$, которое и включит регулирующее воздействие. Время предварения будет определяться скоростью $V_{\text{ВХ}}$ и коэффициентом передачи $K_{\text{ВС}}$ фильтра ФВС.

Все блоки на рис. 1 общеизвестны, за исключением фильтра верхних скоростей ФВС. Скоростные фильтры еще мало известны широкому кругу читателей, так как достаточно полная информация о них появилась только в 2000 году в монографии «Скоростные фильтры сигналов» [1]. Поэтому есть смысл уделить больше внимания используемому в устройстве контролю фильтру верхних скоростей. На рис. 2 приведена электрическая схема простейшего аналогового ФВС [1, с. 19, рис. 2.3]. На

микросхеме DA1 собран вычитающий усилитель с коэффициентом усиления $K_{\text{ВС}} = -R_2 / R_1$ при $R_1 = R_3$. Тогда напряжение на выходе ФВС будет

$$U_{\text{ВС}} = -K_{\text{ВС}}(U_{\text{ВХ}} - U_{\text{К}}), \quad (2)$$

где $U_{\text{К}} = V_{\Phi}t$ – напряжение компенсации, формируемое интегратором на микросхеме DA3, t – текущее время. Знак «минус» указывает на инвертирование $U_{\text{ВС}}$ по отношению к разности $(U_{\text{ВХ}} - U_{\text{К}})$.

Скорость V_{Φ} настройки фильтра в этом ФВС определяется уравнением:

$$V_{\Phi} = \frac{U_{\text{У}}}{RC}, \quad (3)$$

где $U_{\text{У}}$ – напряжение установки V_{Φ} , формируемое инвертирующим усилителем на микросхеме DA2. Этот усилитель имеет очень большой коэффициент усиления и поэтому работает практически в режиме компаратора.

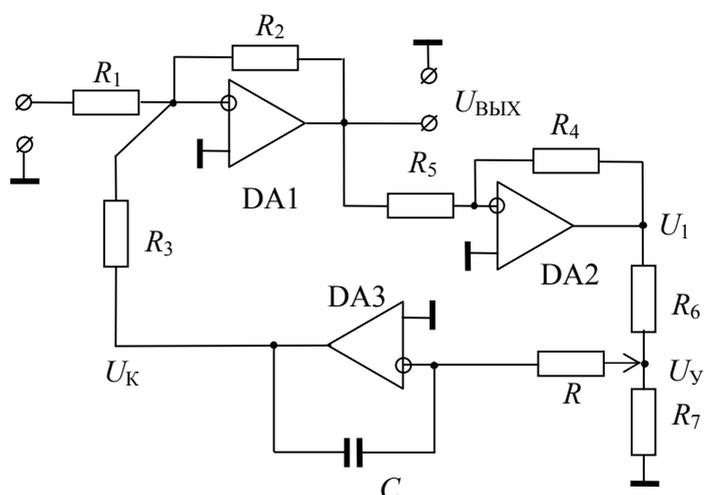


Рис. 2. Электрическая схема ФВС

Физическая модель устройства с ФВС (рис. 2) была исследована в лабораторных условиях. Напряжение датчика $U_{\text{д}}$ получали при помощи измерительной цепи на двух термисторах. Активный термистор нагревался в микropечи. При помощи усилителя напряжение $U_{\text{д}}$ усиливалось до $U_{\text{ВХ}}$ при различных величинах напряжения $U_{\text{Н}}$, подключаемых к нагревателю микropечи. Изменения $U_{\text{ВХ}}$ при нагревании термисторов показаны на временных диаграммах на рис. 3.

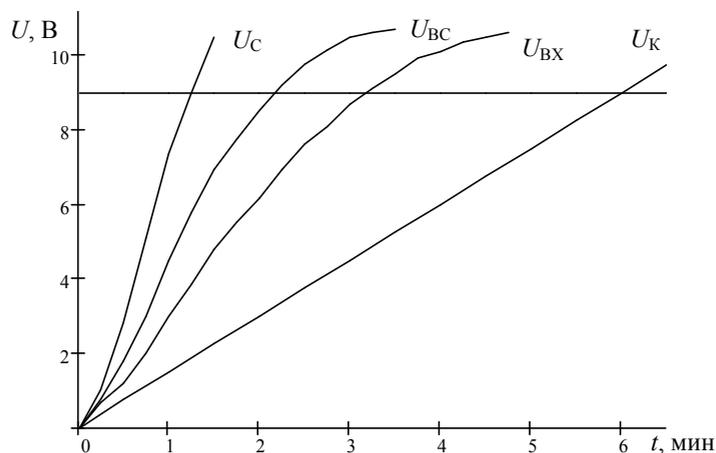


Рис. 3. Временные диаграммы напряжений

Параметры ФВС были рассчитаны на скорость настройки фильтра $V_\Phi = 1,5$ В/мин и $K_{BC} = 2,5$: $R_1 = R_3 = 3$ кОм, $R_2 = 7,5$ кОм, $R = 400$ кОм, $C = 50$ мкФ, $U_y = 0,7$ В. Были сняты и построены на рис. 3 временные диаграммы напряжений U_{BX} , U_K , U_{BC} , U_C при напряжениях нагрева микropечи $U_H = 5$ В, $U_H = 7$ В.

Как видно из временных диаграмм, при пороговом напряжении $U_{II} = 9$ В и напряжении нагрева $U_H = 7$ В время предварения получилось $t = 2,2$ мин, т. е. устройство контроля включило регулирующее воздействие через 1,2 минуты по сравнению с 3,4 минутами, если бы не было предварения. Путем изменения K_{BC} можно установить любое время предварения, естественно, в пределах рабочего диапазона ФВС. Для расширения диапазона установки времени предварения может быть целесообразно иногда использовать ФВС с регулируемой крутизной скоростной характеристики, описанными в разделе 3.2 [1].

Устройство контроля на базе аналого-цифрового скоростного фильтра

Аналоговый ФВС целесообразно использовать в тех случаях, когда скорость настройки фильтра V_Φ не менее 2 В/мин. При этом интегратор необходимо собирать на микросхеме с полевыми транзисторами на входах. В тех случаях, когда требуется меньшая величина V_Φ , целесообразно использовать аналого-цифровой ФВС, например, приведенный на рис. 4 [1, с. 102, рис. 5.1].

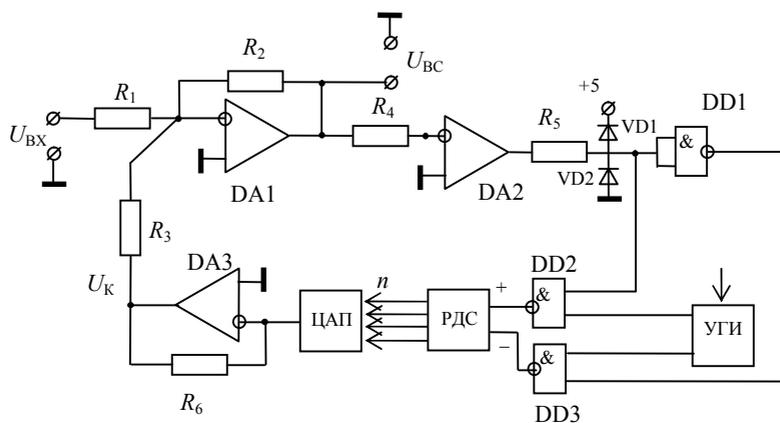


Рис. 4. Аналого-цифровой скоростной фильтр

Это, по сути дела, такой же фильтр, как и на рис. 2, только вместо интегратора на аналоговой микросхеме установлен цифровой интегратор с цифро-аналоговым преобразователем.

Фильтр содержит вычитающий усилитель на микросхеме DA1, компаратор на микросхеме DA2, цифровой интегратор, включающий в себя управляемый генератор импульсов УГИ для настройки ФВС на заданную скорость V_Φ , реверсивный двоичный счетчик РДС, цифро-аналоговый преобразователь ЦАП с усилителем на микросхеме DA3, логический элемент НЕ на микросхеме DD1 и два логических элемента И-НЕ на микросхемах DD2 и DD3. Здесь скорость настройки фильтра определяется уравнением

$$V_\Phi = qf\delta U_K, \quad (4)$$

где f – частота следования импульсов, δU_K – шаг квантования напряжения U_K (цена одного импульса), $q = 1$ при $R_3 = R_1$.

Скоростной фильтр работает следующим образом. При скорости $V \leq V_\Phi$ напряжение компенсации $U_K = V_\Phi t$ успевает компенсировать $U_{ВХ}$ и поэтому $U_{ВС} = 0$, согласно формулы (2). При этом компаратор на DA2 все время меняет полярность своего выходного напряжения, поочередно подавая импульсы от УГИ через DD2 на суммирующий вход РДС, или через DD1 и DD3 на вычитающий вход РДС. При этом происходит «слежение» U_K за всеми изменениями $U_{ВХ}$.

При скорости $V > V_\Phi$ напряжение U_K не успевает полностью компенсировать $U_{ВХ}$. Поэтому $U_{ВС} = -K_{ВС}(U_{ВХ} - U_K)$. А это значит, что $U_C = U_{ВХ} + U_{ВС}$ и при $U_C \geq U_{П}$ появляется $U_{ВЫХ}$ (см. рис. 1), которое включает регулирующее воздействие.

Устройство контроля с использованием цифрового скоростного фильтра

В последнее время в устройствах контроля, сигнализации и управления стали широко использовать электронную цифровую и микропроцессорную технику, в том числе и микропроцессорные управляющие системы, одновременно обслуживающие несколько управляемых объектов. В этих случаях устройство контроля с предварением, блок-схема которого изображена на рис. 1, также возможно реализовать на базе цифрового скоростного фильтра сигналов, включающего в себя аналого-цифровой преобразователь АЦП, микропроцессорную систему, которая по определенному алгоритму обрабатывает цифровую информацию и формирует нужный сигнал в цифровой форме, и цифро-аналоговый преобразователь ЦАП, при помощи которого сигнал из цифровой формы преобразуется в аналоговую. Такое устройство контроля будет функционировать следующим образом.

Напряжение $U_{ВХ}$ при помощи АЦП преобразуется в дискретный цифровой сигнал $U_{ВХi}$. Скорость изменения напряжения определяется по формуле:

$$V_{ВХi} = \frac{\Delta U_{ВХi}}{\Delta t} = \frac{U_{ВХi} - U_{ВХi-1}}{\Delta t}, \quad (5)$$

где $\Delta t = \text{const}$ – шаг квантования временного интервала. Скорость $V_{ВХi}$ сравнивается со скоростью настройки фильтра V_Φ . Если $V_{ВХi} \leq V_\Phi$, то напряжение компенсации $U_{Ki} = U_{ВХi}$ и $U_{ВСi} = K_{ВС}(U_{ВХi} - U_{Ki}) = 0$.

Если $V_{\text{ВХ}i} > V_{\Phi}$, то фиксируется значение $t_0 = t_{i-1}$ и $U_{\text{ВХ}0} = U_{\text{ВХ}i-1}$, и в дальнейшем расчет скорости изменения напряжения осуществляется по формуле

$$V_{\text{ВХ}i} = \frac{U_{\text{ВХ}i} - U_{\text{ВХ}0}}{t_i - t_0}. \quad (6)$$

Причем, $U_{\text{К}i} = V_{\Phi}(t_i - t_0)$ и $U_{\text{ВС}i} = K_{\text{ВС}}(U_{\text{ВХ}i} - U_{\text{К}i}) \neq 0$.

Как только скорость изменения напряжения снова станет удовлетворять условию $V_{\text{ВХ}i} \leq V_{\Phi}$, то для расчета ее значения опять будет использоваться формула (5).

Найденное описанным способом значение $U_{\text{ВС}i}$ преобразуется в аналоговое значение $U_{\text{ВС}}$ и определяется $U_{\text{С}} = U_{\text{ВХ}} + U_{\text{ВС}}$.

Если $U_{\text{С}} \geq U_{\text{П}}$, то появится выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$, которое включит регулирующее воздействие.

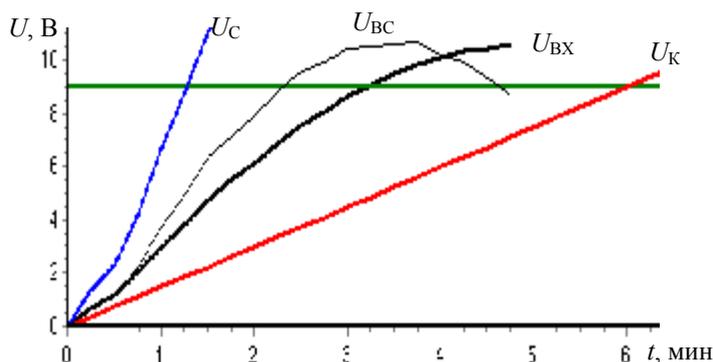


Рис. 5. Расчетные временные диаграммы

Математическая модель функционирования устройства контроля с предварением была реализована в виде несложной компьютерной программы по рассмотренному алгоритму. Полученные в результате работы этой программы временные диаграммы напряжений, показанные на рис. 5, хорошо согласуются с временными диаграммами на рис. 3, полученными при исследовании физической модели устройства.

Литература

1. Чубриков, Л.Г. Скоростные фильтры сигналов /Л.Г. Чубриков. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2000. – 157 с.

Получено 25.10.2004 г.