

ЦИФРОВОЙ ЭКСТРЕМАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР ШАГОВОГО ТИПА

В. В. Морозов, Г. Ф. Болиль

Одесса

В настоящее время большое внимание уделяется разработке цифровых экстремальных регуляторов с алгоритмами большей или меньшей сложности. Они обладают наибольшей чувствительностью и хорошо работают на объектах со значительной инерционностью и запаздыванием [1, 2, 3].

Для ряда объектов, в частности энергетических установок, системы автоматической оптимизации режимов требуют повышенной статической точности слежения за экстремумом при сравнительно невысоких динамических качествах (быстродействии) [4]. Поэтому нижеприведенный алгоритм экстремального регулятора для таких объектов вполне оправдан, а реализация его, естественно, проще.

Алгоритм работы описываемого экстремального регулятора выражается формулой

$$U_n = \text{sign } U_{n-1} \text{sign } (\Delta\varphi_{n-1} - \xi) \text{ при } n + \gamma \geq \bar{t} \geq n, \\ U_n = 0 \text{ при } n + 1 \geq \bar{t} \geq n + \gamma,$$

где U — напряжение на исполнительном двигателе;
 $\Delta\varphi$ — величина приращения показателя экстремума;
 K — коэффициент пропорциональности;
 $\gamma = K(\Delta\varphi - \xi)$ — относительная длительность включения исполнительного двигателя;
 $n = 0, 1, 2$ — порядковый номер периода;
 $\bar{t}$ — дискретное время;
 ξ — смещение.

Рассматриваемый цифровой экстремальный регулятор пропорционального действия шагового типа предназначен для работы в многоконтурных системах управления с контуром оптимизации, в котором входным воздействием является изменение настройки контура стабилизации. Несложная переделка выходного устройства регулятора позволяет непосредственно осуществлять управление экстремальным объектом. Функциональная блок-схема регулятора показана на рис. 1.

Входное устройство (ВУ) представляет собой аналогово-цифровой преобразователь для ввода в регулятор приращений регулируемой величины (показателя экстремума) в цифровом виде.

Большинство регулируемых величин измеряется приборами, имеющими вращающиеся оси, поэтому выбран преобразователь типа угол поворота — число — импульсный код. Именно этот код выбран из-за его высокой помехоустойчивости, обусловленной тем, что искажения любого элемента кода приводят к появлению минимальной дополнительной погрешности, равной шагу квантования.

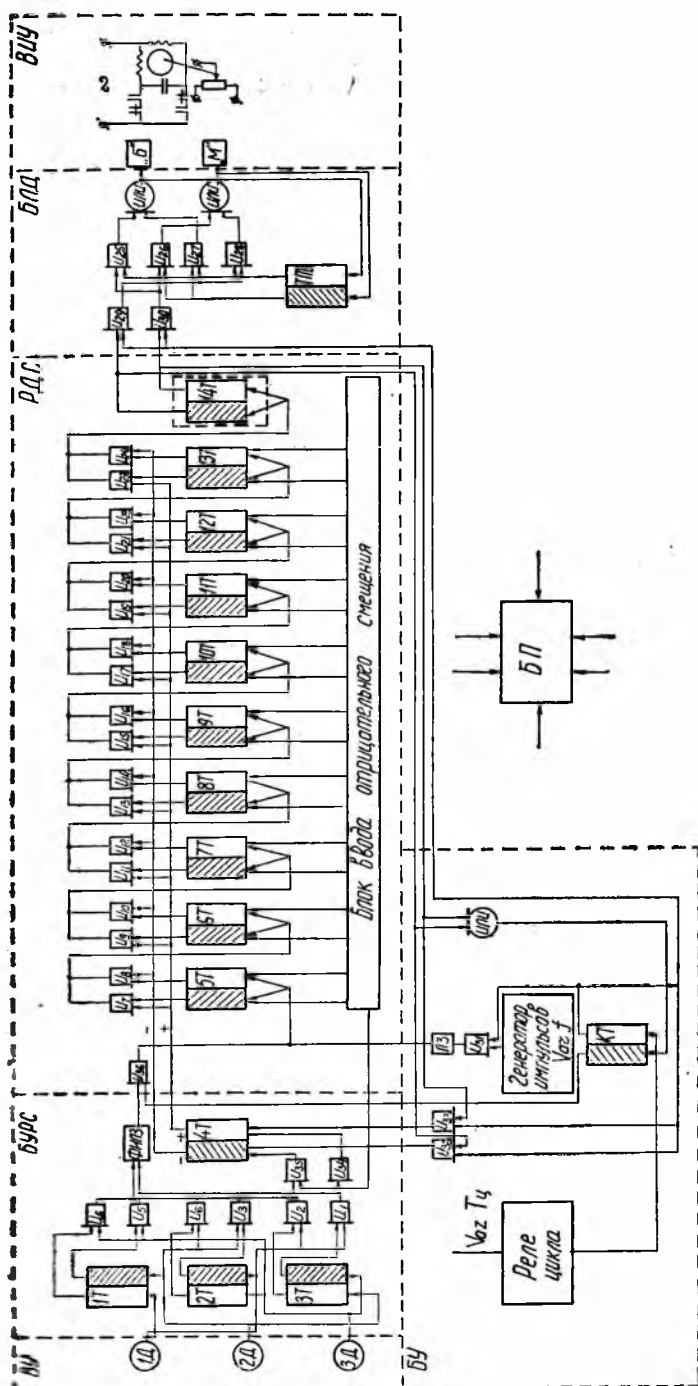


Рис. 1. Функциональная блок-схема регулятора

Преобразователь выполнен в виде диска с зубчатым венцом, который насаживается на ось измерительного или регистрирующего прибора (на схеме не показан) и устройства, формирующего число — импульсный код. Это устройство состоит из трех датчиков 1Д, 2Д, 3Д, расположенных относительно прорезей диска таким образом, что при вращении диска по часовой стрелке (увеличение регулируемой величины) датчики срабатывают в последовательности 1Д, 2Д, 3Д, 1Д, ..., а при вращении против часовой стрелки — 1Д, 3Д, 2Д, 1Д, ...

Каждый датчик представляет собой транзисторный генератор, работающий в режиме срыва генерации при ослаблении обратной связи путем введения в зазор между ферритовыми сердечниками датчика зубцов диска.

Блок управления реверсивным счетчиком (БУРС) предназначен для определения последовательности срабатывания датчиков, т. е. определения знака приращения показателя экстремума и формирования импульсов для ввода в реверсивный счетчик.

БУРС состоит из четырех триггерных ячеек 1Т ÷ 4Т, шести схем совпадения И1 ÷ И6 и схемы формирования импульсов с линией задержки ФИЛЗ. Выходным элементом БУРСа является триггер управления реверсивным счетчиком 4Т, состояние которого характеризует направление вращения кодового диска. Триггеры 1Т, 2Т, 3Т запоминают номер датчика, выдавшего последний импульс, и подготавливают схемы совпадения И1 ÷ И6 к приему очередного импульса.

ФИЛЗ формирует задержку импульсов кода, поступающих на счетный вход реверсивного счетчика на время срабатывания 4Т, который подает на счетчик команду на суммирование или вычитание соответствующего кода.

В исходном состоянии триггеры 1Т, 2Т, 3Т, запоминающие номер датчика, выдавшего последний импульс, находятся в состоянии «1», а выходной триггер (4Т) — в состоянии «0», что соответствует операции суммирования.

Схемы совпадения И2, И4 и И6 триггерами 1Т ÷ 3Т подготовлены к приему первого импульса. Предположим, что этот импульс был сформирован 1Д. Пройдя через И2 на левый вход 4Т, он не изменяет его состояния и через формирователь импульсов (ФИЛЗ) на вход счетчика одновременно попадает на правый вход 2Т и левый вход 3Т, перебрасывая последний в состояние «0». 2Т и 3Т подготавливают к работе соответственно И4 и И5. Теперь возможны два случая: после 1Д срабатывает 2Д или после 1Д срабатывает 3Д.

В первом случае импульс от 2Д, пройдя через И4, попадает на левый вход 4Т и оставляет его в состоянии 0. Во втором случае импульс от 3Д проходит через И5 на правый вход 4Т, перебрасывая его в состояние 1, т. е. подготавливая счетчик для операции вычитания.

Таким образом, импульс от 1Д готовит через И4 канал датчика 2Д для суммирования, а канал 3Д через И5 — для вычитания. Аналогично этому импульс от 2Д готовит канал датчика 3Д через И6 для суммирования, а канал 1Д через И1 — для вычитания. Импульс датчика 3Д готовит канал датчика 1Д через И2 для суммирования и 2Д через И3 — для вычитания.

Реверсивный двоичный счетчик (РДС) является основным узлом регулятора. Предназначен он для записи и хранения величины приращения показателя экстремума. Счетчик состоит из десяти триггерных ячеек 5Т ÷ 14Т и восемнадцати схем совпадения И7 ÷ И24, что обеспечивает преобразование угла поворота кодового диска в цифровой эквивалент с точностью до 0,1%.

На счетный вход первой триггерной ячейки счетчика 5Т поступают

импульсы, подлежащие суммированию или вычитанию. С выхода 4Т на схемы совпадения И7 ÷ И24 подаются управляющие потенциалы. Если управляющий потенциал 4Т подается на нечетные схемы совпадения, счетчик суммирует импульсы, если на четные, импульсы вычитаются. Когда управляющий потенциал 4Т подан на нечетные схемы совпадения, импульсы переноса с левого плеча триггера низшего разряда поступает на счетный вход триггера высшего разряда; если же управляющий потенциал подан на четные схемы совпадения, переход в высший разряд осуществляется с правого плеча триггера низшего разряда.

Состояние последней ячейки счетчика — «ячейки знака» (ЯЗ) определяет знак числа, записанного в счетчике. При записи положительного числа ЯЗ находится в состоянии «0», а при записи отрицательного — в состоянии 1, так как отрицательное число, соответствующее отрицательному приращению показателя экстремума, записываем в обратном коде. Знак ячейки заводится в блок логического действия.

Блок логического действия (БЛД) формирует знак регулирующего воздействия в зависимости от знака предыдущего воздействия и знака реакции объекта, а также способа регулирования (по min или max). БЛД состоит из четырех схем совпадений И25 ÷ И28 и двух схем «ИЛИ», а также схемы запоминания знака предыдущего воздействия, выходным элементом которой является триггер ТПВ. Состояние ТПВ определяет знак предыдущего воздействия. Выходными элементами БЛД являются реле «больше» и реле «меньше», которые включают исполнительный двигатель в ту или иную сторону в зависимости от состояния ЯЗ или ТПВ.

Выходное исполнительное устройство (ВИУ) — реверсивный двигатель, на валу которого находится подвижный контакт преобразователя, изменяющего настройку контура стабилизации в функции показателя экстремума.

Блок управления (БУ) обеспечивает работу узлов регулятора в определенной последовательности.

Для улучшения качества и расширения области устойчивости системы управления в регуляторе предусмотрена возможность преимущественного реверса исполнительного двигателя [5] — вводится в РДС отрицательное число ξ — смещение (с помощью блока введения отрицательного смещения), т. е. в исходном состоянии в счетчике заведомо записано отрицательное число. При этом реверс исполнительного двигателя происходит не только при отрицательных приращениях регулируемой величины, но также при нулевых и положительных приращениях, меньших, чем введенное смещение.

Смещение заводится в счетчик переключателем, расположенным на передней панели регулятора, а величина его выбирается в зависимости от динамических и статических характеристик объекта [5].

Как видно из формулы, в экстремальном регуляторе используется пропорциональное управление, т. е. длительность включения исполнительного двигателя, изменяющего величину регулирующего воздействия, пропорциональна $|\Delta\varphi - \xi|$, что значительно улучшает качество переходных процессов системы регулирования при толчке возмущения. Экстремальный регулятор совмещает пробный и рабочий шаги. В этом его преимущество по сравнению с обычными шаговыми регуляторами.

Регулятор работает следующим образом. Входное устройство преобразует непрерывную величину показателя экстремума в последовательность импульсов, поступающих на первую триггерную ячейку счетчика. БУРС определяет направление изменения регулируемой величины, а выходной триггер БУРСа подает управляющие потенциалы на шины

суммирования или вычитания. Число импульсов, записанное в счетчике, пропорционально углу поворота — приращению регулируемой величины.

Реле цикла периодически через «время цикла» $T_{\text{ц}}$, продолжительность которого выбирается с учетом инерционности объекта и условий работы, подает управляющий импульс на командный триггер (КТ) блока управления регулятора.

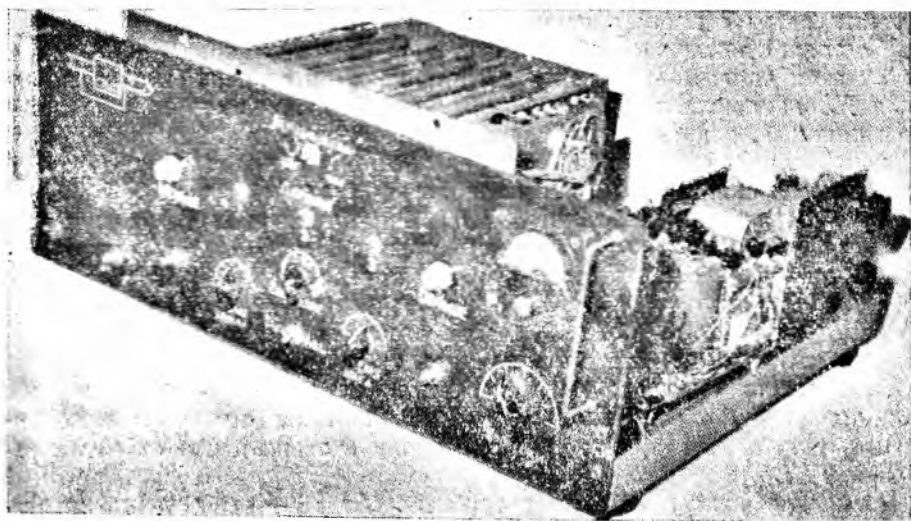


Рис. 2. Общий вид регулятора

Командный триггер производит следующие операции:

1. При помощи И32 и И33 устанавливает 4Т в состояние, противоположное ЯЗ, обеспечивая этим дальнейшую работу РДС в режиме суммирования или вычитания, в зависимости от того, в прямом или обратном коде было записано приращение показателя экстремума $|\Delta\varphi - \xi|$.
2. Заводит через И29 и И30 в БЛД потенциал с ЯЗ и тем самым включает исполнительный двигатель.
3. Блокирует реверсивный счетчик при помощи И34, И35 и И36 для исключения возможности попадания импульсов от ВУ в процессе считывания $|\Delta\varphi - \xi|$.
4. Открывает канал считывания через И31 и ЛЗ (ЛЗ — линия задержки, которая обеспечивает выполнение в первую очередь операций 1 и 3).

Считывание $|\Delta\varphi - \xi|$ из РДС производится импульсами с частотой f , формируемых генератором импульсов до переполнения счетчика. Переполнение или опорожнение счетчика вызывает опрокидывание ЯЗ. Это происходит в результате возвращения КТ в исходное состояние. КТ запирает канал считывания, останавливает исполнительный двигатель, снимая разрешающий потенциал с И29 и И30, а также через блок введения отрицательного смещения заводит в РДС заданное значение ξ .

БЛД определяет направление вращения исполнительного двигателя, а продолжительность включения определяется временем считывания числа, т. е. регулирующее воздействие пропорционально отклонению от экстремума.

Время считывания можно изменять, меняя скорость считывания,

т. е. частоту f , тем самым изменяя коэффициент пропорциональности K между величиной регулирующего воздействия и $|\Delta\varphi - \xi|$.

На рис. 2 показан общий вид регулятора, на рис. 3 — блоки БУРС, РДС и БЛД. В регуляторе предусмотрена возможность ручного управления исполнительным двигателем

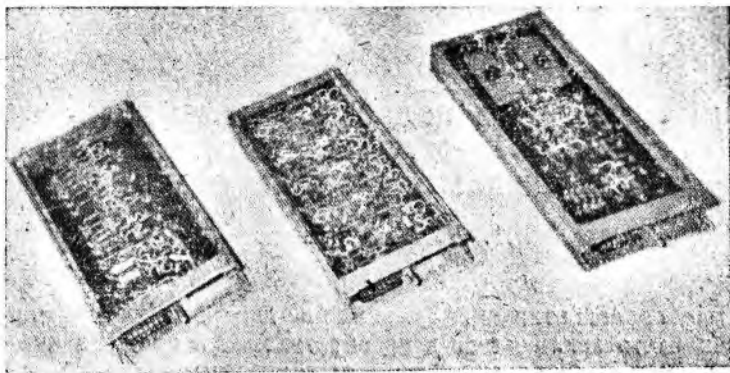


Рис. 3. Блоки регулятора БУРС, РДС и БЛД

Для настройки и проверки регулятора имеется схема имитации срабатывания датчиков и цифровая индикация (на функциональной схеме не приведены). Цифровая индикация служит для визуальной проверки работы реверсивного счетчика.

На передней панели смонтированы все основные ручки настройки регулятора. Экстремальный регулятор реализован на транзисторах, что обеспечивает высокую надежность его работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Волков. Цифровые вычислительные устройства для управления объектами с экстремальными характеристиками. Сб. «Приборы промышленного контроля и средств автоматизации». Гостехиздат, Киев, 1963.
2. В. М. Кунцевич. Системы экстремального управления. Гостехиздат, Киев, 1963.
3. И. М. Александровский, Р. Е. Кузин. Двухканальный автоматический оптимизатор ДАО-2 для сложных технологических процессов. Сб. «Самонастраивающиеся автоматические системы». Изд-во «Наука», 1965.
4. Е. Д. Гарбер. Исследование некоторых систем автоматической оптимизации режимов энергетических установок. Автореф. канд. дисс., Л., 1962.
5. О. Р. Савин. Об улучшении качества экстремального регулирования инерционных процессов. «Автоматика», № 2, 1964.