Устройство и принцип работы релейно-импульсного регулятора

Типовой релейно-импульсный регулятор реализует импульсный принцип управления исполнительным устройством и преобразует входное рассогласование в скважность управляющих импульсов по пропорционально-дифференциальному алгоритму. Структуру и принцип работы регулятора рассмотрим на примере устройства РП-4, входящего в агрегатный комплекс АКЭСР-2. Данный регулятор выпускается в трех модификациях – РП-4У, РП-4Т и РП-4П. Первая предназначена для работы с датчиками, формирующими унифицированный токовый сигнал, вторая – для работы с датчиками температуры (термопарами и термометрами сопротивления) и третья – для работы с индуктивными датчиками. Перечисленные модификации работают по одному принципу и отличаются только устройством входной измерительной схемы. На рис.2.8 приведена структура регулятора РП-4У.

Регулятор включает в себя следующие узлы:

УСКР – суммирования и кондуктивного разделения;
УД – демпфирования;
УТР – триггеров;
УВУ – выходных усилителей;
УОС – обратной связи.

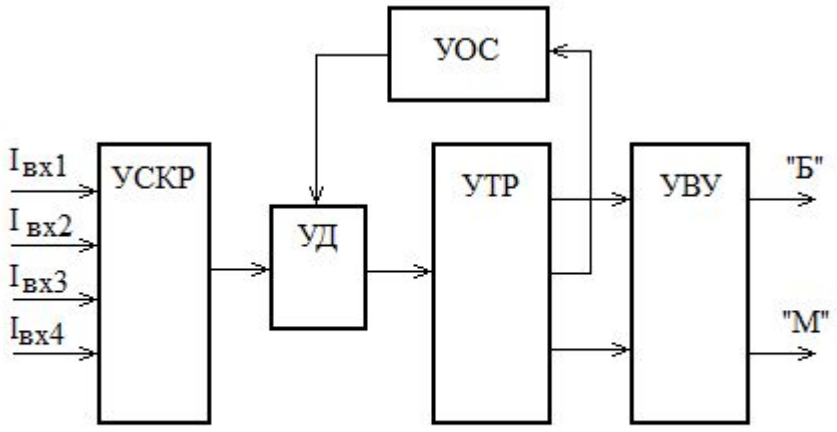

Рис. 2.8. Структура релейно-импульсного регулятора

Узел суммирования и кондуктивного разделения УСКР осуществляет суммирование с гальваническим разделением четырех унифицированных токовых сигналов и преобразует результат суммирования в постоянное напряжение. Три входа из четырех являются масштабируемыми с возможностью настройки коэффициента передачи $0 \le \alpha_i \le 1$. Четвертый немасштабируемый вход предназначен для подключения 100 % токового задатчика.

Узел демпфирования УД фильтрует выходной сигнал УСКР от высокочастотных составляющих, появляющихся в результате действия внешних и внутренних источников помех. В итоге на выходе узла демпфирования формируется отфильтрованный сигнал напряжения, пропорциональный величине входного рассогласования.

Узел триггеров УТР определяет величину и знак входного рассогласования и формирует управляющие сигналы «БОЛЬШЕ» и «МЕНЬШЕ» в соответствии со статической характеристикой, приведенной на рис. 2.4.

Узел обратной связи УОС выполняет функции апериодического звена первого порядка с настраиваемыми значениями коэффициента передачи и постоянной времени. Данный узел организует функциональную обратную связь (рис. 2.1, а), формирующую закон регулирования (2.7).

Узел выходных усилителей УВУ предназначен для согласования выхода регулятора с различными исполнительными устройствами. Узел представляет собой двухканальную ключевую схему, работающую в двух режимах – активном и пассивном. В активном режиме узел формирует дискретные управляющие сигналы с логическими уровнями 0; 24В. Данный режим используется для управления релейными исполнительными устройствами, магнитными усилителями и т.п. Пассивный режим является параметрическим. В данном режиме используются выходные ключи, которые могут находиться в замкнутом или разомкнутом состоянии. Логической единице в этом случае будет соответствовать замкнутое состояние ключа, а логическому нулю – разомкнутое. Пассивный режим используется для управления электродвигателями исполнительных механизмов с помощью реверсивных пускателей или тиристорных усилителей.

Узел суммирования и кондуктивного разделения

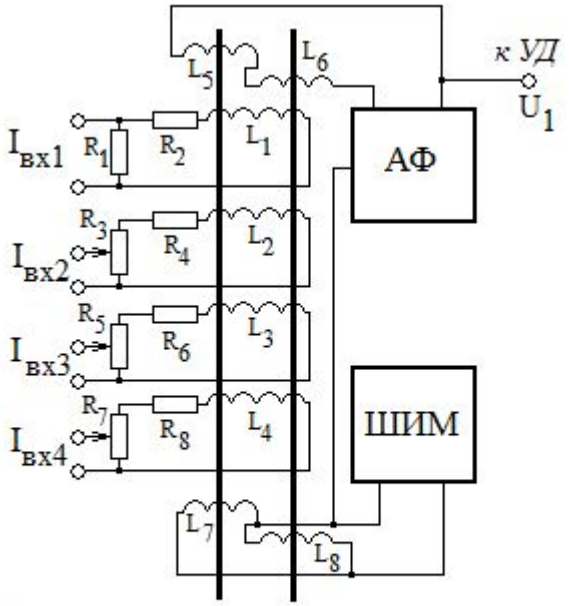

Рис. 2.9. Узел суммирования и кондуктивного разделения

Упрощенная схема узла суммирования и кондуктивного разделения приведена на рис. 2.9. Основным элементом узла является магнитный усилитель , включающий четыре обмотки управления $L_1 \div L_4$, две обмотки возбуждения L_7, L_8 и две обмотки обратной связи L_5, L_6. На обмотки управления $L_1 \div L_4$ поступают токовые сигналы от датчиков технологических переменных. Масштабирование тока в обмотках $L_2 \div L_4$ осуществляется с помощью резисторов R_3, R_5 и R_7. Обмотки возбуждения L_7, L_8 подключены к широтно-импульсному модулятору ШИМ, работающему в автоколебательном режиме и формирующему на выходе прямоугольные колебания напряжения с постоянной амплитудой и постоянным периодом.

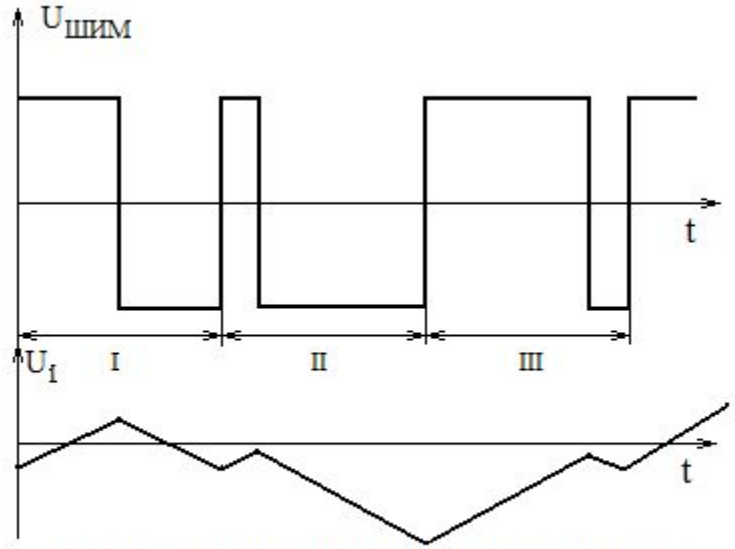

Рис. 2.10.Временная диаграмма широтно-импульсного модулятора

Соотношение длительностей положительной и отрицательной полуволн определяется величиной и знаком суммарного тока, протекающего через обмотки управления.

Если величина суммарного тока находится в пределах зоны нечувствительности, то длительности положительной и отрицательной полуволн будут одинаковы (участок I на рис. 2.10), и среднее значение $U_{ШИМ}$ будет близко к нулю. При выходе суммарного тока за пределы зоны нечувствительности в отрицательную или положительную сторону на диаграмме будет преобладать длительность соответственно отрицательной или положительной полуволны (участки II и III на рис. 2.10).

Активный фильтр АФ, работающий по принципу интегратора, выделяет из выходного сигнала ШИМ постоянную составляющую U_1 (рис. 2.10). Это напряжение подается на выход узла и на обмотки обратной связи L_5, L_6.

Последние стабилизируют коэффициент передачи узла на уровне $K_{вх}$. В целом, статическая характеристика узла приближенно описывается уравнением:

$$U_1 = K_{вх}(I_{вх1} + \alpha_2 I_{вх2} + \alpha_3 I_{вх3} + \alpha_4 I_{вх4}) \qquad (2.12)$$

где α_2 ,α_3 и α_4 – масштабные коэффициенты по соответствующим входам, устанавливаемые резисторами R_3, R_5 и R_7.

Узел демпфирования

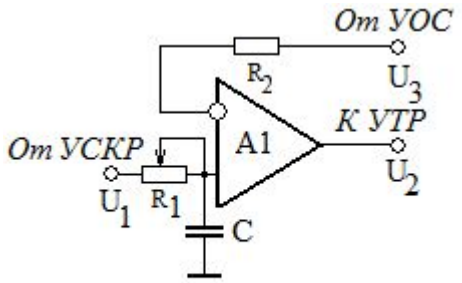

Рис. 2.11. Узел демпфирования

Упрощенная схема узла демпфирования приведена на рис. 2.11. Узел построен на операционном усилителе А1 с инерционным звеном R_1C на входе. Усилитель охвачен отрицательной обратной связью совместно с узлом триггеров. Наличие на входе усилителя инерционного звена с постоянной времени $T_ф = R_1C$ придает узлу фильтрующие свойства, но, вместе с тем, в закон регулирования принудительно вводится динамическая погрешность в виде инерционности с постоянной времени $T_ф$.

Узел триггеров

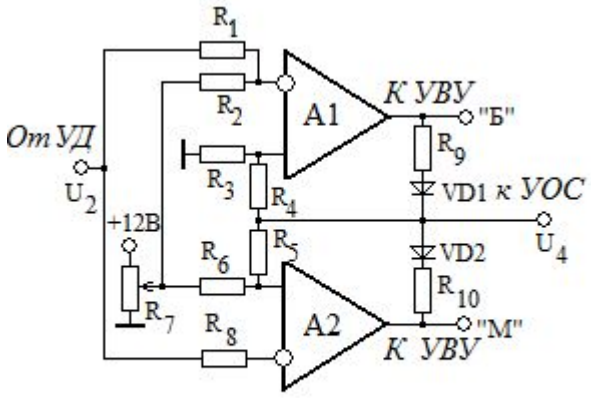

Рис. 2.12. Узел триггеров

Упрощенная схема узла триггеров приведена на рис. 2.12. Узел включает в себя входной делитель $R_1 \div R_8$, два операционных усилителя A1, A2 и выходной делитель R_9, R_{10}, VD1, VD2. Оба операционных усилителя охвачены положительной обратной связью и работают в триггерном режиме. Во входном делителе определяются величина и знак сигнала рассогласования, поступающего от узла демпфирования. С помощью резистора R_7 настраивается ширина зоны нечувствительности $\Delta_н$. Если рассогласование не превышает половины зоны нечувствительности, то оба триггера находятся в состоянии «логического нуля», и управляющие сигналы «Б» и «М» отсутствуют.

Если рассогласование выходит за пределы зоны нечувствительности, то в зависимости от знака рассогласования один из триггеров устанавливается в состояние «логической единицы», и формируется один из управляющих сигналов «Б» или «М». Управляющие сигналы передаются на узел выходных усилителей и через выходной делитель R_9, R_{10}, VD1, VD2 – на вход узла обратной связи. Выходной делитель включает в себя нелинейные элементы – полупроводниковые диоды VD1 и VD2. За счет некоторой нелинейности в канале обратной связи на статической характеристике регулятора формируются зоны возврата $\Delta_в$ (рис. 2.4). Эти зоны имеют фиксированную ширину.

Узел выходных усилителей

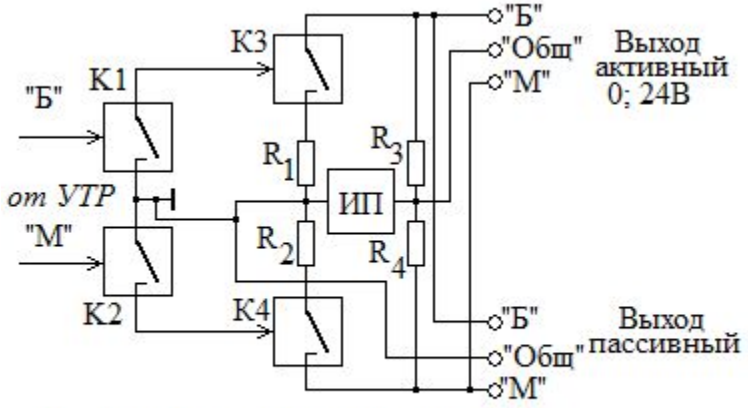

Рис. 2.13. Узел выходных усилителей

Упрощенная схема узла выходных усилителей приведена на рис. 2.13. Схема включает в себя два независимых двухкаскадных канала К1, К3 и К2, К4. Ключи К1 и К2 играют роль вспомогательных.

Логические уровни активного выхода определяются параметрами дополнительного источника питания ИП.

При поступлении управляющего сигнала «Б» замыкаются ключи К1 и К3. На активный выход «Б» подается напряжение 24В. Пассивный выход «Б» замыкается на нулевой провод.

При поступлении управляющего сигнала «М» замыкаются ключи К2 и К4. Напряжение 24В подается на активный выход «М», а пассивный выход «М» замыкается на нулевой провод.

Узел обратной связи

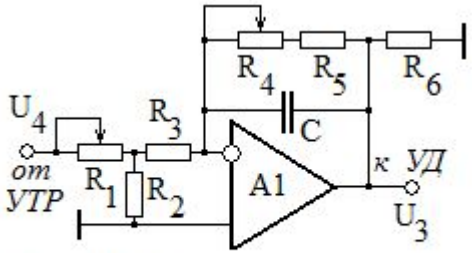

Рис. 2.14. Узел обратной связи

Согласно (2.8), узел обратной связи (рис. 2.14) представляет собой инерционное звено, построенное на операционном усилителе, с регулируемыми коэффициентом передачи и постоянной времени. Коэффициент передачи узла обратной связи настраивается резистором R_1, а постоянная времени – резистором R_4.

Реакция релейно-импульсного регулятора на ступенчатое входное рассогласование

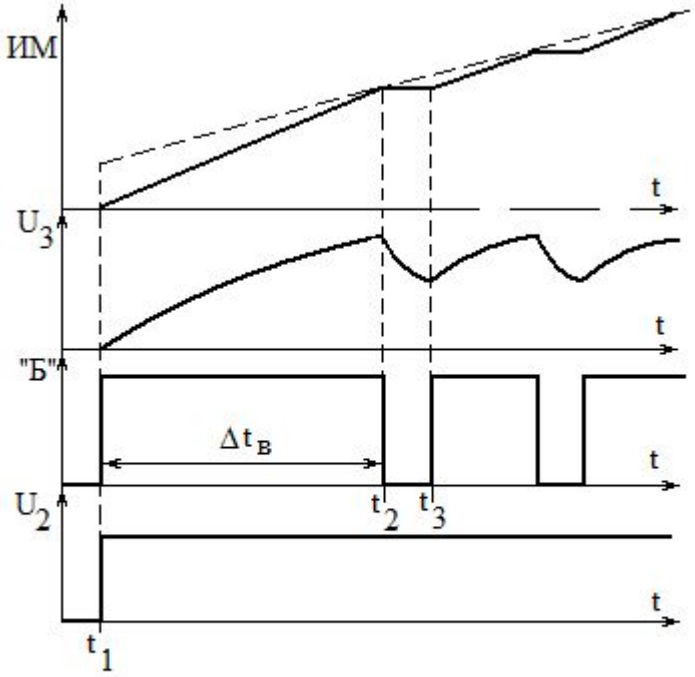

Рис. 2.15. Реакция регулятора на ступенчатое рассогласование

Временная диаграмма реакции регулятора на ступенчатое входное рассогласование приведена на рис. 2.15. В момент времени t_1 на вход регулятора поступает положительное ступенчатое рассогласование, превышающее по амплитуде половину зоны нечувствительности $\Delta_н/2$. Возмущение идентифицируется узлом триггеров, который формирует управляющий сигнал «БОЛЬШЕ». Этот сигнал через узел выходных усилителей подается на исполнительный механизм и приводит его в движение (верхний график на рис. 2.15).

Одновременно с этим, управляющий сигнал через выходной делитель узла триггеров подается на вход узла обратной связи, выходное напряжение которого U_3 начинает изменяться по экспоненциальному закону. В момент времени t_2 сигнал обратной связи U_3 компенсирует входное рассогласование, управляющий сигнал «БОЛЬШЕ» снимается, и исполнительный механизм останавливается. Начиная с этого момента, выходное напряжение узла обратной связи U_3 будет падать по экспоненциальному закону, и в момент времени t_3 разность рассогласования и сигнала обратной связи снова выходит за пределы зоны нечувствительности. Далее цикл повторяется, и на выходе регулятора формируется последовательность управляющих импульсов со скважностью, определяемой соотношением (2.7).

Из рис. 2.15 видно, что регулятор в комплекте с исполнительным механизмом постоянной скорости реализует ПИ-закон приближенно (реакция идеального непрерывного регулятора обозначена пунктиром). Время компенсации $\Delta t_в$ входного рассогласования сигналом обратной связи определяет настройку пропорциональной составляющей закона регулирования, называемую «скоростью связи»:

$$V_{св} = \frac{U_2}{\Delta t_в} \qquad (2.13)$$

При этом, коэффициент передачи в соотношении (2.1) можно определить из выражения:

$$K_P = \frac{S_{\max}}{V_{св}} \qquad (2.14)$$

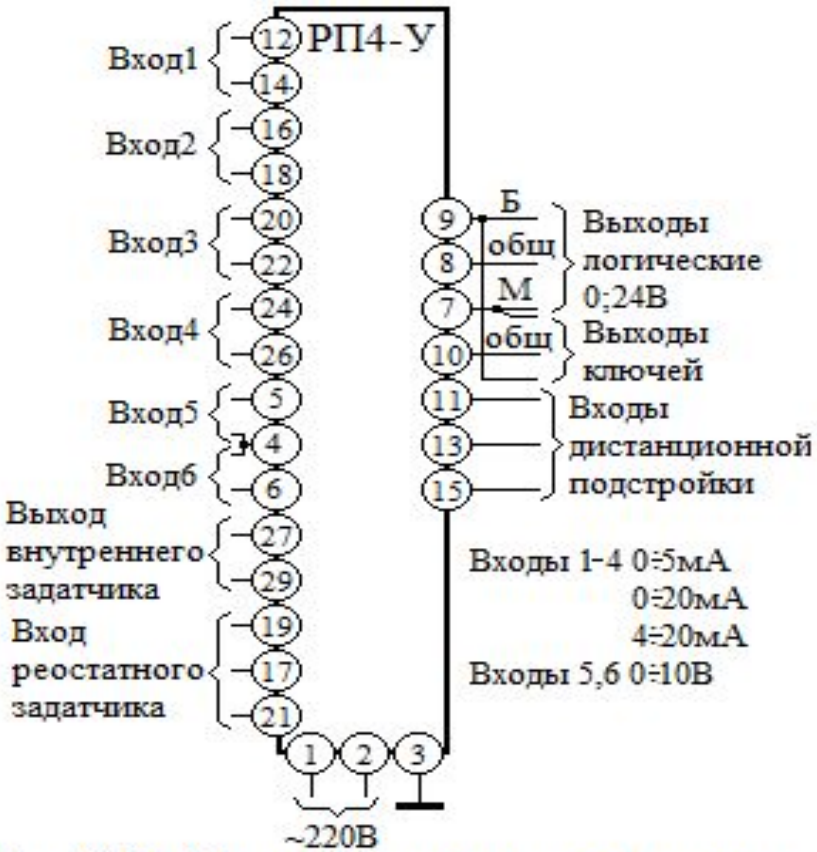

Рис. 2.16. Схема подключения регулятора РП4-У

Схема подключения регулятора РП-4У приведена на рис. 2.16.