Ю. М. Ковриго

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

АНАЛОГОВІ АПАРАТНІ ЗАСОБИ

УДК 658.512.011.56:004 (075.8)
ББК 32.965я73
К56

Гриф надано Міністерством освіти і науки України
(Лист № 1.4/18.-Г-523 від 19.07.2006 р.)

Відповідальний редактор — *В. Ф. Мисак*, канд. техн. наук, доц.
(Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»)

Рецензенти: *А. І. Жученко*, д-р техн. наук, проф.
(Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»)
В. Г. Тригуб, д-р техн. наук, проф.
(Національний університет харчових технологій)
Ю. К. Тодорцев, д-р техн. наук, проф.
(Одеський національний політехнічний університет)

Ковриго Ю. М.
К56 Технічні засоби автоматизації технологічних процесів. Аналогові апаратні засоби: Навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2006. – 164 с.

ISBN 966-622-216-7

Розглянуто технічні засоби автоматизації неперервних технологічних процесів в енергетиці, металургії, хімії, тощо, які використовують для побудови нижніх рівнів автоматизованих систем керування технологічними процесами. Головну увагу приділено принципам побудови типових комплексів і роботі основних блоків, пристроїв та механізмів, що входять до їх складу.

Для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Також може бути корисним для спеціалістів та інженерно-технічних працівників відповідних спеціальностей.

УДК 658.512.011.56:004 (075.8)
ББК 32.965я73

ISBN 966-622-216-7

© Ю. М. Ковриго, 2006

ЗМІСТ

ЗМІСТ 2
ВСТУП 6
1. СТРУКТУРА АСКТП 7
2. КЛАСИФІКАЦІЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ 9
3. ДЕРЖАВНА СИСТЕМА ПРИЛАДІВ У ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ 10
4. СТРУКТУРА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ 13
5. УНІВЕРСАЛЬНІ ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ 15
5.1. Основні вимоги, пред'явлені до універсальних регуляторів 15
5.2.Способи уведення вхідного сигналу в регулятор 19
5.2.1. Приладовий спосіб уведення вхідного сигналу 19
5.2.2. Апаратний спосіб уведення вхідного сигналу 21
5.2.3. Агрегатний спосіб уведення вхідного сигналу 21
6. ЗАКОНИ РЕГУЛЮВАННЯ 22
6.1.Стандартні нелінійні закони регулювання 23
6.2. Стандартні лінійні закони регулювання 24
6.2.1. Пропорційний закон регулювання 25
6.2.2. Інтегральний закон регулювання 27
6.2.3. Пропорційно-інтегральний закон регулювання 28
6.2.4. Пропорційно-диференційний закон регулювання 29
6.2.5. Пропорційно-інтегрально-диференційний закон регулювання 30
7. ВЛАСТИВОСТІ ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ І ЇХ ВРАХУВАННЯ ПРИ ФОРМУВАННІ ЗАКОНІВ РЕГУЛЮВАННЯ 31
7.1. Пневматичний виконавчий механізм 31
7.2. Гідравлічний виконавчий механізм 31
7.3. Електричний виконавчий механізм 32
8. СПОСОБИ ФОРМУВАННЯ СТАНДАРТНИХ ЗАКОНІВ РЕГУЛЮВАННЯ 35
8.1. Основні засоби формування стандартних законів регулювання 35
8.2. Способи формування пропорційного закону 37
8.2.1. 1-й спосіб формування пропорційного закону 37
8.2.2. 2-й спосіб формування пропорційного закону 37
8.3. Способи формування інтегрального закону 38
8.3.1. 1-й спосіб формування інтегрального закону 38

8.3.2. 2-й спосіб формування інтегрального закону. 38
8.4. Формування пропорційно-інтегрального закону 39
8.4.1. 1-й спосіб формування пропорційно-інтегрального закону 39
8.4.2. 2-й спосіб формування пропорційно-інтегрального закону 40
8.4.3. 3-й спосіб формування пропорційно-інтегрального закону 41
8.4.4. 4-й спосіб формування пропорційно-інтегрального закону 41
8.5. Способи формування пропорційно-інтегрально-диференційного закону. 42
8.5.1. 1-й спосіб формування пропорційно-інтегрально-диференційного закону 42
8.5.2. 2-й спосіб формування пропорційно-інтегрально-диференційного закону 43
8.5.3. 3-й спосіб формування пропорційно-інтегрально-диференційного закону 44
8.5.4. 4-й спосіб формування пропорційно-інтегрально-диференційного закону 44
8.5.5. 5-й спосіб формування пропорційно-інтегрально-диференційного закону 45
8.5.6. 6-й спосіб формування пропорційно-інтегрально-диференційного закону 46
9. ФОРМУВАННЯ ПРОПОРЦІЙНО-ІНТЕГРАЛЬНОГО ЗАКОНУ РЕГУЛЮВАННЯ В РЕГУЛЯТОРАХ З ВИКОНАВЧИМ МЕХАНІЗМОМ СТАЛОЇ ШВИДКОСТІ 48
10. РЕАЛЬНІ ЗАКОНИ РЕГУЛЮВАННЯ 52
10.1. Структурна схема одержання пропорційного закону 53
10.2. Структурна схема одержання пропорційно-інтегрального закону 54
11. ЗАДАЧА ГРАДУЮВАННЯ ОРГАНІВ НАСТРОЮВАННЯ 55
12. КОМПЛЕКС АПАРАТУРИ РЕГУЛЮВАННЯ «КОНТУР» 57
12.1. Вимірювальний субблок регулятора Р25.1 60
12.2. Вимірювальна схема регулятора Р25.2 61
12.3. Вимірювальна схема регулятора Р25.3 62
12.4. Схема регулювального субблоку регулятора Р25 63
13. СИСТЕМА «КОНТУР-2» 65
14. КОМПЛЕКС ЗАСОБІВ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ «КАСКАД» 67
14.1. Властивості передачі інформації за допомогою струмового сигналу 70
14.2. Вимірювальний блок И.04 75
14.3. Блок А.04 76
14.4. Регулювальний блок Р.21 78
14.5. Регулювальний блок Р.12 80
14.6. Блок динамічних перетворень Д.01 83
14.7. Блоки керування: БУ21 і БУ12 84
15. ВИСОКОТОЧНИЙ РЕГУЛЯТОР ТЕМПЕРАТУРИ ВРТ 86

15.1. Вимірювальний блок И102 87
15.2. Формуючий блок Р111 88
16. КОМПЛЕКС ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ "КАСКАД-2" 90
16.1. Блоки й УФМ (укрупнені функціональні модулі) комплексу КАСКАД-2 91
16.2. Регулювальні модулі 92
16.3. Вимірювальні модулі 94
16.4. Модулі статичного перетворення інформації 95
16.5. Модулі динамічного перетворення інформації 97
16.6. Регулювальний блок Р27 97
16.7. Блок регулювальний аналоговий Р17 101
17. АГРЕГАТНИЙ КОМПЛЕКС ЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ АКЕЗР 103
17.1. Пристрої уводу-виводу інформації 104
17.2. Блоки статичного перетворення інформації 106
17.3. Блоки динамічного перетворення інформації 108
17.4. РБИМ (регулювальний блок імпульсний модернізований) 121
Робота блоку РБИМ з дискретним дистанційним настроюванням параметрів 127
Робота блоку РБИМ з аналоговим дистанційним настроюванням параметрів. 128
18. ВИКОНАВЧІ ПРИСТРОЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ 129
18.1. Керування пусковими пристроями 129
18.2. Тиристорний пускач ПБР-2 132
18.3. ВП для керування ВМ на базі трифазного електродвигуна 135
18.4. Тиристорний пускач У-101 137
18.5. Пускальні пристрої для ВМ змінної швидкості 139
19. ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ ТИПУ МЭО ВИРОБНИЦТВА ЧЗЭИМ 140
20. ПНЕВМАТИЧНІ ЗАСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ 144
21. ПНЕВМАТИЧНИЙ ІЗОДРОМНИЙ РЕГУЛЮВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ НА БАЗІ КС3 152
22. ПНЕВМАТИЧНІ РЕГУЛЯТОРИ СИСТЕМИ «СТАРТ» 155
22.1. Позиційний регулятор ПР1.5. 155
22.2. Пропорційний регулятор ПР 2.5. 156
22.3. Пропорційно-інтегральний регулятор ПР3.21. 159
22.4. Пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор ПР3.25 161
23. ПНЕВМАТИЧНІ ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ 162
23.1. Мембранні виконавчі механізми 163
23.2. Позиціонери 164

23.3. Поршневі виконавчі механізми 167
23.4. Пневматичні лінії зв'язку. 168
24. ГІДРАВЛІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ 170
24.1. Гідравлічні засоби регулювання заводу «Теплоавтомат» 175
24.2. Принцип дії гідравлічного регулятора інтегральної дії 176
24.3. Гідравлічний регулятор П-дії 176
24.4. Гідравлічний регулятор ПІ-дії 177
ЛІТЕРАТУРА 178

ВСТУП

Технічні засоби АСК ТП містять у собі всі пристрої, що входять до складу системи керування і призначені для одержання інформації, її передачі, збереження і перетворення, а також для виконання керуючих і регулювальних впливів на технологічний об'єкт управління (ТОУ).

Головна увага в даному лекційному курсі приділяється аналоговим засобам регулювання, у меншому ступені — програмованим дискретним, яким присвячений курс «Програмно-технічні комплекси систем автоматизації».

У розвитку технічних засобів автоматизації можна виділити 3 етапи:

- початковий;
- комплексної механізації і автоматизації ТОУ;
- автоматизовані системи керування.

Першому етапу характерне застосування технічних засобів для автоматизації керування окремих функцій об'єкта, регулювання (в основному, стабілізації) окремих технологічних величин. Більша частина керуючих впливів здійснюється оператором за допомогою пристроїв дистанційного керування, хоча може зберігатися й ручний вплив.

Другий етап характерний тим, що функції автоматизації охоплюють усі технологічні частини об'єкта, що у значній мірі модернізується і пристосовується для автоматизації, тобто здійснено комплексну механізацію. Удосконалюються і самі технічні засоби, переходять до блочно-модульного принципу їх конструювання. Розробляються комплекси спеціальних пристроїв, що працюють за жорсткими алгоритмами, і призначених для побудови систем керування різними технологічними процесами. Кожен контур регулювання конструктивно виконується з окремих блоків, утворюючи локальні системи, що забезпечує високий рівень надійності системи. Конструктивні й монтажні рішення дозволяють проектувальникам систем автоматизації забезпечити таке розміщення пристроїв, що зручно для експлуатації й обслуговування.

Третій етап характеризується впровадженням автоматизованих систем керування (АСК) технологічними процесами (ТП). АСКТП — автоматична система, що здійснює керування процесами й агрегатами на нижніх рівнях системи керування виробництвом (АСКВ). Використовують як аналогові, так і сучасні, що жорстко і вільно програмуються, цифрові комплекси, покликані керувати процесом в цілому за завданням технолога.

1. СТРУКТУРА АСКТП

На рис.1.1 представлена структурна схема автоматизованої системи керування технологічним об'єктом.

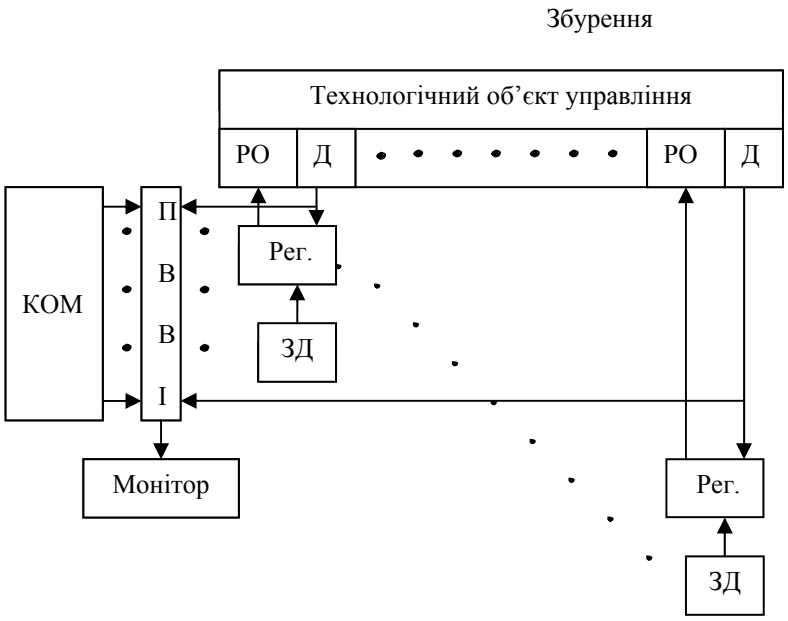


Рис.1.1. Структурна схема АСУ технологічним об’єктом.

На рис.1.1. прийняті наступні позначення: Д – давач; РО — регулювальний орган (клапан, вентиль, затулка, заслінка), Д і РО у даному курсі розглядаються як частина ТОУ; РЕГ – автоматичний регулятор – підтримує на заданому рівні значення технологічної величини; ЗД – задавач – вводить в автоматичний регулятор значення регульованої величини; ПВВІ –

пристрій вводу і виведення інформації; КОМ – керуюча обчислювальна машина.

КОМ може працювати в наступних режимах:

1. Режим спостереження – обробка інформації, що надійшла, виведення інформації на монітор у зручному вигляді.

2. Режим порадника (off-line) – аналіз ситуації, рекомендації з керування та з виправлення помилок, що виникли.

3. Режим безпосередньої дії на об'єкт (on-line) – керуючий вплив може реалізовуватися через регулятори (супервізорне керування) або безпосередньо. Застосовується тоді, коли процес досить добре вивчений, щоб доручити більшу частину керуючих функцій КОМ. Прийнято виділяти до 5 функціонально-цільових рівнів ієрархічної структури АСКТП.

На першому рівні перебувають пристрої безпосередньо пов'язані з ТОУ: Д – перетворюють технологічні величини в інформаційні сигнали; РО – перетворюють командні сигнали в регулювальні впливи на процес.

На другому рівні перебувають засоби контролю, що показують і реєструють технологічні змінні, вбудовані регулятори й регулятори прямої дії.

Третій рівень утворюють технічні засоби локальних і багатоконтурних систем регулювання, що реалізують різні динамічні закони, програмне регулювання, а також забезпечують зв'язок із робочими станціями й центральними КОМ, які перебувають на більш високих рівнях ієрархії.

Четвертий рівень АСКТП служить для централізованого контролю, багатоконтурного регулювання й керування, ґрунтується на цифровій передачі й обробці інформації, і будується на агрегатних засобах обчислювальної техніки. Тут здійснюються автоматичне спостереження за ходом технологічного процесу, контроль за роботою систем регулювання нижніх рівнів, виявлення відхилень технологічних режимів від необхідних і зміна завдань локальним регуляторам.

П'ятий рівень характерний для інтегрованих систем керування виробництвом (АСКВ), що включають, крім перерахованих, ще й організаційно-керуючі функції. Технічні засоби цього рівня не мають безпосереднього зв'язку із пристроями трьох нижніх ієрархічних рівнів, хоча мають спеціально організований доступ до інтегрованої бази даних.

Як ми вже відзначали, предметом даного курсу є технічні засоби побудови трьох перших рівнів систем автоматизації.

2. КЛАСИФІКАЦІЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ

Наведемо основні ознаки класифікації засобів, використовуваних на нижніх рівнях АСКТП.

За характером формування керуючого впливу на регулювальний орган:

а) регулятори прямої дії;

б) регулятори непрямої дії.

Регулятори прямої дії (РПД) виробляють керуючий вплив за рахунок енергії, яку містить вимірювальний пристрій (приклад – регулятор Уатта).

Регулятори непрямої дії використовують для своєї роботи і переміщення регулювального органу джерело додаткової енергії (приклад — відомий з курсу ТАУ ізодромний гідравлічний регулятор). За допомогою регуляторів непрямої дії вдається досягти більш якісного регулювання.

За родом використовуваної енергії:

а) гідравлічні;

б) пневматичні;

в) електричні;

г) комбіновані.

За законом регулювання:

а) П-закон;

б) І-закон;

в) ПІ-закон;

г) ПД-закон;

д) ПІД-закон;

е) нелінійні, серед них найпоширеніші – 2- і 3-позиційні закони регулювання.

За характером підтримки заданого значення:

а) стабілізуючі;

б) програмні регулятори;

в) екстремальні – підтримують значення регульованої величини на найбільшому або найменшому рівні;

г) системи, що стежать –забезпечують відстежуються за деяким вхідним сигналом, який змінюється в часі по заздалегідь невідомій функції.

3. ДЕРЖАВНА СИСТЕМА ПРИЛАДІВ У ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ

На визначеному рівні розвитку техніки регулювання була створена державна система приладів (ДСП), що охоплює вимірювальну, керуючу і регулювальну техніку. Одна з задач ДСП – розробка обмеженої номенклатури уніфікованих пристроїв, здатних максимально задовольняти вимогам побудови автоматичних систем керування і регулювання.

Починаючи із середини XX століття, конструктивні рішення пройшли наступні три етапи.

1-й етап є етапом приладових систем регулювання – вимірювальний прилад (реєструючий) і регулятор виконувалися в одному корпусі. При цьому реєструючий прилад був одним із елементів системи регулювання, що дуже негативно позначалося на її надійності.

2-й етап – апаратні системи регулювання. Регулятор і вимірювальний прилад розділили, вторинний прилад вивели зі складу контуру регулювання.

Інформація від давача стала передаватися безпосередньо на регулятор. При цьому в регуляторі з'явився вузол, який повинен забезпечувати стикування різних типів давачів із регулятором. Таким чином, за рахунок змінності вимірювального модуля забезпечені універсальність і підвищена надійність системи вцілому.

3-й етап – агрегатні системи. Кожна АСР будується шляхом з'єднання в різному порядку, комбінування, підключення різних блоків і модулів, що обмінюються уніфікованими сигналами.

Одним із засобів конструювання АСКТП є блочно-модульний принцип – агрегування. Агрегування є третім етапом розвитку конструктивних рішень. При цьому система керування будується шляхом інтеграції з дотриманням певних правил із окремих уніфікованих блоків, приладів і пристроїв.

Блок – конструктивний збірний пристрій, що виконує одну або кілька функцій, змонтований в одному корпусі.

Модуль – більш проста структурна одиниця, уніфікований вузол, що виконує одну елементарну операцію й входить до складу блоку або приладу. У свою чергу модуль складається з елементів, якими є постійні або змінні опори, ємності, дроселі, транзистори, операційні підсилювачі, мікросхеми, суматори й ін. Елементи можуть бути не тільки електричними, але й пневматичними та гідравлічними.

Виконавчі механізми – пристрої для перетворення керуючої інформації у механічне переміщення регулювального органу, які розвивають достатні для цього зусилля та потужність.

У складі ДСП є три гілки приладів:

- електрична;
- пневматична;
- гідравлічна.

Електрична – характеризується високою точністю та зручністю відтворення законів регулювання; можливістю будувати розподілені системи

регулювання з великими відстаннями між елементами; швидкодією передачі сигналів. Перші електричні пристрої будувалися на електронних лампах, потім на напівпровідникових елементах, інтегральних схемах, що забезпечило зменшення розмірів, підвищення надійності. Електричні виконавчі пристрої мають характеристики, які ускладнюють точну реалізацію лінійних законів регулювання.

Пневматична – характеризується пожежо- та вибухобезпекою. У цій апаратурі трохи гірше реалізуються закони регулювання, їй властиві менші точність і діапазони установки параметрів регулювання; передача сигналів здійснюється повільніше; ускладнена взаємодія з електронними засобами, що стоять на більш високих рівнях ієрархії. У той же час пневматичні виконавчі механізми швидкі й надійні, мають лінійні характеристики.

Гідравлічна – апаратура розміщується безпосередньо в зоні об'єкта, має найменшу гнучкість, вузький діапазон застосування, реалізує лише найпростіші алгоритми й функції, але характеризується винятковою надійністю, виконавчі механізми найкращі (високі потужності, зусилля й швидкість при обмежених розмірах) .

Уніфіковані сигнали ДСП.

Стандартні електричні сигнали .

Струмові сигнали постійного струму: 0...5 мА (найбільш розповсюджений); -5...0...+5 мА; 0...20 мА; 4...20 мА; 0...100 мА.

Сигнали напруги постійного струму: 0...10 В; -10...0...+10 В; 0...24 В; 0...48 В; 0...110 В; 0...220 В.

Сигнали змінного струму: 0...1 В; 0...2 В; 0...220 В; 0...36 В; 0...127 В.

Стандартні пневматичні сигнали: 0,02...0,1 МПа (0,2...1,0 атм).

Стандартні гідравлічні сигнали: 0,01...0,1 МПа.

4. СТРУКТУРА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Структурна схема системи автоматичного регулювання представлена на рис. 4.1.

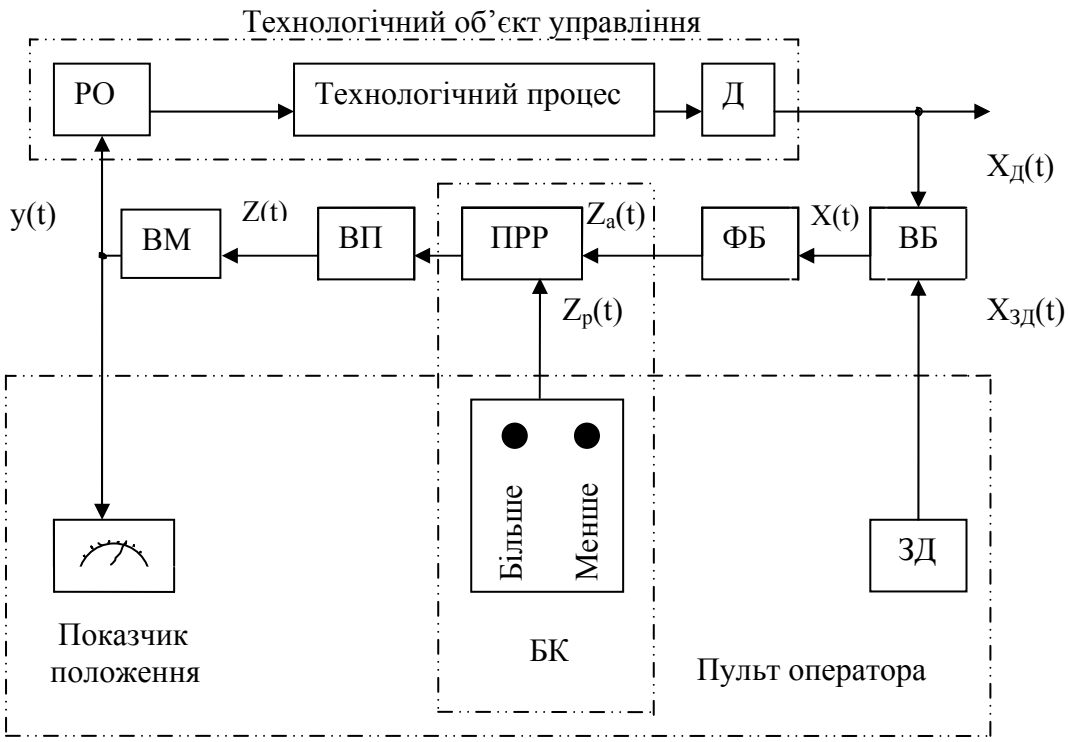


Рис.4.1. Структурна схема САР.

$x_Д(t)$ – сигнал давача.

$x_{ЗД}(t)$ – сигнал задавача.

ЗД – задавач – вводить необхідне значення величини, що регулюється.

ВБ – вимірювальний блок – сприймає та порівнює сигнали давача і задавача, формує сигнал неузгодження $x(t) = x_{ЗД}(t) - x_Д(t)$ і перетворює його в більш зручну форму.

ФБ – формуючий блок – формує необхідний закон регулювання або рівняння регулятора $y(t) = f_P(x(t))$, пов'язує сигнали $x(t)$ і $y(t)$ – переміщення регулювального органу.

$z_A(t)$ – сигнал автоматичного регулювання.

$z_P(t)$ – сигнал ручного регулювання.

ПРР – перемикач режиму роботи системи регулювання і модуль ручного (дистанційного) керування складають блок керування. При автоматичному режимі роботи вплив на об'єкт здійснюється відповідно до закону керування. При ручному керуванні – оператором, за допомогою кнопок дистанційного керування.

ВП – виконавчий підсилювач – підсилює по потужності командний сигнал від ФБ або сигнал ручного керування ($z_A(t)$ або $z_P(t)$), не змінюючи його інформації.

ВМ – виконавчий механізм – реалізує командний сигнал $z(t)$, виробляє регулювальний вплив на регулювальний орган (РО).

На пульті оператора знаходяться органи оперативного керування.

Закони регулювання.

Параметрами регулювання називаються літерні коефіцієнти в законах регулювання, ними є K_P, T_I, $T_Д$.

Закони регулювання:

П-закон: $y(t) = K_P x(t) + y_0$

І-закон: $y(t) = \frac{1}{T_I}\int_0^t x(t) + y_0$

ПІ-закон: $y(t) = K_P\left[x(t) + \frac{1}{T_I}\int_0^t x(t)dt\right] + y_0$

ПД-закон: $y(t) = K_P\left[x(t) + T_Д\frac{dx(t)}{dt}\right] + y_0$

ПІД-закон: $y(t) = K_P\left[x(t) + \frac{1}{T_I}\int_0^t x(t)dt + T_Д\frac{dx(t)}{dt}\right] + y_0$

5. УНІВЕРСАЛЬНІ ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

У результаті створення ДСП, стандартизації конструктивних і технічних рішень з'явилися універсальні технічні засоби автоматизації (ТЗА), які дозволяють, користуючись обмеженим набором пристроїв, методами системної інтеграції, будувати системи регулювання різними технологічними параметрами і з різним рівнем складності.

5.1. Основні вимоги, пред’явлені до універсальних регуляторів

Розглянемо особливості універсальних регуляторів стосовно їх основних конструктивних елементів і виконуваних функцій.

Давач. Вимоги щодо регульованих параметрів: універсальні регулятори повинні мати здатність стабілізувати різні технологічні змінні, тобто мають допускати підключення до них різних давачів (або давачі повинні мати стандартизований уніфікований вихід, або входи регулятора мають сприймати сигнали від різних давачів).

Задавач. Введення в регулятор заданого значення регульованої величини повинно здійснюватися з необхідною точністю і стабільністю. Універсальні регулятори повинні дозволяти здійснювати введення завдання автоматичному регулятору в широкому діапазоні.

Закон регулювання. Універсальні регулятори мають реалізувати будь-який стандартний закон регулювання. При цьому до них пред'являються такі вимоги:

- точність відтворення закону регулювання;
- можливість змінювати параметри регулятора в широкому діапазоні.

Виконавчі пристрої. В універсальних регуляторах повинна розвиватися необхідна потужність для переміщення регулювальних органів. Це досягається

включенням до складу технічних засобів автоматизації проміжних підсилювачів.

Технічні засоби автоматизації повинні дозволяти будувати систему регулювання з розміщенням її елементів на різній відстані один від одного так, щоб задовольнити інтереси обслуговуючого персоналу.

Виконавчі механізми і давачі розташовуються на об'єкті регулювання. Регулятори – на щиті регулювання. Органи оперативного керування, задавачі, покажчики положення розташовуються на пульті або щиті оператора. Можливість дистанційного розподілу легше за все здійснюється в електричних системах регулювання. Менш пристосовані для цього пневматичні засоби. Практично неможливо побудувати розподілену систему за допомогою гідравлічних пристроїв. Більшість універсальних регуляторів має потребу в джерелах додаткової енергії, тому вони повинні бути розраховані на стандартні види енергії.

Надійність. Основною причиною несправності є неправильна експлуатація. Конструктивні способи забезпечення надійності широко застосовуються при розробці сучасних регуляторів (особливо, електричних).

Як відомо з теорії автоматичного управління, робота системи, що використовує інформацію про сигнал неузгодження (тобто принцип регулювання за зворотним зв'язком) дозволяє помітно знизити вимоги до точності елементів системи регулювання в порівнянні з точністю системи контролю і застосувати більш надійні конструктивні рішення.

Задавач. Діапазон дії задавача – це та частина діапазону регульованої змінної, у якій сигнал задавача може компенсувати сигнал давача (рис. 5.1).

$$x(t) = x_{ЗД}(t) - x_{Д}(t)$$

Тангенс кута нахилу прямої до осі абсцис характеризує чутливість задавача.

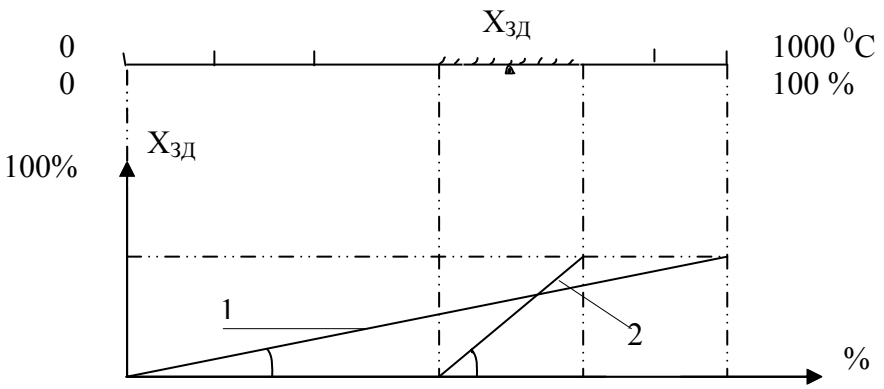


Рис.5.1. Градуювальна характеристика задавача: 1 – 100% задавач, 2 – 20% задавач

Вимірювальний блок.

Призначення вимірювального блоку – сформувати сигнал неузгодження, перетворити його в потрібну форму (рис. 5.2):

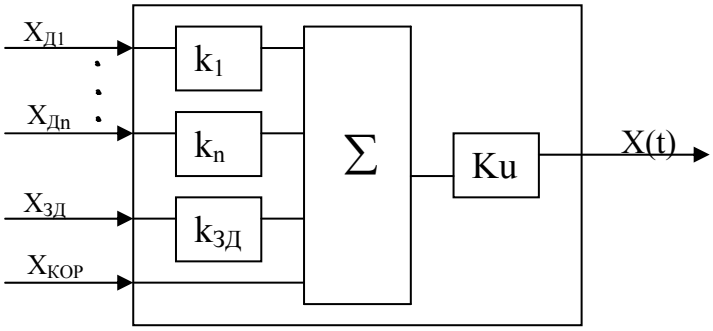


Рис. 5.2. Функціональна схема вимірювального блоку

$$x(t)=\left[\left(x_{ЗД}\cdot k_{ЗД}-x_{КОР}\right)-\sum_i x_{Дi}\cdot k_i\right]\cdot K_u$$

$k_{ЗД}$ — характеризує діапазон дії задавача, $k_{ЗД}$=(0,1…1,0);

$x_{КОР}$ – дозволяє зміщувати діапазон дії задавача;

$\sum_i x_{Дi}\cdot k_i$— сумарний зважений сигнал від декількох давачів;

k_i – масштабуючий коефіцієнт, визначає питому вагу сигналу *i*-го давача, його важливість у спільному сигналі давача.

Формуючий блок. Призначення ФБ – сформувати закон регулювання $y(t)=f_P\left(x(t)\right)$.

Формуючий блок має відповідати наступним вимогам. ФБ повинен забезпечити формування стандартних законів регулювання. Стандартні закони регулювання: нелінійні – 2-, 3-позиційні; лінійні – П, І, ПІ, ПД, ПІД. Формувати командний сигнал із заданим ступенем точності.

У формуючому блоці повинні бути органи, призначені для зміни параметрів настроювання з достатньо високою точністю, у широкому діапазоні, і, бажано, з лінійною градуювальною характеристикою.

Градуювальна характеристика органа настроювання – це залежність у вигляді графіка або таблиці між шкалою цього органа й фізичним значенням параметра настроювання.

Основним засобом отримання необхідних динамічних характеристик у ФБ є використання зворотних зв'язків. ФБ повинен враховувати викривлення сигналу, що виникають у виконавчому механізмі і виконавчому підсилювачі. Формуючий блок найчастіше є самою складною частиною регулятора.

Блок керування. Призначення блоку керування – переключення режимів роботи системи регулювання (ручний/автоматичний режим).

Вимоги: блок керування не повинен вносити ніяких змін у роботу при автоматичному режимі роботи, переключення режимів роботи для об'єкта повинні відбуватися безударно.

Виконавчий підсилювач. Призначення виконавчого підсилювача – підсилити сигнал по потужності до рівня, достатнього для керування виконавчим механізмом, не викрививши інформацію. Посилення сигналу іноді супроводжується зміною форми носія сигналу.

Виконавчий механізм. Призначення виконавчого механізму – перетворити керуючий сигнал у переміщення регулювального органу. Вимоги до виконавчого механізму – надійність, точність, необхідні об'єкту швидкість і зусилля по переміщенню регулювального органу.

Існує три типи ВМ: електричний, пневматичний, гідравлічний.

Значних змін у сформований формуючим блоком сигнал не вносить тільки пневматичний виконавчий механізм, тому що тільки цей тип ВМ є пропорційною ланкою. Гідравлічний виконавчий механізм є інтегральною ланкою. Електричний виконавчий механізм – нелінійна ланка, властивості якої повинні бути враховані у ФБ. Незважаючи на це, частіше за інші використовуються електричні виконавчі механізми, рідше – пневматичні, і тільки в особливих випадках – гідравлічні, це пов'язано зі зручністю використання того або іншого виду енергії.

Регулювальний орган. Його призначення – зміна витрати речовини або енергії в об'єкт керування. Розрізняють дросельні, які за рахунок зміни опору змінюють витрату, та дозуючі РО, які працюють за рахунок виробітку агрегатів (насосів, дозаторів, живителів та ін.). Бажано, щоб вони мали стабільні та лінійні статичні характеристики.

5.2.Способи уведення вхідного сигналу в регулятор

Викорисовуються такі способи введення вхідного сигналу в регулятор: приладовий, апаратний і агрегатний.

5.2.1. Приладовий спосіб уведення вхідного сигналу

Універсальні регулятори повинні допускати підключення до них різних давачів. Виконання цієї вимоги досягається за рахунок застосування додаткового давача–перетворювача, що механічно зв'язаний зі стрілкою вимірювального приладу й має на виході уніфікований сигнал (рис. 5.3).

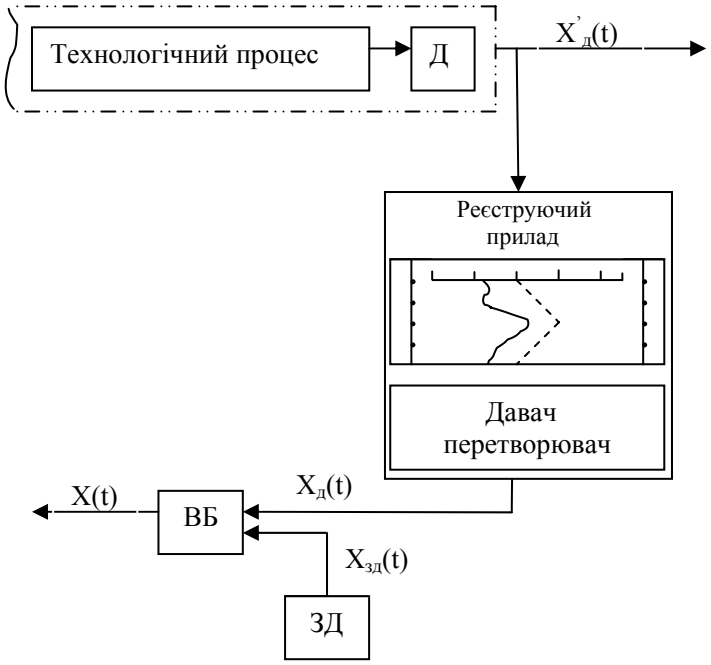


Рис. 5.3. Схема приладового уведення сигналу давача в регулятор з виносним задавачем.

Ще один варіант рішення передбачає виконання давача-перетворювача і задавача в корпусі реєструючого приладу (рис. 5.4). Таке рішення не потребує додаткових первинних перетворювачів і ліній зв'язку від них до регулятора, але при застосуванні приладового способу в контур регулювання включається реєструючий прилад, рівень складності якого порівняний зі складністю регулятора, до того ж цей прилад вимагає постійного обслуговування, і тим самим погіршується надійність роботи всієї системи.

Рис.5.4. Схема приладового уведення сигналу давача в регулятор із вбудованим задавачем.

5.2.2. Апаратний спосіб уведення вхідного сигналу

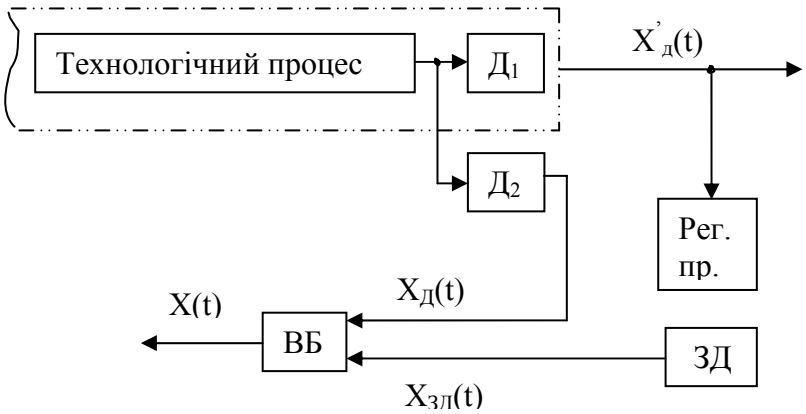


Рис. 5.5. Схема апаратного уведення сигналу давача в регулятор.

Дана конструкція більш надійна, ніж попередня.

$Д_1$ – високоточний давач, що відповідає вимогам вимірювання, з'єднаний із реєструючим приладом РП.

$Д_2$ служить для подачі сигналу $x_{Д2}$ у регулятор. Давач $Д_2$ – більш дешевий, тому що вимоги до точності системи регулювання не такі високі, як до системи контролю, а це значить, що можна застосувати більш дешеві і більш надійні конструкції.

Універсальність забезпечується використанням різних ВБ.

5.2.3. Агрегатний спосіб уведення вхідного сигналу

Побудову системи регулювання засновано на тій самій схемі, що й апаратний спосіб введення вхідного сигналу, але, відповідно до принципів агрегування, всі пристрої обмінюються тільки уніфікованими сигналами (рис. 5.6).

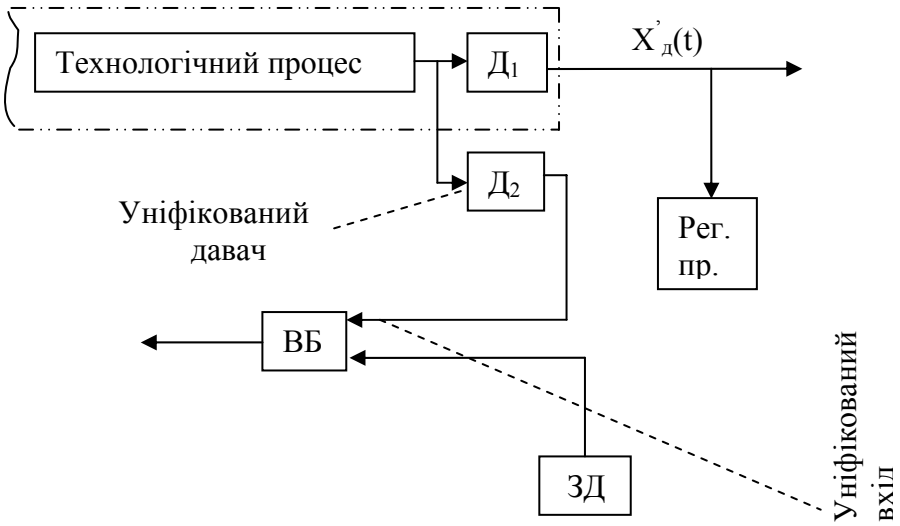


Рис. 5.6. Схема агрегатного введення сигналу давача в регулятор.

6. ЗАКОНИ РЕГУЛЮВАННЯ

Законом регулювання називається математичне співвідношення, що визначає зв'язок між вхідною величиною регулятора, якою найчастіше є сигнал неузгодження $x(t) = x_{ЗД}(t) - x_{Д}(t)$, і вихідною величиною $y(t)$, звичайно, це переміщення регулювального органу. У виразах законів регулювання присутні змінні величини – $x(t)$ і $y(t)$, а також постійні коефіцієнти – параметри закону регулювання.

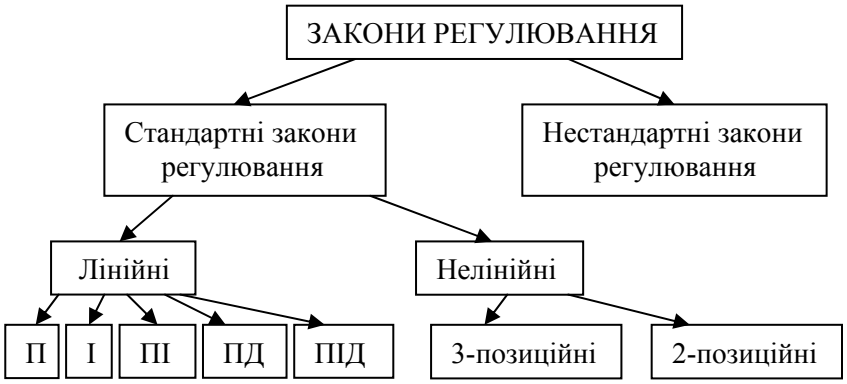


Рис. 6.1. Закони регулювання.

6.1.Стандартні нелінійні закони регулювання

Нелінійні закони регулювання можуть бути досить різноманітними, але в стандартних регуляторах звичайно застосовують 2- і 3-позиційні закони регулювання (рис. 6.2, 6.3).

Загальний вигляд запису 2- позиційного закону регулювання: $y = \begin{cases} C_1, x \geq 0 \\ C_2, x < 0 \end{cases}$

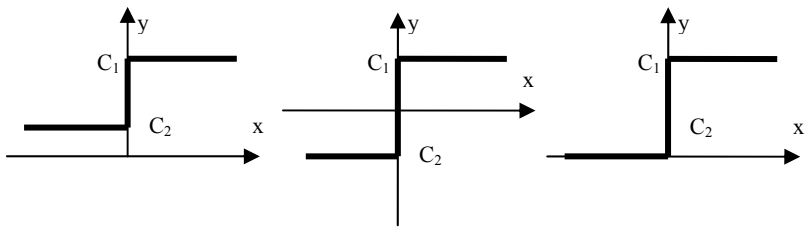


Рис. 6.2. Приклади двопозиційних законів регулювання.

Величина керуючого впливу характеризується C_1 і C_2.

Приклади пристроїв, що працюють по двопозиційному закону регулювання: холодильник, праска, кондиціонер. Недолік даного закону – постійні коливання регульованої величини навколо заданого значення.

Загальний вигляд запису трипозиційного закону регулювання:

$$y = \begin{cases} C_1, x < \Delta_1 \\ C_2, \Delta_1 \leq x \leq \Delta_2 \\ C_2, x > \Delta_2 \end{cases}$$

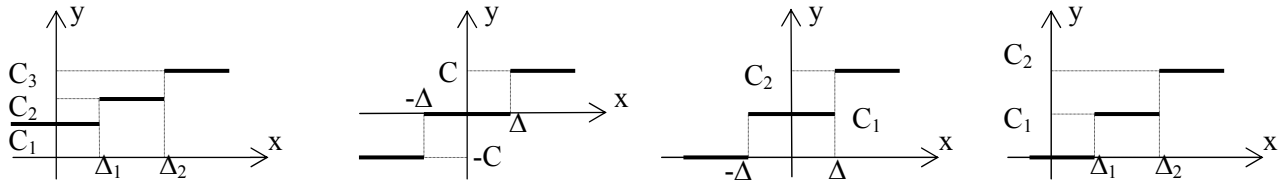


Рис. 6.3. Приклади трипозиційних законів регулювання.

6.2. Стандартні лінійні закони регулювання

Загальний запис стандартного лінійного закону регулювання є відомий пропорційно-інтегрально-диференційний закон :

$$y(t) = C_1 \cdot x(t) + C_2 \cdot \int_0^t x(t)dt + C_3 \cdot \frac{dx(t)}{dt} + y_0 \qquad (6.1)\ .$$

Лінійність полягає в тому, що змінна $x(t)$, її похідна й інтеграл входять у рівняння закону тільки в перших ступенях. Його окремі випадки: П-, І-, ПІ-, ПД-закон.

Коефіцієнти C_1, C_2, C_3 показують питому вагу кожної зі складових. Перша складова використовується самостійно в тому випадку, коли необхідна тільки стійкість системи. Друга складова усуває статичну помилку, що виникає при використанні пропорційного регулятора, але при цьому час перехідних процесів збільшується. Третя складова випереджає реакцію на відхилення регульованої змінної з огляду на швидкість зміни сигналу відхилення, тобто поліпшує властивості регулятора при реакції на швидкомінливі сигнали.

Змінюючи співвідношення між C_1, C_2 і C_3 можна навдавати регулятору ті або інші властивості, так щоб задовольнити вимогам якості регулювання більшості промислових об'єктів.

6.2.1. Пропорційний закон регулювання

Дослідимо просту систему регулювання рівня рідини в баці (рис. 6.4).

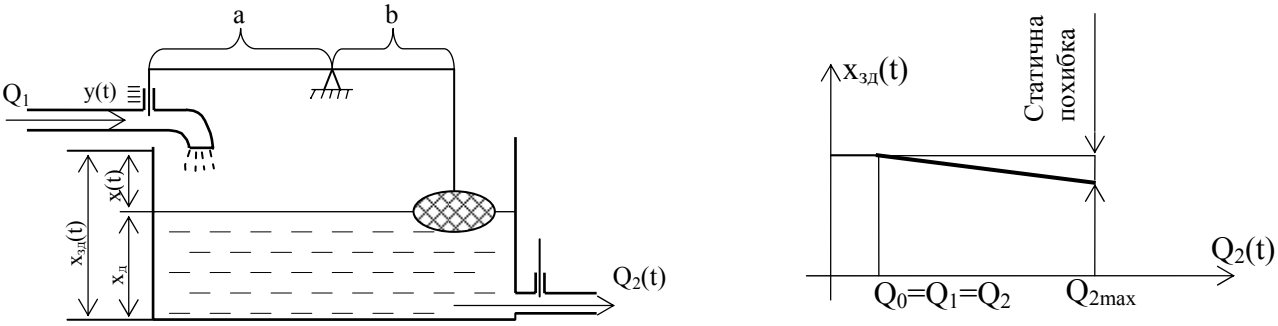


Рис. 6.4. Система регулювання рівня.

Розглянемо початковий статичний режим, коли $x_Д(t) = x_{ЗД}(t)$, $x(t) = 0$, $Q_1(t) = Q_2(t)$. При збільшенні $Q_2(t)$ зростає $Q_1(t)$, це відбувається доти, поки $Q_1(t)$ і $Q_2(t)$ не стануть рівними і знову наступить рівновага. Але при цьому нове стале значення $x_Д(t)$ не дорівнює заданому, а визначається величиною $y(t)$, що залежить від нового значення $Q_1(t)$.

Закон регулювання: $y(t) = -\frac{a}{b} \cdot x(t) = -K_P \cdot x(t)$. Далі помітимо, що об'єкт керування охоплюється від'ємним зворотним зв'язком, і в рівнянні регулятора знак «-» за замовчуванням будемо опускати, тобто $y(t) = \frac{a}{b} \cdot x(t) = K_P \cdot x(t)$.

Пропорційний регулятор забезпечує простий швидкодіючий процес регулювання системи, але дає статичну помилку. Цю помилку можна зменшити за рахунок підвищення K_P, але не можна усунути остаточно, залишаючись у рамках пропорційного закону. На об'єктах з невисокими вимогами точності цього може бути досить, але треба враховувати, що підвищення K_P знижує запас стійкості. З цього випливає, що розрахунок настроювань регулятора ґрунтується на компромісі між точністю і стійкістю. Пропорційні регулятори здійснюють досить стійке регулювання.

$C_1 \neq 0$, $C_2 = C_3 = 0$ в рівнянні (6.1) дають

$$y(t) = K_P \cdot x(t) + y_0 \text{, де } [K_P] = \frac{\%\ ходу\ \text{ВМ}}{[x_Д]},\ [x] = [x_Д], \qquad [y] = \%\ ходу\ \text{ВМ},$$

Інші характеристики:

$$W(p) = K_P,$$

$$p = j\omega \ \Rightarrow\ W(j\omega) = K_P,\ 0 \le \omega < \infty$$

$$W(j\omega) = A(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)} = K_P \cdot 1 = K_P \cdot e^{j \cdot 0},$$

$$A(\omega) = K_P,\quad \varphi(\omega) = 0,$$

$$h(t) = K_P \cdot 1\{t\} + y_0.$$

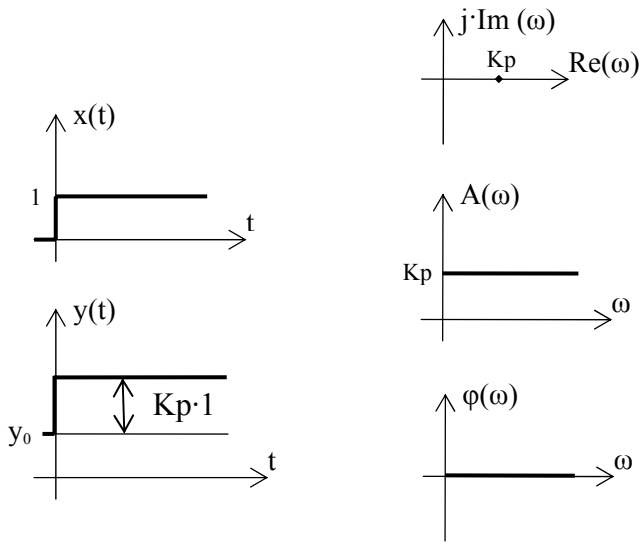


Рис. 6.5. Часові і частотні характеристики П-регулятора.

6.2.2. Інтегральний закон регулювання

Інтегральний закон регулювання характеризується відсутністю статичної помилки в системі регулювання і випливає з рівняння (6.1) при C_1=C_3=0, $C_2 \neq 0$.

$$y(t) = K_I \int_0^t x(t)dt + y_0 = \frac{1}{T_I}\int_0^t x(t)dt + y_0 \ ,$$

де: $[x] = [x_Д]$, $[y] = \%\ ходу$ ВМ, $[K_I] = \dfrac{\%\ ходу\ \text{ВМ}}{[x_Д]\cdot c}$, $W(p) = \dfrac{1}{T_I p}$,

$$p = j\cdot\varpi \Rightarrow W(j\varpi) = \frac{1}{jT_I\varpi} = -j\frac{1}{T_I\varpi} = \frac{1}{T_I\varpi}\cdot e^{-\pi/2}$$

$$W(j\omega) = \frac{1}{T_I\omega},\ A(\omega) = \frac{1}{T_I\omega},\ \varphi(\omega) = -\frac{\pi}{2},$$

$$h(t) = \frac{t}{T_I} + y_0 .$$

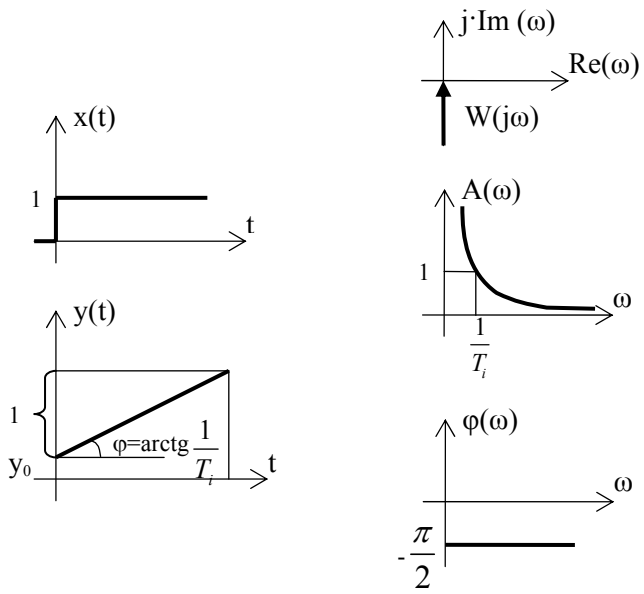


Рис. 6.6. Часові і частотні характеристики І-регулятора.

На різних частотах посилення різне: при малих частотах посилення прямує до нескінченності, що забезпечує відсутність статичної похибки, при високих – до нуля. Інтегральний регулятор на кожній частоті дає затримку

реакції на півперіод, що приводить до більш затягнутих перехідних процесів у системі. До того ж, як відомо з теорії, разом із астатичним об'єктом він дає структурно нестійку систему.

6.2.3. Пропорційно-інтегральний закон регулювання

C_3=0; C_1,C_2 ≠0 в рівнянні (6.1) дають

$$y(t) = K_P\left(x(t) + \frac{1}{T_I}\int_0^t x(t)dt\right) + y_0 \text{ , де } [K_P] = \frac{\%\ ходу\ \text{ВМ}}{[x_Д]},\ [T_I] = \text{с},$$

Характеристики:

$$W(p) = K_P\left(1 + \frac{1}{T_I p}\right),$$

$$W(j\omega) = K_P + \frac{K_P}{T_I j\omega} = K_P - j\frac{K_P}{T_I\omega} = \frac{K_P}{T_I\omega}\sqrt{T_I^2\cdot\omega^2 + 1}\cdot e^{-j\cdot arctg(1/T_I\omega)} \quad ,$$

$$A(\omega) = K_P\sqrt{1 + \frac{1}{T_I^2\omega^2}}\ ,\ \varphi(\omega) = arctg\frac{1}{T_I\omega},$$

$$h(t) = K_P\left[1\{t\} + \frac{t}{T_I}\right] + y_0 .$$

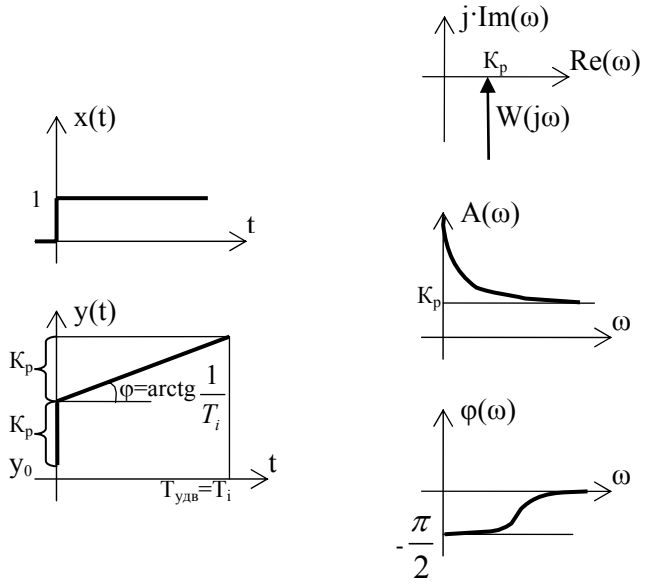


Рис. 6.7. Часові і частотні характеристики ПІ-регулятора.

T_I – час інтегрування (подвоєння) – це час, протягом якого інтегральна складова змінить вихідну величину $y(t)$ настільки, наскільки змінила її перед цим пропорційна складова. Час подвоєння служить мірою інтенсивності інтегральної частини.

Пропорційно-інтегральний закон регулювання – найпоширеніший, тому що він поєднує в собі кращі властивості пропорційного й інтегрального законів, але на деяких об'єктах ПІ-закон не забезпечує достатньої швидкості.

6.2.4. Пропорційно-диференційний закон регулювання

В рівнянні (6.1) приймається $C_1, C_3 \neq 0$; $C_2=0$

$y(t) = K_P\left(x(t) + T_Д \dfrac{dx(t)}{dt}\right) + y_0$, де: $[K_P] = \dfrac{\%\ ходу\ ВМ}{[x_Д]}$, $[T_Д]$=с

Характеристики:

$$W(p) = K_P(1 + T_Д p)$$

$$W(j\omega) = K_P + j\omega \cdot K_P \cdot T_Д$$

$$W(j\omega) = K_P\sqrt{1 + T_Д^2\omega^2} \cdot e^{-j \cdot arctg T_Д \omega},$$

$$A(\omega) = K_P\sqrt{1 + T_Д^2\omega^2},\ \varphi(\omega) = arctg(T_Д \cdot \omega),$$

$$h(t) = K_P \cdot 1\{t\} + K_P \cdot T_Д \cdot \delta(t) + y_0.$$

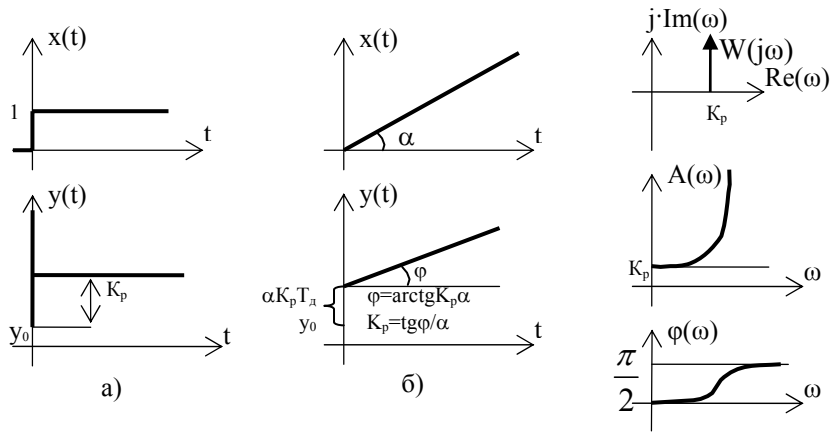


Рис. 6.8. Часові і частотні характеристики ПД – регулятора.

а – при впливі на вхід регулятора східчастого сигналу; *б* – при лінійно-зростаючому .

$T_Д$ – час диференціювання (випередження) чисельно виражає частку диференційної складової в законі регулювання. Диференційна складова інтенсифікує реакцію на швидкі зміни в технологічному процесі, а на повільні збурювання з малою частотою діє слабко.

6.2.5. Пропорційно-інтегрально-диференційний закон регулювання

$$y(t) = K_P\left(x(t) + \frac{1}{T_I}\int_0^t x(t)dt + T_Д\frac{dx(t)}{dt}\right) + y_0$$, де $[K_P] = \frac{\%\ ходу\ \text{ВМ}}{[x_Д]}$, $[T_Д]$=с, $[T_I]$=с.

Характеристики:

$$W(p) = K_P\left(1 + \frac{1}{T_I p} + T_Д p\right)$$

$$W(j\omega) = K_P\sqrt{1 + \left(\frac{1}{T_I\cdot\omega} - T_Д\cdot\omega\right)^2}\cdot e^{-j\cdot arctg\left(\frac{1}{T_I\cdot\omega} - T_Д\cdot\omega\right)}$$

$$A(\omega) = K_P\sqrt{1 + \left(\frac{1}{T_I\cdot\omega} - T_Д\cdot\omega\right)^2},\ \varphi(\omega) = arctg\left(\frac{1}{T_I\cdot\omega} - T_Д\cdot\omega\right)$$

$$h(t) = K_P\cdot 1\{t\} + \frac{K_P}{T_I}t + T_Д K_P\delta(t) + y_0$$

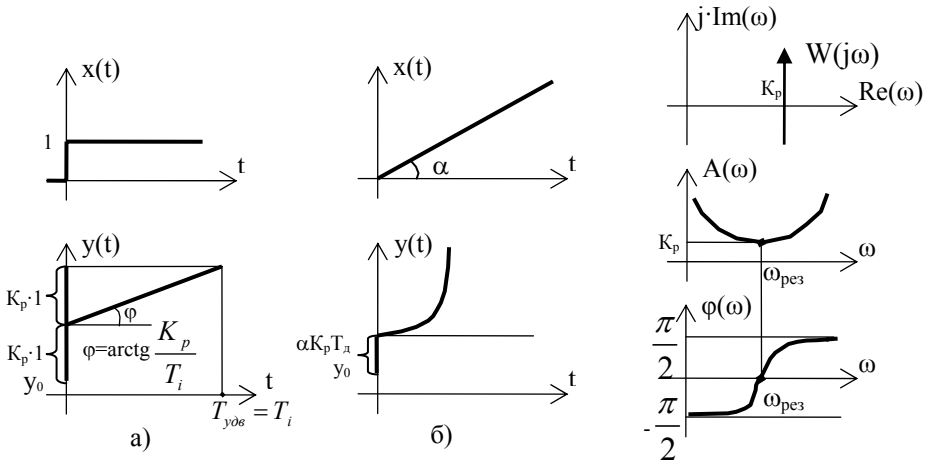


Рис. 6.9. Часові і частотні характеристики ПІД – регулятора.

а – при впливі на вхід регулятора східчастого сигналу; *б* – при лінійно-зростаючому .

ПІД-закон регулювання має найбільшу гнучкість і може задовольнити вимоги до якості регулювання на більшості реальних об'єктів.

7. ВЛАСТИВОСТІ ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ І ЇХ ВРАХУВАННЯ ПРИ ФОРМУВАННІ ЗАКОНІВ РЕГУЛЮВАННЯ

7.1. Пневматичний виконавчий механізм

Пневматичний виконавчий механізм (рис. 7.1) являє собою пропорційну ланку:

$$y(t) = K_{BM} \cdot z(t).$$

Вхідна величина такого виконавчого механізму – тиск, вихідна – переміщення штоку і клапану. Пружина забезпечує лінійні властивості в широкому діапазоні переміщень.

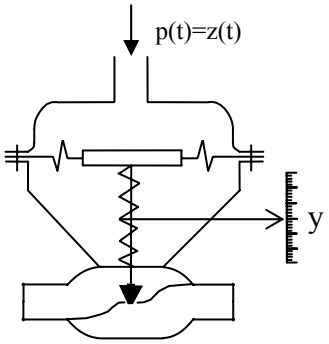


Рис. 7.1. Пневматичний ВМ.

7.2. Гідравлічний виконавчий механізм

Гідравлічний виконавчий механізм (рис. 7.2) являє собою інтегральну ланку: $y(t) = K_{BM} \int_0^t z(t)dt$.

Вхідна величина гідравлічного виконавчого механізму – різниця тисків, вихідна — переміщення поршня.

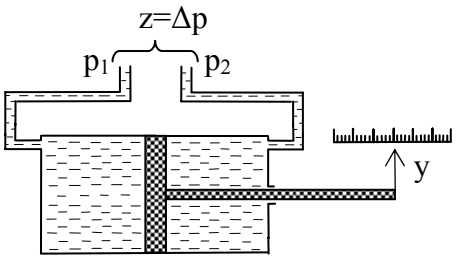


Рис. 7.2. Гідравлічний ВМ.

Такі виконавчі механізми найчастіше застосовуються в системах, де потрібні висока надійність і великі зусилля.

7.3. Електричний виконавчий механізм

Електричний виконавчий механізм (рис. 7.3) будується на базі асинхронного електродвигуна, що живиться змінним струмом. До основних переваг даного виконавчого механізму можна віднести надійність і зручність, використання електрики для живлення. Недоліками електричного ВМ є його нелінійність і стала швидкість обертання електродвигуна.

$$y' = \begin{cases} +const, z > 0 \\ 0, z = 0 \\ -const, z < 0 \end{cases}$$

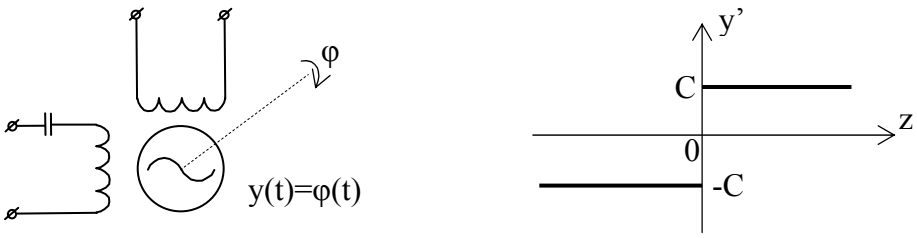


Рис. 7.3. Електричний ВМ та його характеристики.

Керування виконавчим механізмом сталої швидкості здійснюють імпульсним методом (електричними імпульсами змінного струму). Таким чином, електричний ВМ наближають до лінійної (інтегральної) ланки,

використовуючи як корисну інформацію шпаруватість – відношення часу імпульсу до суми часу імпульсу і паузи: $\gamma(t) = \dfrac{t_i}{t_i + t_n}$.

Змінюючи відстань між імпульсами і їхню тривалість, одержуємо різну середню швидкість виконавчого механізму. Реверсування двигуна здійснюється за рахунок зміни фаз.

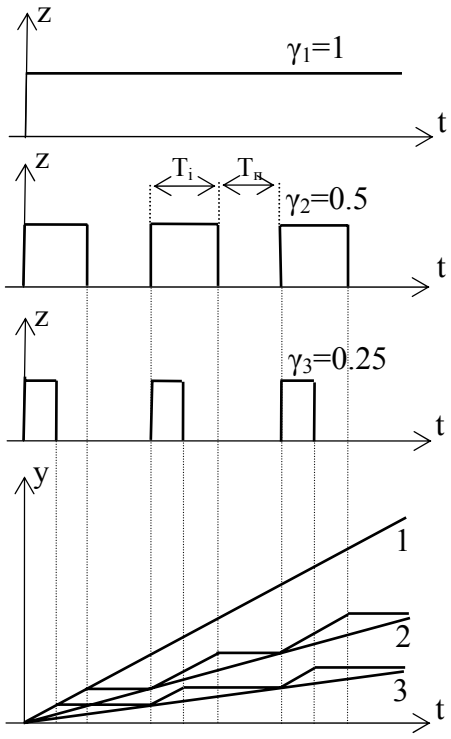


Рис. 7.4. Імпульсний спосіб керування швидкістю ВМ сталої швидкості

Існують два способи модуляції сигналу $z(t)$, які призводять до зміни величини шпаруватості і придатні для керування виконавчим механізмом:

1. *Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ).* У цьому випадку фіксується сума $t_i + t_n$, для зміни шпаруватості змінюють t_i.

2. *Часо-імпульсна модуляція (ЧІМ).* При цьому способі задаються постійною тривалістю імпульсу t_i, змінюючи t_n.

Ми можемо керувати середньою швидкістю виконавчого механізму в межах від 0 до y'_{MAX}, причому y'_{MAX} залежить тільки від конструкції виконавчого механізму.

Частотний діапазон, у якому ВМ доводиться працювати при регулюванні теплоенергетичних об'єктів знаходиться в межах від 0 до 10 c^{-1}, і саме тут важлива близькість його властивостей до бажаних лінійних. Таким чином, у середньому ВМ можна описувати рівнянням інтегральної ланки: $y_{cp}' = \frac{1}{T_{BM}} \int \gamma(t) dt$.

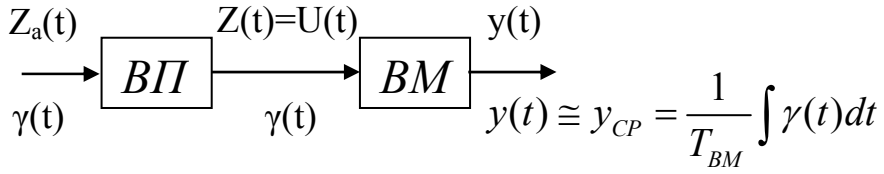


Рис. 7.5. Структурна схема виконавчої частини регулятора

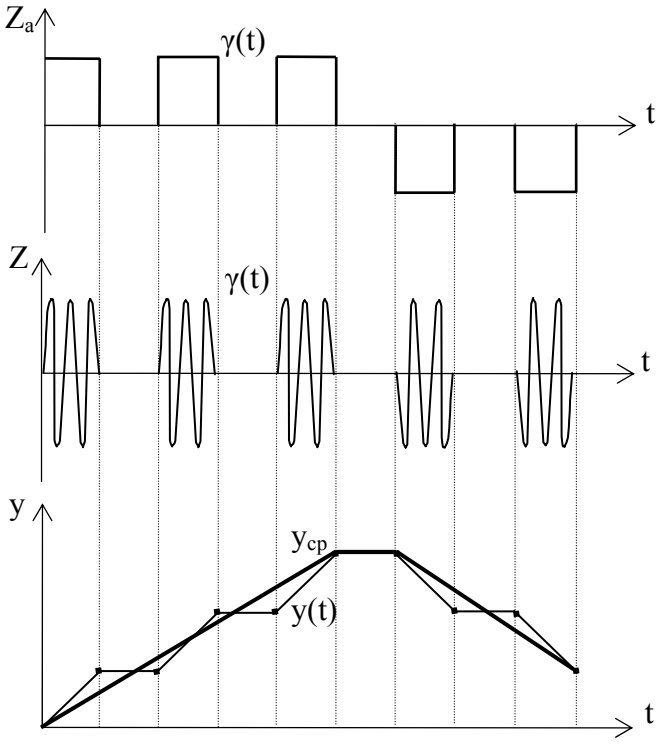


Рис. 7.6. Модуляція командного сигналу $z(t)$ у виконавчому підсилювачі

8. СПОСОБИ ФОРМУВАННЯ СТАНДАРТНИХ ЗАКОНІВ РЕГУЛЮВАННЯ

8.1. Основні засоби формування стандартних законів регулювання

Основний спосіб формування законів регулювання – застосування у формуючому блоці зворотних зв'язків (формуючих і коригувальних). При використанні формуючих зворотних зв'язків (рис. 8.1), коли охоплюється кілька структурних елементів, на цій ділянці одразу отримуємо необхідну передатну функцію. Коригувальний зворотний зв'язок, що охоплює один елемент, використовують для надання йому бажаних динамічних властивостей. Іноді корекцію використовують для ослаблення впливу нелінійних властивостей окремих елементів, наприклад, релейних підсилювачів. Крім зворотних зв'язків, для одержання бажаних законів регулювання, використовуються відповідні динамічні властивості конструктивних елементів регуляторів.

$$W_P(p) = \frac{W_П(p) \cdot W_{ВМ}(p)}{1 + W_П(p) \cdot W_{ВМ}(p) \cdot W_{ЗЗ}(p)}$$

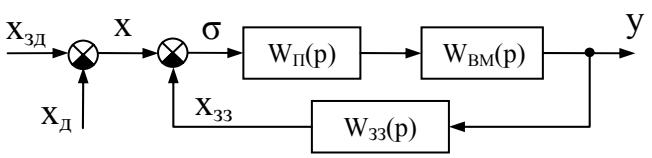


Рис. 8.1. Схема формуючого зворотного зв'язку.

Якщо $W_П(p) \to \infty$, то $W_П(p) \cdot W_{ВМ}(p) \cdot W_{ЗЗ}(p) >> 1$, тобто одиницею в знаменнику можна знехтувати. Тоді $W(p) = \frac{1}{W_{ЗЗ}(p)}$. На цьому співвідношенні базується використання ланцюга зворотного зв'язку як формуючого елементу.

Якщо необхідно, щоб виконавчий механізм був пропорційною ланкою з $K_Р$=1 (рис.8.2), то беруть $W_{КЗЗ}(p)=1$. При малому $Т_{ВМ}$ одержуємо: $W_{ВМ}(p)=\frac{\frac{1}{T_{ВМ}\cdot p}}{1+\frac{1}{T_{ВМ}\cdot p}}\to 1$.

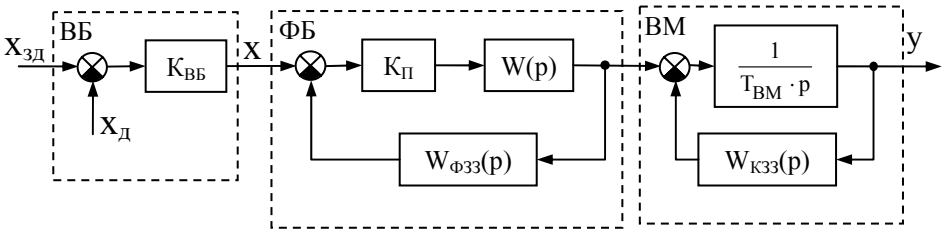


Рис. 8.2. Застосування ФЗЗ і КЗЗ у структурі регулятора.

Часто в складі регуляторів використовують релейний підсилювач, властивості якого бажано наблизити до лінійного. Це можливо при застосуванні схеми, де зворотний зв'язок охоплює підсилювальні елементи, як показано на рис. 8.3.

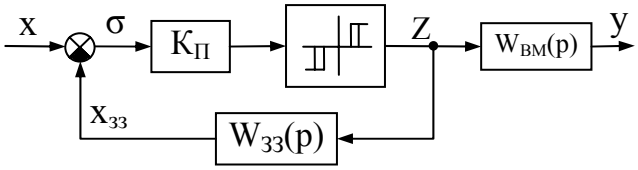


Рис. 8.3. Застосування ЗЗ у регуляторах з імпульсним вихідним сигналом.

При правильному підборі зворотного зв'язку $x_{зз}$ повинний бути близький до x, тобто зворотний зв'язок повинен компенсувати помилку протягом тривалого часу, тоді $W(p)=\frac{Z(p)}{X(p)}\approx\frac{Z(p)}{X_{зз}(p)}=\frac{1}{W_{зз}(p)}$. При такій побудові усунуті шкідливі властивості нелінійного ланцюга, передатна функція між x і z визначається зворотним зв'язком. Режим роботи, коли $x\approx x_{зз}$, називається ковзним режимом роботи.

8.2. Способи формування пропорційного закону

8.2.1. 1-й спосіб формування пропорційного закону

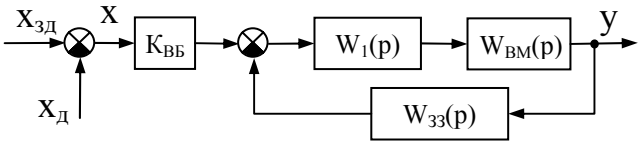


Рис. 8.4. 1-а структурна схема формування П-закону.

$$W_P(p) = K_{ВБ} \cdot \frac{W_1(p) \cdot W_{ВМ}(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_{ВМ}(p) \cdot K_{ЗЗ}} \cong \frac{K_{ВБ}}{K_{ЗЗ}} = K_P \ .$$

Висновки:

- схема реалізує пропорційний закон регулювання;
- ступінь точності реалізації залежить від величини K_1;
- орган настроювання K_P розташований у формуючому зворотному зв'язку. Градуювальна характеристика органу настроювання – гіперболічна.

8.2.2. 2-й спосіб формування пропорційного закону

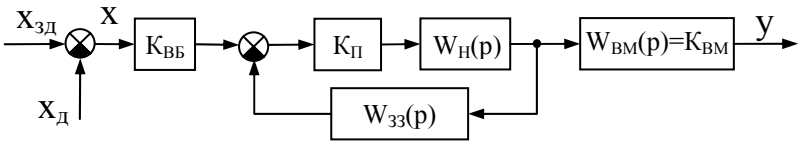


Рис. 8.5. 2-а структурна схема формування П-закону.

$$W_P(p) = K_{ВБ} \cdot K_{ФБ} \cdot K_{ВМ} \ , \ K_{ФБ} = \frac{K_П \cdot W_Н}{1 + K_П \cdot K_{ЗЗ} \cdot W_Н} \cong \frac{1}{K_{ЗЗ}}$$

Висновки:

- схема реалізує пропорційний закон регулювання;

- ступінь точності реалізації залежить від величини $K_П$;

- орган настроювання розташований у формуючому блоці (у модулі зворотного зв'язку). Градуювальна характеристика – нелінійна (наближена до обернено пропорційної).

8.3. Способи формування інтегрального закону

8.3.1. 1-й спосіб формування інтегрального закону

$$W_P(p) = \frac{K_{ВМ}}{T_I^* \cdot p} = \frac{1}{T_I \cdot p} \quad .$$

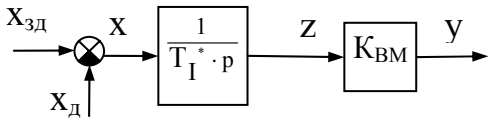


Рис.8.6. 1-а структурна схема одержання І-закону.

Висновки:

- схема реалізує інтегральний закон регулювання;

- градуювальна характеристика органу настроювання T_I – лінійна.

8.3.2. 2-й спосіб формування інтегрального закону.

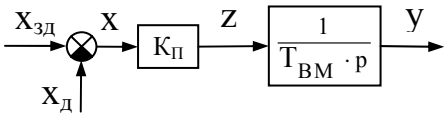


Рис. 8.7. 2-а структурна схема формування І-закону.

$$W_P(p) = \frac{K_П}{T_{ВМ} \cdot p} = \frac{1}{T_I \cdot p}$$

Висновки:

- схема реалізує інтегральний закон регулювання;

- параметр настроювання T_I визначається властивостями виконавчого механізму $T_{ВМ}$ і підсилювача $K_П$, де і розташований орган настроювання.

8.4. Формування пропорційно-інтегрального закону

8.4.1. 1-й спосіб формування пропорційно-інтегрального закону

Пропорційно-інтегральний закон регулювання – найбільш розповсюджений закон, який може задовольнити вимоги більшості об'єктів регулювання.

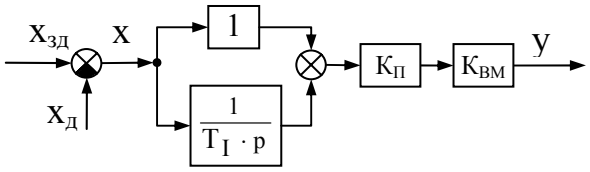


Рис. 8.8. 1-а структурна схема формування ПІ-закону.

$$W_P(p) = \left(1 + \frac{1}{T_1 \cdot p}\right) \cdot K_П \cdot K_{ВМ} = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_I \cdot p}\right); \quad K_P = K_П \cdot K_{ВМ}\ ,\ T_I = T_1 .$$

Висновки:

- наведена структурна схема з великою точністю реалізує пропорційно-інтегральний закон;

- органи настроювання – $K_П$ і T_1, градуювальні характеристики органів настроювання – лінійні.

8.4.2. 2-й спосіб формування пропорційно-інтегрального закону

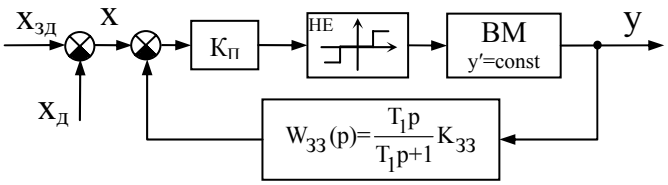


Рис. 8.9. 2-а структурна схема формування ПІ-закону.

$$W_P(p) = \frac{K_П \cdot W_{НЕ} \cdot \frac{1}{T_{ВМ} \cdot p}}{1 + K_П \cdot W_{НЕ} \cdot \frac{1}{T_{ВМ} \cdot p} \cdot K_{ЗЗ} \cdot \frac{T_1 \cdot p}{T_1 \cdot p + 1}} \cong \frac{1}{K_{ЗЗ}} \frac{T_1 \cdot p + 1}{T_1 \cdot p} = K_P \cdot (1 + \frac{1}{T_I \cdot p})$$

де: $K_P = \frac{1}{K_{ЗЗ}}$, $T_I = T_1$.

Висновки:

- ця схема дозволяє з досить високою точністю одержати пропорційно-інтегральний закон регулювання;

- ступінь точності залежить від вибору величини $K_П$.

Недолік схеми полягає в тому, що зворотним зв'язком охоплюється виконавчий механізм, у якому необхідний давач зворотного зв'язку. Це менш надійне рішення. Градуювальні характеристики органів настроювання: K_P – гіперболічна, T_I – лінійна.

8.4.3. 3-й спосіб формування пропорційно-інтегрального закону

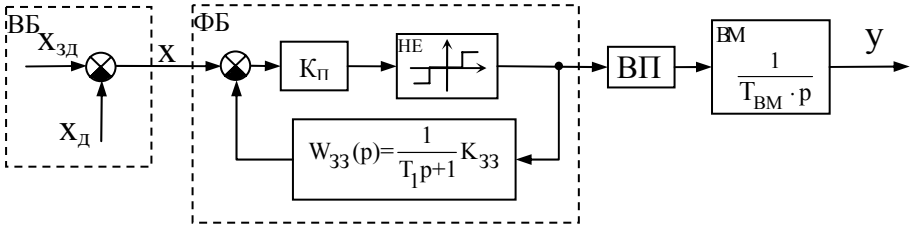


Рис. 8.10. 3-я структурна схема формування ПІ-закону

$$W_P(p)=\frac{K_П\cdot W_{НЕ}}{1+K_П\cdot W_{НЕ}\cdot\frac{1}{T_1\cdot p+1}}\cdot\frac{1\cdot T_1}{T_{ВМ}\cdot p\cdot T_1}\cong K_P\frac{T_I\cdot p+1}{T_I\cdot p}\text{, де } T_I=T_1,\ K_P=\frac{T_1}{T_{ВМ}\cdot K_{ЗЗ}}\ .$$

Висновки:

- дана схема дозволяє з заданою точністю реалізувати пропорційно-інтегральний закон регулювання;

- ступінь точності реалізації залежить від величини $K_П$ у прямому каналі;

- органи настроювання розташовуються у формуючому зворотному зв'язку. Органи настроювання взаємозалежні (тобто $K_P=f(T_I)$), градуювальна характеристика K_P – нелінійна, T_I – лінійна.

8.4.4. 4-й спосіб формування пропорційно-інтегрального закону

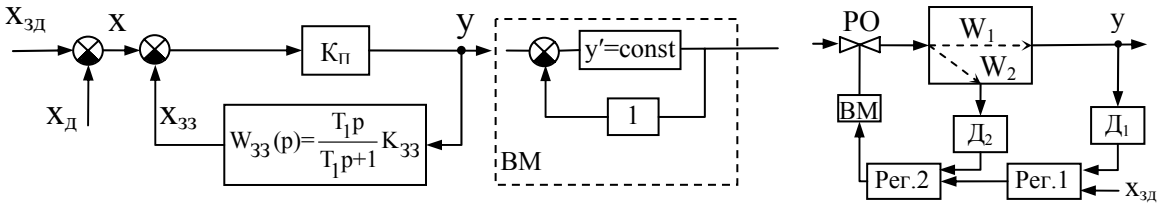


Рис. 8.11. 4-а структурна схема формування ПІ-закону.

Спосіб реалізується в регуляторах з неперервним вихідним сигналом. Крім того, подібні регулятори застосовуються як коригувальні у двоконтурних системах на об'єктах з великою інерційністю, де постійні часу в передатній функції W_2 для проміжної змінної значно менші, ніж постійні часу в W_1 для основної змінної.

$$W_P(p) = \frac{K_П}{1 + K_П \cdot K_{ЗЗ} \cdot \frac{T_1 \cdot p}{T_1 \cdot p + 1}} \cong K_P \cdot \frac{T_I \cdot p + 1}{T_I \cdot p}, \text{ де } T_I = T_1 \text{ , } K_P = \frac{1}{K_{ЗЗ}}.$$

Висновки:

- дана схема дозволяє з необхідною точністю реалізувати пропорційно-інтегральний закон регулювання;

- ступінь точності реалізації залежить від величини $K_П$;

- органи настроювання розташовуються у формуючому зворотному зв'язку. Градуювальна характеристика K_P – гіперболічна, T_I – лінійна.

8.5. Способи формування пропорційно-інтегрально-диференційного закону.

8.5.1. 1-й спосіб формування пропорційно-інтегрально-диференційного закону

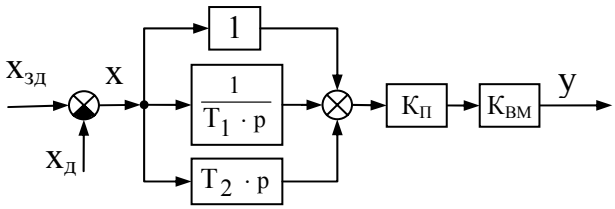


Рис. 8.12. 1-а структурна схема формування ПІД-закону.

$$W_P(p) = \left(1 + \frac{1}{T_1 \cdot p} + T_2 \cdot p\right) \cdot K_П \cdot K_{ВМ} = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_I \cdot p} + T_Д \cdot p\right)$$

Висновки:

- дана схема реалізує пропорційно-інтегрально-диференційний закон регулювання;

- органи настроювання — незалежні, градуювальні характеристики лінійні.

8.5.2. 2-й спосіб формування пропорційно-інтегрально-диференційного закону

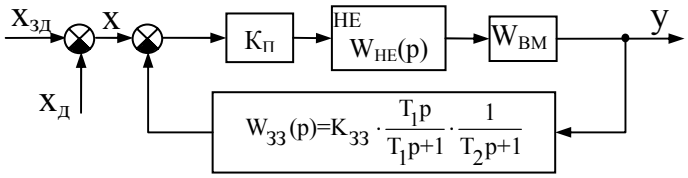


Рис. 8.13. 2-а структурна схема формування ПІД-закону.

$$W_P(p) = \frac{K_П \cdot W_{HE}(p) \cdot W_{BM}}{1 + K_П \cdot W_{HE}(p) \cdot W_{BM} \cdot K_{ЗЗ} \cdot \frac{T_1 \cdot p}{T_1 \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{T_2 \cdot p + 1}} \cong \frac{T_1 + T_2}{T_1 + T_2} \cdot \frac{T_1 \cdot T_2 \cdot p^2 + (T_1 + T_2) \cdot p + 1}{K_{ЗЗ} \cdot T_1 \cdot p} =$$

$$= K_P \frac{T_1 \cdot T_2 \cdot p^2 + (T_1 + T_2) \cdot p + 1}{(T_1 + T_2) \cdot p} = K_P \cdot \frac{T_I \cdot T_Д \cdot p^2 + T_I \cdot p + 1}{T_I \cdot p} = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_I \cdot p} + T_Д \cdot p\right),$$

де: $K_P = \frac{T_1 + T_2}{T_1 \cdot K_{ЗЗ}}$, $T_I = T_1 + T_2$, $T_Д = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_1 + T_2}$.

Висновки:

- схема дозволяє одержати пропорційно-інтегрально-диференційний закон регулювання з необхідною точністю;

- ступінь точності залежить від величини $K_П$.

Серед позитивних якостей схеми можна відзначити те, що всі органи настроювання знаходяться в зворотному зв'язку. Негативною рисою є те, що всі органи настроювання взаємозалежні і розділити їх простими методами неможливо.

8.5.3. 3-й спосіб формування пропорційно-інтегрально-диференційного закону

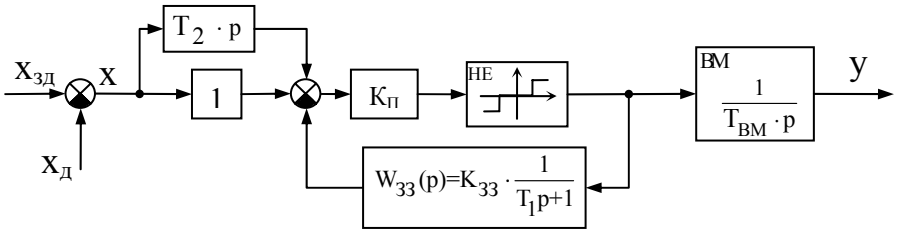


Рис. 8.14. 3-я структурна схема формування ПІД-закону.

$$W_P(p) = \left(1 + T_2 \cdot p\right) \cdot K_{ФБ} \cdot \left(1 + \frac{1}{T_1 \cdot p}\right) = (T_1 + T_2) \cdot K_{ФБ} \cdot \frac{T_1 \cdot T_2 \cdot p^2 + (T_1 + T_2) \cdot p + 1}{T_1 \cdot p \cdot (T_1 + T_2)} =$$

$$= K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_I \cdot p} + T_Д \cdot p\right)$$

де: $K_P = \frac{T_1 + T_2}{T_1} \cdot K_{ФБ}$, $T_I = T_1 + T_2$, $T_Д = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_1 + T_2}$, $K_{ФБ} = \frac{T_1}{T_{ВМ} \cdot K_{ЗЗ}}$.

Висновки:

- дана схема дозволяє одержати пропорційно-інтегрально-диференційний закон регулювання з заданою точністю;

- точність реалізації закону регулювання залежить від величини $K_П$;

- органи настроювання взаємозалежні.

8.5.4. 4-й спосіб формування пропорційно-інтегрально-диференційного закону

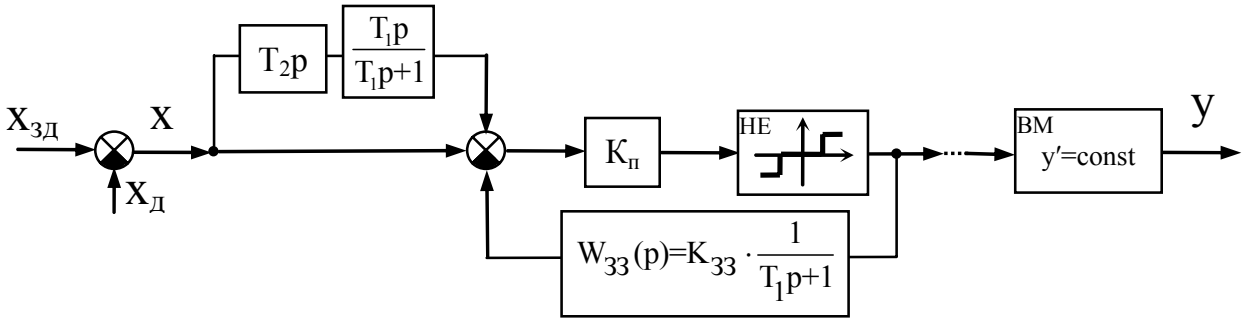


Рис. 8.15. 4-а структурна схема формування ПІД-закону.

$$W_P(p)=\left(1+\frac{T_2\cdot p\cdot T_1\cdot p}{1+T_1\cdot p}\right)\cdot\frac{1}{\left(\frac{K_{ЗЗ}}{T_1\cdot p+1}\right)}\cdot\frac{1}{T_{ВМ}\cdot p}=$$

$$=\frac{\left(T_1\cdot T_2\cdot p^2+T_1\cdot p+1\right)\cdot\left(T_1\cdot p+1\right)\cdot T_1}{\left(T_1\cdot p+1\right)\cdot K_{ЗЗ}\cdot T_{ВМ}\cdot p\cdot T_1}=K_P\cdot\frac{T_Д\cdot T_I\cdot p^2+T_I\cdot p+1}{T_I\cdot p},$$

де $K_P=\frac{T_1}{K_{ЗЗ}\cdot T_{ВМ}}$, $T_I=T_1$, $T_Д=T_2$.

Висновки:

- дана схема дозволяє реалізувати пропорційно-інтегрально-диференційний закон регулювання;

- параметри настроювання T_I, $T_Д$ незалежні, їх градуювальні характеристики – лінійні.

K_P — обернено пропорційний $K_{ЗЗ}$, але при цьому $K_P=f\left(T_1\right)$.

8.5.5. 5-й спосіб формування пропорційно-інтегрально-диференційного закону

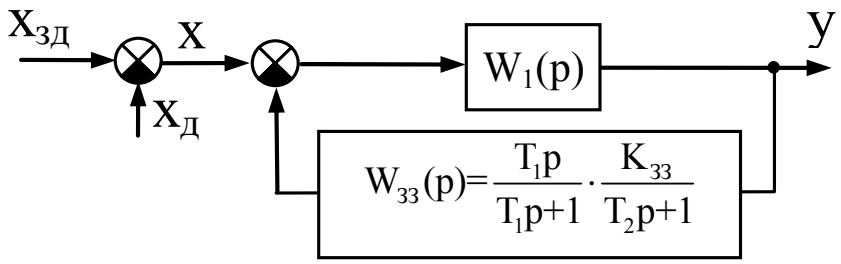


Рис. 8.16. 5-а структурна схема формування ПІД-закону.

$$W_P(p)=\frac{W_1(p)}{1+W_1(p)\cdot K_{ЗЗ}\cdot\frac{T_1\cdot p}{\left(T_1\cdot p+1\right)\cdot\left(T_2\cdot p+1\right)}}=$$

$$=\frac{K_П}{1+K_П\cdot K_{ЗЗ}\cdot\frac{T_1\cdot p}{(T_1\cdot p+1)\cdot(T_2\cdot p+1)}}=\frac{(T_1\cdot p+1)\cdot(T_2\cdot p+1)}{K_{ЗЗ}\cdot T_1\cdot p}=K_P\cdot\frac{T_1\cdot T_2\cdot p^2+(T_1+T_2)\cdot p+1}{T_1\cdot p}=$$

де

$$=K_P\cdot\frac{T_I\cdot T_Д\cdot p^2+T_I\cdot p+1}{T_I\cdot p},$$

$$K_P=\frac{T_1+T_2}{K_{ЗЗ}\cdot T_1},\quad T_I=T_1+T_2\ ,\quad T_Д=\frac{T_1\cdot T_2}{(T_1+T_2)}.$$

Висновки:

- дана схема реалізує пропорційно-інтегрально-диференційний закон регулювання;

- органи настроювання в значній мірі залежать один від одного. Градуювальні характеристики – нелінійні.

8.5.6. 6-й спосіб формування пропорційно-інтегрально-диференційного закону

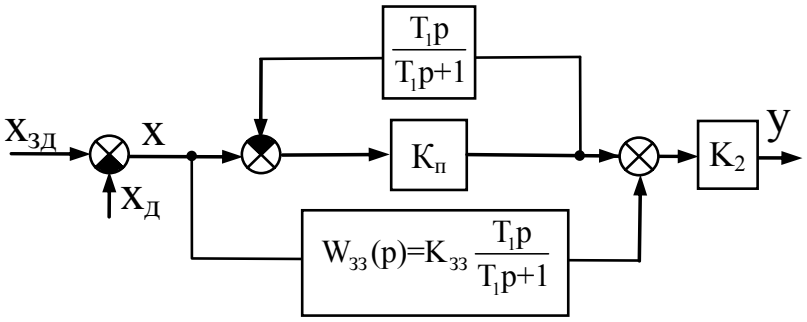


Рис. 8.17. 6-а структурна схема формування ПІД-закону.

$$W_P(p)=\left(K_1\cdot T_1\cdot p+\frac{T_1\cdot p+1}{T_1\cdot p}\right)\cdot K_2=K_2\frac{K_1\cdot T_1^2\cdot p^2+T_1\cdot p+1}{T_1\cdot p}=K_P\cdot\frac{T_I\cdot T_Д\cdot p^2+T_I\cdot p+1}{T_I\cdot p}$$

де $K_P=K_2$, $T_I=T_1$, $T_Д=K_1\cdot T_1$.

Висновки:

- дана схема реалізує пропорційно-інтегрально-диференційний закон регулювання;

- всі органи настроювання мають лінійні градуювальні характеристики. При правильному порядку настроювання регулятора можна не зважати на взаємну залежність органів настроювання T_I і $T_Д$.

9. ФОРМУВАННЯ ПРОПОРЦІЙНО-ІНТЕГРАЛЬНОГО ЗАКОНУ РЕГУЛЮВАННЯ В РЕГУЛЯТОРАХ З ВИКОНАВЧИМ МЕХАНІЗМОМ СТАЛОЇ ШВИДКОСТІ

Робота з електричним виконавчим механізмом сталої швидкості вимагає застосування імпульсного способу керування ВМ, тобто вихідна величина формуючого блоку повинна являти собою широтно-модульовану послідовність імпульсів, де командна інформація визначається шпаруватістю. Структурна схема регулювального блоку, що формує необхідну послідовність імпульсів, наведена нижче на рис.9.1.

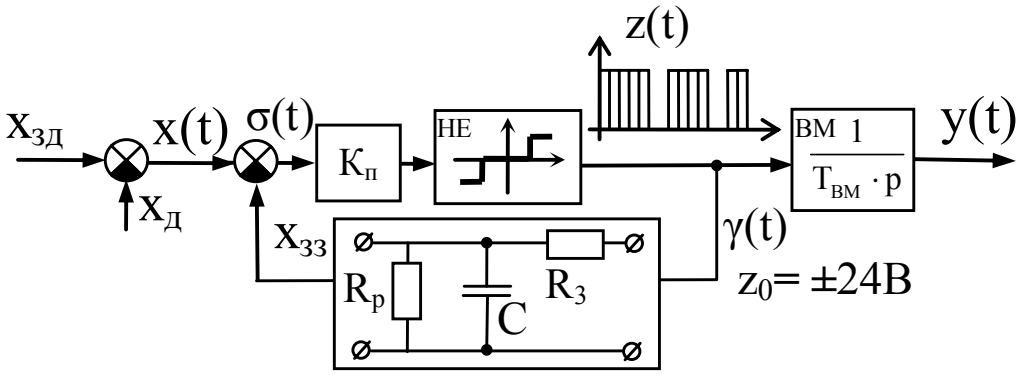


Рис. 9.1. Структурна схема регулятора.

Вона містить суматор, трипозиційний релейний елемент із зоною нечутливості і зоною звороту і формуючий зворотний зв'язок у вигляді аперіодичної ланки (рис.9.1).

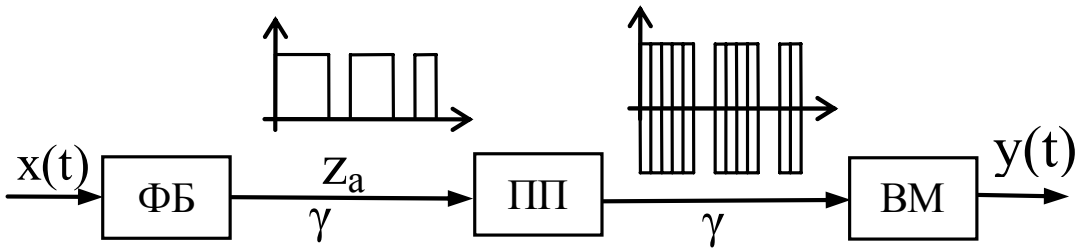


Рис. 9.2. Модуляція командного сигналу у виконавчому підсилювачі.

Розглянемо окремі елементи цієї схеми: трипозиційний і зворотного зв'язку.

На рис.9.3 представлений трипозиційний елемент із гістерезисом і зоною нечутливості, $\Delta_H = 2 \cdot K \cdot \sigma_C$ — зона нечутливості, $\Delta_З$ — зона звороту, $\sigma(t) = x(t) - x_{ЗЗ}(t)$

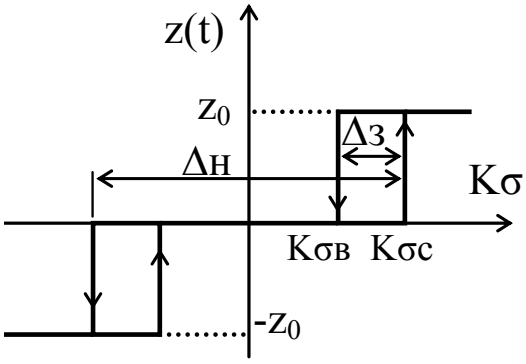


Рис. 9.3. Характеристика трипозиційного елементу.

У сучасних релейно-імпульсних регуляторах ФЗЗ має розділені ланцюги заряду і розряду, які характеризуються постійними часу заряду $T_З$ і розряду $T_Р$.

Формуючий зворотний зв'язок має передатну функцію:

$$W_{ФЗЗ}(p) = K_{ЗЗ} \cdot \frac{1}{T_{ЗЗ}+1}, \text{ де } T_{ЗЗ} = \begin{cases} T_P = C \cdot R_P \\ T_З = C \cdot R_З \end{cases}, \; K_{ЗЗ} = \frac{R_P}{R_P + R_З},$$

тобто ФЗЗ нелінійна. Такий поділ ланцюгів заряду і розряду у ФЗЗ приводить до зменшення залежності органів настроювання параметрів $K_Р$ і $T_І$ в ПІ-регуляторі.

Перехідна характеристика цієї ланки має вигляд

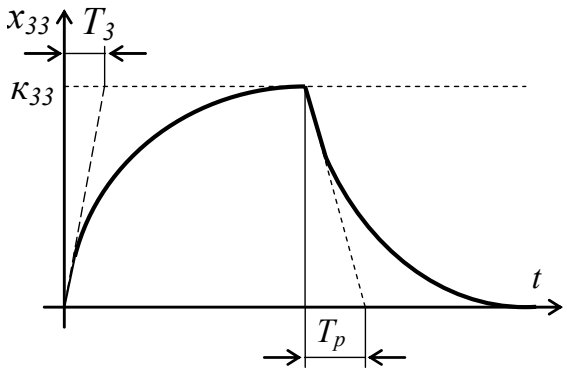


Рис. 9.4. Перехідна характеристика ФЗЗ.

Регулятори, що працюють за таким принципом, називають релейно-імпульсними. При подачі на вхід регулювального блоку східчастого вхідного

сигналу $x(t) = x_0 \cdot 1(t)$ перехідна характеристика регулятора має вигляд, показаний на рис.9.5.

$$\beta = arctg\left(\frac{K_P}{T_I}\right),\ y' = tg\beta = \gamma,\ \gamma = \frac{t_i}{t_i + t_n},\ \Delta y(0) = K_P \cdot \Delta x_0 .$$

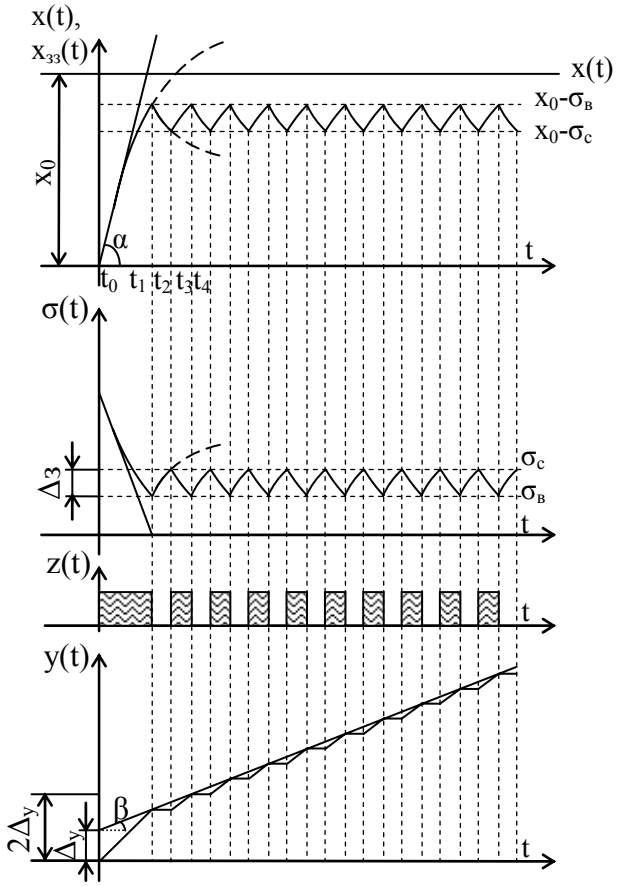


Рис. 9.5. Графік зміни вихідної величини виконавчого механізму сталої швидкості.

У початковий момент часу після подачі вхідного сигналу $x_0 > \sigma_C$ спрацьовує релейний елемент і подає сигнал $Z = Z_0$ на вхід ланки зворотного зв'язку, внаслідок чого $x_{33}(t)$ починає зростати, а сигнал $\sigma = x - x_{33}$ на вході РЕ – зменшуватися. У момент t_1 сигнал досягає порога відключення σ_B, релейний елемент відключається, сигнал Z на вході ланки зворотного зв'язку стає рівним нулеві, внаслідок чого $x_{33}(t)$ починає зменшуватись, а величина σ – зростати.

Коли σ досягає порога спрацьовування σ_C (у момент t_2), відбувається повторне включення РЕ. Далі процес характеризується періодичними імпульсами (короткочасними включеннями релейного елемента) тривалістю $t_i = t_3 - t_2 = t_5 - t_4 = ...$, що чергуються з паузами (відключеннями РЕ) тривалістю $\Delta t_n = t_2 - t_1 = t_3 - t_4$. Сигнал σ на вході релейного елемента буде змінюватися при цьому в межах зони звороту $\Delta_З$ (від σ_C до σ_B і назад), а сигнал $x_{ЗЗ}$ на вході ланки зворотного зв'язку – у межах від $x - \sigma_C$ до $x - \sigma_B$ і назад, тобто $x_{ЗЗ}$ буде практично виникати за вхідним сигналом (з похибкою, обумовленою порогами спрацьовування σ_C і σ_B).

Слід зазначити, що перше включення $\Delta t_1 = t_1 - t_0$ набагато триваліше інших імпульсів Δt_i, тому що в момент початку першого включення сигнал зворотного зв'язку починає зростати з нуля, що вимагає більшого часу для досягнення порога відключення релейного елементу.

Під дією керуючих імпульсів $Z(t)$, зформованих регулювальним блоком, виконавчий механізм сталої швидкості буде переміщувати регулювальний орган по ламаній лінії *y(t)* (див. рис.9.5). У результаті виходить перехідна характеристика близька до типової характеристики ПІ-регулятору. Східчастий характер відпрацьовування інтегральної частини істотно не позначається на роботі системи, тому що частота цих коливань навколо середньої лінії висока і не попадає в робочий частотний діапазон об'єкта.

Як орган настроювання T_I зручніше взяти опір R_P, який визначає час паузи. Як орган настроювання K_P береться конструктивний елемент, що визначає тривалість першого імпульсу, таким є $R_З$, від якого залежить швидкість наростання сигналу зворотного зв'язку, тобто кут α. Зміна зони звороту не змінює K_P і T_I тому, що однаково впливаючи на тривалість імпульсів і пауз, не змінює шпаруватість, але за рахунок вибору тривалості імпульсу дозволяє настроювати систему регулювання відповідно до динамічних властивостей об'єкта.

10. РЕАЛЬНІ ЗАКОНИ РЕГУЛЮВАННЯ

Реалізовані в технічних засобах закони регулювання майже завжди відрізняються від ідеальних, розглянутих у теорії регулювання стандартних законів (пропорційний, пропорційно-інтегральний, пропорційно-диференційний, інтегрально-диференційний, нелінійні закони регулювання). Ці закони називають реальними законами регулювання.

Причини відмінності реальних законів від ідеальних – різні, але можуть бути розділені на дві групи – це неточності реалізації окремих елементів, похибки, небажані нелінійності (викликані наявністю зони нечутливості, люфтів, зазорів і ін.), а також структурні особливості побудови регуляторів.

Структура регулятора має наступний вигляд (рис. 10.1).

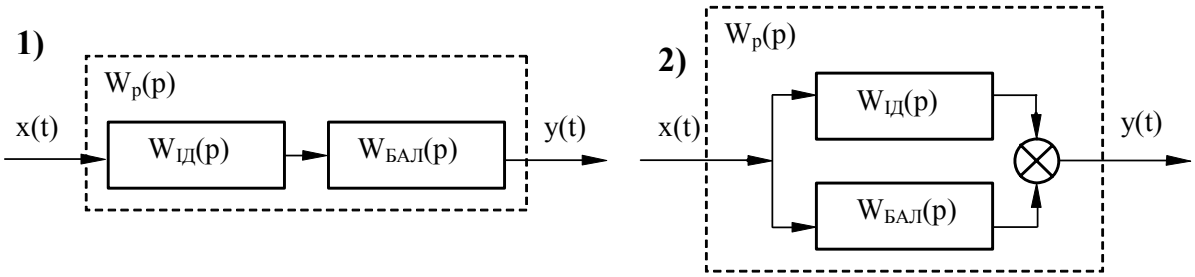


Рис. 10.1. Послідовне і паралельне з'єднання баластової ланки.

$W_{ІД}(p)$ — ідеальна частина (розрахункова), $W_{БАЛ}(p)$ — баластова частина.

Розглянемо послідовне з’єднання ланок (рис.10.1, *1*): $W_P(p) = W_{ІД}(p) \cdot W_{БАЛ}(p)$.

Для того, щоб $W_P(p) \to W_{ІД}(p)$ необхідно, щоб $W_{БАЛ}(p) \to 1$ ($A_{БАЛ}(\omega) = 1, \varphi_{БАЛ}(\omega) = 0$).

При паралельному з’єднанні ланок (рис.10.1, *2*): $W_P(p) = W_{ІД}(p) + W_{БАЛ}(p)$.

Для того, щоб $W_P(p) \to W_{ІД}(p)$ необхідно, щоб $W_{БАЛ}(p) = 0$. Дана схема застосовується рідко.

Областю нормальної роботи регулятора (ОНРР) називається область у просторі досліджуваних параметрів і робочому діапазоні частот, де властивості ідеального регулятора відрізняються від властивостей реального не більше ніж на величину, встановлену стандартом:

$$\left|\frac{A_{ІД}(\omega)-A_P(\omega)}{A_{ІД}(\omega)}\right| \le 0.1;\ \omega \in \Omega_1, \quad \left|\frac{\varphi_{ІД}(\omega)-\varphi_P(\omega)}{\varphi_{ІД}(\omega)}\right| \le 0.15;\ \omega \in \Omega_2 .$$

При визначенні ОНРР враховуються обидві умови.

10.1. Структурна схема одержання пропорційного закону

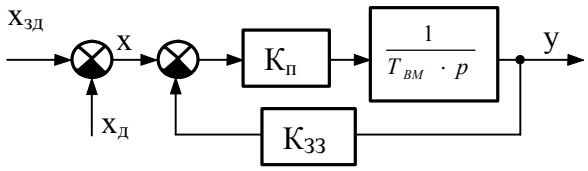


Рис. 10.2. Структурна схема одержання П-закону.

$$W_P(p)=\frac{K_П\cdot\dfrac{1}{T_{ВМ}\cdot p}}{1+\dfrac{K_П\cdot K_{ЗЗ}}{T_{ВМ}\cdot p}}=K_P\cdot\frac{1}{\dfrac{T_{ВМ}\cdot p}{K_П\cdot K_{ЗЗ}}+1}=K_P\cdot\frac{1}{T_{БАЛ}\cdot p+1}$$

$T_{БАЛ}$ — постійна часу баластової ланки, $T_{БАЛ}=\dfrac{T_{ВМ}}{K_{ЗЗ}\cdot K_П}$. Необхідна для наближення до ідеальних властивостей вимога $W_{БАЛ}(p)\to 1$, очевидно, може бути виконана за умови $T_{БАЛ}\to 0$. Це досягається зменшенням $T_{ВМ}$ (швидкодіючий ВМ) або збільшенням знаменника. Так як $K_{ЗЗ}$ служить органом настроювання, то використовують $K_П$, який збільшують, виходячи з вимог:

$$\left|\frac{A_{ІД}(\omega)-A_P(\omega)}{A_{ІД}(\omega)}\right| \le 0,1;\ \omega \in \Omega_1, \quad \left|\frac{\varphi_{ІД}(\omega)-\varphi_P(\omega)}{\varphi_{ІД}(\omega)}\right| \le 0,15;\ \omega \in \Omega_2$$

Область нормальної роботи регулятора – $[0,\omega^*]$, де $\omega^* = \min(\omega_1,\ \omega_2)$. У області низьких частот регулятор ближче за все до ідеального.

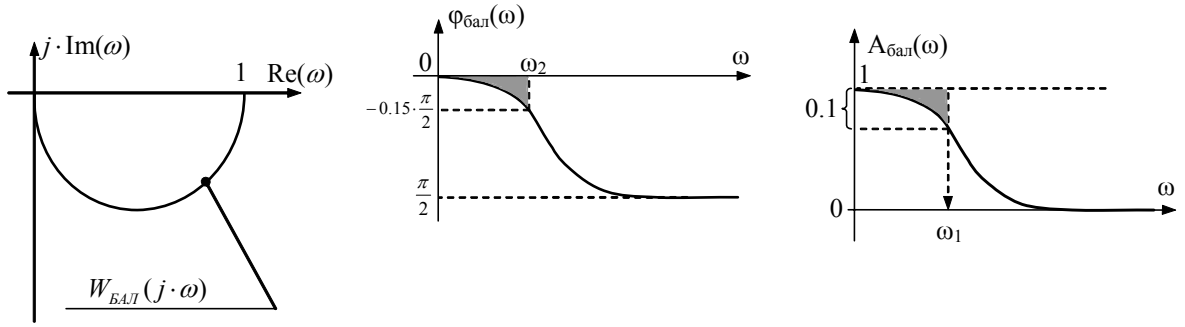


Рис. 10.3. Частотні характеристики баластової ланки.

10.2. Структурна схема одержання пропорційно-інтегрального закону

Як приклад розглянемо деякі структурні схеми промислових регуляторів.

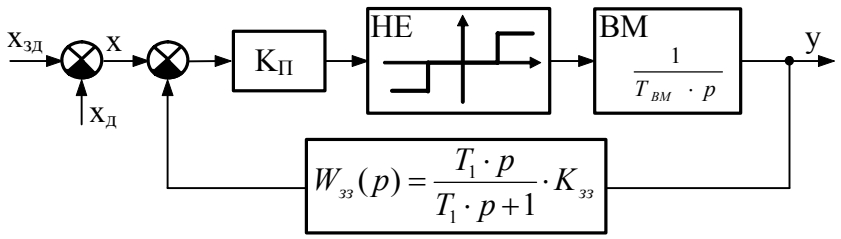


Рис. 10.4. 2-а структурна схема одержання ПІ-закону.

$$W_{ІД}(p) = K_P \cdot \frac{T_1 \cdot p + 1}{T_1 \cdot p}, \; K_P = \frac{1}{K_{зз}}$$

$$W_P(p) = \frac{K_П \cdot W_{НЕ}(p) \cdot \frac{1}{T_{ВМ} \cdot p}}{1 + \frac{K_П \cdot K_{зз} \cdot W_{НЕ}(p) \cdot T_1 \cdot p}{T_{ВМ} \cdot p \cdot (T_1 \cdot p + 1)}} = \frac{T_{ВМ} \cdot p \cdot (T_1 \cdot p + 1) \cdot K_П \cdot W_{НЕ}(p) \cdot \frac{1}{T_{ВМ} \cdot p}}{T_{ВМ} \cdot p (T_1 \cdot p + 1) + K_П \cdot K_{зз} \cdot W_{НЕ}(p) T_1 \cdot p} =$$

$$= \frac{(T_1 \cdot p + 1) \cdot K_П \cdot W_{НЕ}(p)}{T_{ВМ} \cdot p \cdot (T_1 \cdot p + 1) + K_П \cdot K_{зз} \cdot W_{НЕ}(p) \cdot T_1 \cdot p} = \frac{1}{K_{зз}} \cdot \frac{T_1 \cdot p + 1}{T_1 \cdot p} \cdot \frac{K_П \cdot K_{зз} \cdot W_{НЕ}(p) \cdot T_1}{T_1 \cdot p \cdot T_{ВМ} + T_{ВМ} + K_П \cdot K_{зз} \cdot W_{НЕ}(p) \cdot T_1} =$$

$$= \frac{1}{K_{зз}} \cdot \frac{T_1 \cdot p + 1}{T_1 \cdot p} \cdot \frac{K_{БАЛ}}{T_{БАЛ} \cdot p + 1} = W_{ІД}(p) \cdot \frac{K_{БАЛ}}{T_{БАЛ} \cdot p + 1},$$

де: $K_{БАЛ} = \frac{K_П \cdot K_{зз} \cdot W_{НЕ}(p) \cdot T_1}{T_{ВМ} + K_П \cdot K_{зз} \cdot W_{НЕ}(p) \cdot T_1}$, $T_{БАЛ} = \frac{T_{ВМ} \cdot T_1}{T_{ВМ} + K_П \cdot K_{зз} \cdot W_{НЕ}(p) \cdot T_1}$.

Таким чином, баластова ланка являє собою послідовне з'єднання пропорційної й аперіодичної ланок.

Інша поширена структура рис.10.5.

$$W_{ІД}(p) = K_P \cdot \frac{T_1 \cdot p + 1}{T_1 \cdot p}, K_P = \frac{T_1}{K_{ЗЗ} \cdot T_{ВМ}}$$

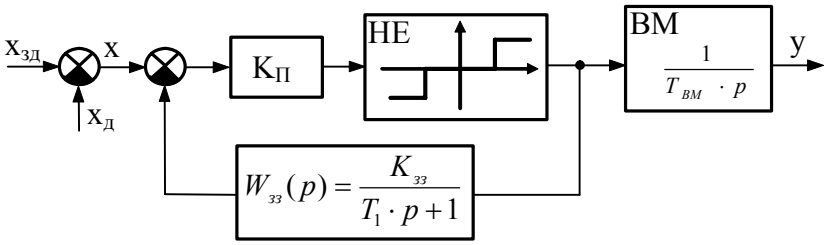


Рис. 10.5. 3-я структурна схема одержання ПІ-закону.

$$W_P(p) = \frac{K_П \cdot W_{НЕ}}{1 + \frac{K_П \cdot W_{НЕ} \cdot K_{ЗЗ}}{T_1 \cdot p + 1}} \cdot \frac{1}{T_{ВМ} \cdot p} = \frac{K_П \cdot W_{НЕ} \cdot (T_1 \cdot p + 1)}{(T_1 \cdot p + 1 + K_П \cdot W_{НЕ} \cdot K_{ЗЗ}) T_{ВМ} \cdot p} =$$

$$= \frac{T_1}{K_{ЗЗ} \cdot T_{ВМ}} \cdot \frac{(T_1 \cdot p + 1)}{T_1 \cdot p} \cdot \frac{K_{ЗЗ} \cdot K_П \cdot W_{НЕ}}{T_1 \cdot p + 1 + K_П \cdot W_{НЕ} \cdot K_{ЗЗ}} = K_p \cdot \frac{(T_1 \cdot p + 1)}{T_1 \cdot p} \cdot \frac{K_{БАЛ}}{1 + T_{БАЛ} \cdot p} = W_{ІД}(p) \cdot \frac{K_{БАЛ}}{1 + T_{БАЛ} \cdot p}$$

$$K_{БАЛ} = \frac{K_{ЗЗ} \cdot K_П \cdot W_{НЕ}}{1 + K_{ЗЗ} \cdot K_П \cdot W_{НЕ}}; T_{БАЛ} = \frac{T_1}{1 + K_{ЗЗ} \cdot K_П \cdot W_{НЕ}}.$$

Як бачимо баластова ланка має аналогічну структуру.

11. ЗАДАЧА ГРАДУЮВАННЯ ОРГАНІВ НАСТРОЮВАННЯ

Органом настроювання називається елемент або пристрій, за допомогою якого встановлюється необхідне значення параметра регулювання. Градуювання органу настроювання регулятора – процедура, за допомогою якої експериментально установлюється відповідність між поділками шкали органу настроювання і чисельними значеннями параметрів настроювання.

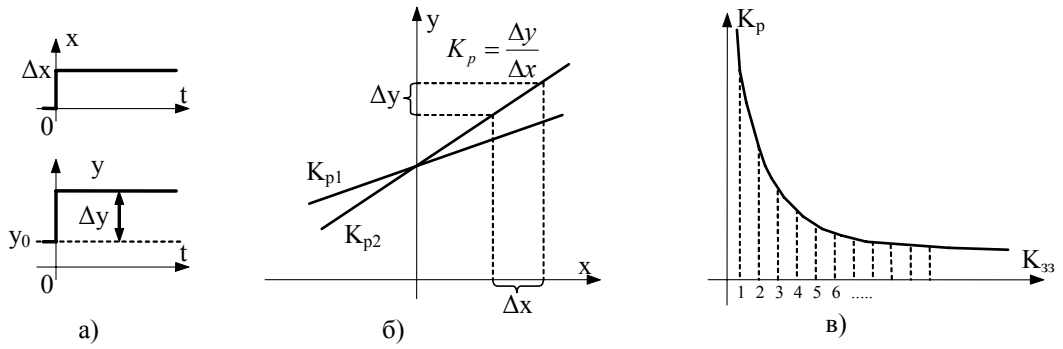


Рис. 11.1. Послідовність обробки експериментальних даних.

Методика обробки експериментально знятих перехідних характеристик регулятора випливає з властивостей, відомих з ТАУ і розглянутих у 6.2.1 і 6.2.3

При пропорційному законі регулювання порядок градуювання зрозумілий із рис.11.1. Для кожної поділки шкали органа настроювання знімається кілька перехідних характеристик регулятора (рис.11.1, *а*) при різних величинах східчастого збурення *x*, що дозволяє побудувати сімейство статичних характеристик (рис.11.1, *б*). По них визначаються значення параметра K_P і далі будується графік (рис.11.1, *в*) залежності K_P від $K_{ЗЗ}$.

При пропорційно-інтегральному законі регулювання градуювання K_P відбувається аналогічно, але при цьому враховується тільки початковий стрибок на графіку перехідної характеристики (див. рис.11.2, *а*). Через те, що кут нахилу інтегральної частини перехідної характеристики дорівнює $arctg\left(\frac{K_P}{T_I}\right)$, то T_I знаходять як час подвоєння (рис.11.2, *б*). Повторюючи дослід для всіх поділок шкали відповідного органу настроювання, будуємо градуювальну характеристику в координатах T_I [с] – T_I [поділки шкали] або сімейство характеристик, якщо органи настроювання взаємозалежні.

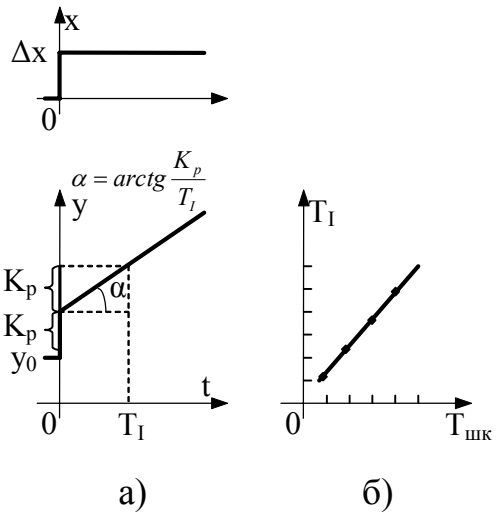


Рис. 11.2. Перехідна (а) та градуювальна (б) характеристика ПІ-регулятора.

12. КОМПЛЕКС АПАРАТУРИ РЕГУЛЮВАННЯ «КОНТУР»

Апаратура «Контур» призначена для побудови систем автоматизації нескладних технологічних об'єктів, головним чином енергетичних (парові, водогрійні котли комунального господарства, промислові котельні, допоміжне устаткування на теплових станціях і ін). Базовим приладом комплексу «Контур» є прилад Р25. Його основні функції – підсумовування до трьох (із масштабуванням) сигналів від давачів, введення сигналу завдання, формування сигналу неузгодження, формування разом з ВМ одного із законів регулювання (пропорційного, пропорційно-інтегрального, двопозиційного, трипозиційного), сигналізація граничних відхилень, індикація виходів, стрілочна індикація неузгодження й положення виконавчого механізму, ручне керування виконавчим механізмом.

Крім того, є коригувальні прилади, які формують сигнал неузгодження і перетворюють його в неперервний сигнал по ПІ- або ПІД-закону (К15), по П-, Д-, АП- алгоритмах (К16), а також в 2- або 3-позиційний сигнал (К26).

З приладами «Контур» можуть застосовуватися стандартні електричні виконавчі підсилювачі і виконавчі механізми сталої швидкості.

Регулювальний прилад Р25 має модифікації Р25.1, Р25.2, Р25.3.

Вихідні ланцюги приладу дозволяють керувати різною комутаційною апаратурою за допомогою сигналів 24 В постійного струму або 220 В змінного струму, а також безпосередньо виконавчими механізмами, які мають двофазні електродвигуни із симетричними навитками. Вхідні і вихідні ланцюги гальванічно не зв'язані.

Вимірювальні схеми Р25.1, Р25.2, Р25.3 представлені на рис. 1Д, 2Д, 3Д відповідно.

Р25.1 дозволяє підключення від одного до трьох диференційно-трансформаторних давачів і одного уніфікованого сигналу постійного струму: 0...10 В, 0...5 мА, 0...20 мА.

Р25.2 дозволяє підключення одного або двох термометрів опору градуювань 21 і 22 та одного уніфікованого струмового сигналу.

Р25.3 дозволяє підключення одного термоелектричного термометру і одного уніфікованого струмового сигналу.

Всі Р25 виконані у вигляді блоку, до складу якого входять два субблоки: вимірювальний (Р012 або Р013) і формуючий – Р011. Вимірювальний субблок призначений для перетворення вхідних сигналів в уніфіковані і порівняння їх із сигналом задавача. Для різних модифікацій схема вимірювальних блоків різна, а конструкція формуючих блоків – однакова. Вимірювальний і формуючий субблоки сконструйовані в одному корпусі.

Субблок – проміжний структурний елемент між блоком і модулем. Нагадаємо, що елемент – пристрій, який реалізує елементарну функцію перетворення сигналу (опір, діод, транзистор, мікросхема, потенціометр тощо). Модуль виконує найпростішу алгоритмічну функцію (аналого-релейне, аналого-дискретне перетворення, модуляція, демодуляція), виробляється на стандартній друкованій платі зі стандартним рознімачем.

Блоки виконують необхідні складні алгоритмічні процедури (наприклад, реалізація законів регулювання), мають окремий корпус, на задній панелі якого розташовані клемники, попереду або збоку – органи настроювання.

Формуючий блок має наступні можливості:

- реалізує разом з виконавчим механізмом сталої швидкості базовий ПІ-закон регулювання, який формується за 3-ою структурною схемою;
- може бути перетворений у трипозиційний релейний блок;
- якщо охопити регулювальний прилад, підсилювач і виконавчий механізм жорстким зворотним зв'язком, то отримуємо пропорційний закон регулювання (1-а структурна схема).

Прилад коригувальний К15 модифікацій К15.1, К15.2, К15.3 здійснює підсумовування сигналів, що надходять від давачів із природними електричними вхідними сигналами; введення сигналу завдання; формування і посилення сигналу неузгодження (похибки); перетворення сигналу неузгодження у вихідний неперервний електричний сигнал за пропорційно-інтегральним або пропорційно-інтегрально-диференційним законом; безударне переключення режимів керування навантаженням з автоматичного в ручне і навпаки. Застосовується як коригувальний регулятор у двоконтурних системах.

Прилад коригувальний К16 модифікацій К16.1 і К16.3 здійснює підсумовування сигналів, що надходять від первинних перетворювачів із природними електричними вихідними сигналами; введення сигналу завдання; формування і посилення сигналу неузгодження; перетворення сигналу неузгодження у вихідний неперервний електричний сигнал за реальним диференційним, аперіодичним або пропорційним законом.

Прилад коригувальний К26 модифікацій К26.1 і К26.3 виконує підсумовування сигналів, що надходять від первинних перетворювачів із природними електричними вихідними сигналами; введення сигналу завдання; формування і посилення сигналу неузгодження; перетворення сигналу неузгодження в дискретний вихідний сигнал у вигляді змінення стану вихідних контактів. Застосовується для побудови систем двопозиційного або трипозиційного регулювання. Використовується в системах сигналізації.

12.1. Вимірювальний субблок регулятора Р25.1

Вимірювальна схема Р25.1 представлена на рис.1Д.

На вхід можуть бути подані сигнали від 3-х давачів типу ДТ; на клеми *15*, *16* може бути підключений струмовий давач. Потенціометри *R*21, *R*17, *R*14 – органи настроювання схеми (масштабуючі коефіцієнти K_1, K_2, K_3). Фазозсувний конденсатор *C*1 служить для забезпечення нульового зсуву фаз сигналів давача і задавача. Міст «задавач-коректор», що формує сигнал $x_{ЗД} - x_{КОР}$, містить у собі опори *R*2 і *R*3. Клеми *31-20* – силова (заживлена змінним струмом) діагональ моста, *R*9-*R*13 – вимірювальна діагональ. Результуючий сигнал надходить на демодулятор *ДМ*. *C*6 і *R*26 утворюють фільтр. *ОП* – операційний підсилювач, що представляє собою пропорційну ланку. Сигнал $x(t)$ знімається з клем *11* і *14*. *СТ* – спільна точка. Рівняння вимірювального блоку регулятору Р25.1:

$$\left[\left(x_{ЗД} - x_{КОР}\right) - \left(\sum_i K_i \cdot x_{Д_i}\right)\right] \cdot k = x(t) \ .$$

Межі зміни $x_{ЗД}$: -20…0…+20%

Межі зміни $x_Д$: (0...1…1,0) $x_{ЗД}^{\max}$.

Градуювальна характеристика встановлює зв'язок між $x_{ЗД}$ і $x_Д$ у момент компенсації, вона представлена на рис.12.1, кут нахилу характеристики за кожним вхідним каналом визначається K_i.

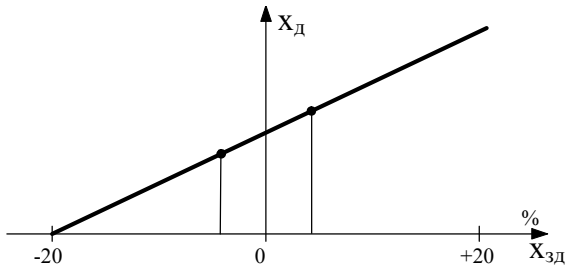


Рис. 12.1. Градуювальна характеристика.

12.2. Вимірювальна схема регулятора Р25.2

Вимірювальна схема Р25.2 представлена на рис. 2Д.

Рівняння вимірювального субблоку регулятора Р25.2:

$$\left[\left(x_{ЗД} - x_{КОР}\right) - \left(k_2 \cdot x_{ТО1} + k_3 \cdot x_{ТО2}\right)\right] \cdot k = x(t).$$

Схема містить два вимірювальних мости:

- міст 1: термометр опору *ТО*1, *R*’7, *R*’6, *R*’2;

- міст 2: термометр опору *ТО*2, *R*’3, *R*’4, *R*’5.

Силові діагоналі живляться напругою постійного струму: міст 1 – із клем *18*, *28*, міст 2 – із клем *17*, *26*. До вимірювальних діагоналей (*А*-20 і *В*-20) підключені масштабуючі потенціометри *R*17 (коефіцієнт «*К*2»), *R*14 («*К*3»). Уніфікований струмовий сигнал підключається на опір *R*1. Замість одного з мостів можна підключити уніфікований сигнал. Міст «задавач-коректор» утворений *R*5 (коректор), *R*11 (внутрішній задавач), *R*2, *R*3. Замість перемички *17-18* можна підключити зовнішній задавач. Силова діагональ живиться з клем *22*, *23* постійною напругою через *R*1 і *R*4. Із вимірювальної діагоналі (між повзунками потенціометрів *R*5 і *R*11) знімається напруга $\left(x_{ЗД} - x_{КОР}\right)$. Різниця потенціалів подається на підсилювач *П*. Підсилювач охоплений зворотним зв'язком *R*24. Коефіцієнт підсилення визначається співвідношенням *R*24/ *R*26 . Напруга виходу знімається з клем *10* і *14*. Далі сигнал йде у формуючий блок. Для формування необхідних властивостей динамічних модулів використовується схема, що представлена на рис.12.2.

$$W(p) = \frac{k_{ВХ}}{k_{ВИХ}} \cdot \frac{W_{ВХ}(p)}{W_{ЗЗ}(p)} \ ,$$

$W_{ВХ}(j \cdot \omega) = \dfrac{1}{z_{ВХ}(j \cdot \omega)}$ - комплексна проводимість.

$$W(p) = \frac{k_{ВХ}}{k_{ЗЗ}} \cdot \frac{\dfrac{1}{z_{ВХ}(j \cdot \omega)}}{\dfrac{1}{z_{ЗЗ}(j \cdot \omega)}} = \frac{k_{ВХ}}{k_{ВИХ}} \cdot \frac{z_{ЗЗ}(j \cdot \omega)}{z_{ВХ}(j \cdot \omega)}.$$

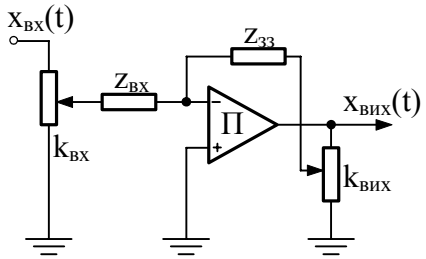


Рис. 12.2. Схема динамічних модулів в апаратурі «Контур».

У даному випадку: $k = W(p) = \frac{1}{1} \cdot \frac{R24}{R26}$ — коефіцієнт передачі підсилювача.

12.3. Вимірювальна схема регулятора Р25.3

Вимірювальна схема регулятору Р25.3 представлена на рис.3Д. Нижче показаний її спрощений варіант (рис. 12.3).

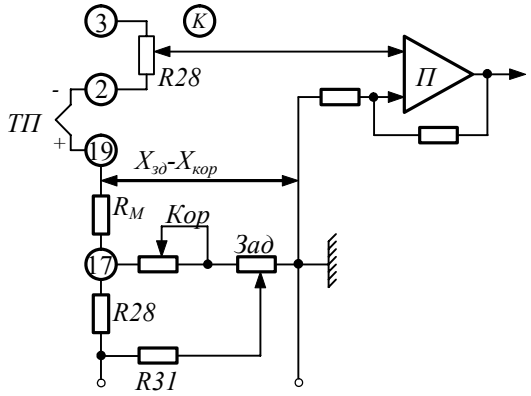


Рис. 12.3. Спрощена електрична схема Р25.3

Рівняння вимірювального субблоку регулятора Р25.3:

$$\left[\left(x_{ЗД} - x_{КОР} + U_M\right) - \left(x_Д + k \cdot x_П\right)\right] \cdot k_U = x(t),$$

де U_M: 10; 20 мВ – кнопки для дискретного збільшення завдання.

Уніфікований струмовий сигнал подається на *R*8. *R*16 – коректор. Між клемами *17* і *19* приєднується мідний опір, що компенсує похибку, викликану зміною температури вільних кінців термопари.

12.4. Схема регулювального субблоку регулятора Р25

Регулювальний субблок Р.011 регулятора Р25 представлений на рис.4Д.

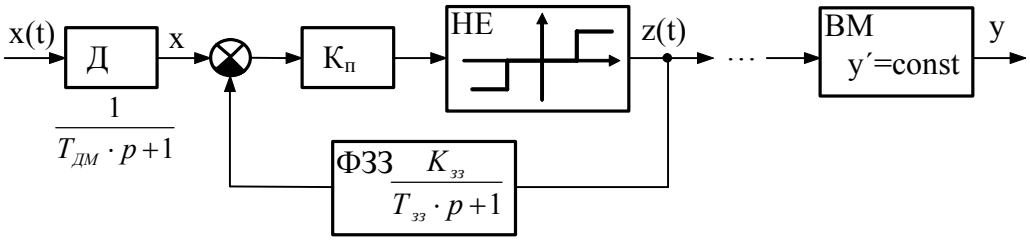


Рис. 12.4. Структурна схема регулювального субблоку регулятора Р25.

Вхідний сигнал надходить на демпфер для пригнічування високочастотних перешкод. *R*20 служить для зміни зони нечутливості. Ключі *К*1 і *К*2 забезпечують подачу сигналів «більше» або «менше» на клеми *8-9* або *8-7* (+24 В або -24 В). Зворотний зв'язок являє собою два каскади посилення:

- каскад 1 – підсилювач *П*. Пропорційна ланка з коефіцієнтом підсилення, обумовленим *R*45, ручка цього потенціометру виведена на панель органів настроювання, називається «$К_П$-63».

- каскад 2 – підсилювач *ПС*. Підсилювач *ПС* охоплений зворотним зв'язком, що містить ємність *С*, опори *R*31, *R*29 і частину опору *R*6. Із його допомогою реалізується аперіодична ланка. Для зменшення взаємного впливу органів настроювання ключ *К*3 з'єднує спільну точку з движком потенціометра *R*6. Ключ *К*3 замикається при наявності на виході кожного із сигналів «більше» або «менше» і розімкнений при нулі на виході.

Коли *К*1 або *К*2 замкнуті, то замкнений і *К*3, структура зворотного зв'язку має такий вигляд (інтегруюча ланка):

Коли *К*3 розімкнений, структура зворотного зв'язку має наступний вигляд (аперіодична ланка):

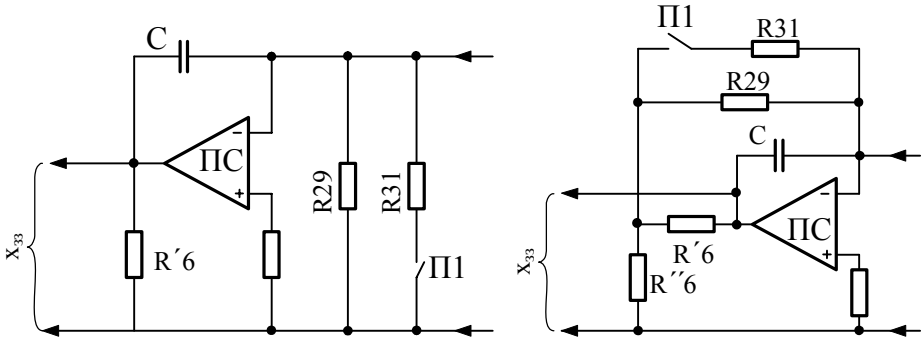


Рис. 12.5. Структура формуючого зворотного зв'язку

Регулятор Р25 працює як типовий релейно-імпульсний регулятор. Його органи настроювання: *R*45 — K_P, *R*6 — T_I, *R*42 — змінює тривалість імпульсу аналогічно зоні звороту. Ключ *П*1 ступінчасто змінює час інтегрування T_I в 10 разів.

$Z_{BX} \to R1$, $Z_{ЗЗ} \to C$ та $(R6' + R_{EKB})$, $T_{ЗЗ} = C(R6' + R_{EKB})$.

Ланцюг ЗЗ має структуру, що змінюється: при наявності імпульсу на виході – І-ланка, якщо імпульс відсутній – АП-ланка. Хоча конструктивно є деякі відмінності від типової схеми релейно-імпульсного регулятора, змінна структура ЗЗ дозволяє послабити зв'язок регулювальних органів, для яких можна записати:

$$K_P = \frac{R_{EKB} \cdot C}{0,3 \cdot \alpha \cdot T_{BM}},\ T_I = \frac{R_{EKB} \cdot C}{\beta},\ R_{EKB} = \begin{cases} R29 \\ \dfrac{R29 \cdot R31}{R29 + R31} \end{cases}.$$

У апаратурі «Контур» в якості виконавчих підсилювачів можуть застосовуватися всі стандартні електричні виконавчі підсилювачі: електромагнітні пускачі, тиристорні пускачі.

У якості виконавчих механізмів використовуються ВМ сталої швидкості МЕО – механізм електричний однооборотний.

Виконавчий підсилювач ВП для регулятора Р25, що виконує роль пускача, зображений на рис. 12.6.

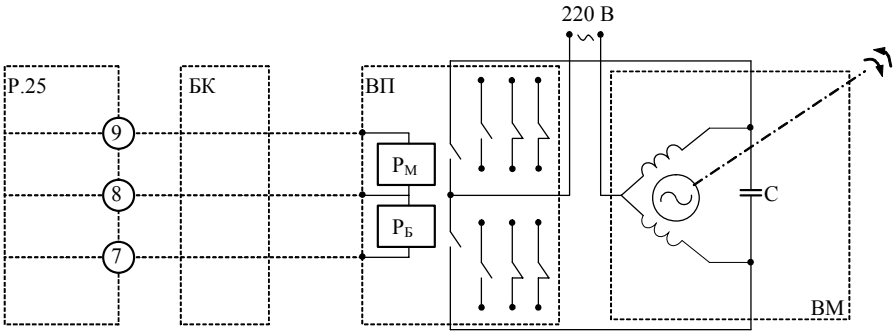


Рис. 12.6. Спрощена схема включення ВП для регулятора Р25.

Малим по потужності імпульсним сигналом від Р25 здійснюється керування двома електромагнітними реле у ВП, при їх спрацьовуванні замикаються контакти, по яких від зовнішнього джерела тече змінний струм великої потужності, що керує електродвигуном. Резервні контакти можуть використовуватися в ланцюгах для взаємного блокування сигналів «більше» і «менше» як захист від помилкових спрацьовувань.

13. СИСТЕМА «КОНТУР-2»

Базовим приладом системи «Контур-2» є РС29. Це багатофункціональний прилад з імпульсним вихідним сигналом, що реалізує всі функції, які виконуються іншими пристроями в системі «Контур».

На рис.5Д показана структурна схема багатофункціонального регулювального приладу з імпульсним виходом РС29. Структурні схеми модифікацій РС29.0, РС29.1, РС29.2, РС29.3 представлені на рис.6Д і 7Д.

Прилад реалізує ПІ- та ПІД-закони з виконавчим механізмом сталої швидкості. Дозволяє будувати пристрої сигналізації і захисту, реалізує функції динамічного зв'язку між контурами.

У системі застосовується свій виконавчий тиристорний підсилювач У29. Хоча РС29 може також працювати з кожним зі стандартних ВП.

Прилад РС29 будується з модулів із застосуванням мікросхем, формує ПІ- та ПІД-закони регулювання по 3-ій схемі реалізації.

Сигнал неузгодження: $\left(x_{ЗД} - x_{КОР}\right) - \left(x_1 + x_4 + x_6 + \alpha_1 x_7 + \alpha_2 x_8 + x_9\right) = \varepsilon$.

Виходи:

- z_1 → (0±24)В – основний вихідний імпульсний сигнал;

- z_2 → (0±10)В – додатковий імпульсний сигнал;

- z_3, z_4 - виходи релейного елемента.

РС29.0 призначений для роботи з уніфікованими вхідними сигналами постійного струму.

РС29.1 призначений для роботи з давачами змінного струму типу ДТ (до чотирьох), що підключені на входи $x_5,\ x_6,\ x_7,\ x_8$. Входи x_6, x_8 – масштабуються.

$$\left(x_{ЗД} - x_{КОР} + x_1 + x_2 + x_3 + x_4\right) - \left(x_5 + x_7 + \alpha_1 x_6 + \alpha_2 x_8\right) = \varepsilon$$

Також можна підключити давачі з уніфікованими сигналами.

РС29.2 призначений для роботи з вхідними сигналами від термометрів опору (до трьох) і уніфікованим сигналом.

$$\left(x_{ЗД} - x_{КОР}\right) - \left(x_1 + x_2 + x_3 + \alpha_1 x_5 + \alpha_2 x_4\right) = \varepsilon .$$

РС29.3: на вхід x_4 подається сигнал від термоелектричного термометра, що надходить через коробку холодних спаїв, на вхід x_1 подається уніфікований сигнал (0...10)В, на вхід x_3 подається сигнал від зовнішнього задавача.

$$\left(x_{ЗД} - x_{КОР}\right) - \left(x_1 + x_3 + x_4\right) = \varepsilon$$

Аналог РС29 – прилад УКРО1 (пристрій контролю і регулювання).

На рис.8Д показана схема з'єднання РС29 з БУ-21, У29.3 і МЕО.

МЕО – механізм електричний однообертовий; *АЗ* –автоматичний запобіжник. Для роботи підсилювача використовується джерело живлення *U*м.

*В*4 і *В*3 – кінцеві вимикачі – електричні обмежники кута повороту, які можна настроїти таким чином, щоб виконавчий механізм переміщав регулювальний орган у необхідному діапазоні.

При переключенні БК на ручний режим замикаються контакти 3*Д*, 4*Д*, 5*Д*, в автоматичному режимі – 1*А*, 2*А*, 3*А*.

Спарені кнопки використовується для блокування від помилкових спрацьовувань. Керуючі імпульси з вихода РС29, модульовані напругою від високочастотного генератора, надходять на трансформатор, роль якого – гальванічна розв'язка вхідного і вихідного кіл. Далі напруга подається на керуючий вхід транзисторного ключа, який пропускає на ВМ командний сигнал змінного струму.

RC-ланцюг забезпечує більш різке гальмування по завершенню командного імпульсу. Принцип роботи підсилювача ілюструється рис.13.1.

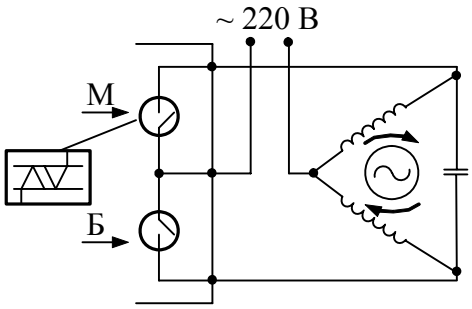


Рис. 13.1. Спрощена схема підключення підсилювача У29 до ВМ

14. КОМПЛЕКС ЗАСОБІВ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ «КАСКАД»

Апаратура комплексу призначена для рішення задач створення АСКТП складних промислових об'єктів (наприклад, для енергоблоків ТЕС і АЕС).

Основні особливості:

- широке застосування уніфікованого сигналу (0...5)мА;
- побудова апаратури за блочно-модульним принципом.

Властивості сигналу постійного струму:

- легко боротися із перешкодами в сигналі;
- викривлення, що вносяться в лінії передачі, відсутні;
- мала чутливість до зміни опору проводів;
- погано піддається розмноженню.

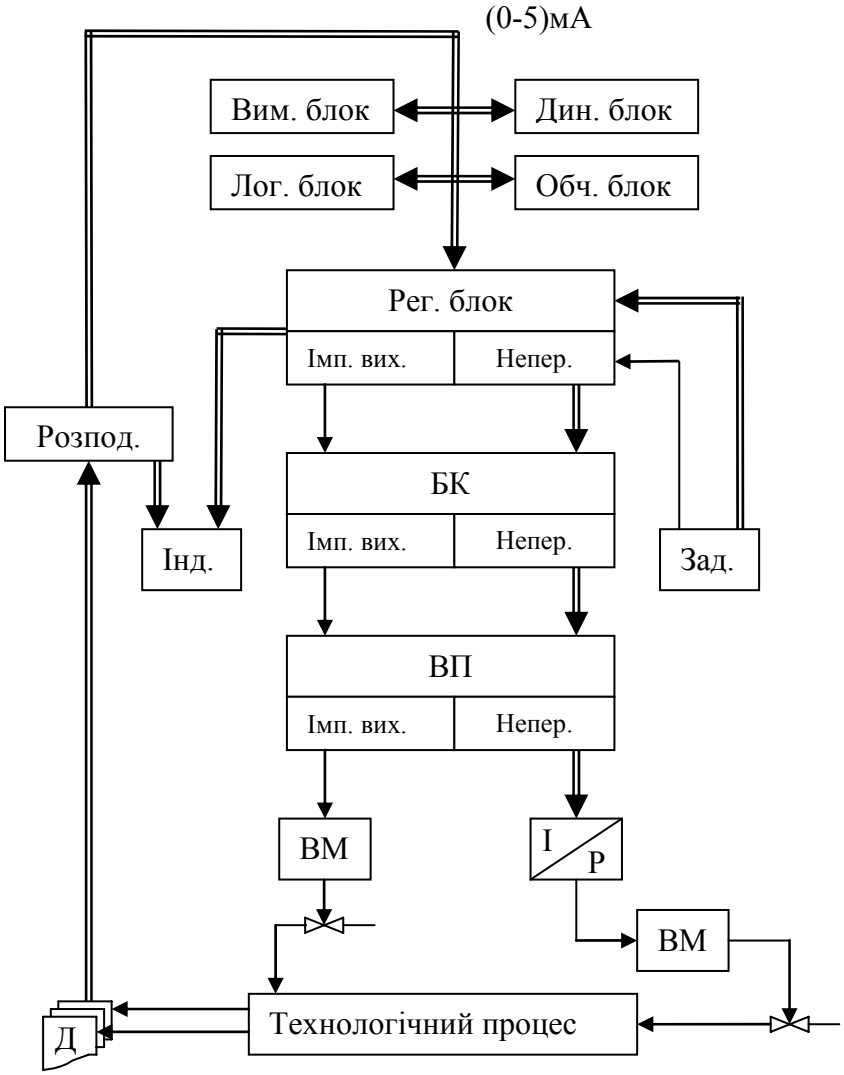


Рис. 14.1. Склад комплексу «Каскад»

До складу комплексу «Каскад» входять такі блоки: вимірювальні (И); регулювальні (Р); алгебраїчних операцій (А); логічних операцій (Л); нелінійного перетворення (Н); динамічного перетворення (Д); задавачі (ЗУ); керування (БУ); допоміжних функцій (В).

Апаратура «Каскад» дозволяє:

- здійснювати автоматичне регулювання деяких технологічних параметрів на об'єкті;
- здійснювати логічне керування і захист частин устаткування;
- будувати багатоконтурні системи регулювання;
- здійснювати всі основні алгебраїчні операції із сигналами;
- здійснювати динамічне перетворення сигналів (диференціювання, інтегрування, згладжування і т.д.);
- здійснювати розмноження сигналу, посилення сигналів по потужності;
- здійснювати індикацію та вивід інформації в зручній для оператора формі.

Зокрема, в комплексі «Каскад» є наступні блоки.

И.04 – вимірювальний блок, дозволяє сформувати сигнал неузгодження. До нього можуть бути підключені від одного до чотирьох давачів сигналу, усі сигнали можуть бути масштабовані. Далі ці сигнали порівнюються із сигналом від задавача.

Р.12 – регулювальний блок з неперервним вихідним сигналом, формує ПІД-закон регулювання.

Р.21 – регулювальний блок з імпульсним вихідним сигналом, формує ПІ-закон регулювання разом з виконавчим механізмом сталої швидкості.

БУ.12 – блок керування для Р12.

БУ.21 – блок керування для Р21.

А.04 – здійснює підсумовування і масштабування.

А.31 – здійснює операції множення струмових сигналів.

А.32 – здійснює ділення струмових сигналів.

А.33 – здійснює добування квадратного кореня.

Л.01, Л.02 – здійснює логічні операції.

Д.01 – реалізує реальну диференційну ланку.

Н.01 – здійснює кусково-лінійну апроксимацію будь-якої нелінійної функції.

ЗУ.11 – реостатний задавач.

ЗУ.05 – струмовий задавач.

В.01 – захисний пристрій від обриву вимірювального кола.

В.12 – блок індикаторів.

В.21 – блок узгоджувальних приставок.

Усі блоки мають уніфіковані корпуси, показані на рис.14.2.

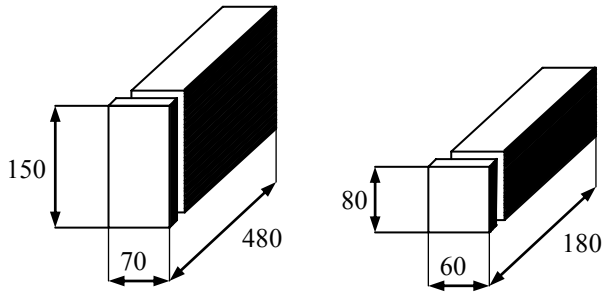


Рис. 14.2. Стандартні блоки системи «Каскад».

У системі «Каскад» для одержання необхідних динамічних характеристик використовуються операційні підсилювачі аналогічно рис.14.2.

14.1. Властивості передачі інформації за допомогою струмового сигналу

Струмовий сигнал має підвищену перешкодозахищеність.

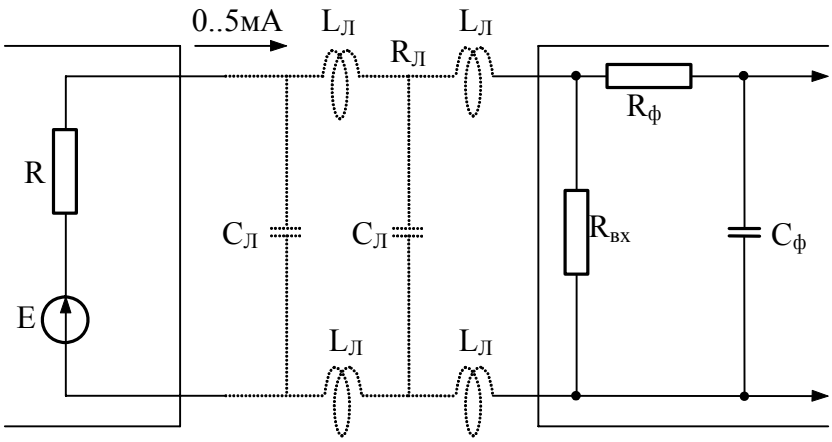


Рис. 14.4. Схема передачі струмового сигналу в системі «Каскад»

Зміна опору $R_Л$ у деяких межах мало позначається на зміну струму, оскільки R досить велике.

$$I = \frac{E}{R + R_Л + R_{ВХ}}$$

Вплив зміни розподілених ємностей і індуктивностей сполучних ліній на сигнал постійного струму досить малий. Перешкоди промислової частоти подавляються вхідним RC-фільтром.

Гальванічна розв'язка ланцюгів

Кондуктивна ізоляція ланцюгів особливо необхідна для забезпечення можливості послідовного з'єднання декількох споживачів або джерел сигналу, кожний з яких може мати свою точку заземлення. Це відноситься:

- до схеми з послідовним включенням декількох споживачів до одного джерела струмового сигналу (рис.14.5);

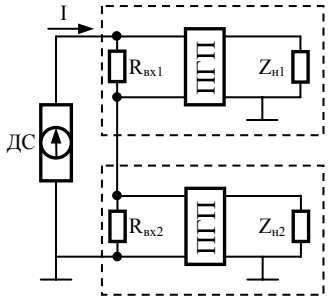


Рис. 14.5. Схема з послідовним включенням декількох споживачів до одного джерела струмового сигналу.

ПГП –пристрій гальванічної розв'язки; ДС – джерело сигналу.

- до схеми підсумовування струмових сигналів у вхідному ланцюзі споживача за допомогою послідовно включених вхідних резисторів $R1$ і $R2$ (рис. 14.6);

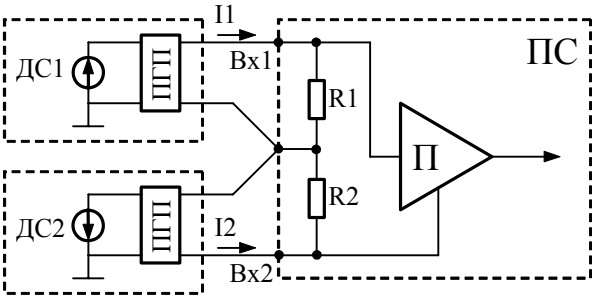


Рис. 14.6. Схема підсумовування струмових сигналів у вхідному ланцюзі споживача

П – підсилювач; ПС – приймач сигналу.

- до схеми підсумовування сигналів напруги шляхом послідовного з'єднання джерел (рис. 14.7);

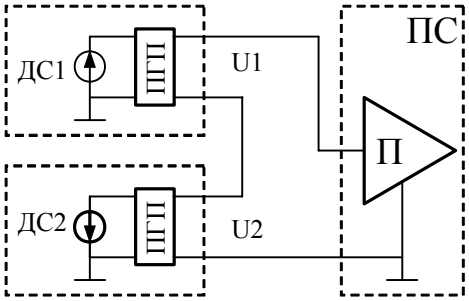


Рис. 14.7. Схема підсумовування сигналів напруги шляхом послідовного з'єднання джерел.

- до схем захисту блоків від перешкод $U_П$, обумовлених різницею потенціалів φ_1 і φ_2 між точками заземлення джерела і приймача сигналу (рис. 14.8).

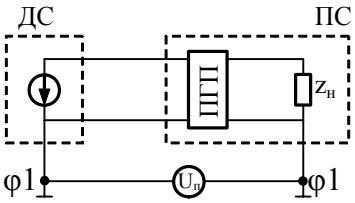


Рис. 14.8. Схема для захисту систем від перешкод Uп.

$U_П$ – напруга перешкоди.

У багатоконтурній системі керування гальванічна ізоляція між різними контурами системи дозволяє локалізувати перешкоди, що виникли в окремих контурах, тобто не дає поширюватися перешкодам на інші контури системи. Гальванічна розв’язка ланцюгів постійного струму здійснюється відповідно до рис. 14.9.

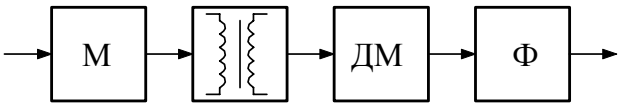


Рис. 14.9. Схема реалізації гальванічної розв’язки.

У модуляторі *М* сигнал постійного струму перетворюється в послідовність імпульсів із використанням амплітудно-імпульсної або широтно-імпульсної модуляції. Далі імпульсний сигнал проходить через роздільний трансформатор *Тр*, що забезпечує гальванічну розв’язку вхідних і вихідних кіл. У демодуляторі *ДМ* здійснюється фазочутливе випрямлення сигналу, а за допомогою фільтра *Ф*, що згладжує, виділяється постійна складова випрямленого сигналу.

Розподіл уніфікованих струмових сигналів із захистом ланцюга від розриву.

У системі керування з струмовим сигналом зв'язку всі споживачі включаються послідовно, тому обрив лінії зв'язку або відключення одного споживача приводить до того, що одночасно припиняється надходження інформаційного сигналу до всіх інших споживачів. Для того, щоб зберегти протікання струму в ланцюзі, паралельно затискачам споживачів на розподільній колодці підключається сигнальний захисний пристрій (рис.14.10), що представляє собою стабілітрон із нелінійною вольт-амперною характеристикою, яка відзначається наявністю граничної напруги включення.

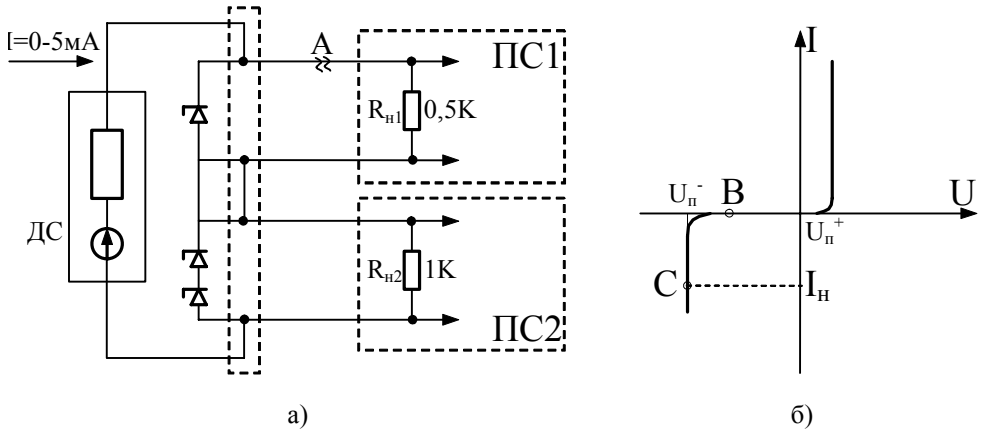


Рис. 14.10. Використання стабілітронів для захисту струмового ланцюга від розриву.

а – схема включення; *б* – вольт-амперна характеристика захисного пристрою.

У нормальному режимі напруга $U_H = I_H \cdot R_H$ на опорі навантаження $R_Н$, створюванна струмом $I_Н$ джерела сигналу, менша граничної напруги $U_П$, стабілітрон закритий і струм через нього практично дорівнює нулеві (т. В). При обриві (т. А) напруга на навантаженні стрибком зростає, стабілітрон відкривається й у ланцюзі зберігається колишнє значення сили струму. Напруга на затискачах споживача стає рівною $U_П$ (т. С), а на затискачах джерела напруга зростає на величину $\Delta U = U_П - I_H \cdot R_H$.

Подібний захисний пристрій для розподілу струмового сигналу випускається в рамках системи «Каскад» (В-01) і розрахований на підключення до блоків із вхідним опором 400...500 Ом (при струмі 0...5 мА) і має поріг включення 5,6 В. У випадку великого вхідного опору споживача ($R_Н$ = 1кОм) використовують послідовне включення захисних пристроїв для зниження похибки, пов'язаної з протіканням струму через стабілітрон, коли напруга на навантаженні близька до порога включення стабілітрона.

14.2. Вимірювальний блок И.04

Функціональна схема блоку И.04 зображена на рис. 9Д.

Цей блок призначений для:

- підсумовування і масштабування до чотирьох струмових сигналів (0...5)мА від давачів або інших пристроїв;

- порівняння цього сумарного сигналу із сигналом задавача-коректора;

- введення змінного діапазону задавача;

- наступне перетворення отриманого сигналу в сигнал по напрузі постійного струму.

$$\left[\sum_{i=1}^{4} X_{Д_i} \cdot K_i - (X_{ЗД} \cdot K_{ЗД} - X_{КОР})\right] \cdot K_П = X$$

Конструктивно блок И.04 побудований за блочно-модульним принципом, має внутрішній модуль живлення.

Склад И.04: *1* – вимірювальний ланцюг; чотири модулі перетворювача *2*, що призначені для гальванічної розв'язки вхідного сигналу напруги постійного струму і сигнала у наступних ланцюгах; *3* – модуль-генератор, який живить частотою 10 кГц модулі *2*; *4* – стабілізатор; *5* – модуль живлення.

У вимірювальному ланцюзі відбувається перетворення вхідних струмових сигналів у сигнали напруги, що потім надходять на відповідні вузли гальванічної розв'язки, побудовані за принципом «модулятор – трансформатор – демодулятор» (рис.15.11). Модулятори і демодулятори цих вузлів керуються від вбудованого генератора прямокутних коливань *3*, який працює на частоті 10 кГц.

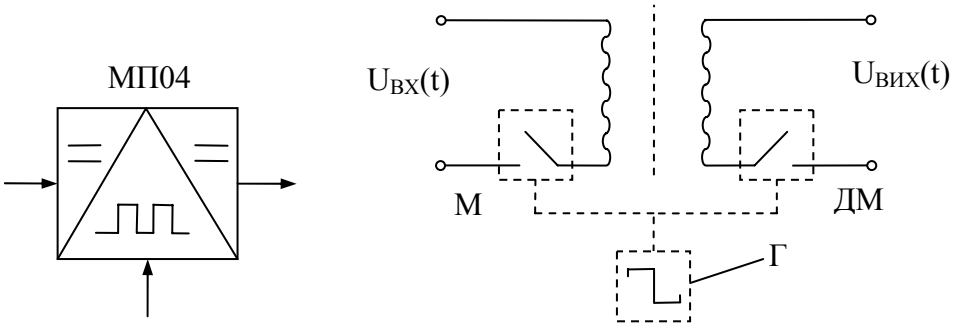


Рис. 14.11. Модуль гальванічної розв’язки ланцюгів.

Сигнали на виході вузлів гальванічної розв’язки масштабуються за допомогою потенціометрів $K_П$ і послідовно підсумовуються. До отриманого сигналу суми додається напруга мостової схеми, в одне плече якої включений коректор, а в інше – зовнішній потенціометричний задавач. Мостова схема живиться від стабілізованого джерела *4*. У схемі передбачена можливість дискретно і плавно змінювати діапазон дії зовнішнього задавача.

На вхід блоку И.04 можна подавати струмові сигнали будь-якої полярності. Вихідний сигнал блоку також може бути двополярним. Вихід И.04 – це клеми *5*, *4*. Вихідна напруга ±2,5 В. Є контрольні гнізда *А*, *Б*.

14.3. Блок А.04

Функціональна схема блоку А.04 показана на рис.10Д.

Цей блок призначений для:

- підсумовування і масштабування декількох (до 4-х) струмових сигналів;
- перетворення сумарного сигналу в струмовий сигнал (0...5) мА;
- забезпечення можливості підключення декількох пристроїв споживачів із різним вхідним опором – функція розмноження сигналу.

Схема блоку підсумовування А.04 містить вимірювальний ланцюг *1*, чотири вузли гальванічної роз'язки *2*, генератор *3*, стабілізатор *4*, операційний підсилювач *5* і джерело живлення.

У вимірювальному ланцюзі відбувається перетворення вхідних струмових сигналів у сигнали напруги, які потім надходять на відповідні вузли гальванічної роз'язки, побудовані за принципом «модулятор – трансформатор – демодулятор». Модулятори і демодулятори цих вузлів керуються від вбудованого генератора прямокутних коливань, який працює на частоті 10 кГц.

Сигнали на виході вузлів гальванічної роз'язки масштабуються за допомогою перемикачів K_{Π} (дискретно), K_{Π}^{1} (плавно) і послідовно підсумовуються. Операційний підсилювач перетворює отриману суму напруг в уніфікований струмовий сигнал. За допомогою тумблера «Зміщення» до вихідного струму блоку додається сигнал, рівний 50% повного діапазону (2,5 мА).

Блок А.04 застосовується для підсумовування уніфікованих струмових сигналів у тих випадках, коли просумований сигнал обробляється іншими приладами системи керування, передається на великі відстані, точно вимірюється або записується тощо, і в зв'язку з цим повинний бути представлений також у вигляді уніфікованого струмового сигналу.

$$I_{ВИХ}(t) = \sum_{i=1}^{4} I_i \cdot K_i$$

$I_{ВИХ}$=(0...5)мА.

Пропорційна ланка виконана на базі операційного підсилювача з постійним коефіцієнтом передачі. Контрольні гнізда вихідного сигналу – *А*, *Б*.

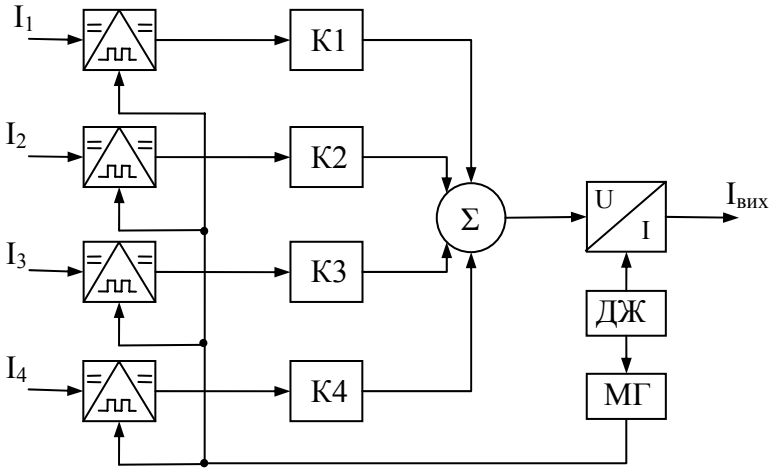


Рис. 14.12. Структурна схема блоку А04.

14.4. Регулювальний блок Р.21

Функціональна схема блоку Р.21 показана на рис. 11Д. Блок призначений для побудови систем регулювання різних технологічних параметрів із використанням виконавчих механізмів сталої швидкості. Вихідний сигнал являє собою послідовність імпульсів напруги постійного струму 24 В, що пройшли часо-імпульсну модуляцію. На вхід подається сигнал з блоку И-04. Р.21 побудований за блочно-модульним принципом.

Р.21 формує ПІ-закон регулювання за третьою схемою реалізації. Схема регулювального блоку Р.21 містить вимірювальний ланцюг *1*; прямий канал, що складається з операційного підсилювача *7* і трипозиційного релейного підсилювача *4*; головного *2* і додаткового *3* ланцюгів зворотних зв'язків; джерело живлення *6* і сигнальні лампочки *5*.

У вимірювальному ланцюзі струмові сигнали перетворюються в сигнали напруги і послідовно підсумовуються між собою. Сигнал неузгодження, що утвориться, підсилюється операційним підсилювачем *7* і подається на трипозиційний релейний підсилювач *4*, на виході якого встановлені тиристорні ключі.

Прямий канал блоку охоплений головним інерційним зворотним зв'язком, що формує закон регулювання, і додатковим зворотним зв'язком (ЗЗ), за допомогою якого встановлюється необхідна тривалість включення блоку в пульсуючому режимі.

На «*Входи* 2-4» блоку подаються сигнали, які необхідно демпфувати. Сигнали подані на «*Входи* 1 і 5», не демпфуються. Як правило, до «*Входу* 1» підключається диференціатор, а до «*Входу* 5» – блок динамічного зв'язку між регуляторами.

Неузгодження, створене сигналами, поданими на «*Входи* 1-4», можна контролювати на гніздах *А – Б*. На гніздах *В – Б* утвориться посилений сигнал неузгодження, у якому беруть участь усі п'ять входів блоку. Гнізда *Г – Б* використовуються при настроюванні блоку в тому випадку, коли необхідно розрядити ємність зворотного зв'язку або змінити встановлений час інтегрування. Установка перемички між гніздами *Д – Б* призводить до вилучення дії додаткового ЗЗ. Стан блоку контролюється візуально по сигнальних лампочках *5*, які розташовані на передній панелі регулятора.

Вихідний сигнал блоку має форму пульсуючої напруги, утвореної в результаті дво-напівперіодного випрямлення змінної напруги частотою 50 Гц.

Регулятор Р.21 реалізує ПІ-закон регулювання разом з виконавчим механізмом сталої швидкості. Неонова лампочка *НЛ* – безконтактний ключ, що розриває ланцюг ЗЗ. При повному заряді конденсатора *С* струм падає, гасне лампочка, ланцюг розривається, конденсатор розряджається через опір *Rp* за час, що визначається T_I.

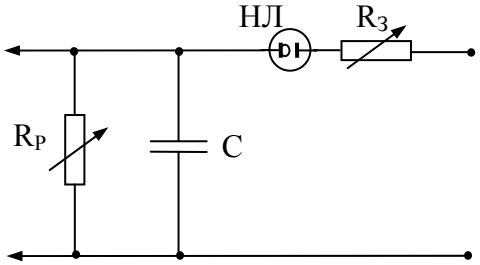


Рис. 14.13. Формуючий зворотній зв’язок блоку Р.12

$$W_{ЗЗ}(p) = \frac{K_{ЗЗ}}{T_{ЗЗ}p + 1}$$, де:

$$T_{ЗЗ} = \begin{cases} T_З = R_З \cdot C \\ T_Р = R_Р \cdot C \end{cases}.$$

Демпфер вхідного сигналу підключається до клем *14* і *15* (вхід для підключення И.04). Клеми *16*, *17*, *18*, *19* використовуються для підключення додаткових струмових сигналів. Активний вихід – клеми *7*, *8*, *9*. Клема *8* – спільна точка. *7*, *9* – відповідно «+» і «-». Пасивний вихід – клеми *10* і *7*, *8*.

14.5. Регулювальний блок Р.12

Регулятор Р.12 із неперервним вихідним сигналом формує відповідно до п'ятої схеми ПІД-закон регулювання або його окремі випадки. Схема зображена на рис.12Д.

Входи:

4 - підключення вимірювального блоку И.04 на клеми *14*, *15*.

3, *2*, *1* - струмові сигнали подаються на клеми *17*, *18*; *17*, *16*; *16*, *15*.

Вихід: неперервний струмовий сигнал (0...5) мА, що подають:

- як корекцію завдання стабілізуючому регулятору при побудові двоконтурних каскадних систем регулювання;

- через електропневматичний перетворювач і відповідний пневматичний підсилювач потужності на пневматичний ВМ;

- на частотний перетворювач для частотно регульованих електроприводів (наприклад, на трубопроводах з великими витратами).

На вихід підключається блок керування БУ.12, що змінює режим роботи на «ручний» або «автоматичний». Далі включається навантаження, це може

бути або виконавчий підсилювач і виконавчий механізм пропорційного типу, або вхід стабілізуючого регулятора на базі Р.21.

Регулятор побудований за блочно-модульним принципом. У його склад входять наступні елементи:

1 – вимірювальний ланцюг;

2 – УВ22 – вхідний підсилювач напруги з двополярним виходом, що підсумовує сигнали неузгодження;

3 – МО – модуль-обмежувач, дозволяє обмежувати максимальне і мінімальне значення двополярного сигналу. У межах між границями він являє собою пропорційну ланку з коефіцієнтом передачі рівним одиниці. Наявність обмежувача в таких регуляторах пов’язано з тим, що відсутній виконавчий механізм, який здійснює інтегрування керуючого впливу, і при різкій зміні сигналу помилки за рахунок диференційної складової на вхід об'єкта може подаватися ударний вплив;

4 – УВ21 – вихідний підсилювач. Він підсилює сигнал за потужністю. Має два виходи: струмовий – на навантаження (основний), по напрузі – у ланцюг зворотного зв'язку.

- R-C елемент, що утворює формуючий зворотний зв'язок.

- *C*3, *R*11 – демпфер.

БУ-12 здійснює безударне переключення з «ручного» режиму в «автоматичний» і навпаки. В.12 – блок індикаторів, призначений для показу сигналу неузгодження і вихідного сигналу Р.12.

Нижче приведена схема, що ілюструє формування закону регулювання.

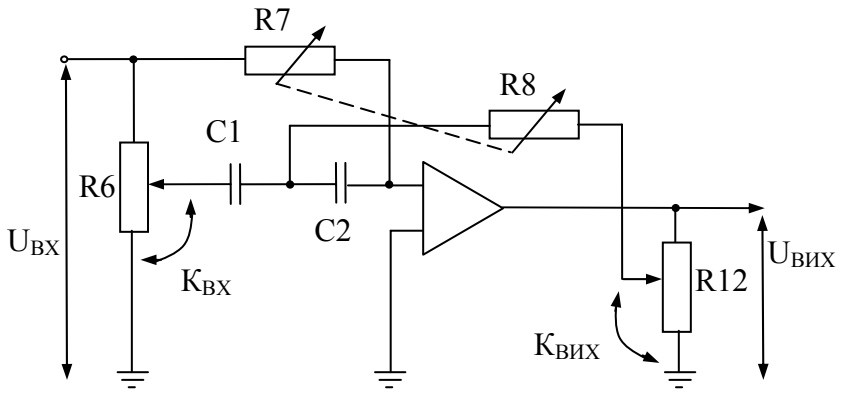


Рис. 14.14. Схема реалізації ПІД-закону в блоці Р.12.

Вхідний сигнал йде по двом паралельним ланцюгам.

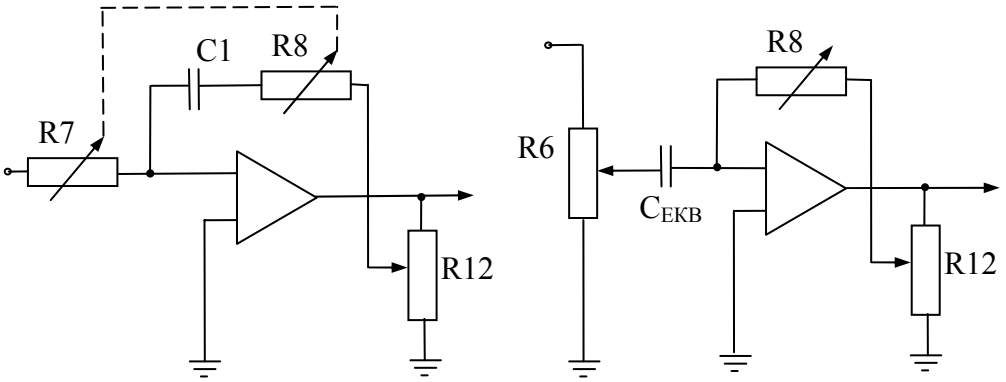


Рис. 14.15. Схеми перетворення вхідного сигналу.

$$W(p)=\frac{K_{ВХ}}{K_{ВИХ}}\cdot\frac{W_{ВХ}}{W_{ЗЗ}}=\frac{K_{ВХ}}{K_{ВИХ}}\cdot\frac{Z_{ЗЗ}}{Z_{ВХ}}$$

$W_1(p)=\frac{1}{K_{ВИХ}}\cdot\frac{R8+\frac{1}{p\cdot C1}}{R7}=$ $=\frac{R8}{K_{ВИХ}\cdot R7}\cdot\left(1+\frac{1}{p\cdot C1R8}\right)=$ $=K_П\cdot\left(1+\frac{1}{T_I\cdot p}\right),$ $T_I=R8\cdot C1,\quad K_П=\frac{1}{K_{ВИХ}}$,якщо $(R7=R8)$	$W_2(p)=\frac{K_{ВХ}}{K_{ВИХ}}\cdot\frac{R8}{\frac{1}{p\cdot C1}}=\frac{K_{ВХ}}{K_{ВИХ}}p\cdot C_{ЕКВ}\cdot R8\cdot K=$ $=\frac{1}{K_{ВИХ}}\cdot p\cdot K_{ВХ}\cdot K\cdot T_I=K_П\cdot p\cdot T_Д,$ $K_П=\frac{1}{K_{ВИХ}},\ T_Д=K_{ВХ}\cdot K\cdot T_I,$ $C1=K\cdot C_{ЕКВ}$

$$W(p) = W_1(p) + W_2(p) = K_{\Pi} \cdot \left(1 + \frac{1}{T_I \cdot p} + T_{Д} \cdot p\right)$$

Змінний резистор *R*8 є органом настроювання T_I. Резистори *R*7 і *R*8 зроблені спареними для зменшення взаємного впливу параметрів настроювання. Орган настроювання $K_П$ – резистор *R*12 ($K_{ВИХ}$). Таким чином, $K_П$ і T_I не залежать одне від одного. Опір *R*6 (*K*вх) – орган настроювання $T_Д$, за допомогою якого $T_Д$ задається як частка T_I.

Для здійснення безударного переходу з «автоматичного» режиму роботи на «ручний» у Р.12 передбачені реле *P* і джерело напруги *E*, що підключені через клеми *5*, *6* до одного з контактів перемикача «*P* - *A*» у БУ-12. Реле *P* при переході на режим «Р» контактами 1*P*, 2*P* і 3*P* переводить регулятор у режим «гарячого резерву», тобто в систему, що стежить. Вона забезпечує відстеження вихідним струмом значення, яке встановлює оператор на $J'_Р$. Для цього в БУ-12 є два спарених задавачі струмових сигналів $J''_Р$ та $J'_Р$. При цьому вихідний струм йде через контакт 3*P* по *R*13 – еквівалент навантаження. Контакт 2*P* відключає ФЗЗ, а 1*P* подає $J''_Р$ на вхід системи, що стежить. Таким чином, регулятор готовий до безударного переходу в режим «А». Зворотний перехід вимагає попередньо установити $J'_Р$ рівним поточному значенню струму навантаження, який зформований регулятором.

14.6. Блок динамічних перетворень Д.01

Принципова схема блоку диференціювання приведена на рис.13Д. Він може використовуватися для формування ПІД-закону регулювання разом з Р.21 (див. рис.14.16). Це реалізація третьої схеми формування ПІД-закону. Органи настроювання при цьому сильно взаємозалежні.

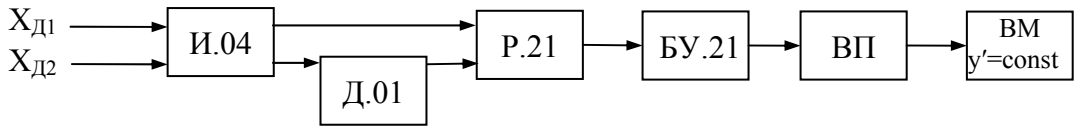


Рис. 14.16. Схема включення диференціатора Д01.

У блоці Д.01 послідовно з'єднаний демпфер (аперіодична ланка) і реальна диференційна ланка.

$$W_{Д01} = \frac{1}{T_{ДМ} \cdot p + 1} \cdot \frac{T_Д \cdot p}{T_Д \cdot p + 1} \cdot K_Д$$

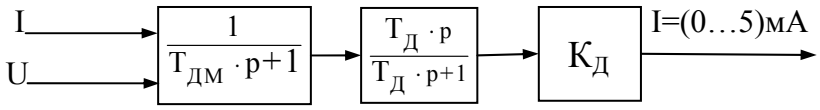


Рис. 14.17. Структура блоку Д01.

Клеми *14* і *15* – вхід по напрузі. Клеми *15*, *16* і *16*, *17* – струмові входи (0...5)мА. *А, Б* – контрольні гнізда. Демпфер: *R*5 і *C*1. Орган настроювання $T_{ДМ}$ – це потенціометр *R*5. Операційний підсилювач УВ.22 має вихідний однополярний сигнал. Орган настроювання $K_П$ – подільник вихідного сигналу *R*21. $T_Д$ визначається перемикачем *В*3 (від *R*7 до *R*15), *В*2 визначає діапазон $T_Д$. На виході контрольні гнізда *В*, *Г*. Вихідні клеми *7-10*, *7-9*, *7-8* використовуються в залежності від опору навантаження.

14.7. Блоки керування: БУ21 і БУ12

Принципова схема блоку БУ21 показана на рис.14Д. Схема застосування блоку БУ21 наведена на рис.14.18. Блок керування БУ21 призначений для роботи з регулятором Р21, а БУ12 – з Р12.

БУ21 має три положення перемикача режимів: «ручне», «автоматичне», «виключений». Блок являє собою перемикач групи контактів, у ньому є

індикаторні лампи «більше» й «менше», і кнопки «>» й «<». В автоматичному режимі БУ21 прямо пропускає командні сигнали із клем *7*, *8*, *9* з Р21 на вхідні клеми ВП.

У ручному режимі вихідні ланцюги регулятора розмикаються, а керування пускачем здійснюється від кнопок «>» й «<», які живляться від зовнішнього джерела напруги.

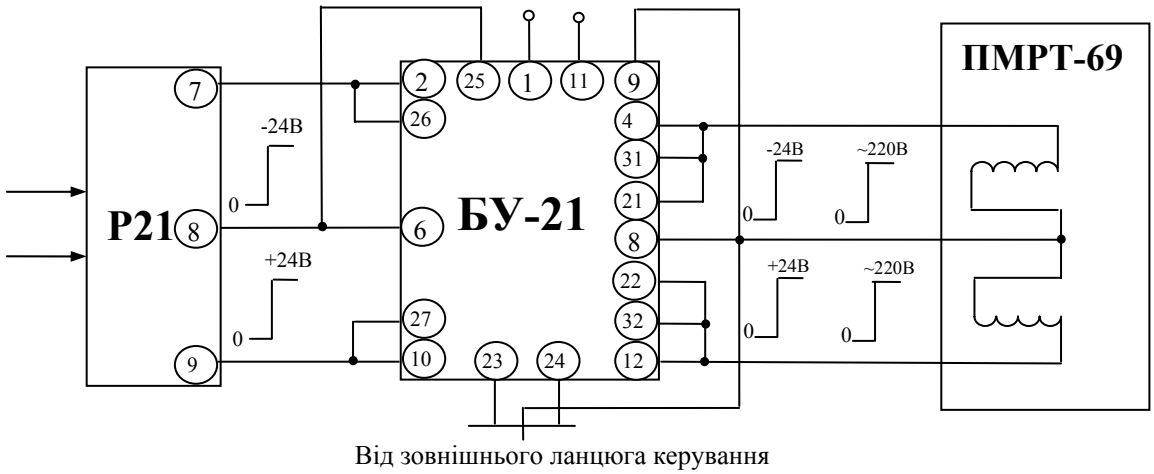


Рис. 14.18. Застосування блоку БУ-21.

БУ12 призначений для зміни режимів роботи системи з Р12 з «ручн.» режиму в «автомат» та навпаки, і повинен робити це безударно для об'єкта регулювання (рис. 12Д). В його складі є два спарені джерела струмового сигналу Jp’ та Jp”. Один з них Jp’ – головний вихід, сигнал з якого подається на навантаження. Такий самий струмовий задавач Jp”, призначений для керування регулятором Р12 у режимі гарячого резерву, тобто забезпечує готовність до перемикання в режим «автомат». Реле *Р* своїми контактами 1*Р* і 2*Р* перетворює прямий канал блоку в слідкуючу систему, яка відпрацьовує команди оператора при режимі «ручн.», а контактом 3*Р* на цей час підключає *R*13 як еквівалент зовнішнього навантаження до вихідного підсилювача УВ21.

15. ВИСОКОТОЧНИЙ РЕГУЛЯТОР ТЕМПЕРАТУРИ ВРТ

Регулятор ВРТ побудований на такій самій модульній базі, що і апаратура «Каскад». Призначений для формування ПІД-закону при роботі з виконавчими пристроями, що представляють собою пропорційну ланку. Область застосування, у першу чергу, об'єкти, де треба регулювати температуру з високою точністю: невеликі промислові печі для обробки виробів в електронній промисловості (мікросхеми, кристали), для випалу металокерамічних виробів, у порошковій металургії, електропечі. Характерна риса цих об'єктів – нагрівання здійснюється електричним струмом великої потужності. Вихід ВРТ – уніфікований струмовий сигнал, який через тиристорний підсилювач керує подачею енергії в об'єкт.

Регулятор складається з двох блоків И102 і Р111, а також тиристорного підсилювача У252 (рис.15.1).

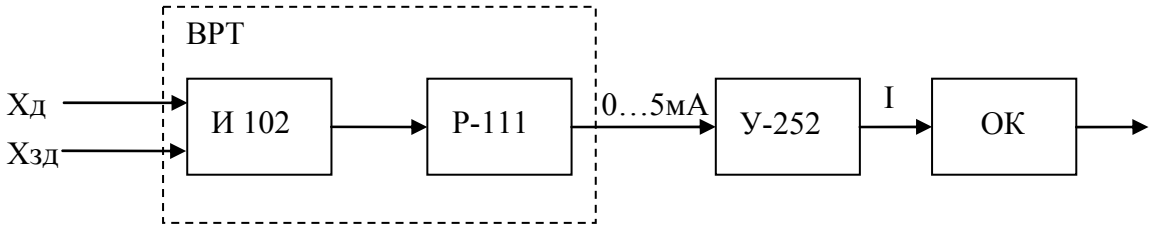


Рис.15.1 Система регулювання на базі ВРТ.

Інше застосування ВРТ – із пневматичним ВМ й електро-пневматичним перетворювачем (рис.15.2).

Рис. 15.2 Застосування пневматичного ВМ як виконавчої частини для ВРТ

$X_Д$— сигнал від будь-якої стандартної термопари. Вихід формуючого блоку - 0...5мА.

15.1. Вимірювальний блок И102

Структурна схема вимірювального блоку И102 наведена на рис.15Д. У його складі є укрупнений модуль-задавач *МЗ*-42, що містить *МД*01 і *МД*02 - для формування з високою точністю й сталістю сигналу завдання (мВ). Сигнал давача подається до клем *15*,*16*. Модуль *МК*01- використовується для компенсації впливу від зміни температури в зоні вільних кінців (містить мідні опори *R*23 *R*24). Сигнал похибки $X(t)=X_{ЗД} - X_{ТП}(t)$ можна контролювати на клемах *12*,*16*.

Верхня частина схеми призначена для подальшого перетворення сигналу *x(t)*: фільтрації перешкод, амплітудної модуляції (рис. 15.3), посилення, демодуляції й згладжування. Сигнал помилки проходить через фільтр, що придушує низькочастотні перешкоди, (дросель низької частоти *ДР НЧ* , конденсатор C_{13} і опір R_{72}).

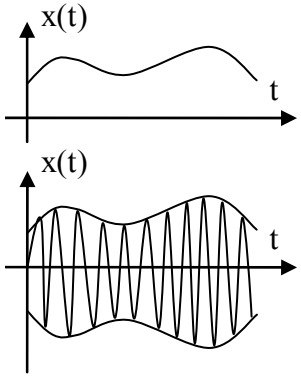


Рис. 15.3. Амплитудне модулювання сигналу x(t)

У модуляторі сигнал постійного струму *X(t)* перетворюється в сигнал змінного струму і накладається на несучу частоту. Для гальванічної розв'язки вхідних і вихідних сигналів служить трансформатор. Далі сигнал надходить до підсилювача змінного струму *УВ*-3. Підсилювачі змінного струму більш стабільні в порівнянні з підсилювачами постійного струму особливо в області малих сигналів. Далі випрямляч (демодулятор) перетворює цей сигнал у сигнал постійної напруги на виході в діапазоні +1,25... -1,25В. Вихідний R-C фільтр згладжує пульсації після випрямляча. Вихідна напруга:

$U(t)=X(t) = [X_{ЗД}-X_{ТП}(t)]K_{ПС}$.

Модуль МД02, що формує сигнал завдання, має кілька складових. Перемикач *П*1- вводить у сигнал завдання зсув 10мВ. *П*2 —декадний перемикач, який додає в сигнал завдання $n{\cdot}1$мВ, *П*3 –додає $m{\cdot}0,1$мВ, змінний опір *R*60 – $p{\cdot}0,01$мВ. Таким чином, сигнал $X_{ЗД} = (10,0 + n{\cdot}1 + m{\cdot}0,1 + p{\cdot}0,01)$мВ можна встановити з великою точністю у діапазоні 0..21,1мВ. Модуль МД01 – використовується для стабілізації напруги, якою живиться задавач. Модуль ИП-03 – джерело живлення.

15.2. Формуючий блок Р111

Схема формуючого блоку Р111регулятора ВРТ наведена на рис.16Д. Функціональні можливості: формування ПІД-закону з вихідним неперервним сигналом 0...5мА(використовується 5-а структурна схема); індикація сигналу неузгодження й вихідного командного сигналу; безударне перемикання режимів роботи системи, плавна зміна командного сигналу в ручному режимі. Регулятор побудований за блочно-модульним принципом. Модуль *УВ*1- підсилювач постійного струму (2-полярний) із двома виходами по струму – головний і по напрузі – у ланцюзі зворотного зв'язку. *ИП*2 - модуль живлення. На виході блоку є перемикач режимів роботи, що забезпечує безударне перемикання з автоматичного регулювання на ручне й навпаки, а також задавач вихідної величини, що використовується у ручному (дистанційному) режимі.

Формуючий *ЗЗ* разом із вхідним колом має змінну структуру для одержання необхідного закону регулювання й показаний на рис.17.4.

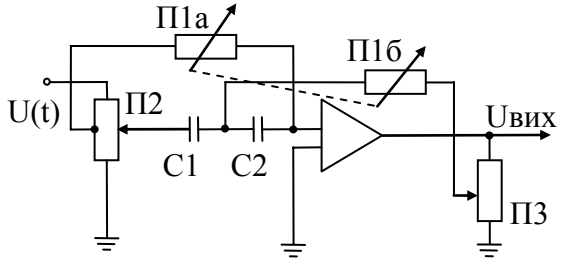
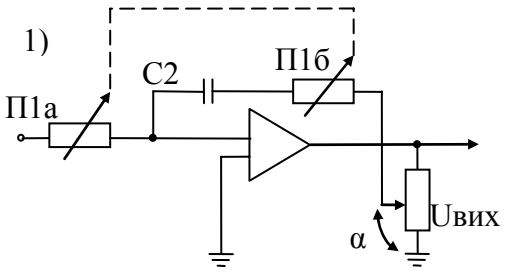


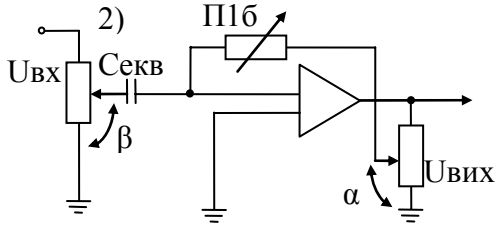
Рис. 15.4. Схема реалізації ПІД-закона в блоці Р111.

Вхідний сигнал йде по двох паралельних колах.



$$W_1(p)=\frac{K_{BX}}{K_{ЗЗ}}\cdot\frac{W_{BX}(p)}{W_{ЗЗ}(p)}=\frac{K_{BX}}{K_{ЗЗ}}\cdot\frac{\frac{1}{Z_{BX}(p)}}{\frac{1}{Z_{ЗЗ}(p)}}=\frac{1}{\alpha}\cdot\frac{П_{1б}+\frac{1}{p\cdot C_2}}{П_{1a}}=\frac{1}{\alpha}\cdot\frac{П_{1б}}{П_{1a}}(1+\frac{1}{П_{1б}\cdot C_2\cdot p})=$$

$$=K_P(1+\frac{1}{T_I p})$$



$$W_2(p)=\frac{\beta}{\alpha}\cdot\frac{П_{1б}}{\frac{1}{p\cdot C_{EKB}}}=\frac{\beta}{\alpha}\cdot p\cdot П_{1б}\cdot C_{EKB}=\frac{\beta}{\alpha}\cdot p\cdot П_{1б}\cdot\gamma\cdot C_2=K_P\cdot T_Д\cdot p,\ C_{EKB}=\gamma\cdot C_2$$

$W(p)=W_1(p)+W_2(p)=K_P(1+\frac{1}{T_I p}+T_Д p)$ при $T_Д=\beta\cdot\gamma\cdot T_I$.

На відміну від аналогічного за структурою регулятора Р12 у першому каналі точка приєднання розташована нижче й у виразі K_P з'являється додатковий множник K_{BX}=0,5. За рахунок спареності перемикачів *П*1а й *П*1б органи настроювання K_P і T_I незалежні. Як видно, $T_Д$ задається як частина від T_I, а органом настроювання служить β. На транзисторі *Т* зібраний задавач вихідної величини, органом керування якого є *R*4. Індикатори *А*1 – сигналу неузгодження та *А*2 – вихідної величини. *П*6-перемикач режиму роботи

Навантаження з різним опором повинно підключатися до різних виходів: клеми 9,10 – до 1кОм, клеми 8,10 – 1-2кОм, клеми 7,10 – 1-3кОм.

16. КОМПЛЕКС ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ "КАСКАД-2"

Ця апаратура призначена для побудови складних систем автоматичного керування відповідальними технологічними процесами (енергоблоки теплових та атомних електростанцій, промислові печі й ін.). Відмінність від комплекса «КАСКАД» - нові функціональні можливості:

- прецезіонне інтегрування аналогових і дискретних сигналів з більшими постійними часу й пам'яттю, яка не руйнується;
- нелінійне перетворення сигналу (статичне);
- розмноження сигналу з гальванічною розв’язкою;
- аналогове й дискретне автопідстроювання параметрів регулятора;
- виділення максимального і мінімального сигналу з декількох, або максимального (мінімального) значення в одному сигналі;
- підвищена функціональна насиченість і розширена номенклатура блоків.

У комплексі «КАСКАД-2» розширений набір інформаційних сигналів – це уніфіковані струмові сигнали та сигнал постійної напруги 0...10В, крім того передбачається підключення природних сигналів від давачів: ТП - термопари; ТО - термоопору; від давачів змінного струму типу ДТ. Ще однією конструктивною особливістю апаратури є застосування укрупнених функціональних модулів. Прилади комплексу побудовані за блочно-модульним принципом на базі операційних підсилювачів, інтегральних схем і тиристорів, що відрізняються високою надійністю. Усі конструктивні рішення уніфікуються: однакові корпуси, розміри, у кожному приладі два укрупнених функціональних модулі й джерело живлення, клемник на 30 клем. Розраховані на широкі діапазони експлуатаційних параметрів зовнішнього середовища – температура до 50^0С і вологість - до 90%.

Всі модулі поділяються на наступні групи :

- регулювальні (формують закон регулювання);
- формуючі сигнал неузгодження ;

- модулі статичного й динамічного перетворення інформації;
- джерела живлення.

У КАСКАДі-2 є ще блоки оперативного керування (з якими взаємодіє оператор) : БУ - змінює режим керування, ПП - покажчик положення, В-12 – індикатор неузгодження та вихідної величини, ЗД - задавачі (струмові, потенціометричні). Усього в КАСКАДі-2 є більше 20 блоків стандартної конфігурації. З регуляторами комплексу КАСКАД-2 можуть застосовуватися всі стандартні виконавчі підсилювачі, наприклад, ПМРТ, ПБР, ПМЕ, У-101.

16.1. Блоки й УФМ (укрупнені функціональні модулі) комплексу КАСКАД-2

N	Найменування блоку	Тип	УФМ	
			Алгебраїчний модуль	Математичний модуль
1	Блок регулювальний з неперервним виходом	Р17,Р17.1 Р17.2,Р17.3	И001,ИД001 ИС001,ИТ002	Р017
2	Блок регулювальний з дискретним (імпульсним) виходом	Р27,Р27.1 Р27.2,Р27.3	И001,ИД001 ИС001,ИТ002	Р027
3	Блок регулювальний з імпульсним виходом та автопідстроюванням	Р28	И001	Р028
4	Блок підсумовування та обмеження сигналів	А05	И001	А005

5	Блок розмноження та обмеження	А06	А005	Ф003
6	Блок обчислювальних операцій	А35	А035	А035
7	Блок аналого-релейного перетворення	Л03,Л03.1 Л03.3	А001,ИД001 ИТ002	Л003
8	Блок нелінійного перетворення	Н05	А001	Н005
9	Блок динамічних перетворень	Д05,Д05.1 Д05.3	А001,ИД001 ИТ002	Д005
10	Блок динамічних перетворень із автопідстроюванням	Д06	А001	Д006
11	Блок інтегрування	Д07	Ф001	Д007

16.2. Регулювальні модулі

Р027

Функціональна схема модуля Р027 наведена на рис.17Д, його основні функції: формування ПІ-закону разом з ВМ у'=const; формування 3-позиційного регулювального впливу; демпфування вхідного сигналу; гальванічна розв'язка вхідного й вихідного сигналів; введення сигналу заборони на керування навантаженням.

Передатна функція:

$$W_{P027}(p) = \frac{100 \cdot \alpha_{П}}{T_{ДМ} \cdot p + 1} \cdot (1 + \frac{1}{T_{I} \cdot p} + T_{Д} \cdot p) \cdot p$$

Р017

Функціональна схема модуля Р017 наведена на рис. 18Д, його основні функції: формування ПІД-закона з неперервним виходом; демпфування вхідного сигналу; введення обмеження по мінімуму й максімуму; перетворення сигналу по напрузі в струмовий. Таким чином, на виході можна одержати або уніфікований сигнал 0…10В, або струмовий 0…5мА, 0/4…20мАа. Вхід: сигнал по напрузі; додатковий вхід для безударного перемикання.

Органи настроювання: $\alpha_{верхнє}$; $\alpha_{нижнє}$, $T_{ДМ}$, T_I, $T_Д$.

Передатна функція:

$$W_{P017}(p) = \frac{K_П}{T_{ДМ} \cdot p + 1} \cdot (1 + \frac{1}{T_I \cdot p} + T_Д \cdot p)$$

Р028

Функціональна схема модуля Р028 наведена на рис.19Д, він формує ПІ-закон разом з ВМ y'=const, вихід - імпульси 0,±24В; 0,±10В.

Передатна функція:

$$W(p) = \frac{100 \cdot \alpha_п}{T_{ДМ} \cdot p + 1}(1 + \frac{1}{T_I \cdot p}) \cdot p$$

Модуль реалізує неперервне або дискретне (3-позиційне) автоматичне підстроювання параметрів закону регулювання. По командному сигналу 0...10В, що надходить на відповідний вхід, підлаштовуються $\alpha_П$ і T_I. Якщо використовується 3-позиційне підстроювання, то командний діапазон розбивають на 3 частини, у кожній з яких установлюють свої значення $\alpha_П$ і T_I. Залежно від командного сигналу, що надходить, реалізуються ті або інші величини $\alpha_П$ і T_I.

Крім того, в блоці реалізується демпфування вхідного сигналу, введення заборони на керування й гальванічна розв’язка входу й виходу.

16.3. Вимірювальні модулі

И001

Функціональна схема модуля И001 представлена на рис. 19Д, його функції: підсумовування, гальванічна розв'язка, масштабування (множення на константу) - відповідно до рівняння

$$(X_1 \cdot 1 + X_2 \cdot \alpha_2 + X_3 \cdot \alpha_3 + X_4 \cdot \alpha_4) - (\alpha_{ЗУ} \cdot X_{ЗД} - X_{КОР}) = \varepsilon$$

Входи: 0...±5мА, 0/4...±20мА, 0...±10В, 0...±1В.

ИД001

Функціональна схема модуля ИД001 представлена на рис. 17Д.
Сприймає від одного до трьох сигналів ДТ, а також сигнали постійного струму по напрузі 0...±10В. Реалізує рівняння

$$(X_1 \cdot \alpha_1 + X_2 \cdot \alpha_2 + X_3 \cdot \alpha_3) - (X_{ЗД} - X_{КОР}) = \varepsilon$$

ИС001

Функціональна схема модуля ИС001 представлена на рис. 20Д.
Сприймає один-два сигнали від ТО, до двох сигналів постійного струму, формує сигнал неузгодження. Реалізує рівняння:

$$(X_{ТО1} \cdot \alpha_1 + X_{ТО2} \cdot \alpha_2) - (X_{ЗД} - X_{КОР}) = \varepsilon$$

ИТ002

Функціональна схема модуля ИТ002 представлена на рис. 20Д.
Допускає підключення одного термоелектричного термометра будь-якого стандартного градуювання; підключення до двох сигналів постійного струму. Реалізує рівняння:

$$(X_{ТТ} + X_2 \cdot \alpha_2) - (X_{ЗД} - X_{КОР}) = \varepsilon$$

16.4. Модулі статичного перетворення інформації

А001

Функціональна схема модуля А001 наведена на рис. 21Д.
Входить до складу блоку Л03,Д05,Д06.

Функції: гальваніча розв'язка сигналів в двох незалежних каналах (на виході - неперервний сигнал 0…10В); масштабування й підсумовування трьох сигналів; коефіцієнт K_3 встановлюється у діапазоні (0,2…5); α_{31}, α_{32} у межах (0…1) — можна встановлювати самим.

А005

Функціональна схема модуля А005 наведена на рис. 21Д.
Входить до складу А05,А06.

Функції: підсумовування й масштабування трьох уніфікованих сигналів; α_B і α_H — регульовані обмеження сигналу 0…10В по верхній і нижній межі; перетворення напруги в струм.

А035

Функціональна схема модуля А035 наведена на рис. 22Д. Модуль використовується для виконання алгебраїчних операцій. Містить дві однакові частини.

Функції: множення, ділення, добування кореня, піднесення до квадрату; підсумовування й масштабування; гальванічна розв'язка сигналів, що підлягають множенню або діленню.

Л003

Функціональна схема модуля Л003 наведена на рис. 22Д.
Входить до складу блоків Л03,Л03-1,Л03-3.

Функція: аналого-релейне перетворення різниці 2-х неперервних сигналів. Один з яких може бути масштабованим, інший демпфованим.
Вихід: активний сигнал (0; ±24) В або через модуль гальванічного розділення - пасивний логічний сигнал "0","1" (сухий контакт) .

Н005

Функціональна схема модуля Н005 наведена на рис. 23Д.

Функції:

1. Кусково-лінійна апроксимація довільної нелінійної функції однієї змінної на шести ділянках, або, якщо використовуються три входи, кожна нелінійна залежність може апроксимуватися двома ділянками. Для кожної нелінійної ділянки задаються дві величини α_{0i} — початкова ордината й β_{0i} — тангенс кута нахилу.
2. Визначає найбільший і найменший з 3-х вхідних сигналів.

Ф001

Функціональна схема модуля Ф001 наведена на рис. 23Д.
Функції: перетворення сигналу по напрузі в частотний; гальванічна розв'язка входу й виходу, подача дозволяючого сигналу (прямий або інверсний дозвіл) від зовнішнього логічного джерела; підсумовування сигналів з масштабуванням.

Ф003

Функціональна схема модуля Ф003 наведена на рис. 21Д

Функції: модуль здійснює розмноження вхідного уніфікованого сигналу на три струмових сигнали; гальванічна розв'язка входу й виходу.

16.5. Модулі динамічного перетворення інформації

Д005

Функціональна схема модуля Д005 наведена на рис. 24Д.

$W_i(p)$ - може реалізувати одну з ланок (аперіодичну, реально-диференційну, пропорційну, інтегральну), варіанти передатної функції:

$$W_i(p) = \frac{K_i}{T_{ДМ}+1} \cdot \frac{T_i \cdot p}{T_i \cdot p + 1}.$$

Д006

Функціональна схема модуля Д006 наведена на рис. 24Д.

Застосовується в складі Д06.

Функції: перетворення сигналу по одному з наступних законів: П, Д, аперіодичному, інтегральному; аналогове або дискретне підстроювання коефіцієнта пропорційності або часу інтегрування K_I, T_I, аналогічно Р028, β_1, β_2 - два граничних значення у діапазоні параметра підстроювання.

Д007

Функціональна схема блоку Д007 наведена на рис. 24Д.

Функції: інтегрування частотного сигналу з наступним цифро-аналоговим перетворенням в 0...±10В; двостороннє обмеження із введенням заборони на обмеження; гальванічна розв’язка і сигналізація про досягнення граничного значення.

16.6. Регулювальний блок Р27

Регулювальний блок Р27 реалізує ПІД- і ПІ- закони та показаний на рис.25Д, 26Д. Змінний вимірювальний модуль відрізняє моделі: Р27.0, Р27.1, Р27.2, Р27.3. Схема з'єднань Р27 із зовнішніми пристроями представлена на рис.27Д.

Р27 побудований по 4-й структурній схемі реалізації ПІД-закону.

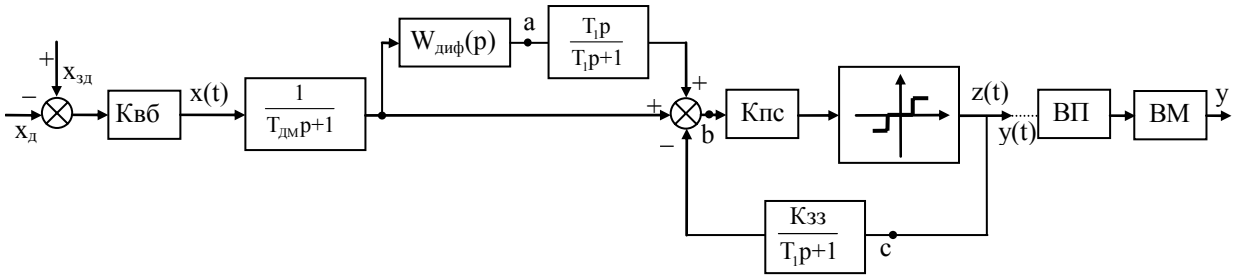


Рис.16.1. 4-а схема реалізації ПІД-закону.

Проаналізуємо структуру ділянок у прямому каналі і ФЗЗ регулювального модуля Р027 на рис. 26Д, які визначають його динамічні властивості.

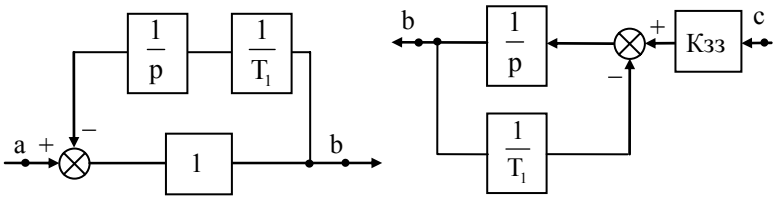


Рис. 16.2. Динамічні ділянки структурної схеми Р027.

$$W_{ab}(p)=\frac{1}{1+\frac{1}{T_1}\cdot\frac{1}{p}}=\frac{T_1p}{T_1p+1}$$

$$W_{cb}=K_{ЗЗ}\cdot\frac{1/p}{1+1/p\cdot T_1}=K_{ЗЗ}\cdot\frac{1}{T_1\cdot p+1}$$

Покажемо, що регулятор разом із ВМ реалізує ПІД-закон:

$$W(p)=\left(1+T_2\cdot p\cdot\frac{T_1\cdot p}{T_1\cdot p+1}\right)\cdot\frac{1}{\frac{K_{ЗЗ}}{T_1\cdot p+1}}\cdot\frac{1}{T_{ВМ}\cdot p}=K_P\cdot\frac{\left(T_Д\cdot T_I\cdot p^2+T_I\cdot p+1\right)}{T_I\cdot p},$$

де:

$$K_P=\frac{T_1}{K_{ЗЗ}\cdot T_{ВМ}},\quad T_I=T_1,\quad T_Д=T_2.$$

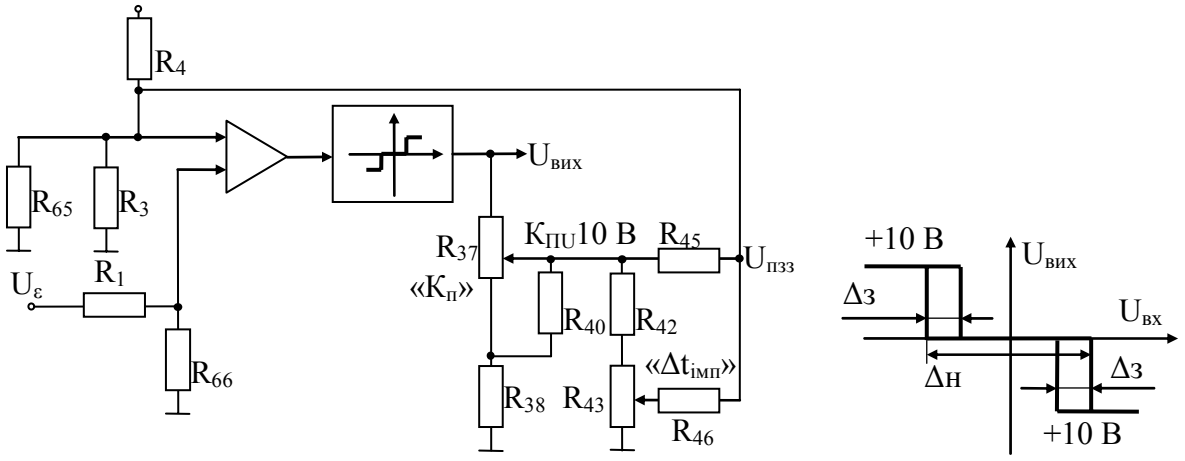
Характеристики параметрів настойки T_I й $T_Д$ — лінійні, K_P оберненопропорційно $K_{ЗЗ}$. Є однобічна залежність K_P від T_I , інші параметри не взаємозалежні.

Реалізація трипозиційної ланки із зоною звороту

Підсилювач $П_2$ і трипозиційна ланка із зоною нечутливості $\Delta_{H,}$ реалізована на підсилювачі $П_4$, охоплені додатнім зворотним зв'язком .Додатній зворотний зв'язок подається у вигляді напруги з подільника, що виконаний на резисторах R_{42} R_{43} R_{45} R_{46}. На вхід подільника подається напруга з подільника, що виконаний на резисторах $R_{37,}$ R_{38},R_{40}, призначеного для установки коефіцієнта передачі регулятора.

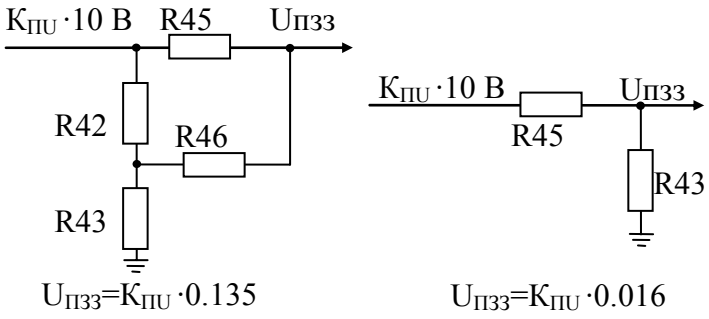
За рахунок додатнього зворотного зв'язку реалізується трипозиційна ланка з регульованою зоною звороту Δ_3 (рис. 16.3 б). Принципова електрична схема й статична характеристика ланки наведені на рис.16.3, де $K_{ПU}$— коефіцієнт передачі по напрузі потенціометра R_{37} із резисторами R_{38} ,R_{40}. При верхнім положенні движка $K_{ПU}$=1, при нижньому –

$K_{ПU} = R_{38}/(R_{37}+R_{38})$.



а) б)

Рис. 16.3. Принципова електрична схема й статична характеристика трипозиційної ланки із зоною нечутливості регулятора Р27



а) б)

Рис. 16.4. Електричні кола формування $U_{П.З.З.}$ у крайніх верхньому (а) і нижньому (б) положеннях движка R_{43}.

При повному переміщенні движка потенціометра R_{37} зміна $K_{ПU}$ відбувається в діапазоні 1…0,03. Значення напруги додатнього зворотного зв'язку $U_{П.З.З.}$ залежить від $K_{ПU}$ і від положення движка потенціометра R_{43} уставки тривалості імпульсів $\Delta t_{імп}$.

Якщо сигнал від'ємного зворотного зв'язку $U_{В.З.З.}$ =0 і на вхід трипозиційної ланки надходить сигнал неузгодження $U_\varepsilon \geq \Delta_H/2$, то вихідна напруга змінюється східчасто до +10В або –10В в залежності від знака U_ε Ланка переходить у нейтральне положення, коли U_ε зменшується до значення $U_\varepsilon \leq (\Delta_H/2)-\Delta_З$, де $\Delta_З$ – зона звороту (неоднозначності) ланки, що залежить від положення движків потенціометра ''$K_П$'' й «$\Delta t_{імп}$». Зона звороту визначається значенням $U_{П.З.З}$,В:

$U_{П\ З.З} = K_{ПU} \cdot K\Delta t_{імп} \cdot 10$, де $K_{ПU}$ – коефіцієнт передачі по напрузі подільника уставки «$K_П$»; $K\Delta t_{імп}$ – коефіцієнт передачі по напрузі подільника уставки «$\Delta t_{імп}$».

На виході трипозиційного тригера формується широтно-модульована послідовність імпульсів, полярність і шпаруватість яких залежить від вхідного сигналу та передатної функції блоку. Ці імпульси подаються на вихід Z_2 модуля безпосередньо, а на вихід Z_1 – через підсилювач потужності, який до того ж забезпечує гальванічне розв'язання кіл.

16.7. Блок регулювальний аналоговий Р17

Блок регулювальний аналоговий з неперервним вихідним сигналом Р17 виконує наступні функції: алгебраїчне підсумовування з гальванічною розв'язкою і масштабуванням до чотирьох вхідних уніфікованих сигналів постійного струму, введення сигналу завдання від внутрішнього коректора або від зовнішнього задавального потенціометричного пристрою, формування сигналу відхилення, формування на вибір одного із законів - П-, ПД-, ПІ-, або ПІД- регулювання, двостороннє регульоване обмеження вихідного сигналу, демпфування сигналу відхилення, у комплекті із зовнішнім блоком керування – безударне перемикання режимів роботи й ручне керування вихідним сигналом.

У двоконтурних системах виконує роль головного (коригуючого) регулятора, вихідний сигнал якого подається як завдання на стабілізуючий регулятор. Або використовується у звичайних одноконтурних схемах, де виконавчий підсилювач і виконавчий механізм є П-ланкою. Це має місце, якщо використовується пневматичний виконавчий механізм із електро-пневматичним перетворенням або в схемах із частотно-регульованим приводом.

Принципова схема регулювального блоку Р17.1 наведена на рис.28Д.

Вимірювальний модуль И001 включає в себе такі елементарні модулі: модулятори *1,2,3*, два з яких здійснюють масштабування, для перетворення уніфікованих сигналів постійного струму у сигнали напруги змінного струму; модулятор-підсилювач *4*, що сприймає і масштабує різні уніфіковані сигнали; транформаторний суматор, який здійснює гальванічну розв'язку сигналів; коректор для коригування сигналу задавача; демодулятор, що формує вихідний сигнал постійної напруги, пропорційний відхиленню; генератор імпульсів для керування ключами модуляторів та демодулятора; джерело напруги 10 В для живлення вузла задавач-коректор.

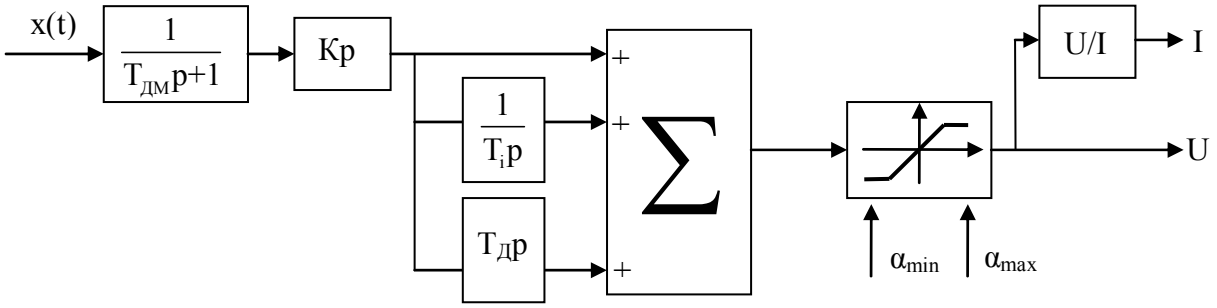


Рис. 16.5. Структурна схема регулювального модулю Р017

Регулювальний модуль Р017 (рис. 16.5) складається з таких елементарних модулів: ДМ - демпфера, вхідного та вихідного підсилювачів, П-, І-, Д- ланок, Σ - суматора, обмежувача, перетворювача (U/I), вузла безударного перемикання режимів роботи. Вхідні сигнали: по напрузі 0…10В та один із струмових. Органи настроювання: $T_{ДМ}$, T_I, $T_Д$, α_{min}, α_{max}.

Обмежувачі потрібні, якщо реалізуються ПД- або ПІД-закони, щоб при різких змінах вхідного сигнала, сплески на диференціаторі не призводили до ударної дії на об'єкт. Вхідний підсилювач *П*1 на високоомній інтегральнній мікросхемі реалізує аперіодичну ланку, що містить органи K_P та $T_{ДМ}$. Модулі інтегратора та диференціатора створені на операційних підсилювачах *П*2 та *П*3,що містять, відповідно, органи настроювання T_I і $T_Д$. На підсилювачі *П*4 виконано модуль-суматор. Вихідний підсилювач *П*7 формує сигнал напруги 0...10В, перетворювач напруги у струм зроблений на *П*6, він формує уніфіковані сигнали постійного струму 0...5мА, 0...20мА, 4...20мА. Модуль обмежувача вихідного сигналу виконаний на двох інтегральних мікросхемах, що працюють у режимі порогових елементів, на які подається опорна напруга через відповідні регулювальни потенціометри „Обм.мін.", "Обм.макс.". Передатна функція блоку Р17, який побудований за 1-ю структурною схемою реалізації ПІД-закону (рис.16.5.), має вигляд:

$$W_I(p) = \frac{K_P}{T_{ДМ} \cdot p + 1} \cdot (1 + \frac{1}{T_I \cdot p} + T_Д \cdot p)$$

$T_{ДМ}$, K_P, T_I й $T_Д$ – основні параметри настроювання блоку, як видно, вони незалежні. Вузол безударного перемикання режимів роботи містить реле *KV* із перемикачем контактів. При відключенні інтегральної складової закону регулювання безударність перемикання із ручного керування на автоматичне не забезпечується. Якщо по технологічних вимогах для об'єкта повний діапазон зміни вихідного сигналу неприпустимий, то при настроюванні встановлюють потрібний діапазон ручками «Обм.мін» й «Обм.макс».

17. АГРЕГАТНИЙ КОМПЛЕКС ЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ АКЕЗР

Апаратура АКЕЗР служить для побудови складних, одно- і багатоконтурних, багатозв’язних електричних систем регулювання. Застосовується ширше, ніж КАСКАД-2, хоча є апаратурою того ж покоління. АКЕЗР орієнтований на об'єкти енергетики (окремі блоки АЕС і ТЕС), але більше поширення одержав на великих промислових підприємствах. Виробник Івано-Франківський приладобудівний завод.

Комплекс визначається широким використанням інтегральних мікросхем, що забезпечує мініатюризацію та підвищену функціональну насиченість. Має широкий набір функціональних можливостей:

- можливість дистанційної, неперервної або дискретної зміни параметрів настроювання окремих блоків (РБИ, ДПИ), що потрібно для побудови адаптивних систем;
- інтегрування з високою точністю аналогових і дискретних сигналів із запам'ятовуванням останнього значення вихідної величини при втраті живлення, такі інтегратори використовуються як дистанційно керовані задавачі в системах супервізорного керування;
- дистанційне автоматичне перемикання режимів роботи системи за допомогою БК, реалізується на базі електромагнітного реле з магнітною фіксацією;

- виділення екстремального сигналу (максимального або мінімального) з декількох вхідних.

- наявність двох варіантів конструктивного виконання апаратури.

Приладове виконання — кожен блок розміщений в окремому корпусі стандартних розмірів, підключення вхідних і вихідних сигналів відбувається за допомогою клемника на задній стінці, є модуль живлення , кріплення, призначене для щитового монтажу, позначення (П) – приладове.

Шафове виконання — блоки заживлюють від централізованого джерела живлення, не мають корпуса (виконуються у вигляді субблока). Вони встановлюються до спеціальних стільників в шафах, дозволяють монтувати й налагоджувати систему в умовах заводу виготовлювача, що скорочує строки й підвищує надійність, позначення (Ш)-шафове.

17.1. Пристрої уводу-виводу інформації

БКР

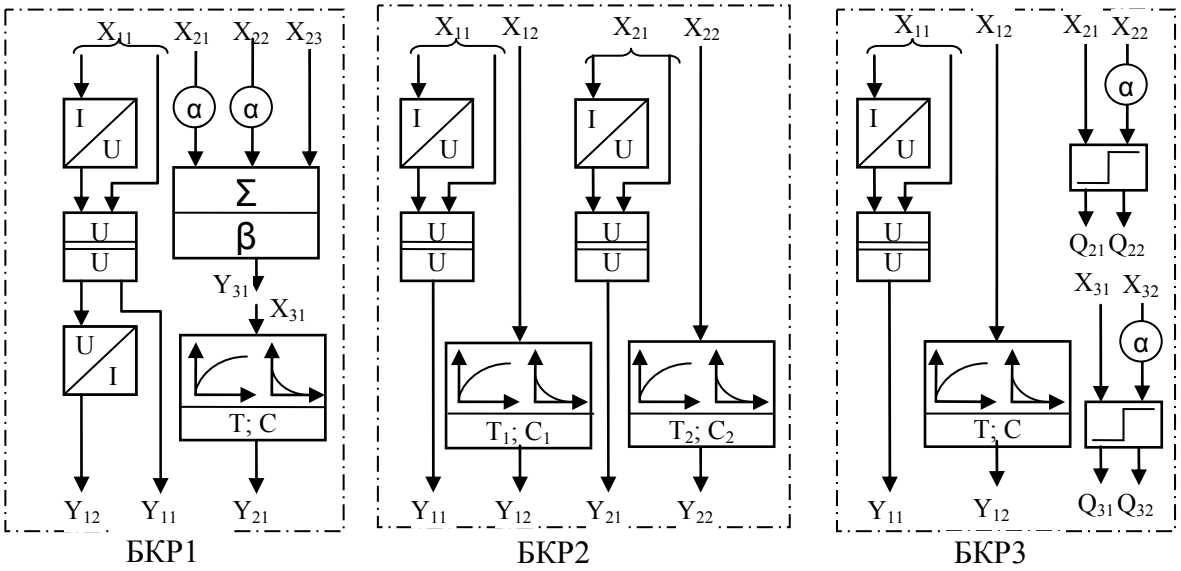


Рис. 17.1 Функціональні схеми блоків кондуктивного розділення.

До групи пристроїв уводу-виводу інформації входять блоки кондуктивного розділення (БКР), які використовуються як пристрої зв'язку АСР із зовнішніми системами й установлюються по кожному з каналів зв'язку.

БКР1— блок перетворює уніфіковані струмові сигнали в сигнал напруги й гальванічно розділяє входи й виходи, крім того, здійснює згладжування, демпфування, підсумовування й масштабування декількох сигналів, а також перетворення *U* в *I*. Органи настроювання: постійна часу T_I, коефіцієнт *C*.

БКР2— блок кондуктивного розділення двоканальний (має два однакових комплекти, що реалізують стандартні функції, див. рис.17.1).

БКР3— блок кондуктивного розділення із двома пристроями порівняння, на додаток до стандартних можливостей має два модулі двопозиційних перетворень (для двомежевої сигналізації) з незалежним порогом спрацьовування й контактними виходами.

Ці блоки застосовуються для розділення електричних кіл інформаційних аналогових сигналів давачів технологічних параметрів із гальванічною розв'язкою вхідних кіл від виходу, а також у тих випадках, коли існує небезпека замикання на землю електричних кіл давачів.

Крім основної функції – гальванічної розв'язки електричних кіл – блоки БКР забезпечують підсумовування сигналів, множення на постійний коефіцієнт, демпфування сигналу з регульованою постійною часу $T_{ДМ}$. Діапазони зміни вхідного сигналу 0...5; 0...20; 4...20мА; 0...10В; -10...0...+10В. Діапазони зміни вихідного сигналу блоків БКР1 0...5; 0...20; 4...20мА; -10...0...+10В; 0...10В; блоків БКР2 і БКР3 –10...0...+10В; 0...10В. Для БКР(1,2,3): *T*=0...24 с; *C*=0,5...24.

17.2. Блоки статичного перетворення інформації

БВО – блок обчислювальних операцій

Призначений для алгебраїчного підсумовування уніфікованих сигналів постійного струму, множення, піднесення до квадрату, ділення й добування квадратного кореня. У блоці - два модулі підсумовування й один універсальний модуль для виконання однієї з операцій— множення, піднесення у квадрат, ділення або добування квадратного кореня. Є один вільний подільник напруги α_1 для масштабування одного із вхідних сигналів (по U) у межах (0...1)В; де C_3=1...10, β_2=0,5; 1,0; 5.

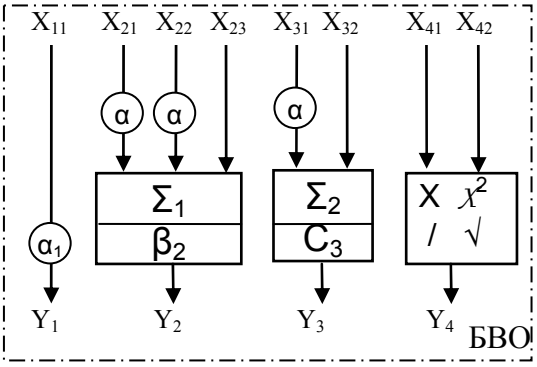


Рис. 17.2. Функціональна схема БВО.

Дозволяє виконувати алгебраїчні операції:

$Y_2=(\alpha_2 \cdot X21+\alpha_3 \cdot X_{22}+X_{23}) \cdot \beta_2$

$Y_3=(\alpha_4 \cdot X_{31}+X_{32}) \cdot \beta_3$

Блок сигналізації БСГ

БСГ - призначений для сигналізації відхилення вхідних сигналів. Вони можуть використовуватися для дво- і трипозиційного регулювання; крім цього мають два незалежні канали сигналізації досягнення вхідним сигналом установлених значень. Кожен канал містить суматор вхідних сигналів, демпфувальний пристрій, двопозиційний нелінійний елемент із зоною звороту Δ_3, яку можна звести до нуля.

Вихідний сигнал - логічний, видається за допомогою двох контактів, що перемикаються (тиристорного ключа). Блок дозволяє реалізувати двопозиційну релейну характеристику з $\Delta_З$ по двом незалежним каналам або трипозиційну релейну характеристику з $\Delta_Н$ и с $\Delta_З$ по одному каналу. Значення β=0,5;1,5. Діапазон зміни вхідного й вихідного сигналів -10...0...+10В.

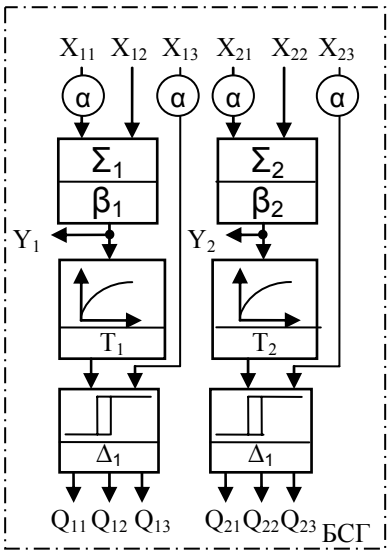


Рис. 17.3. Функціональна схема БСГ.

Блок нелінійних перетворень БНП

БНП—призначений для формування нелінійної залежності вихідного сигналу від вхідного (вимірюваного параметра) *У=F(X)* шляхом кусково-лінійної апроксимації із шести ділянок. Крім того, блоки дозволяють здійснювати алгебраїчне підсумовування двох сигналів із множенням одного із сигналів на масштабуючий коефіцієнт.

Значення вхідного сигналу –10...0...+10В; 0...10В. Значення вихідного сигналу-10...0...+10 В.

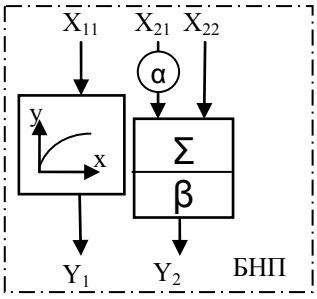


Рис. 17.4. Функціональна схема БНП.

Блок селектування БСЛ

Призначений для виділення найбільшого (найменшого) сигналу з лінійних комбінацій вхідних сигналів. Блок містить 4 суматори із множенням на постійний коефіцієнт.

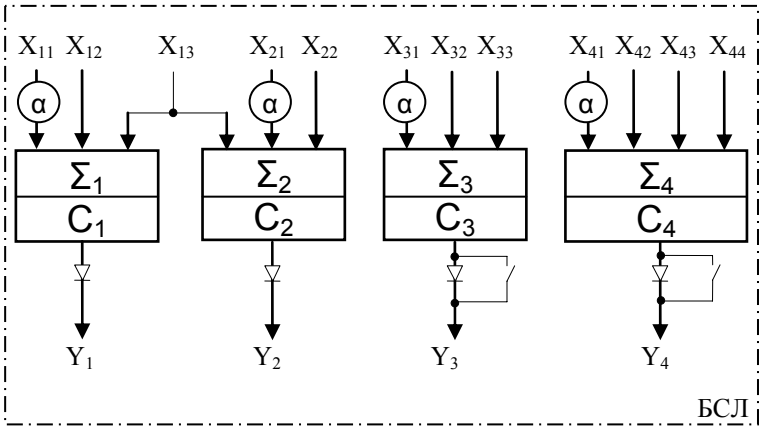


Рис. 17.5. Функціональна схема БСЛ.

Така структура дозволяє реалізувати функції: одержання 4-х лінійних комбінацій з 12-ти вхідних сигналів; виділення найбільшого (найменшого) сигналу з 4-х або 3-х лінійних комбінацій вхідних сигналів із сигналізацією виділеного каналу; відтворення найпростіших нелінійних залежностей (обмеження, $\Delta_{H)}$.

Значення вхідного й вихідного сигналів для БСЛ -10...0...+10В.

17.3. Блоки динамічного перетворення інформації

РБИ – регулювальні блоки

У групу регулювальних пристроїв комплексу входять блоки з імпульсним й аналоговим виходами (И або А в позначенні блоку, відповідно).

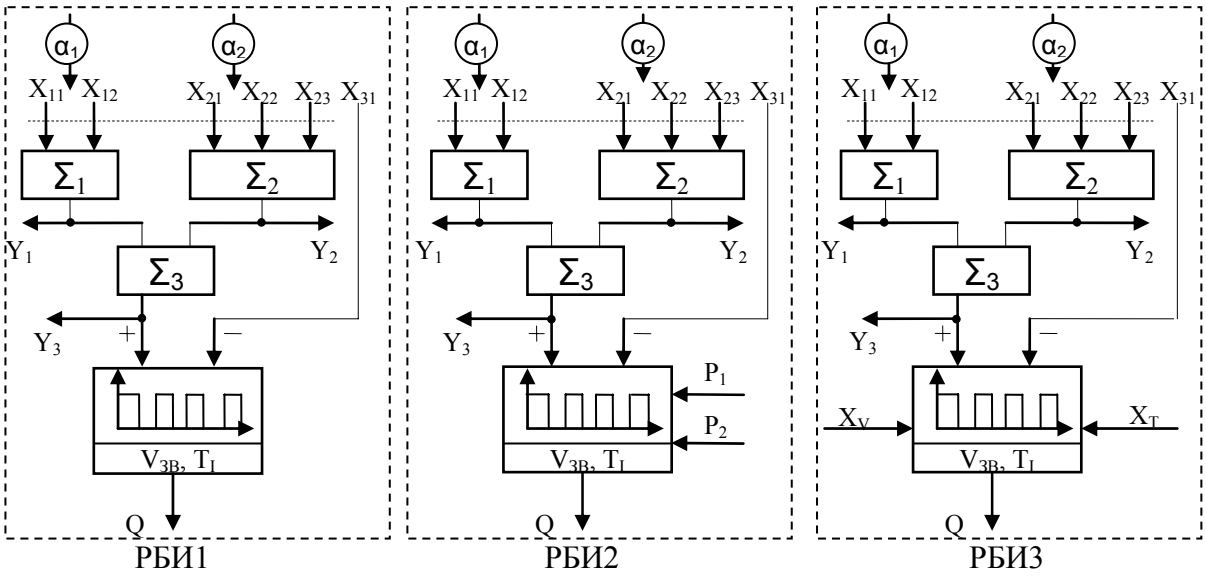


Рис. 17.6. Функціональні схеми РБИ.

Блоки регулювальні імпульсні призначені для формування ПІ- і ПІД-законів у системах з виконавчими механізмами постійної швидкості й випускаються декількох модифікацій: РБИ1, РБИ2, РБИ3 (відрізняються видом дистанційного підстроювання параметрів $V_{ЗВ}$-швидкості зв'язку, T_I - постійної часу інтегрування).

Блоки РБИ1 – призначені для формування закону ПІ-регулювання без дистанційного підстроювання параметрів.

Блоки РБИ2 – забезпечують дискретне, у три ступені, дистанційне підстроювання параметрів $V_{ЗВ}$, T_I. Значення параметрів на першому ступені встановлюються перемикачами і є базовими, параметри, які відповідають другому і третьому ступеням установлюються при підготовці блоку до роботи. Перехід на той або інший ступінь підстроювання здійснюється шляхом замикання входу P_1 або P_2 із спільною шиною за допомогою сигнального пристрою (наприклад, БСГ).

Блоки РБИ3 – забезпечують дистанційне аналогове підстроювання параметрів $V_{ЗВ}$ і T_I за допомогою зовнішнього командного сигналу по напрузі.

Усі регулювальні блоки мають розгалужену схему формування сигналу неузгодження масштабування. Діапазони зміни вхідних сигналів 0...5; 0...20;

4...20мА; 0...10В. Діапазон зміни вихідного сигналу вимірювальної схеми – 10...0...+10В.

РБА (регулювальний блок аналоговий)

Блоки РБА входять до системи АКЕЗР і формують сигнал неузгодження (сприймають усі стандартні струмові й сигнал по напрузі 0…10 В), а далі перетворюють його в аналоговий сигнал (струмовий і по напрузі) відповідно до П-, ПІ-, ПД- і ПІД- законів регулювання з демпфуванням пропорційної й диференційної складових, з кондуктивним розділенням вхідних і вихідних кіл і з можливістю безударного перемикання режимів керування.

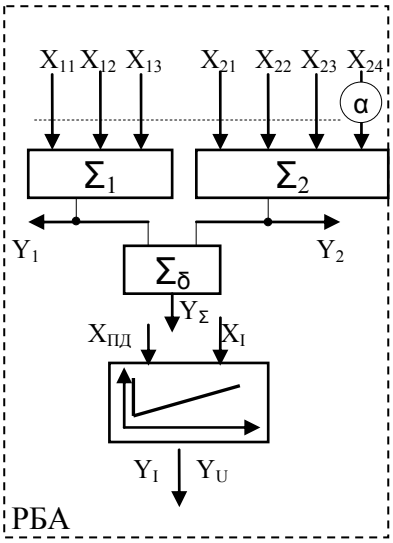


Рис. 17.7. Функціональна схема РБА.

Блок прецизійного інтегрування БПИ

Розроблений у комплексі АКЕЗР БПИ призначений для інтегрування вхідного аналогового 0…10 В або імпульсного, наприклад, широтно-модульованого сигналу релейного регулювального блоку, з можливістю логічного керування й збереження інформації при перериванні живлення.

Блоки БПИ мають один вихід із гальванічною розв’язкою від інших ланцюгів й один вихід без гальванічної розв’язки.

Значення вхідного сигналу -10...0...+10В; 0...10В; логічного сигналу: 1(відповідає значенню напруги –24В), 0(відповідає 0). Діапазон зміни вихідного сигналу з гальванічною розв'язкою 0...5; 0...20; 4...20мА; 0..10В; без гальванічної розв'язки – 0...+10В.

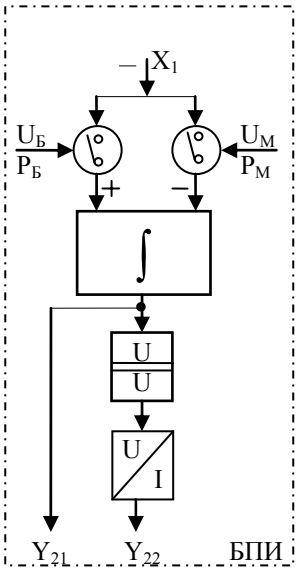


Рис. 17.8. Функціональна схема БПИ.

Блок динамічних перетворень БДП

Блоки БДП здійснюють алгебраїчне підсумовування трьох вхідних сигналів із попереднім масштабуванням двох із них. Цей блок призначений для динамічного перетворення (інтегрування, демпфування або диференціювання) лінійної комбінації вхідних сигналів з можливістю обмеження вихідного сигналу або двограничної сигналізації. Основа – інтегратор із логічним керуванням, двограничною сигналізацією й обмеженням сигналу як у БПИ. Значення вихідного сигналу після перерви подачі напруги живлення відновлюється завдяки тому, що вихідний код при відхиленні живлення блоку за припустиму межу записується в пристрій пам'яті.

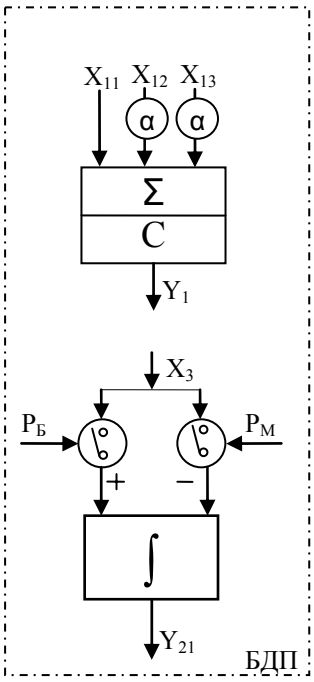


Рис. 17.9. Функціональна схема БДП.

Відмінність від БПИ: не має феритового пристрою пам’яті, кондуктивного подільника й перетворювача ’’напруги в струм’’. Замість цих вузлів БДП містить суматор Σ на три входи, два з яких масштабуються. Крім того, інтегратор у БДП виконаний з меншою у 4 рази дискретністю вихідного сигналу, ніж у БПИ. Наявність суматора й інтегратора в БДП дозволяє його використовувати для реалізації І -, АП - або РД - ланки. У зв'язку з цим, БДП може застосовуватися в каскадних системах регулювання зі зникаючим сигналом з проміжної точки, а також як ланка компенсації в комбінованих системах регулювання. Діапазон зміни вхідних і вихідних сигналів – 10...0...+10В; 0...10В.

Розглянемо докладніше побудову і роботу основних регулювальних блоків АКЕЗР.

РБА.

Як уже зазначалося, блок РБА призначений для формування ПІД-закона регулювання з демпфуванням П- і Д- складових, а також його окремих випадків, відповідно до рівняння

$$W(p) = K_П \cdot \left[(1 + T_Д \cdot p) \frac{1}{T_{ДМ} \cdot p + 1} + \frac{1}{T_I \cdot p} \right]$$

де: $K_П$ — коефіцієнт передачі, $T_{ДМ}$ — постійна часу демпфування (фільтрації), T_I — постійна часу інтегрування, $T_Д$ — постійна часу диференціювання.

Структурна схема, яка аналогічна 1-ій структурі (див. 8.5) наведена на рис. 17.10. Блок забезпечує безударне перемикання з автоматичного режиму роботи на ручний і навпаки, а також обмеження вихідного сигналу по верхній і нижній межі.

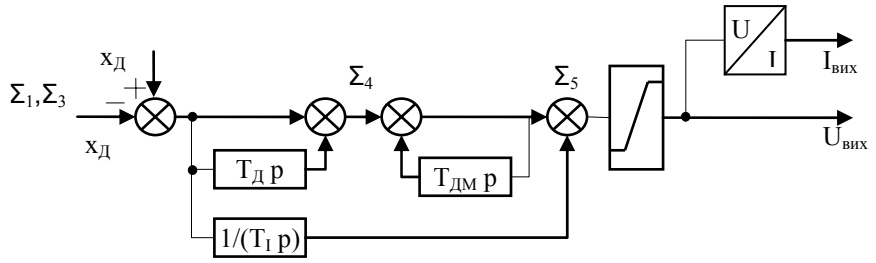


Рис. 17.10. Структурна схема РБА.

Принципова електрична схема регулятора РБА наведена на рис. 29Д.

У регуляторі передбачене перемикання затискачів на колодці *X*2, що дозволяє в закон регулювання вводити Д-складову входу або сигналу неузгодження (у цьому випадку Д-складова враховує і зміни завдання).

По входах «Змінна» передбачено два входи по напрузі 0...10 В і один вхід у вигляді аналогового струмового сигналу з можливістю установки кожного з діапазонів: 0...5, 0...10, 4...20 мА. По входах «Завдання» передбачено три входи по напрузі 0...10 В та один вхід струмовий з перемиканням діапазонів.

Регулятор має два виходи: один струмовий з перемиканням діапазонів й один по напрузі 0...10 В. Вхід і вихід регулятора гальванічно розв'язані.

Регулятор має регульовані обмеження мінімуму й максимуму сигналу виходу. Для введення обмеження на потенціометри установки обмежень регулятора подаються опорні напруги –10 В. У регуляторі передбачений перемикач SA_1 фазування «прямий-зворотний» вихід і дистанційна інверсія сигналу виходу при замиканні зовнішніх контактів *14* й *18*.

Схемою регулятора передбачено перемикання режимів роботи «Р»—«А» і дистанційне керування виходом регулятора в ручному режимі. Перемикання режиму здійснюється шляхом розмикання (режим «А») або замикання (режим «Р») зовнішнього затискача Р/А с спільної операційної шини. Ручне керування здійснюється від двох кнопок із спільною точкою, підключених до входів $P_Б$ і $P_М$ регулятора.

При переході з автоматичного режиму роботи на ручний вихідний сигнал залишається таким, яким він був в автоматичному режимі. При переході з ручного режиму на автоматичний у випадку нульового сигналу неузгодження значення сигналу на виході не змінюється, чим забезпечується безударне включення регулятора. При наявності сигналу неузгодження в момент включення автоматичного режиму пропорційне відпрацьовування вихідного сигналу відсутнє і сигнал на виході буде змінюватися поступово за рахунок інтегральної складової.

У регуляторі передбачені гнізда для контролю сигналу по ходу формування складових виходу: Y_1 — контроль І-складової; Y_2 — контроль ПД-складової; Y_3 — контроль ПІД-виходу до обмежувача; Y_4 — контроль виходу після обмежувача. Виміри в гніздах здійснюються щодо гнізда Y_0.

Органи настроювання регулятора: коефіцієнт підсилення «$K_П$»; постійна часу інтегрування «$T_І$»; постійна часу диференціювання «$T_Д$»; постійна часу демпфування «$T_{ДМ}$»; обмеження «Обм. мін» й «Обм. макс»; коефіцієнт масштабування завдання «k_{24}».

Регулятори РБА випускаються приладового типу (з індексом П) або шафового (з індексом Ш).Регулятори РБА-П заживлюються напругою 220 В. Вони виконані в корпусі, і для доступу до органів настроювання й перемикачів необхідно витягти регулятор з корпуса. Він приєднується до затискної колодки корпуса через штепсельний рознімач ШР і може повністю від'єднуватися й перевірятися поза корпусом.

Регулятори РБА-Ш змонтовані у вигляді блоків, що вставляють у шафу через штепсельний рознімач. Вони підключаються до блоку групового живлення БПГ із напругою +24 В (затискач *3*) і -24 В (затискач *35*) відносно спільної точки живлення (затискач 2). Крім того, від БПГ на регулятор подаються стабілізовані опорні напруги +10 й -10 В також відносно спільної точки живлення.

Сигнали «Змінна» підсумовуються на суматорі Σ_1, сигнали «Завдання» — на суматорі Σ_2. На затискачах *13* й *14* передбачений контроль вихідних напруг суматорів. На суматорі Σ_3 формується сигнал неузгодження між «Завданням» й «Змінною», що виводиться на затискач *12*.

Далі сигнал неузгодження (необхідно з'єднати затискачі *12*, *31* й *32*) надходить на модуль МРА, що реалізує закон ПІД-регулювання. .

Інтегральна складова вихідного сигналу реалізується на високоомномному підсилювачі $ВП_1$ внаслідок його охоплення додатнім зворотним зв'язком через конденсатор C_I. Підсилювач охоплений від'ємним зворотним зв'язком через резистор $R_Д$. Постійна часу диференціювання $T_Д=R_Д \cdot C_Д$, і ступінь її введення встановлюється ручкою потенціометра «$T_Д$». У якості сигналу, по якому береться похідна, підключається або сигнал неузгодження між «Змінною» й «Завданням», або «Змінна» (залежно від положення перемичок на колодці *X*2).

На суматорі Σ_4 підсумовуються диференційна складова й сигнал неузгодження. Їхня сума у свою чергу підсумовується з інтегральною складовою на підсилювачі $П_1$, охопленому жорстким зворотним зв'язком.

Таким чином, на виході $П_1$ реалізується сумарний сигнал із пропорційної, інтегральної й диференційної складових. Значення сумарного сигналу залежить від опору резистора $R_П$, оцифрованого в одиницях коефіцієнта підсилення регулятора $K_П$=0,3...15. Перемикач *SA* дозволяє змінити діапазон установки $K_П$. Якщо перемикач установити в положення, при якому резистори $R_{ДОД1}$ й $R_{ДОД2}$ виявляться зашунтованими, то можна встановити $K_П$ у діапазоні 1...50.

Демпфування пропорційної й диференційної складової вихідного сигналу регулятора здійснюється шляхом охоплення гнучким зворотним зв'язком $ВП_2$ й Σ_4 через $C_Ф$ й $R_Ф$. Час демпфування $T_{ДМ}$=0...20 с установлюється резистором $R_Ф$. Вихідний сигнал підсилювача $П_1$, що реалізує закон ПІД-регулювання, надходить на обмежувач вихідного сигналу по максимуму й мінімуму. Обмежувач реалізований на суматорі Σ_6 і двох схемах порівняння, навантажених на RC-кола через діоди VD_1 й VD_2.

Установка обмежень здійснюється потенціометрами, на які подається опорна напруга –10 В щодо спільної шини *36*. Напруга, яка пропорційна рівню обмеження, подається на схеми порівняння $СП_1$ і $СП_2$, де порівнюється з поточним значенням вихідного сигналу суматора Σ_5. Якщо вихідний сигнал Σ_5 менше встановленого «Обм. макс» і більше «Обм. мін», то жодна зі схем порівняння не спрацьовує й сигнал по напрузі на конденсаторі $C_{ОБМ}$ дорівнює 0. У цьому випадку вихідний сигнал Σ_5 повторює вихідний сигнал $П_1$ із коефіцієнтом передачі 0,5. Якщо вихідний сигнал Σ_5 вийде за рівень обмеження, наприклад, стане більше значень «Обм. макс», то спрацює $СП_2$ і на її виході з'явиться сигнал від’ємної полярності, постійний по амплітуді, і конденсатор $C_{ОБМ}$ почне заряджатися через діод VD_2 і резистор $R_{ОБМ2}$. На Σ_5 почне надходити додатковий сигнал, що приведе до зменшення вихідного сигналу Σ_5 до значення обмеження по максимуму. Таким чином, при перевищенні максимуму сигналу $СП_2$ буде періодично спрацьовувати й підтримувати вихідний сигнал Σ_5 дуже близьким до установки обмеження. При вихідному сигналі Σ_5 нижче мінімального значення спрацьовує $СП_1$, у результаті сигнал на виході Σ_5 буде підтримуватися близьким до значення мінімуму.

Сигнал після обмежувача надходить на модуль кондуктивного розділення. Кондуктивне розділення досягається за рахунок широтної модуляції вхідного аналогового сигналу, передачі його через трансформатор і наступної демодуляції. Живлення вузла демодуляції гальванічно не пов'язане з

живленням попередньої частини схеми. У цьому модулі передбачене дистанційне інвертування вихідного сигналу при замиканні затискачів *10* й *29*. В останньому випадку на вхід релейного елемента подається додатковий сигнал зсуву -15 В та вихідний сигнал інвертується.

На виході регулятора передбачена видача аналогового 0...10 В (затискачі *8* й *9*), а також струмового (затискачі *6* й *7*) сигналів. Діапазон вихідного струму встановлюється перемичками на колодці *X*2, за допомогою яких змінюється опір у колі емітера перетворювача напруги в струм.

У регуляторі передбачене дистанційне перемикання режимів роботи «Р» й «А» (затискачі *18* й *36*).

В автоматичному режимі перемичка між *18* й *36* відсутня, реле KV_1 знеструмлене і його контакти перебувають у положеннях, зазначених на схемі. При ручному режимі (замикаються затискачі *18* й *36*) спрацьовує KV_1, замикається на землю вхід $ВП_1$ інтегратора, на який в автоматичному режимі надходив сигнал неузгодження через $R_{ІЗ}$, конденсатор C_P відключається від землі та підключається до іншого входу $ВП_1$.

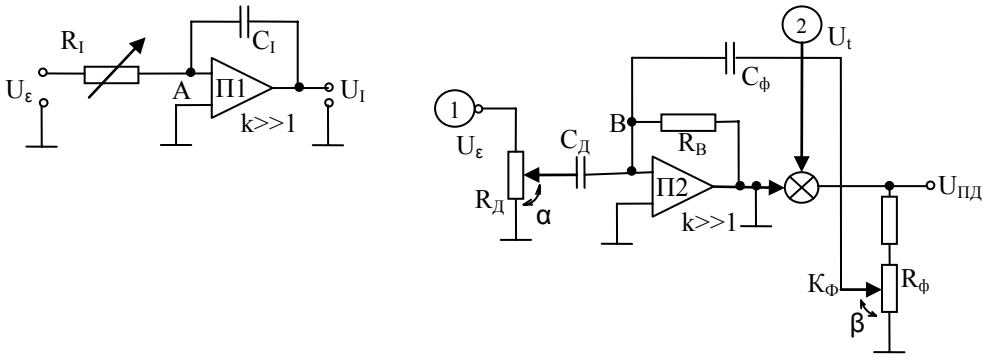
Ручне керування здійснюється шляхом замикання кнопок, підключених до затискачів *19* $SB_Б$ («Більше»), *20* $SB_М$ («Менше») відносно спільної шини *36*. Якщо, наприклад, нажати кнопку «$SB_Б$», то спрацює реле $KV_Б$ і через його контакт на вхід $ВП_1$ і на конденсатор C_P буде подана напруга від стабілізованого джерела $+U_{ОП}$. За рахунок охоплення $ВП_1$ й $П_1$ додатнім зворотним зв'язком із конденсатором C_P сигнал з виходу $П_1$, а отже, і з виходу регулятора почне зростати. При відпусканні кнопки $SB_Б$ конденсатор C_P виявляється зарядженим до певного рівня й на виході підтримується сигнал, незмінний у часі й дорівнює значенню в момент відпускання кнопки.

Для підтримки сталості в часі вихідного сигналу регулятора при ручному керуванні, коли відпущені кнопки $SB_Б$ й $SB_М$, у регуляторі передбачений спеціальний модуль компенсації дрейфу МКД.

Живлення схеми здійснюється напругою +24 й -24 В відносно спільної точки (затискач *36*). Живлення окремих модулів стабілізується модулем стабілізації напруг. Живлення частини схеми після модуля кондуктивного розділення МКР здійснюється спеціальним модулем живлення, гальванічно розділеним від кіл живлення інших модулів. Поділ кіл живлення відбувається за рахунок модуляції, трансформування й наступної демодуляції.

Формування закону регулювання

Закон регулювання формується модулем МРА. На інтегратор (рис. 17.11 а) надходить вхідний сигнал неузгодження між «Завданням» й «Змінною» U_ε із коефіцієнтом передачі k=1.



а) б)

Рис. 17.11. Принципові електричні схеми інтегратора й диференціатора із суматором.

$$i_{RI} = \frac{U_\varepsilon}{R_I},\ i_{CI} = C_I\left(\frac{dU_I}{dt}\right),\ U_I(p) = \frac{1}{p \cdot R_I \cdot C_I},\ U_I(p) = \frac{U_\varepsilon(p)}{T_I \cdot p},$$

$$W_I(p) = \frac{U_U(p)}{U_\varepsilon(p)} = \frac{\alpha}{\beta} \cdot \frac{W_{BX}(p)}{W_{ЗЗ}(p)} = \frac{\alpha}{\beta} \cdot \frac{Z_{ЗЗ}(p)}{Z_{BX}(p)} = \frac{1}{1} \cdot \frac{\frac{1}{p \cdot C_I}}{R_I} = \frac{1}{p \cdot T_I},\ \text{де } T_I = R_I \cdot C_I$$

Таким чином, інтегратор реалізує інтегруючу ланку, постійна часу якої при C_I=const визначається опором R_I на вході підсилювача.

Розглянемо принципову електричну схему суматора пропорційної складової й диференціатора.

Якщо движок K_Φ у нижнім положенні, то $K_\Phi = \beta = 0$.

$$W_1(p) = \alpha \cdot \frac{W_C(p)}{W_{ЗЗ}(p)} = \alpha \cdot \frac{C_Д \cdot p}{\frac{1}{R_B}} = p \cdot \alpha \cdot C_Д \cdot R_B = p \cdot T_Д \quad , \text{ де } T_Д = \alpha \cdot R_B \cdot C_Д$$

$$W_2(p) = 1$$

$$W_{ПД}(p) = 1 + p \cdot T_Д$$

Таким чином, диференціатор реалізує функцію повторення сигналу неузгодження з підсумовуванням сигналу, пропорційного швидкості його зміни.

Якщо движок потенціометра $K_Ф$ перебуває не в середньому положенні, то

$$W_1(p) = \alpha \frac{W_C}{W_{ЗЗ}} = \alpha \cdot \frac{C_Д \cdot p}{\frac{1}{R_B} + \beta \cdot C_Ф \cdot p} = \frac{\alpha \cdot C_Д \cdot R_B \cdot p}{1 + \beta \cdot C_Ф \cdot R_B \cdot p} = \frac{T_Д \cdot p}{1 + T_Ф \cdot p} \text{ , де } T_Ф = \beta \cdot C_Ф \cdot R_B$$

$$W_2(p) = \frac{1}{1 + \beta \cdot C_Ф \cdot p \cdot R_B} = \frac{1}{1 + T_Ф \cdot p}$$

$$W_{ПД}(p) = W_1(p) + W_2(p) = \frac{1}{1 + T_Ф \cdot p}(1 + p \cdot T_Д)$$

де $T_Ф$ — постійна часу демпфування. Через те, що R_B і $C_Ф$ — величини незмінні, то $T_Ф$ залежить тільки від положення движка «$k_Ф$» потенціометра.

У загальному випадку модуль формує наступну передатну функцію:

$$W(p) = K_p \left[\frac{1}{1 + T_Ф \cdot p} \cdot (1 + p \cdot T_Д) + \frac{1}{p \cdot T_I} \right].$$

Блоки регулювальні з імпульсним виходом РБИ

Блоки РБИ в комплекті з виконавчим механізмом сталої швидкості реалізують ПІ-закон регулювання. Це ще один релейно-імпульсний регулятор, побудований по 3-ій структурній схемі (рис. 17.12), вихідний сигнал якого - імпульси різної шпаруватості, що управляють через виконавчий підсилювач ВМ сталої швидкості.

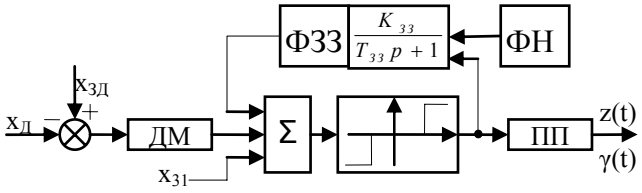


Рис. 17.12. Структурна схема РБИ.

Зі структурної схеми видно, що РБИ—класичний релейно-імпульсний регулятор. Принципова електрична схема блоку РБИ показана на рис. 30Д.

До складу блоку РБИ входять наступні блоки.

Три масштабуючих модулі *БМ*.

Модуль *ФСН* – формувач сигналу неузгодження, який побудований на трьох операційних підсилювачах, що представляють собою пропорційні ланки з сталими коефіцієнтами передачі:

Σ_1 - формує сигнал ЗД (U1),

Σ_2 - має входи для декількох сигналів давачів (U2),

Σ_3 - елемент порівняння (Uε).

Модуль, призначений для згладжування перешкод (низькочастотний фільтр).

Підсумовуючий каскад реалізований на високоомному підсилювачі.

Модуль *РЕ* - трипозиційний релейний елемент із змінною зоною нечутливості $\Delta_{H.}$ У його складі кожен підсилювач охоплений додатнім ЗЗ і за рахунок насичення перетворюється у двопозиційний елемент. Включивши два таких елементи із протилежною полярністю й змістивши відповідним чином їхні характеристики, отримуємо один трипозиційний.

В цьому ж модулі знаходиться підсилювач потужності, побудований на двох транзисторах та на двох оптронах *О*1, *О*2 (безконтактних ключах, керованих від світлодіодів, що здійснюють гальванічну розв’язку), а також тиристорних ключах S_1 й $S_{2.}$

Пасивний вихідний сигнал подається на клеми 7,10 й 9,10, ключі використовуються як «сухі» контакти. Якщо на вихід подаємо активний сигнал від джерела напруги 24В, то використовуються клеми 7, 8 й 9, 8.

Модуль *ФН* – формувач імпульсів напруги живлення ФЗЗ – формуючого зворотного зв'язку. Резісторні оптрони $РО_3$, $РОП_4$, що працюють у ключовому режимі, розривають відповідні кола, розділяють коло заряду й розряду конденсатора *С* (зменшуючи тим самим взаємний вплив органів настроювання).

Коли на виході *РЕ* є сигнал *Б* або *М*, то він надходить на PO_1 (відкритий) і під дією імпульсів із *ФН* іде заряд конденсатора *С*, сигнал ЗЗ зростає до моменту компенсації вхідного сигналу неузгодження, у цей час PO_2 закритий. *РЕ* переходить у нейтральне положення. На виході блоку наступає пауза, розривається коло заряду, тому що PO_1 - закритий, PO_2- відкритий і починається розряд конденсатора *С*. Так працює головний ЗЗ.

Сигнал допоміжного, додатнього ЗЗ, невеликий по величині, або додається (при розряді), або віднімається (при заряді) з основного сигналу ЗЗ. У результаті створюється ефект аналогічний впливу зони звороту $\Delta_З$ в трипозиційній релейній характеристиці й змінюється тривалість імпульсів.

Органи настроювання: $R_{ЗВ} \rightarrow V_{ЗВ} \rightarrow K_{ФБ}$, $R_I \rightarrow T_I$, $R_5 \rightarrow \Delta_З \rightarrow \Delta t_{ІМП.}$

17.4. РБИМ (регулювальний блок імпульсний модернізований)

Регулювальні блоки з імпульсним виходом модернізовані РБИМ у комплекті з виконавчим механізмом сталої швидкості формують ПІД-закон регулювання з незалежною установкою постійних часу інтегрування й диференціювання. На відміну від РБИ в них застосований більш складний, але активний ланцюжок зворотного зв'язку, за рахунок цього вирішена задача одержання не тільки ПІ-, але й ПІД-закона з незалежними органами настроювання (рис. 19.13). У блоці РБИ ПІ-закон одержують по 3^{ій} схемі й, щоб сформувати ПІД-закон із виконавчим механізмом сталої швидкості, необхідно використовувати диференціатор (3^{я} схема), до того ж всі органи настроювання взаємозалежні. Ще одне вдосконалення - через недостатню надійність оптронних елементів, гальванічну розв’язку стали робити на трансформаторних модулях.

Є 3 модифікації РБИМ:

РБИМ-1 - без дистанційного підстроювання параметрів,

БИМ-2 - із дистанційним дискретним підстроюванням параметрів,

РБИМ-3 - з аналоговим дистанційним підстроюванням параметрів.

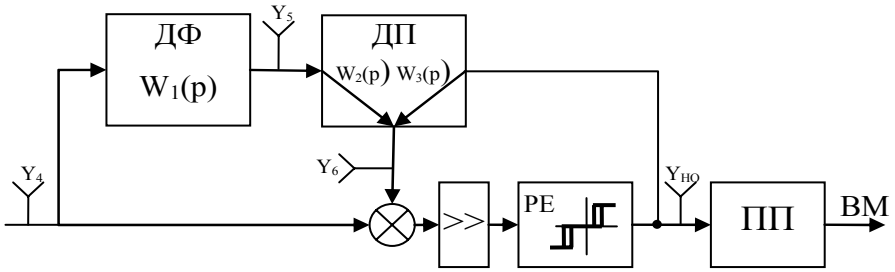


Рис. 17.13. Схема формування ПІД-закона.

Принципова схема блоку РБИМ наведена на рис. 31Д. Вхідне коло блоку містить вузол формування сигналу неузгодження *ФСН* на суматорах Σ_1, Σ_2, Σ_3, як у блоці РБИ, але на відміну від останнього має більше число (чотири) регульованих подільників, підключених до відповідних входів суматорів.

Демпфер *Ф*, призначений для фільтрації пульсацій сигналу неузгодження, являє собою аперіодичну RC-ланку з регульованою постійною часу $T_Ф$. На відміну від демпфера блоку РБИ, він має повторювач сигналу, виконаний на операційному підсилювачі з високоомним входом типу 544УД1.

Продемпфований сигнал неузгодження надходить на вхід підсумовуючого каскаду *ПК* по двох паралельних ланцюгах. Один з них безпосередньо з'єднує вихід демпфера *Ф* з входом *ПК*. Другий ланцюг містить диференціатор *ДФ* із передатною функцією $W_1(p)$ і канал $Y_5 \rightarrow Y_6$ із передатною функцією $W_2(p)$ спеціального динамічного перетворювача *ДП*. Інший канал цього перетворювача $Y_{HO} \rightarrow Y_6$ із передатною функцією $W_3(p)$ використовується в якості функціонального зворотного зв'язку регулювального блоку.

Передатні функції $W_1(p)$ і $W_2(p)$ відповідають реально-диференціюючим ланкам:

$$W_1(p) = \frac{Y_5(p)}{\varepsilon_Ф(p)} = \frac{K_1 \cdot T_1 \cdot p}{T_1 \cdot p + 1} \qquad W_2(p) = \frac{Y_6(p)}{Y_5(p)} = \frac{T_2 \cdot p}{T_2 \cdot p + 1}$$

Передатна функція формуючого зворотного зв'язку $W_3(p)$ відповідає аперіодичній ланці з тією ж постійною часу, що й канал $Y_5 \rightarrow Y_6$:

$$W_3(p) = \frac{Y_6(p)}{Y_{НО}(p)} = \frac{K_3}{T_2 \cdot p + 1}$$

Це забезпечується завдяки тому, що передатні функції $W_2(p)$ і $W_3(p)$ реалізовані на одному операційному підсилювачі $ОП_6$ з одним й тим же зворотним зв'язком, що містить резистор R_1 і конденсатор C_1. Постійна часу $T_2 = K_\tau R_1 C_1$, резистор R_1 виведений на панель органів настроювання з написом «τ_I», а множник K_τ=1;10. Коефіцієнт передачі K_3 ланки *ФЗЗ* визначається формулою

$$K_3 = \frac{K_\alpha \cdot K_\tau \cdot R_1}{R_2},$$ де K_α — коефіцієнт передачі подільника, виконаного на змінному опорі R_3 – орган «$\alpha_П$».

Через те, що демпфер і функціональний зворотний зв'язок реалізовані із застосуванням активних елементів (операційних підсилювачів), відпадає необхідність у високому вхідному опорі підсумовуючого каскаду *ПК*, який виконаний на інтегральній мікросхемі К553УД1А. Диференціатор *ДФ* реалізований на операційному підсилювачі з високоомним входом типу 544УД1.

Формування необхідної релейної характеристики прямого каналу (трипозиційної із зоною нечутливості й зоною звороту) реалізується за допомогою нуль-органів $НО_1$ й $НО_2$, охоплених ланкою додатнього зворотного зв'язку *ДЗЗ* через суматор Σ_4. *ДЗЗ* із регульованим подільником R_4 (Δt_I) використовується для регулювання тривалості вихідних імпульсів регулювального блоку за рахунок зміни зони звороту релейного елемента *РЕ*. Сигнал на вхід *ДЗЗ* подається з виходу подільника $\alpha_П$, що забезпечує пропорційність між зоною звороту й швидкістю сигналу функціонального зворотного зв'язку (швидкістю зв'язку *Vзв*). Тим самим досягається незалежність тривалості імпульсів Δt_I від установленого значення *Vзв*.

Зона нечутливості релейного елемента *РЕ* регулюється за допомогою змінного резистора R_5 (Δ_H), з якого знімається напруга, що перешкоджає спрацьовуванню нуль-органів $НО_1$ й $НО_2$ у напрямку відкриття діодів $Д_1$ і $Д_2$.

Верхній рівень вихідного сигналу релейного елемента ($Y^{+}_{НО}$=+10 В) формується за допомогою $НО_1$ і діода $Д_1$, а нижній рівень (Y-$НО$=-10 В) — за допомогою $НО_2$ і діода $Д_2$. Кожний з нуль-органів виконаний на операційному підсилювачі К553УД1А.

На виході релейного блоку встановлений підсилювач потужності *ПП*, що складається із двох ідентичних каналів. Кожний з каналів містить генератор імпульсів *ГІ*, роздільний трансформатор і тиристорний ключ *К*. Генератори $ГІ_1$ і $ГІ_2$ працюють у режимі очікування. При нульовому сигналі релейного елемента $Y_{НО}$ обидва генератори перебувають у незбудженому стані й ключі $К_1$ і $К_2$ закриті. При спрацьовуванні нуль-органа релейного елемента, наприклад, при $Y_{НО}$=+10 В, на виході генератора $ГІ_1$ виникає послідовність імпульсів, які викликають замикання ключа $К_1$. Тим самим на виході блоку РБИМ формується сигнал на включення виконавчого пристрою в напрямку «менше». Аналогічно працює блок і при протилежному знаку сигналу неузгодження.

Активний вихідний сигнал регулювального блоку формується з використанням внутрішнього джерела напруги 24 В та знімається із затискачів 7-8-9. Пасивний вихідний сигнал у вигляді стану ключів $К_1$ і $К_2$ знімається із затискачів 7-10-9. Трансформатори $Тр_1$ і $Тр_2$ забезпечують гальванічну розв’язку керувальних і силових кіл регулювального блоку.

При відключеному диференціаторі *ДФ* динамічна структура блоку РБИМ відповідає типовій структурі релейно-імпульсного регулювального блоку з лінійною аперіодичною ланкою в ланцюзі функціонального зворотного зв'язку. Сумарна тривалість імпульсів, зформованих регулювальним блоком, пов'язана із сигналом неузгодження пропорційно-інтегральним алгоритмом функціонування

$y(t) = \alpha_П \cdot \left[\varepsilon_Ф(t) + \frac{1}{\tau_I} \cdot \int_0^t \varepsilon_Ф(t) \cdot dt \right]$, де $y(t)$ — сумарна тривалість імпульсів, с; $\alpha_П$ — коефіцієнт пропорційності регулювального блоку, $\frac{c}{\%}$, τ_I — постійна часу інтегрування (T_I), с.

Значення τ_I дорівнює постійній часу T_2 аперіодичної ланки ФЗЗ.

Параметр $\alpha_П$ пов'язаний з величиною *Vзв* (швидкість зв'язку) співвідношенням $\alpha_П = \frac{1}{V_{ЗВ}}$. Значення *Vзв* визначається виразом $V_{ЗВ} = \frac{A \cdot K_3}{T_2}$, де *A* — рівень сигналу на вході *ФЗЗ* після спрацьовування релейного елемента (для блоків РБИМ значення *A* становить 100% уніфікованого сигналу, тобто 10 В). Однією з особливостей структури блоку РБИМ є те, що при зміні параметра τ_I (дією на R_1 і K_τ) параметр *Vзв* і, отже, $\alpha_П$ залишаються постійними, тому що R_1 і K_τ однаковою мірою впливають на T_2 і K_3:

$$V_{ЗВ} = A\left(\frac{K_\alpha \cdot K_\tau \cdot R_1}{R_2}\right)\Big/(K_\tau \cdot R_1 \cdot C_1) = \frac{A \cdot K_\alpha}{R_2 \cdot C_1} \neq f(K_\tau \cdot R_1).$$

Таким чином, органи настроювання параметрів $\alpha_П$ й τ_I є незалежними. З урахуванням зв'язку параметрів $\alpha_П$ й *Vзв* можемо записати: $\alpha_П = \frac{R_2 \cdot C_1}{A \cdot K_\alpha}$

Регулятор, утворений таким регулювальним блоком (без диференціатора *ДФ*) і виконавчим механізмом сталої швидкості, реалізує приблизно передатну функцію ПІ-алгоритму з незалежною установкою параметрів $K_П$ й τ_I: $W_p(p) = K_П \cdot \left(1 + \frac{1}{\tau_I \cdot p}\right)$, причому $K_П = S_{В.М.}\ \alpha_П$, де $K_П$ — коефіцієнт пропорційності регулятора, $S_{В.М.}$ — швидкість переміщення регулювального органа виконавчим механізмом у режимі постійного включення.

Якщо в розглянутому блоці включити коло із диференціатором *ДФ* (див. 9.5), то на вхід підсумовуючого каскаду *ПК* паралельно із сигналом $\varepsilon_Ф$ буде надходити сигнал, що пройшов дві реально-диференцюючі ланки (диференціатор *ДФ* і канал $Y_5 \rightarrow Y_6$ динамічного перетворювача *ДП*) із передатними функціями $W_1(p)$ і $W_2(p)$.

При цьому передатна функція всього регулятора з ВМ $W_P(p)$ має наступний вигляд:

$$W_P(p) = \frac{y(p)}{\varepsilon_Ф(p)} = \left(1 + W_1(p)W_2(p)\right) \cdot \alpha_П \cdot \left(1 + \frac{1}{T_2 \cdot p}\right)$$

Підставивши вираз для $W_1(p)$ і $W_2(p)$, одержимо:

$$W_P(p)=\alpha_П\cdot\left(1+\frac{K_1\cdot T_1\cdot p}{T_1\cdot p+1}\cdot\frac{T_2\cdot p}{T_2\cdot p+1}\right)\cdot\frac{T_2\cdot p+1}{T_2\cdot p}=\alpha_П\cdot\left(1+\frac{1}{T_2\cdot p}+K_1\cdot T_1\cdot p\cdot\frac{1}{T_1\cdot p+1}\right)\text{або}$$

$$W_P(p)=\alpha_П\cdot\left(1+\frac{1}{\tau_I\cdot p}+\tau_Д\cdot p\cdot\frac{1}{T_1\cdot p+1}\right),\quad \text{де } \tau_Д=K_1\cdot T_1.$$

Отриманий вираз для $W_P(p)$ відрізняється від передатної функції стандартного ПІД-алгоритма наявністю в диференційній складовій баластового множника $W_Б(p)=\frac{1}{T_1\cdot p+1}$, який відповідає аперіодичній ланці з сталою часу T_1, що відіграє роль додаткового демпфера й служить для підвищення перешкодостійкості регулювального блока. Таким чином, можна вважати, що регулювальний блок РБИМ із виконавчим механізмом сталої швидкості реалізує ПІД-закон регулювання.

Постійна часу диференціювання ($\tau_Д=K_1T_1$) при цьому встановлюється незалежно від постійної часу інтегрування τ_I за допомогою відповідного органа настроювання диференціатора *ДФ* (шляхом зміни T_1).

Незалежність параметрів $\tau_Д$ й τ_I досягається завдяки тому, що рівність постійних часу $W_2(p)$ і *ФЗЗ*, як це потрібно в 4-й схемі формування ПІД-закона регулювання, забезпечується за рахунок реалізації $W_2(p)$ і $W_3(p)$ на одному операційному підсилювачі $ОП_6$.

У блоці РБИМ передбачена можливість його оперативного балансування на поточне значення регульованої величини для безударного переходу системи з режиму дистанційного керування в автоматичний режим. Це здійснюється шляхом замикання контактів «Баланс», у результаті чого вихід суматора Σ_4 з'єднується із входом операційного підсилювача $ОП_6$ функціонального зворотного зв'язку. Конденсатор C_1 при цьому швидко заряджається до такої напруги, при якій сигнал на вході $ОП_6$ практично дорівнює нулю незалежно від поточного значення регульованої величини й сигналу завдання. Після переключення системи в автоматичний режим і розмикання контактів «Баланс» конденсатор C_1 поступово розряджається з постійною часу $T_2=\tau_I$ й

регулювальний блок вступає в роботу, що забезпечує плавне повернення регульованої величини до заданого значення, обумовленого сигналом задавача.

Робота блоку РБИМ з дискретним дистанційним настроюванням параметрів

Схема з дискретним дистанційним підстроюванням параметрів у блоках РБИМ наведена на рис 32Д а.

Модуль МАПД дозволяє встановити одну із трьох комбінацій параметрів $\alpha_{П}$ й τ_{I} подачею зовнішнього керувального логічного сигналу й містить схему керування *СК* й три пари ключів, за допомогою яких у коло *ФЗЗ* включається одна із трьох пар подільників напруги $\alpha^{i}_{П}$ й β^{i} (i=I, II, III). Керувальні входи кожної пари ключів з'єднані з одним із трьох виходів схеми керування *СК*.

На схему керування по двох входах P_2 і P_3 надходять зовнішні логічні сигнали керування 1, 0, наприклад від БСГ, що представляють собою стан зовнішніх ключів, приєднаних між цими входами й спільною точкою. Якщо жоден із входів P_2 або P_3 не з'єднаний із спільною точкою, то на першому виході схеми керування виникає сигнал, що замикає першу пару ключів K_3, K_8. При цьому напруга на вхід аперіодичної ланки функціонального зворотного зв'язку подається через подільник $\alpha^{I}_{П}$, а в коло від'ємного зворотного зв'язку операційного підсилювача $ОП_6$ послідовно з резистором R_1 (τ_{I}) включається подільник β^{I}. Якщо з'єднати із спільною точкою вхід P_2, то замикаються ключі K_4 і K_7, за допомогою яких установлюється нова комбінація параметрів настроювання $\alpha^{II}_{П}$ й $\tau^{II}_{I}=\beta^{II}\tau_{I}$.

При з'єднанні входу P_3 із спільною точкою замикаються ключі K_5 і K_6 і встановлюється третя комбінація параметрів настроювання $\alpha^{III}_{П}$ й $\tau^{III}_{I}=\beta^{III}\tau_{I}$.

Схема керування виконана із застосуванням діодів і транзисторів, а ключі K_3-K_8 — на оптоелектронних перетворювачах (резисторних оптронах, які містять світлодіод і фоторезистор), що забезпечують гальванічну розв'язку кіл керування й виконавчих кіл.

Робота блоку РБИМ з аналоговим дистанційним настроюванням параметрів.

Схема з аналоговим дистанційним підстроюванням параметрів у блоках РБИМ наведена на рис. 32Д б. Аналогове дистанційне настроювання параметрів $\alpha_{П}$ й τ_{I} для блоку РБИ-3М здійснюється за допомогою модулів МАП-3 і МАП-4.

Модуль МАП-3 забезпечує аналогове настроювання коефіцієнта пропорційності $\alpha_{П}$ і містить керований генератор імпульсів $ГІ_4$, згладжуючий фільтр *Ф*, ключі $К_{10}$, $К_{11}$ і суматор $\Sigma_{6.}$ Аналоговий сигнал настроювання $X_{\alpha п}$, що змінюється в діапазоні 0...10 В, подається на вхід генератора $ГІ_4$. На його виході формується послідовність імпульсів з амплітудою 10 В і шпаруватістю (відносним часом включення), що залежить від $X_{\alpha п.}$ коефіцієнта $\alpha_{П}$.

На виході фільтра *Ф* виділяється середня складова однополярного імпульсного сигналу. Далі сигнал надходить на вхід аперіодичної ланки кола формуючого зворотного зв'язку регулювального блоку через ключ $К_{10}$ (або ключ $К_{11}$) і суматор $\Sigma_{6.}$ Полярність сигналу на виході суматора Σ_6 збігається з полярністю сигналу $Y_{НО}$ релейного елемента *РЕ*. Це забезпечується завдяки тому, що при додатньому знаку $Y_{НО}$ замикається ключ $К_{11}$ і вихід фільтра з'єднується із інвертуючим входом суматора Σ_{6}, а при від'ємному — замикається ключ $К_{10}$ і вихід фільтра підключається до входу, що не інвертує, цього суматора.

Таким чином, напруга, що подається на вхід *ФЗЗ* й, відповідно, швидкість зв'язку *Vзв* оберненопропорційно залежить від керувального сигналу $X_{\alpha п}$, а залежність між $\alpha_{П}$ і $X_{\alpha п}$ виявляється лінійною.

Дистанційне аналогове підстроювання постійної часу інтегрування τ_{I} виконується за допомогою модуля МАП-4, що містить керований генератор імпульсів $ГІ_3$ і ключ $К_9$. Аналоговий сигнал настроювання, що змінюється в діапазоні 0...10 В, надходить на вхід генератора $ГІ_3$. На його виході при цьому

формується послідовність імпульсів із амплітудою 10 В и шпаруватістю, що залежить від X_τ — сигналу аналогового дистанційного настроювання τ_I, В. Цей сигнал управляє ключем K_9, що перериває (у паузах) коло від'ємного зворотного зв'язку операційного підсилювача $ОП_6$, що приводить до зміни постійної часу інтегрування τ_I пропорційно X_τ і τ_{I0} — значенню постійної часу інтегрування, установленому по шкалі органа настроювання τ_I.

18. ВИКОНАВЧІ ПРИСТРОЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ

Групу виконавчих пристроїв у системах керування утворюють пускові пристрої й виконавчі механізми. Пускові пристрої забезпечують необхідне посилення потужності керувальних сигналів, що надходять від регулювального блоку при автоматичному регулюванні або при ручному керуванні від оператора. При використанні електричних виконавчих механізмів сталої швидкості керувальні сигнали носять характер імпульсів із шпаруватістю, що змінюється, і однаковою амплітудою. Це дозволяє використовувати для їхнього посилення прості пускові пристрої, розраховані на дискретний сигнал керування.

18.1. Керування пусковими пристроями

Керування пусковими пристроями від релейно-імпульсних регулювальних блоків показано на рис. 18.1.

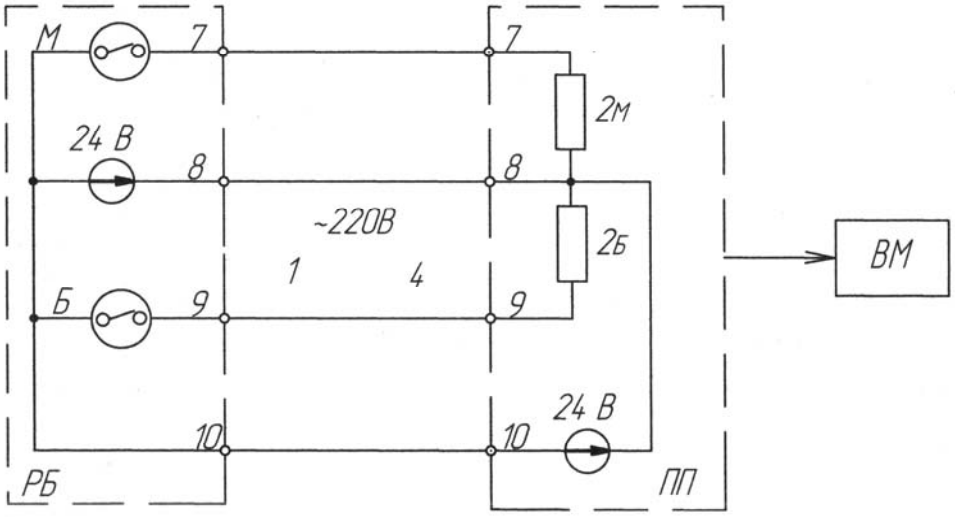


Рис. 18.1. Схема активного і пасивного керування пусковими пристроями.

Пускові пристрої можуть бути контактні й безконтактні. Кожен тип пускового пристрою розрахований на роботу в комплекті з певним типом виконавчого механізму. Вхідні кола пускових пристроїв дозволяють використовувати два види керувальних сигналів:

- активний сигнал керування у вигляді постійного або пульсуючого струму напругою 24 В;

- пасивний сигнал керування у вигляді замикання відповідних вихідних клем за допомогою безконтактних або контактних ключів.

Активний сигнал, звичайно, використовується (рис.18.1) при керуванні пусковим пристроєм ПП від релейно-імпульсних регулювальних блоків. Пасивний сигнал застосовується в основному при ручному дистанційному керуванні за допомогою відповідних кнопок або ключів. Енергія, яка необхідна для спрацьовування пускового пристрою, у цьому випадку надходить від джерела, що знаходиться в самому пусковому пристрої. Контактні пускові пристрої типу ПМРТ (МКР) допускають підключення обмоток електромагнітів до мережі змінного струму 220 В, 50 Гц.

Для кожного з розглянутих способів керування використовується трипровідна лінія зв'язку. Один із проводів є спільним: у випадку активного керувального сигналу цей провід підключається до затискача *8* пускового

пристрою, у випадку пасивного - до затискача *10*. Для подачі керувального сигналу в напрямку «Менше» використовуються затискачі *7* і спільний (*8* або *10*), у напрямку «Більше» - затискачі *9* і спільний.

Виконавчі механізми релейно-імпульсних регуляторів повинні забезпечувати переміщення регулювального органа з постійною швидкістю протягом дії керувальних імпульсів, що надходять від регулювального блоку або від оператора. До складу електричних виконавчих механізмів входять наступні елементи: асинхронний електродвигун, редуктор, кінцеві й шляхові вимикачі, давачі положення, гальмовий пристрій, ручний привід (див. рис.18.2).

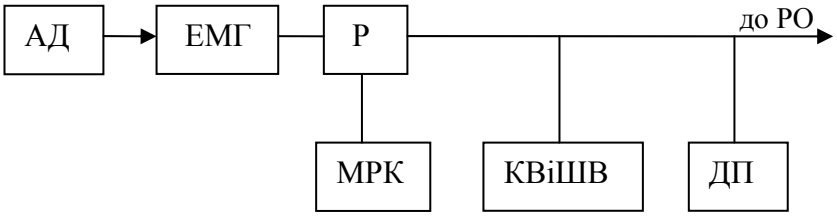


Рис.18.2. Структура електричного ВМ

де: *АД* – асинхронний двигун; *ЕМГ* – фрикційна муфта і електромагнітне гальмо; *Р* – редуктор (планетарний або черв’ячний); *МРК* – механізм ручного керування; *КВіШВ* – кінцеві та шляхові вимикачі; *ДП* – давачі положення.

Електродвигун із редуктором служить для перетворення електричної енергії у механічну, достатню для подолання опору середовища з боку регулювального органа. Кінцеві вимикачі використовуються для відключення пускового пристрою при досягненні регулювальним органом крайніх положень, тобто виконують захисні функції, а шляхові - для сигналізації або обмеження діапазону переміщення регулювального органа в автоматичному режимі.

Давачі положення формують сигнал, пропорційний куту повороту вихідного вала виконавчого механізму. Цей сигнал подається на індикатор положення на пульті оператора, а також може використовуватися в системі керування як сигнал зворотного зв'язку по положенню регулювального органа й ін.

Гальмові пристрої встановлюються у виконавчих механізмах для зменшення вибігу вихідного вала в процесі останову електродвигуна (після припинення дії керувальних імпульсів).

Ручний привод передбачається у виконавчому механізмі для забезпечення можливості переміщення регулювального органа при виході з ладу пускового пристрою.

Параметри сигналів зв'язку регулювальних блоків, пускових пристроїв і виконавчих механізмів стандартизовані. Тому той самий тип виконавчих пристроїв може використовуватися з різними системами регулювальних блоків.

18.2. Тиристорний пускач ПБР-2

Пускач ПБР-2 (пускач безконтактний реверсивний) призначений для роботи з виконавчими механізмами МЕО, побудованими на основі однофазних електродвигунів із симетричними обмотками .

Принцип керування виконавчим механізмом за допомогою пускача ПБР-2 пояснюється схемою, наведеною на рис. 18.3.

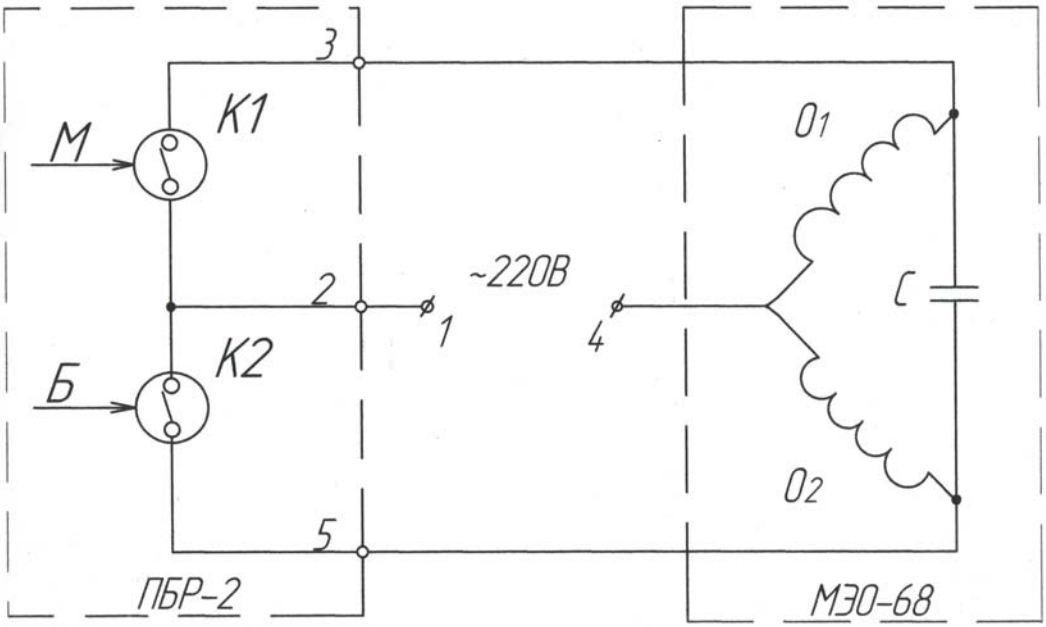


Рис. 18.3. Схема реверсування електричного ВМ.

Принципова схема безконтактного пускача ПБР-2 показана на рис. 33Д.

Основу пускача становлять два тиристорних ключі K_1 і K_2, які управляються сигналами, що виробляють регулювальні блоки або оператор. Кожний з тиристорних ключів включений у коло живлення однієї зі статорних обмоток електродвигуна. При відсутності керувальних сигналів тиристорні ключі розімкнені, обмотки електродвигуна знеструмлені.

При подачі керувального сигналу «Менше» (М) замикається тиристорний ключ K_1 і до обмотки O_1 підключається джерело живлення (мережа 220 В, 50 Гц). До іншої обмотки напруга живлення надходить через конденсатор C, що забезпечує фазовий зсув близько 90^0, у результаті чого утворюється обертове магнітне поле певного напрямку. Це призводить до руху виконавчого механізму в напрямку «Менше».

Для включення електродвигуна в протилежному напрямку необхідно замкнути тиристорний ключ K_2 шляхом подачі керувального сигналу «Більше» (Б). При цьому до джерела живлення підключається обмотка O_2 безпосередньо, а обмотка O_1 — через фазозсувний конденсатор. Фазовий зсув між напругами, підведеними до обмоток, міняє знак, у результаті чого відбувається реверс електродвигуна.

Таким чином, у розглянутій схемі немає розходження в способах живлення статорних обмоток O_1 і O_2, - кожна з них, в залежності від необхідного напрямку обертання, може підключатися до джерела живлення як безпосередньо, так і через фазозсувний конденсатор. Тому обидві обмотки електродвигуна, що працюють із пускачем ПБР-2, повинні бути ідентичні.

При керуванні виконавчими механізмами МЕО за допомогою магнітних підсилювачів УМД статорні обмотки електродвигуна включаються різним чином. Одна обмотка (обмотка збудження) підключається постійно до мережі через фазозсувний конденсатор. Інша обмотка (обмотка керування) підключається до джерела живлення безпосередньо. Реверсування електродвигуна здійснюється шляхом зміни на 180^0 фази напруги, підводимого до обмотки керування. У цьому випадку режими роботи обмоток мають певні

розходження, внаслідок чого самі обмотки (керування й збудження) виконуються неоднаковими.

У зв'язку з переходом від магнітних підсилювачів типу УМД до тиристорних пускачів ПБР-2 у конструкції виконавчих механізмів МЕО зроблені відповідні зміни. Виконавчі механізми (модифікація МЕО-68) оснащуються електродвигунами типу ДАУ із симетричними обмотками, розрахованими на керування від пускачів ПБР-2 по розглянутій вище схемі (рис. 18.3).

Розглянемо принципову електричну схему пускача з підключеним до нього електродвигуном (рис. 33Д б).

Функцію безконтактних ключів, що здійснюють комутацію силових кіл електродвигуна, виконують симетричні тиристори (сімістори) TC_1 і TC_2. Включення сімісторів виконується шляхом подачі від'ємної напруги, яка виробляється за допомогою випрямлячів B_1 й B_2. Напруга на ці випрямлячі надходить відповідно з роздільних трансформаторів Tp_3 і Tp_4 при наявності командного сигналу у вигляді замикання відповідної пари затискачів.

Замикання затискачів *7-10* викликає включення сімістора TC_1 і відповідне спрацьовування виконавчого механізму в напрямку «Менше», а замикання затискачів *9-10* — включення TC_2 і спрацьовування механізму в напрямку «Більше». Замикання зазначених затискачів пускача може виконуватися вихідними ключами регулювальних блоків або кнопками ручного дистанційного керування. Трансформатор Tp_1 розділяє керувальні та силові кола. Відключення сімісторів відбувається після зняття командного сигналу в момент переходу синусоїдального струму навантаження через нуль.

Пускачі ПБР-2 мають три модифікації.

Пускач ПБР-2-1 розрахований на керування пасивним вхідним сигналом шляхом замикання відповідних пар затискачів і не містить виходу для електромагнітного гальма, тобто може застосовуватися з виконавчими механізмами, що мають механічне гальмо.

Пускач ПБР-2-2 відрізняється від пускача ПБР-2-1 тим, що може управлятися як пасивним, так й активним сигналом (0; 24 В).

Пускач ПБР-2-3 є найбільш універсальним і може управлятися пасивним й активним сигналом, і, крім того, має спеціальний вихід для керування електромагнітним гальмом виконавчого механізму МЭО-68. При будь-якому напрямку командного сигналу («Менше» - «Більше») крім основної силової напруги (для включення електродвигуна) пускач ПБР-2-3 видає на спеціальний вихід напругу для спрацьовування електромагніта, що розгальмовує виконавчий механізм.

У пускачах ПБР-2-2 і ПБР-2-3 при використанні активного сигналу керування замикання кіл первинних обмоток розділових трансформаторів $Тр_3$ і $Тр_4$ виконується за допомогою додаткових тиристорних ключів, спрацьовування яких відбувається при подачі керувальної напруги 24 В.

18.3. ВП для керування ВМ на базі трифазного електродвигуна

Для управління потужними ВМ із трифазними двигунами використовується контактний пристрій ПМРТ - пускач електромагнітний реверсивний з гальмом. Реверс електродвигуна ВМ забезпечується зміною послідовності двох фаз, які комутуються контактами *Рб1, Рб*3, *Рм1, Рм3,* рис. 18.4.

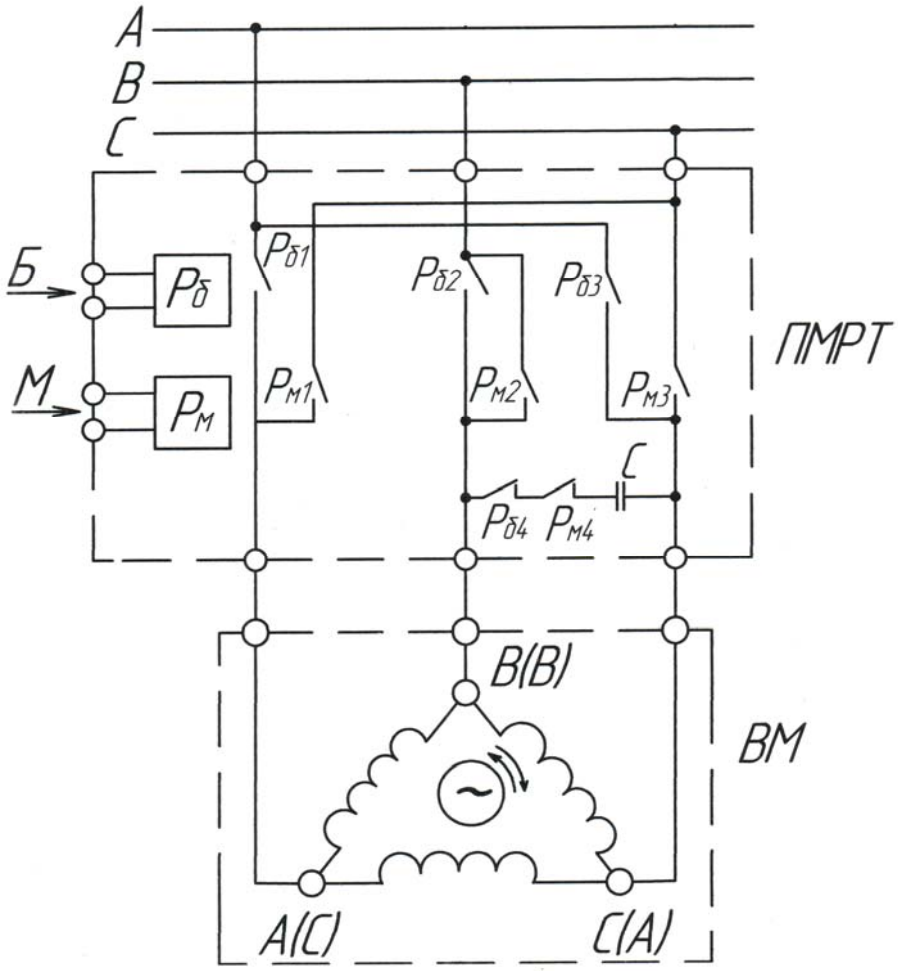


Рис. 18.4. Схема включення пускача магнітного типу ПМРТ-69.

Якщо надходить команда «Більше», то через відповідні контакти на ВМ надходить напруга з послідовністю фаз А, В, С, що приводить до обертання електродвигуна по годинній стрілці. Якщо надходить команда «Менше», то фази А і С міняються місцями й напрямок обертання змінюється на протилежний. Коли керувальний імпульс закінчується, двигун повинен зупинитися якнайшвидше. Велика інерційність виконавчого механізму не дозволяє йому зупинитися миттєво. Конденсатор *С* і нормально-розімкнені контакти *Рб*4 і *Рм*4 виконують роль електро-механічного гальма. По цьому колу протікає струм від ЕРС, викликаної обертанням ротора по інерції, а це у свою чергу, створює гальмуючий момент, що перешкоджає вибігу ВМ. Для швидкого розгону ВМ на початку імпульсу необхідний правильний вибір його потужності. В ПМРТ є ефективне блокування від спрацювання двох груп силових контактів.

18.4. Тиристорний пускач У-101

Безконтактний тиристорний пускач У-101 забезпечує реверсивне керування одно- і трифазними асинхронними електродвигунами потужністю до 1,1 кВт. У якості силових комутуючих елементів у цьому пускачі (рис. 18.5) використовуються керовані діоди $Д_1$-$Д_4$ (тиристори), що відкриваються при надходженні на вхід пускача керувальної напруги. Оскільки тиристори пропускають струм лише в одному напрямку, для комутації змінної силової напруги кожен тиристор включається в діагональ діодного моста, що утворює схему одного ключа.

Пускач містить чотири тиристорних ключі, що забезпечують реверсування двох фаз силової напруги. Третя фаза не комутується й підключається до електродвигуна через дросель $Др_2$.

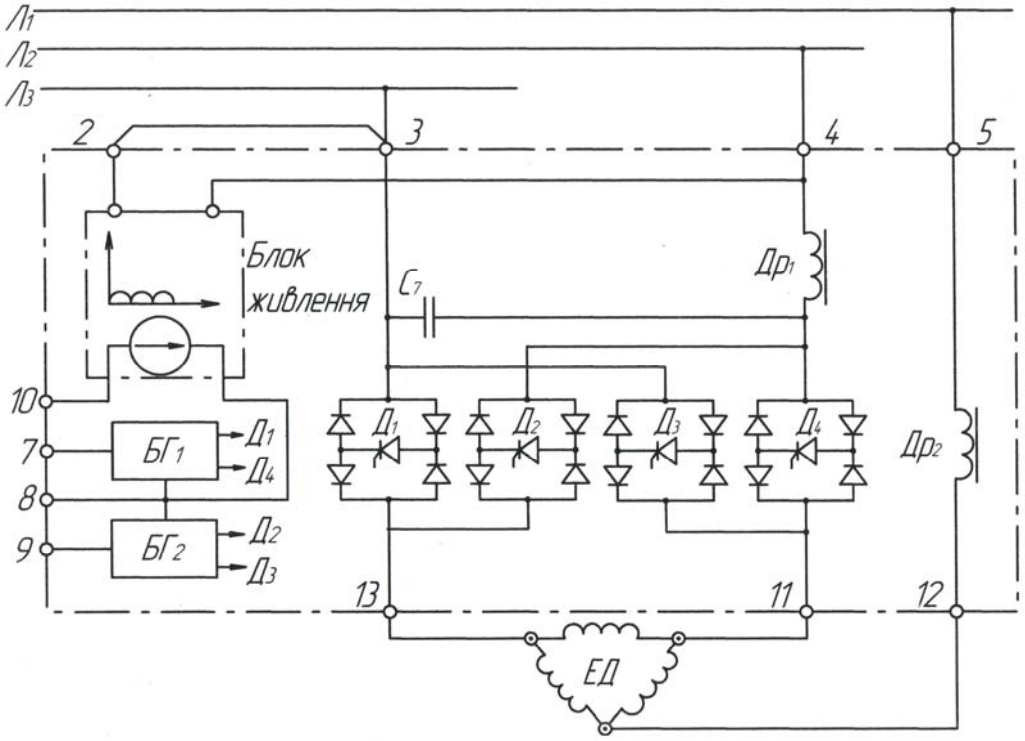


Рис.18.5. Схема керування трифазним електродвигуном за допомогою тиристорного пускача У-101.

Керування тиристорами здійснюється за допомогою імпульсів, формованих двома блокінг-генераторами *БГ*, кожний з яких впливає на свою

пару ключів. При відсутності керувального сигналу блокінг-генератори не формують імпульсів, всі ключі пускача закриті й електродвигун знеструмлений.

Керувальна напруга пульсуючого постійного струму 24 В від регулювального блоку, а також при ручному дистанційному керуванні надходить на вхідні затискачі *7-8* або *8-9*, причому «+» підводить завжди до затискача *8*.

Якщо керувальна напруга надходить на затискачі *7-8*, то на виході блокінг-генератора $БГ_1$ з'являються імпульси напруги, частотою проходження близько 3 кГц, вони надходять на керувальні електроди тиристорів, викликаючи їхнє відкриття. Завдяки тому, що частота імпульсів блокінг-генератора значно перевищує промислову частоту комутуючої напруги, відкриття тиристорів відбувається на самому початку кожного напівперіоду силової напруги. Закриття тиристорів відбувається наприкінці кожного напівперіоду, коли силовий струм зменшується до нуля.

При надходженні вхідної керувальної напруги на затискачі *9-8* спрацьовує другий блокінг-генератор, що включає відповідну пару інших тиристорних ключів, що забезпечують реверсування послідовності фаз на виконавчому механізмі. Схема вхідних кіл пускача побудована таким чином, що з одночасною появою керувальних сигналів на обох входах блокінг-генератори не включаються.

Ручне дистанційне керування тиристорним пускачем здійснюється від вбудованого блоку живлення із джерелом напруги 24 В. Позитивний потенціал цього джерела постійно підведений до затискача *8*, а від’ємний - виведений на затискач *10*, з'єднання якого за допомогою кнопок керування на оперативному пульті з виводами *7* або *9* забезпечує ручне керування.

Для захисту тиристорів від стрибків напруги служать дросель $Др_1$ і конденсатор C_7. Дросель $Др_2$ обмежує швидкість наростання напруги на силових електродах тиристорів. Відсутність блок-контактів у тиристорному пускачі не дозволяє застосувати найпростіший спосіб електроконденсаторного

гальмування виконавчого механізму. Тому при безконтактному керуванні застосовуються, як правило, фрикційні гальмові пристрої з електромагнітним приводом типу ТЭМ, які використовуються у виконавчих механізмах типу МЭОБ.

18.5. Пускальні пристрої для ВМ змінної швидкості

До ВМ змінної швидкості належать виконавчі механізми ИМ-Б, БИМ, МЭК та ін. У таких ВМ використовуються двофазні та трифазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, частота обертання яких змінюється регулюванням підведеної напруги змінного струму.

Схему безконтактного управління ВМ змінної швидкості наведено на рис. 18.6.

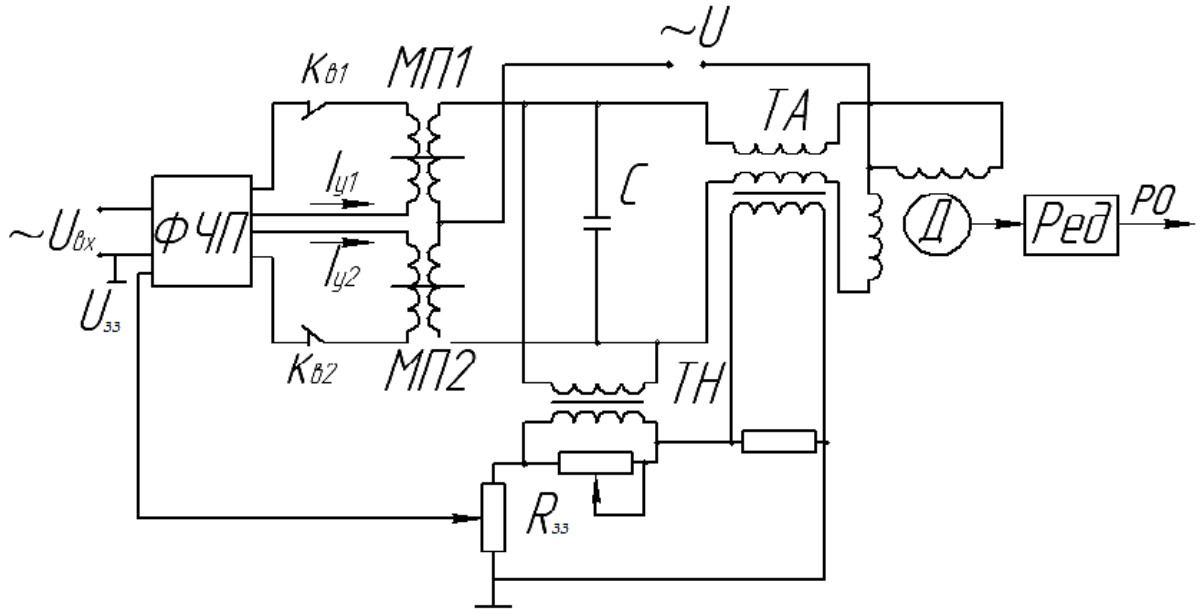


Рис.18.6. Принципова електрична схема ВМ змінної швидкості.

У керувальну частину схеми входять фазочутливий підсилювач *ФЧП*, магнітні підсилювачі *МП*1 і *МП*2, а також коло зворотного зв’язку за частотою обертання виконавчого двофазного асинхронного двигуна. Частота обертання двигуна вимірюється за допомогою додатнього зворотного зв’язку за струмом від трансформатора струму *ТА* і від’ємного зворотного зв’язку за напругою від трансформатора напруги *ТН*. Робочі навитки підсилювачів *МП*1 і *МП*2

вмикають послідовно з навитками двофазного асинхронного двигуна. Зсув фаз на 90° між струмами в навитках двигуна забезпечується за допомогою конденсатора *С*. Обертання двигуна через редуктор *Ред* передається до регулювального органа *РО*. Залежно від значення фазокерувального сигналу змінного струму $\sim U_{BX}$ змінюються струми у вихідних колах *ФЧП*, а отже і опори робочих навитків *МП*. Якщо при одній фазі керувального сигналу відкривається *МП*1 і замикається *МП*2, то при зміні фази вхідного сигналу на 180° замикається *МП*1 і відкривається *МП*2. При цьому двофазний асинхронний двигун реверсується. Коли $\sim U_{BX}=0$, то *МП*1 і *МП*2 не підмагнічуються, опори робочих навитків *МП* однакові і значно перевищують опори навитків двигуна. На конденсаторі напруга дорівнює нулю і двигун нерухомий. Частота обертання двофазного асинхронного двигуна залежить від значення керувального сигналу U_{BX}.

Для розширення діапазону пропорційної залежності між частотою обертання двигуна і керувальним сигналом використовують від'ємний зворотний зв'язок за частотою обертання. Коефіцієнт пропорційності визначається значенням зворотного зв'язку залежно від положення повзунка подільника напруги опору $R_{З.З.}$. Кінцеві вимикачі *Кв*1 і *Кв*2 забезпечують зупинку двигуна при підході вихідного органа ВМ до граничних значень.

Побудова виконавчих пристроїв змінної швидкості потребує застосування складних і недешевих пристроїв (генераторів змінної частоти та підсилювачів) і в сучасних умовах не знаходить широкого використання.

19. ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ ТИПУ МЭО ВИРОБНИЦТВА ЧЗЭИМ

Виконавчі механізми повинні перетворювати посилений командний сигнал у переміщення регулювального органа з достатніми для об'єкта швидкостями. Найважливішою вимогою до них, як і до всіх виконавчих пристроїв, є вимога надійності.

За своїми динамічними властивостями електричні ВМ можуть розглядатися як інтегруючі ланки, що повинно бути враховано при формуванні закону регулювання. У ряді випадків ВМ охоплюють жорстким зворотним зв'язком, перетворюючи його в пропорційну (або малоінерційну) ланку. Найбільше поширення серед електричних виконавчих механізмів отримали ВМ сталої швидкості, які застосовуються в складі релейно-імпульсних регуляторів, і серед них - однооборотні виконавчі механізми типу МЭО виробництва Чебоксарського заводу електричних виконавчих механізмів (ЧЗЭИМ).

Номінальний повний хід вихідного вала в цих механізмах може бути 0,25 або 0,63 оберту. У позначенні виконавчих механізмів МЭО вказуються послідовно три величини:

$M_{КР}$ — номінальний крутний момент на вихідному валі, кгс·м;

$T_{В.М.}$ — номінальний час повного ходу вихідного вала виконавчого механізму від мінімуму до максимуму, с;

$Ф_{В.М.}$ — номінальний повний хід вихідного вала виконавчого механізму, оберти.

Додатково може вказуватися рік модифікації.

Виконавчі механізми типу МЭО випускаються в різних модифікаціях, для яких зазначені параметри охоплюють широкий діапазон значень:

$M_{КР}$=4, 10, 25, 63, 160, 400 кгс·м;

$T_{В.М.}$ =10, 25, 63, 160 с;

$Ф_{В.М.}$ =0,25; 0,63 обертів.

Приклади позначень виконавчих механізмів типу МЭО:

МЭО-4/10-0,25-68 МЭО-4/25-0,63-68

МЭО-25/63-0,25 МЭО-25/160-0,63

МЭО-63/25-0,25-68 МЭО-63/63-0,63-68

МЭО-400/63-0,25 МЭО-400/160-0,63

Механізми типу МЭО розраховані на безконтактне керування за допомогою магнітних підсилювачів типу УМД або реверсивного тиристорного

пускача ПБР-2. Разом із тим допускають і контактне керування за допомогою магнітних пускачів МКР-0-58 або ПМРТ-69.

Однією з відмінних рис розглянутих виконавчих механізмів є застосування в них однофазних асинхронних конденсаторних двигунів типу ДАУ. Ці двигуни відрізняються малою інерційністю, високою надійністю й здатні довгостроково працювати на упор. Остання обставина дозволяє виключити зі схеми керування виконавчим механізмом захисні кінцеві вимикачі, роль яких виконують механічні упори, що налаштовуються . Однофазне живлення двигуна напругою 220 В, 50 Гц також спрощує електричну схему керування виконавчим механізмом.

Друга особливість виконавчих механізмів типу МЭО складається в застосуванні багатоступінчастих циліндричних редукторів, що відрізняються високим ККД. Завдяки цьому відкривається можливість застосування порівняно малопотужних електродвигунів для привода виконавчих механізмів із більшими крутними моментами (до 400 кгс·м). Це у свою чергу спрощує завдання вибору пускових пристроїв і сприяє поліпшенню динамічних властивостей виконавчих механізмів.

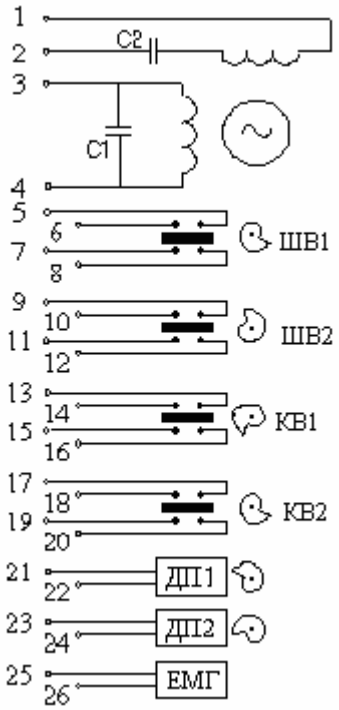


Рис. 19.1. Електрична схема МЭО.

З іншого боку, застосування циліндричних редукторів у виконавчих механізмах пов’язано з одним істотним недоліком, який полягає в тому, що циліндричні редуктори не є самогальмуючими й не здатні самі по собі утримати навантаження на вихідному валі виконавчого механізму при знеструмленому електродвигуні. Тому розглянуті виконавчі механізми вимагають застосування надійних гальмових пристроїв, що стопорять вихідний вал виконавчого механізму після відключення двигуна.

Гальмовий пристрій виконавчих механізмів типу МЭО має електромагнітний привод у вигляді соленоїда, що включається паралельно з обмоткою управління двигуна. При знеструмленому електромагніті за допомогою робочої пружини забезпечується необхідне зусилля гальмування.

З появою силової напруги на обмотці управління електродвигуна з'являється струм й в обмотці соленоїда. Якір втягується й відводить гальмову колодку від вала електродвигуна. При зникненні напруги на обмотці управління двигуна соленоїд знеструмлюється й вал електродвигуна гальмується за допомогою пружини й гальмівної колодки.

Виконавчі механізми типу МЭО оснащуються, звичайно, двома індуктивними давачами положення. Давачі розміщуються в спеціальному блоці давачів БДИ-6, у якому, крім того, розташовані чотири мікровимикачі із двома незалежними ланцюгами кожний. Плунжери давачів і штовхачі перемикачів переміщаються за допомогою кулачків, пов'язаних із вихідним валом виконавчого механізму.

У механізмах МЕО можуть установлюватися різні модифікації давачів положення: індуктивні із пристроєм люфт - БДИ-6Л; реостатні БДР-П; струмові типу БДТ, що складаються із блоку давачів магнітних БДМ-2 і блоку підсилювачів БУ-2.

Якість роботи ВМ характеризується крутним моментом, часом повного ходу, вибігом, люфтом, режимом роботи.

Вибіг – це переміщення вихідного валу після закінчення керувального імпульсу, бажано, щоб він був у межах зони нечутливості. Звичайно, вибіг дорівнює 1% для ВМ з T_{BM}=10с, 0,5% - для T_{BM}=25с та 0,25% для інших.

Люфт – це одна з характеристик нелінійності ВМ і з'являється внаслідок зазорів у механічних вузлах та зносу контактуючих поверхонь. Люфт має бути менше 1°.

Режим роботи виконавчих пристроїв – повторювально-імпульсний з реверсуванням. Частота вмикань до 600 на годину з інтервалом не менше 50мс.

20. ПНЕВМАТИЧНІ ЗАСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ

Пневматичні засоби регулювання призначені для побудови АСР технологічних об'єктів керування з підвищеними вимогами пожежо- і вибухобезпеки. Застосовуються при підвищеній загазованості атмосфери, на нафтохімічних виробництвах, газоперекачувальних станціях, хімічних підприємствах та ін. Носієм інформації у пневматичних засобах регулювання є тиск стисненого повітря. Робочий діапазон інформаційних і керувальних сигналів: 0,02...0,1 МПа (0,2...1,0 атм).

Універсальні регулювальні пристрої приладового типу, що використовують принцип компенсації переміщень, а також блоки агрегатної уніфікованої системи АУС, побудовані на принципі компенсації зусиль, у наш час мають обмежене застосування. Основу сучасних пневматичних засобів регулювання ДСП становлять пристрої універсальної системи елементів промислової пневмоавтоматики (УСЕППА). На основі УСЕППА конструюються регулювальні й функціональні блоки, а також ряд пристроїв і систем централізованого контролю й керування як неперервної так і неперервно-дискретної дії.

Універсальна система елементів промислової пневмоавтоматики являє собою функціонально повний набір окремих елементів, кожний з яких може

виконувати лише найпростішу функцію перетворення сигналу в загальній схемі всього пристрою. Так, у складі УСЕППА є пневматичні ємності, опори, дросельні суматори, підсилювачі, реле та ін.

Пневмоємність — елемент, у якому накопичення потенціалу здійснюється за рахунок зміни тиску при сталому об'ємі. Залежно від функціонального призначення розрізняють постійні й змінні пневмоємності (рис. 20.1 а, б).

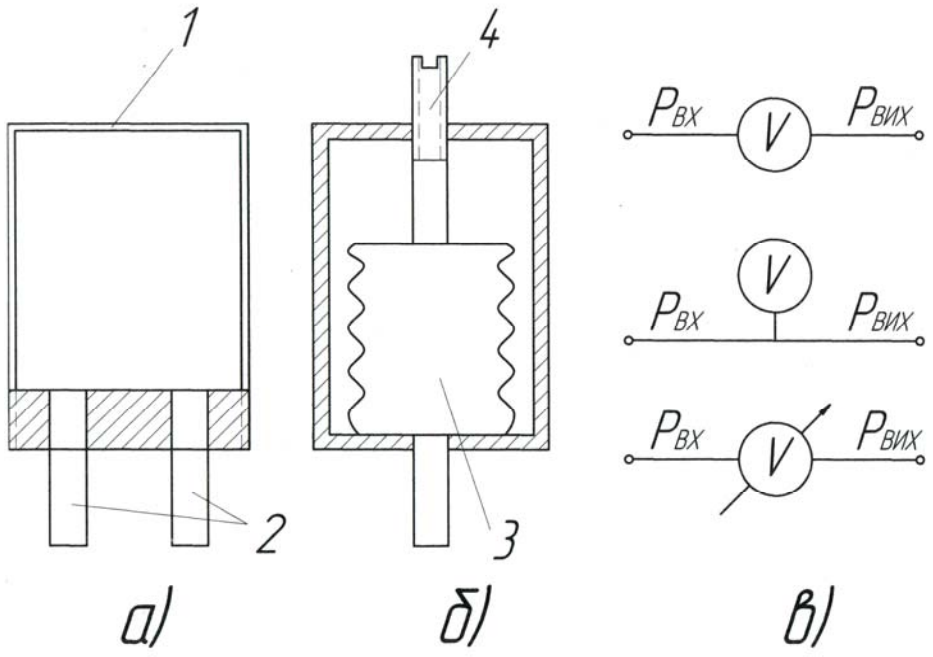


Рис. 20.1. Пневмоємність.

де: 1 – корпус, 2 – штуцер, 3 – сильфон, 4 – регулювальний гвинт.

Пневмоопір (дросель) — призначений для створення опору течії повітря (дроселювання потоку газу). Залежно від функціонального призначення розрізняють постійні, змінні й керовані пневматичні опори (див. рис. 20.2).

Постійні (нерегульовані) опори являють собою капіляр довжиною 20 мм з отвором діаметром 0,32 або 0,18 мм.

Змінні (регульовані) пневмоопори - величина яких може змінюватися в певних межах. В їх якості найчастіше використовується конструкція, що містить робочу пару «конус-конус».

Керовані – опори, величина яких може змінюватися під дією якого-небудь параметра автоматично. Найпоширеніші керовані опори - типу «сопло-заслінка», «сопло-кулька» й ін.

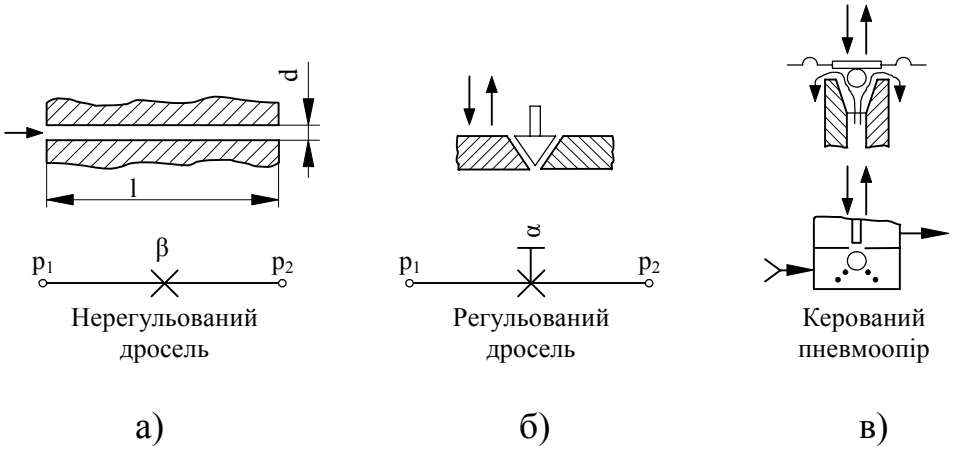


Рис. 20.2. Пневмоопори.

Дросельні суматори реалізують операцію додавання з попереднім масштабуванням двох пневматичних сигналів (тисків), що надходять через постійний (*ДП*) або регульований (*ДР*) дроселі (рис.20.3). У складі УСЕППА є два типи дросельних суматорів, що відрізняються один від одного тим, що в одному з них регульований дросель забезпечений шкалою.

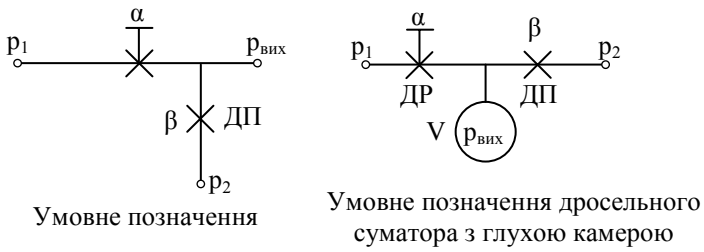


Рис. 22.3. Дросельний суматор.

У стаціонарному режимі в міждросельному об’ємі, який можна розглядати як проточну камеру, установлюється тиск $p_{ВИХ}$, при якому масова витрата через дросель *ДР* повинна дорівнювати масовій витраті через дросель *ДП*. Якщо прийняти, що перепади тисків p_1-$p_{ВИХ}$ на дроселі із провідністю α (величина зворотна опору) і $p_{ВИХ}$ - p_2 на дроселі із провідністю β малі, а режими протікання повітря через дроселі ламінарні, то на підставі рівності масових витрат можна записати: $\alpha \cdot (p_1 - p_{ВИХ}) = \beta \cdot (p_{ВИХ} - p_2)$.

Після перетворень одержимо: $p_{ВИХ} = \frac{\alpha}{\alpha+\beta} \cdot p_1 + \frac{\beta}{\alpha+\beta} \cdot p_2$

Позначаючи $\frac{\alpha}{\alpha+\beta} = k_1$, $\frac{\beta}{\alpha+\beta} = k_2$, можна помітити, що $k_1+k_2=1$.

Мембранні елементи порівняння (їх також називають підсилювачами тиску) будуються з використанням двосоплового механо-пневматичного перетворювача. До складу УСЕППА входять тримембранні пневмопідсилювачі із двома входами й п'ятимембранні з чотирма входами.

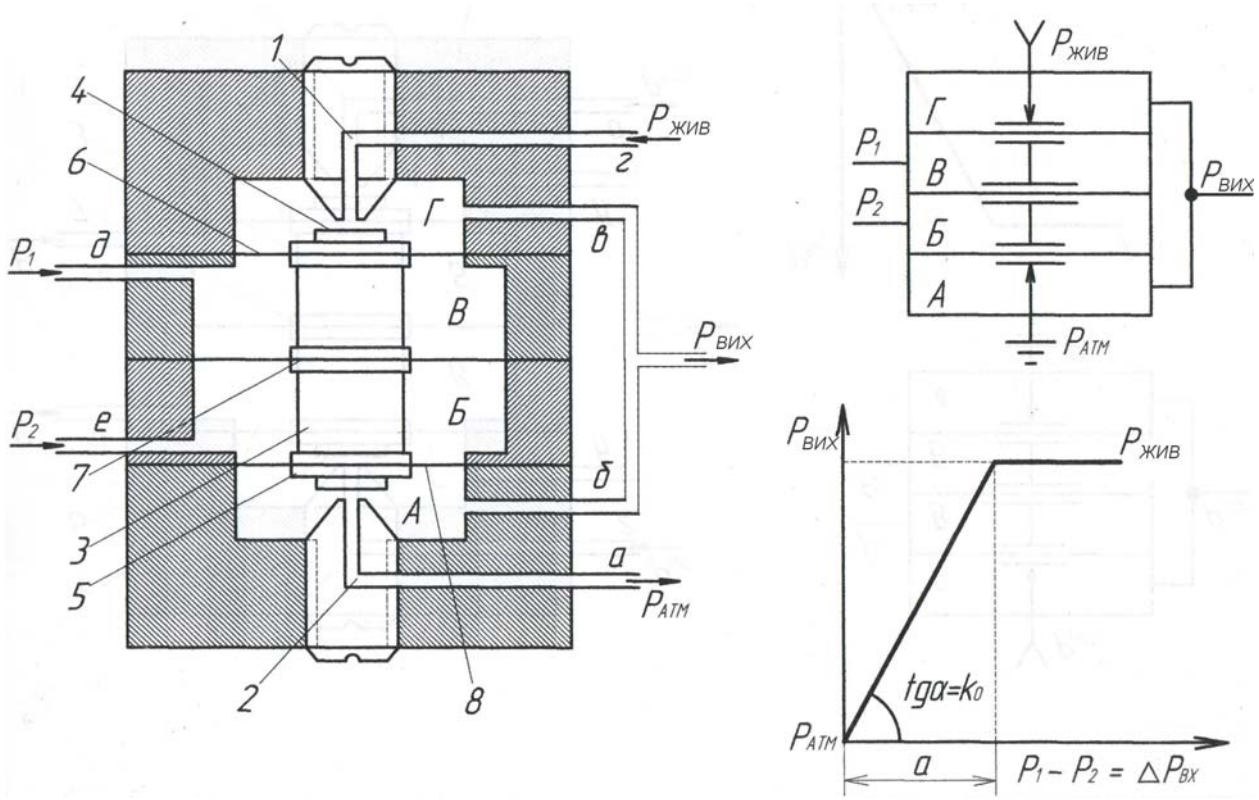


Рис. 20.4. Спрощена й умовна схема підсилювача і його характеристика.

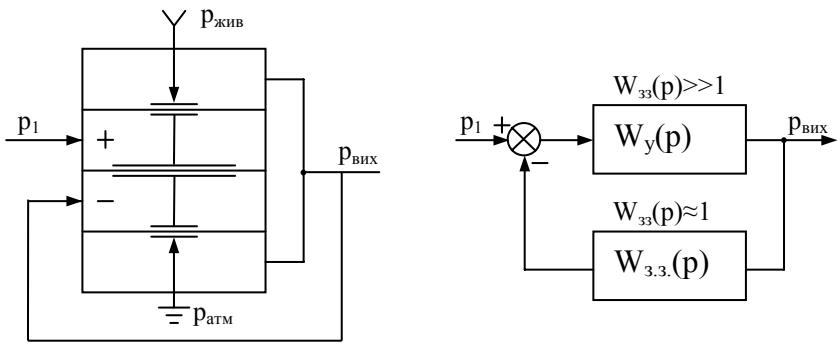
Тримембранний підсилювач із двома входами складається із двох пневмоопорів типу «сопло-заслінка» (*1*, *4* й *2*, *5*) і мембранного блоку *3*, що утворюють разом із корпусом глухі камери. Мембранний блок містить три еластичні мембрани *6*, *7*, *8*, з'єднані спільним штоком, торці якого *4*, *5* і служать заслінками сопел *1* й *2*. Мембранний блок може переміщатися у вертикальному напрямку, рух його обмежується упором торців у сопла *1* або *2*. Ефективні площі мембран *6* й *8* рівні одна одній й значно менші ефективної площі мембрани *7*. Камери *А* и *Г*, у яких розташовуються сопла, з'єднуються

послідовно (штуцера *а* й *б* об'єднані) і утворюють тим самим проточну камеру із двома керованими опорами. До сопла *1* через штуцер *г* підводить тиск живлення $p_{ЖИВ}$, сопло *2* через штуцер *а* сполучається з атмосферою ($p_{АТМ}$). Вхідні тиски p_1 і p_2 підводять до глухих камер *В* і *Б* через штуцера *д* и *е*. Через розходження ефективних площ мембран, що утворюють глухі камери, при збільшенні тиску p_1 у двовходовому підсилювачі тиск на виході $p_{ВИХ}$ збільшується, а при збільшенні тиску p_2 — зменшується. Тому камеру *В* називають додатньою, а камеру *Б* – від'ємною.

Так як положення мембранного блоку щодо керованих опорів визначає величину вихідного тиску, а в той же час саме визначається значеннями вхідних сигналів, то між тиском $p_{ВИХ}$ і значеннями тисків p_1 і p_2 має місце однозначна залежність, яка має значну крутизну. Реальна статична характеристика підсилювача відрізняється від ідеалізованої й має форму петлі гістерезису (це явище обумовлене тим, що еластичні мембрани мають пружність). Наявність гістерезису викликає деяку нечутливість підсилювачів, а їхній коефіцієнт підсилення у вузькому діапазоні зміни тисків p_1-p_2 (a=0,4·10^{-3} МПа) має порядок 100…200, де існує залежність $p_{ВИХ} = k_0(p_1 - p_2)$. За межами цього діапазону має місце двопозиційна характеристика й тому тримембранний елемент іноді використовується в схемах керування як елемент порівняння й виконує операцію:

$$p_{ВИХ} = sign(p_1 - p_2) = \begin{cases} p_{ВИХ} = 0; \ p_1 < p_2 \\ p_{ВИХ} = 1; \ p_1 > p_2 \end{cases}$$

Стійка робота пневмопідсилювача досягається у випадку охоплення його від'ємним зворотним зв'язком (рис.20.5).



Пневмопідсилювач із від'ємним зворотнім зв'язком

Структурна схема пневмопідсилювача з ВЗЗ

Рис. 20.5. Спрощена й структурна схема пневпідсилювача з від'ємним зворотним зв'язком.

Найчастіше використовується одиничний від'ємний зворотний зв'язок. Тоді за умови k_0>>1 такий пристрій виконує операцію повторення вхідного сигналу. Передатна функція замкненої системи в такому випадку записується в наступному виді:

$$W_{З.С.}(p) = \frac{W_П(p)}{1 + W_П(p) \cdot W_{З.З}(p)} = \frac{k_0}{1 + k_0}\Bigg|_{k_0 >> 1} \approx 1$$

При цьому варто помітити, що чим більше коефіцієнт підсилення k_0, тим точніше реалізується операція повторення $p_{ВИХ} = p_1$.

П'ятимембранні підсилювачі з чотирма входами (рис.20.6) аналогічні розглянутим. У них трохи більша величина *a* й менший коефіцієнт підсилення.

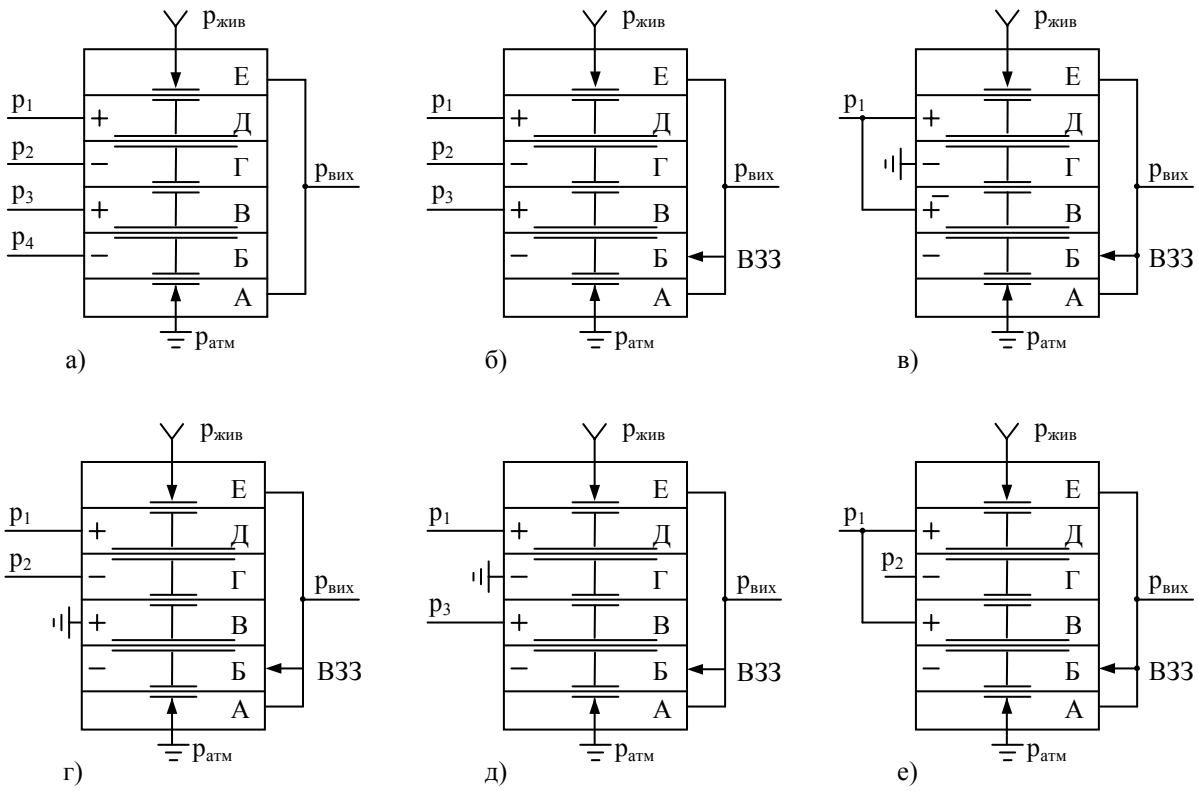


Рис. 20.6. Операції, реалізовані на п’ятимембранному підсилювачі: а) порівняння, б) алгебраїчного підсумовування, в) множення на 2, г) віднімання, д) додавання, е) множення на 2 і віднімання.

Охоплені одиничним від’ємним зворотним зв'язком (ВЗЗ) підсилювачі мають три вільних входи (два додатніх й один від’ємний) і за аналогією з розглянутим вище тримембранним підсилювачем також реалізують операцію повторення $p_{ВИХ}=\Delta p_{ВХ}$. У свою чергу $\Delta p_{ВХ}$ можна розглядати:

як алгебраїчну суму(рис. 20.6,б) $p_{ВИХ}=p_1-p_2+p_3$; як $p_{ВИХ}=2\cdot p_1$ при $p_2=0$ і $p_1=p_3$ (рис. 20.6,в) ; як $p_{ВИХ}=p_1-p_2$ при $p_3=0$ (рис. 20.6,г); як $p_{ВИХ}=p_1+p_3$ при $p_2=0$ (рис. 20.6,д); як $p_{ВИХ}=2\cdot p_1-p_2$ при $p_1=p_3$ і $p_2\neq 0$ (рис. 20.6,е).

Розглянуті підсилювачі знайшли широке застосування при реалізації аналогових пневматичних регулювальних пристроїв, що працюють по типовим П-, ПІ- і ПІД-законам регулювання.

Підсилювач потужності (підсилювач-повторювач) призначений для повторення неперервного вхідного пневматичного сигналу й посилення його по потужності (витраті повітря). Підсилювачі застосовуються як вихідні елементи

в більшості приладів, побудованих з елементів УСЕППА. Модифікації підсилювачів потужності розрізняються принциповою схемою й технологічними характеристиками.

Підсилювач (рис.20.7) складається із трьох шайб, розділених гнучкими мембранами й зібраних так, що в елементі утворюються чотири камери. У камеру *А* подається вхідний сигнал. Камера *Б* з'єднана з атмосферою, у камері *В* формується вихідний сигнал елемента, а камера *Г* з'єднана із джерелом живлення.

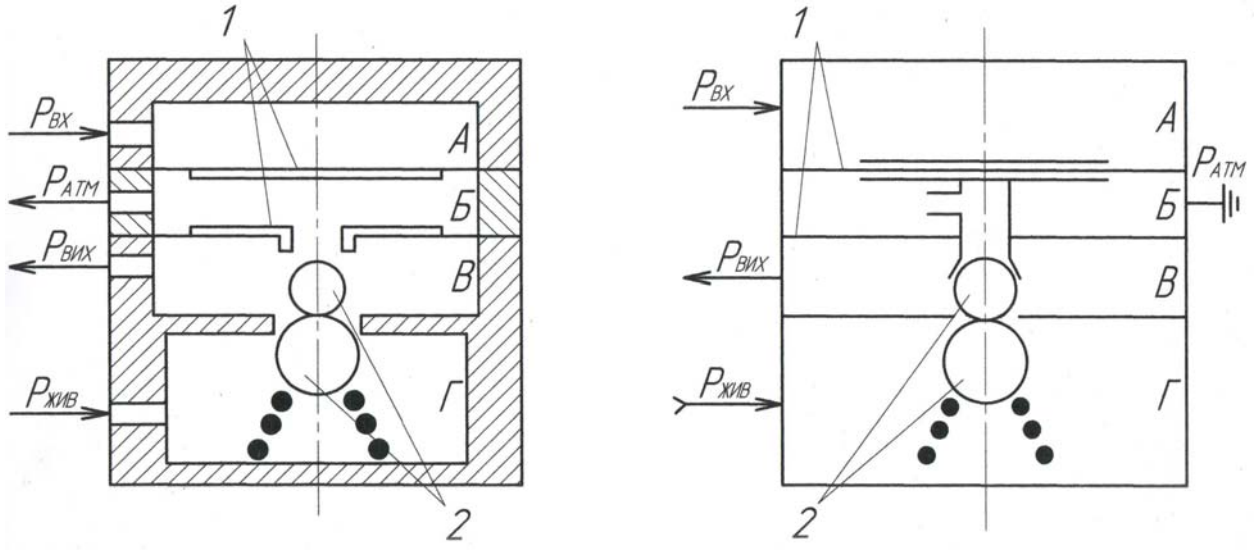


Рис. 20.7. Спрощена схема й умовне зображення підсилювача потужності.

Принцип дії елемента — компенсаційний: зусилля, що розвивається на здвоєній мембрані *1* вхідним сигналом $p_{ВХ}$, безупинно порівнюєтья й компенсується зусиллям, що розвивається на тій же мембрані вихідним сигналом $p_{ВИХ}$. При порушенні рівноваги сил на мембранному блоці подвійний кульковий клапан *2* відкриє канал, що з'єднує вихідну камеру В з атмосферою або з камерою живлення, що приведе до відновлення рівноваги. У зв'язку з тим, що в такому підсилювачі мембранний блок зібраний з менш чутливих мембран, повторення сигналу здійснюється зі значною статичною помилкою (до 5% стандартного діапазону пневматичних сигналів). У той же час більші прохідні перетини кулькових клапанів забезпечують підсилювачу необхідні динамічні властивості.

Реле перемикання. Використовується для підключення по черзі двох пневматичних каналів до третього, наприклад, для зміни режиму роботи регулятора з автоматичного на ручний та навпаки. Реле має три камери, що поділені гнучкими мембранами (рис.20.8), жорсткі центри яких *1* і *3* з'єднані штоком *2*. До глухої камери *А* подається командний сигнал p_K, камера *В* сполучається з атмосферою. У камері *Б* розміщені сопла C_1 і C_2, для яких мембрани *1* і *3* служать затулками. До сопел C_1 і C_2 підводять вхідні сигнали p_{BX1} і p_{BX2}. Тиск в камері *Б* є вихідним сигналом реле.

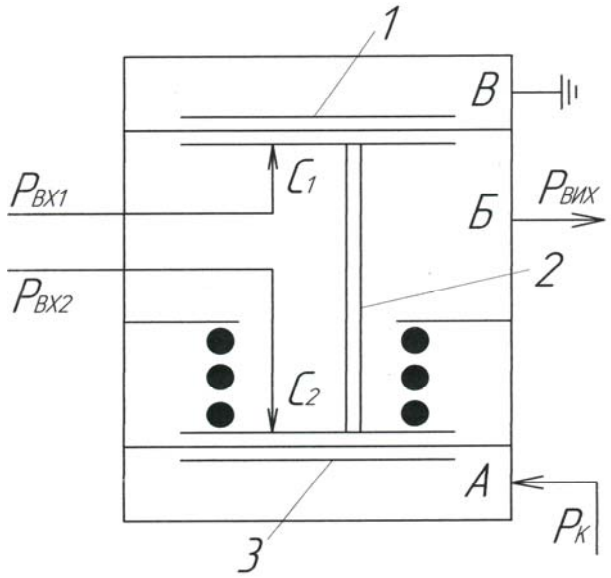


Рис. 20.8. Спрощена схема реле переключення.

Реле забезпечує такі режими роботи:

а) при p_K=0, пружина зміщує мембранний блок униз, сопло C_1 відкривається, C_2 закривається і сигнал на виході реле $p_{ВИХ}$=p_{BX2};

б) при p_K=1 мембранний блок переміщується вгору, сопло C_1 закривається, C_2 відкривається і $p_{ВИХ}$=p_{BX1}.

21. ПНЕВМАТИЧНИЙ ІЗОДРОМНИЙ РЕГУЛЮВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ НА БАЗІ КС3

Регулятор ПР-КС3 призначений для вбудовування в реєструючий прилад і реалізації ПІ-закону регулювання. При цьому сигнали давача й задавача

вводяться в регулятор за допомогою механічних пристроїв від стрілок вимірювача й задавача реєструючого приладу.

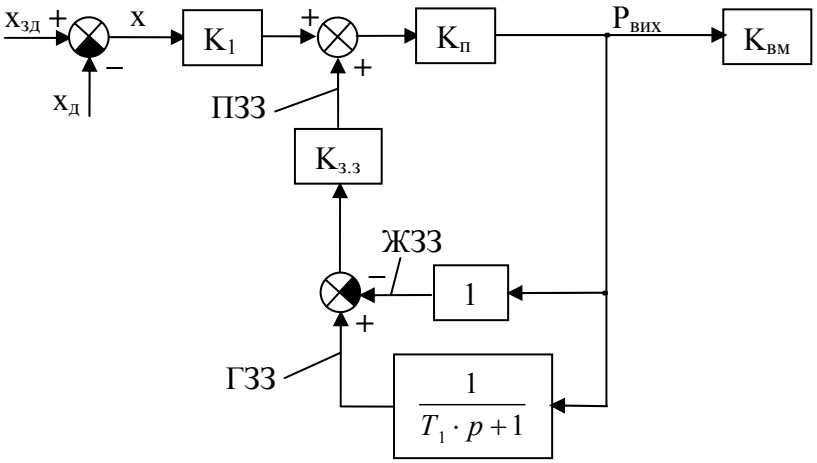


Рис. 20.1. Структурна схема пневматичного регулятора приладового типу.

Відповідно до наведеної на рис. 20.1 структурної схеми реалізується ПІ-закон регулювання:

$$W(p) = K_1 \cdot \frac{K_П \cdot K_{ВМ}}{1 - K_П \cdot K_{ЗЗ} \cdot \left(\frac{1}{T_1 \cdot p} - 1 \right)} = \frac{(T_1 \cdot p + 1) \cdot K_{ВМ}}{T_1 \cdot p \cdot K_{ЗЗ}} = \frac{T_1 \cdot p + 1}{T_1 \cdot p} \cdot \frac{K_{ВМ}}{K_{ЗЗ}} \cdot K_1 = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_I \cdot p} \right)$$

$$де \;\; T_I = T_1, \;\; K_P = \frac{K_{ВМ}}{K_{ЗЗ}} \cdot K_1.$$

Принципова схема пневматичного регулятора приладового типу наведена на рис. 34Д. Перший елемент структури регулятора — елемент порівняння *1*, що формує сигнал неузгодження $x(t)=x_{ЗД}-x_Д(t)$. Далі сигнал $x(t)$ (переміщення) через важільну систему *2* передається на заслінку *3*, на яку також передається сигнал зворотного зв’язку від іншої важільної системи. Алгебраїчна сума переміщень визначає ступінь відкриття заслінки. Таким чином, механічне переміщення перетворюється за допомогою елемента «сопло-заслінка» у пневматичний сигнал, що надходить потім на підсилювач потужності *4* й до виконавчого механізму (пропорційного). Цей же сигнал надходить у зворотний зв'язок, що складається із пропорційної й аперіодичної частини, сигнали яких потім віднімаються. Різницевий сигнал утворює $x_{ЗЗ}(t)$. Є можливість змінювати коефіцієнт зворотного зв'язку шляхом зсуву точки опори важеля *9* за

допомогою ексцентріка. Інтегральний блок БИ-2 містить пневматичну ємність *6*, реле відключення й регулювальний дросель *7*. Алгебраїчний суматор у ланцюзі зворотного зв'язку реалізований на двох сильфонах *5*, переміщення перегородки між якими визначає вплив зворотного зв'язку. При повністю закритому регулювальному дроселі *7* реалізується П-закон, при частково відкритому - ПІ-закон, а при повністю відкритому регулятор стає практично двопозиційним. Регулювальний пристрій має два органи настроювання: «зона пропорційності» δ - величина зворотна K_P (діапазон 0…250%),час ізодрома T_I (6... ∞)с.

22. ПНЕВМАТИЧНІ РЕГУЛЯТОРИ СИСТЕМИ «СТАРТ»

Елементи УСЕППА мають широке застосування при серійному виготовленні пневматичних засобів, що реалізують всі типові закони регулювання. Ці засоби відомі за назвою системи контролю й регулювання «Старт», які побудовані за блочно-модульним принципом.

Всі регулятори системи «Старт» можуть працювати з будь-якими пристроями, що мають вихідні уніфіковані пневматичні сигнали. Спеціальний дискретний елемент (реле перемикання) дозволяє здійснювати плавний, без стрибків тиску, перехід від ручного керування до автоматичного. В його складі є позиційні (Пз), пропорційні (П), пропорційно-інтегральні (ПІ), пропорційно-інтегральні співвідношення (у тому числі по третьому параметру) і пропорційно-інтегрально-диференційні (ПІД) регулятори.

22.1. Позиційний регулятор ПР1.5.

Позиційний регулятор ПР1.5 представлений на рис. 35Д.

реалізує закон виду $P_{ВИХ} = \begin{cases} P_{ЖИВ}, & P_{ЗД} > P_{Д} \\ 0, & P_{ЗД} < P_{Д} \end{cases}$

Розглянемо схему ПР1.5, в його складі є: *1* – задавач, *2* - постійний дросель, *3* - тримембранний елемент, *4* - підсилювач потужності, *М* – манометр, *П* - перемикач вхідних сигналів.

Регулятор настроюється на максимум або мінімум за допомогою перемикання вхідних каналів. При настроюванні на мінімум $p_{ВХ}$ надходить у камеру *Б* елемента *3*, $p_{ЗД}$ від задавача *1* підводиться у камеру *В*. Поки $p_{ВХ}>p_{ЗД}$, сопло C_2 закрите й сигнал на виході приймає нижнє значення. При $p_{ВХ}<p_{ЗД}$ сопло C_2 відкривається й вихідний сигнал приймає верхнє значення. Аналогічно регулятор працює й у положенні «максимум».

Вихідний тиск із елемента *3* підсилюється підсилювачем потужності *4*. Настроювання завдання здійснюється по манометру *М*.

22.2. Пропорційний регулятор ПР 2.5.

Пропорційний регулятор ПР2.5 представлений на рис. 36Д.

1 – п'ятимембранний підсилювач із великим коефіцієнтом підсилення, охоплений від'ємним зворотним зв'язком, *W(p)*=1; *2* - ручний задавач; *3, 4* - дросельний суматор *ДС*; *5* – п'ятимембранний підсилювач із великим коефіцієнтом, не охоплений зворотним зв'язком; *6* - підсилювач потужності; *7* - реле, що відключає.

На рисунку $p_Д$ — тиск, пропорційний регульованій величині (від відповідного перетворювача), $p_{ЗД}$ — тиск від задавача, установленого, звичайно, у вторинних приладах з вбудованою станцією керування, $p_П$ — тиск від ручного задавача-корректора *2*, установленого в регулювальному блоці, і що визначає початкове значення вихідного сигналу при $p_Д=p_{ЗД}$. Тиск $p_П$ отримав назву тиску контрольної точки. Вихідний сигнал підсилювача *6* поступає на формуючий жорсткий зворотний зв'язок, що містить дросель *4*. Для дросельного суматора *3*, *4* в стані рівноваги можна записати:

$$p_2 = \frac{\alpha}{\alpha+\beta}\cdot p_1 + \frac{\beta}{\alpha+\beta}\cdot p_{ВИХ},$$

де α - провідність регульованого дроселя; β - провідність нерегульованого дроселя суматора *ДС*.

Крім сигналу p_2 на вхід елемента *5* надходить тиск контрольної точки $p_П$ від ручного задавача *5*. Рівновага елемента *5* визначається умовою $p_2=p_П$. Після перетворень із урахуванням виразу для $p_1 = p_П-p_Д+p_{ЗД}$ одержимо:

$$p_{ВИХ} = p_П + \frac{\alpha}{\beta}\left(p_Д - p_{ЗД}\right).$$

Позначивши $\alpha/\beta=K_P$, $p_Д-p_{ЗД}=p_{ВХ}$, одержимо рівняння регулятора у вигляді $p_{ВИХ}=p_П+K_P\cdot p_{ВХ}$.

Рівняння збігається з типовим законом П-регулятора. Для нормальної роботи регулятора необхідний правильний вибір напрямку зміни тиску в лінії виконавчого механізму при збільшенні або зменшенні регульованого параметра. Напрямок може мінятися за допомогою спеціального перемикача П.

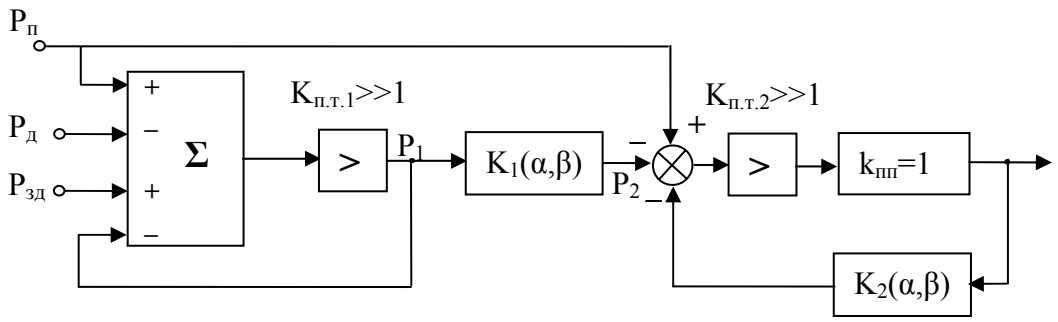


Рис. 22.1. Структурна схема регулятора ПР2.5.

Розглянемо структурну схему регулятора ПР2.5. Зневажаючи обсягами глухих камер елементів, усі ланки розглядаємо як пропорційні. При цьому слід зазначити, що зворотний зв'язок, що надходить у камеру *Г* і в камеру *В* через постійний дросель $ПД_2$, використовується для гасіння автоколивань й є зникаючим. У динамічному відношенні зворотний зв'язок являє собою ланку, що диференціює, і при виводі передатної функції регулятора може не враховуватися через нехтування обсягами камер *В* и *Г*.

Підсилювач потужності підсилює сигнал по потужності (витраті), залишаючи тиск без змін, тобто $K_{П.П.}=1$. З урахуванням відзначеного більш докладно можна записати:

$$p_{ВИХ}=\frac{k_{П.Т2}\cdot k_{П.П.}}{1+k_{П.Т2}\cdot k_{П.П.}\cdot k_2}\cdot(p_П-p_2)\Bigg|_{\substack{k_{П.Т2}>>1\\ k_{П.П.}\approx 1}}=\frac{1}{k_2}(p_П-p_2)\text{, де } p_2=k_1\cdot p_1,$$

$$p_1=\frac{k_{П.Т1}}{1+k_{П.Т1}}\cdot(p_П-p_Д+p_{ЗД})\Bigg|_{k_{П.Т1}>>1}=p_П-p_Д+p_{ЗД}$$

З урахуванням того, що $k_1+k_2=\frac{\alpha}{\alpha+\beta}+\frac{\beta}{\alpha+\beta}=1$, одержимо:

$p_{ВИХ} = \frac{1}{k_2}\left[p_П - k_1 \cdot \left(p_П - p_Д + p_{ЗД}\right)\right] = p_П + \frac{k_1}{k_2}(p_Д - p_{ЗД})$, де $\frac{k_1}{k_2} = K_P$ — коефіцієнт передачі регулятора, обернено пропорційний коефіцієнту нерівномірності δ для пневматичних регуляторів, відомий за назвою діапазону дроселювання, тобто $K_P = \frac{1}{\delta} \cdot 100\%$.

Діапазон дроселювання δ настроюється зміною провідності α регульованого дроселя. При закритті дроселя коефіцієнт підсилення має мінімальне значення, тобто $K_P \to 0$, а $\delta \to \infty$. Якщо дросель повністю відкритий, то $K_P \to \infty$, а $\delta \to 0$.

На практиці в серійних регуляторах ПР2.5 значення δ вибирають із ряду: 5...100, 10...300, 40...500, 100...1000, 150...1500, 500...3000%.

Розглянемо роботу регулювального пристрою ПР 2.5. Припустимо, що $p_Д > p_{ЗД}$. У цьому випадку вихідний тиск p_1 суматора *1* падає й надходить на регульований дросель *3* дросельного суматора *ДС*. Вихідний сигнал з регулювального пристрою $p_{ВИХ}$ надходить у камеру *Б* підсилювача тиску *5*, охопленого від'ємним зворотним зв'язком. Вихідний сигнал підсилювача, що визначається тисками p_2 і $p_П$, подається далі на підсилювач потужності *6* і через реле, що відключає, *7* - на вихід регулювального пристрою й на виконавчий механізм.

Новий стан рівноваги наступає при новому значенні $p_{ВИХ}$, що визначається зі співвідношення $p_П = k_1 \cdot p_1 + k_2 \cdot p_{ВИХ}$. Таким чином, кожному значенню регульованого параметра $p_Д$ відповідає в пропорційному регуляторі ПР2.5 своє значення $p_{ВИХ}$.

Реле, що відключає, *7* при подачі командного сигналу p_K дозволяє відключати регулятор від виконавчого механізму. При цьому сопло C_2 закривається, а через сопло C_1 можна дистанційно управляти виконавчим механізмом. Для безударного включення регулятора необхідно в камері *Б* створити тиск $p_{ВИХ}$, після чого зняти сигнал p_K.

22.3. Пропорційно-інтегральний регулятор ПР3.21.

Структурна схема пропорційно-інтегрального регулятора ПР3.21 представлена на рис. 22.2. Як видно він відрізняється від розглянутого вище пропорційного ПР2.5 наявністю інтегруючого ланцюга, реалізованого шляхом охоплення аперіодичної ланки додатнім зворотним зв'язком.

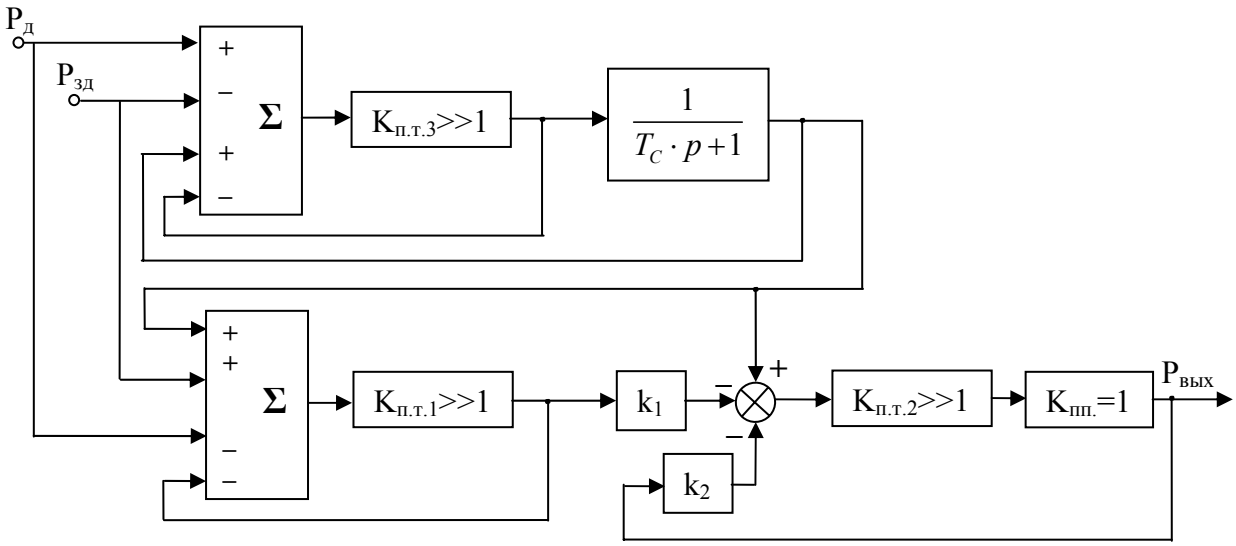


Рис. 22.2. Структурна схема регулятора ПР3.21.

Розглянемо принципову схему регулятора ПР3.21, рис. 37Д. Регулятор ПР3.22 відрізняється від ПР3.21 наявністю ручного задавача *1*.Регулятор складається із пропорційної й інтегральної частини, також до складу регулятора входять перемикаючі реле *9* й *10*. Пропорційна частина складається з: п’ятимембранних елементів порівняння *5* й *7*, дросельного суматора *6* і підсилювача потужності *8*. Інтегральна частина складається з: п’ятимембранного елемента порівняння *2*, регульованого дроселя *3* і пневмоємності *4*.

Зв'язок між пропорційною й інтегральною частинами регулятора здійснюється шляхом подачі тиску з виходу інтегральної частини в камери *Д* підсилювачів тиску *5* й *7* пропорційної частини. Гасіння можливих автоколивань здійснюється так само, як й у пропорційному регуляторі ПР2.5.

При виводі передатної функції регулятора ємностями камер зневажаємо, у зв'язку із чим ці елементи в структурній схемі відсутні. Відповідно до структурної схеми:

$$p_{ВИХ} = \frac{k_{П.Т.2} \cdot k_{П.П.}}{1 + k_{П.Т.2} \cdot k_{П.П.} \cdot k_2}\left(p_I - k_1 \cdot \left(p_I - p_Д + p_{ЗД}\right)\right) = \frac{1-k_1}{k_2} p_I + \frac{k_1}{k_2} \cdot \left(p_Д - p_{ЗД}\right),$$

З врахуванням того, що $k_1+k_2=1$, одержимо: $p_{ВИХ} = p_I + K_P \cdot \left(p_Д - p_{ЗД}\right)$.

Для інтегральної частини:

$$p_I = \frac{\frac{1}{T_C \cdot p + 1}}{1 - \frac{1}{T_C \cdot p + 1}} \cdot \left(p_Д - p_{ЗД}\right) = \frac{1}{T_C \cdot p} \cdot \left(p_Д - p_{ЗД}\right),$$

де T_C — постійна інтегральної частини.

Остаточний вираз для вихідного регулювального впливу запишеться у вигляді

$p_I = \left(\frac{1}{T_C \cdot p} + K_P\right) \cdot \left(p_Д - p_{ЗД}\right)$, звідки передатна функція ПІ-регулятора

$$W(p) = \frac{p_{ВИХ}}{p_Д - p_{ЗД}} = K_P + \frac{1}{T_C \cdot p} = K_P\left(1 + \frac{1}{T_I \cdot p}\right).$$

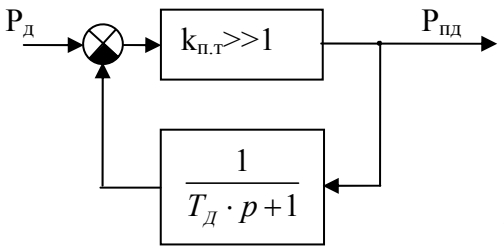
Настроювання пневматичних регуляторів ПР3.21 можуть бути визначені по відомим методикам для ПІ-регуляторів. Значення їх повинні бути зведені до величин δ і T_C, пов'язаними із загальноприйнятими K_P і T_I наступними співвідношеннями: $\delta = \frac{1}{K_P} \cdot 100\%$; $T_C = \frac{T_I}{K_P}$.

Регулятор ПР 3.21 має практично незалежні параметри настроювання. Час інтегрування T_C може змінюватися від 3 с до 100 хв, межа пропорційності δ - від 5 до 3000%.

22.4. Пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор ПР3.25

Пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор представлений на рис. 38Д.

На відміну від попереднього регулятора в ПР3.25 ще додана диференційна частина, що представляє собою пристрій випередження, який реалізує ПД-перетворення вхідного сигналу, рис. 22.3. Диференційна складова закону регулювання формується за рахунок охоплення підсилювальної ланки від'ємним зворотним зв'язком у вигляді аперіодичної ланки.



$$W_{ПД}(p) = \frac{K_{П.Т}}{1 + \frac{K_{П.Т}}{T_Д \cdot p + 1}} \cong T_Д \cdot p + 1$$

Рис. 22.3. Структура пристрою випередження

Розглянемо принципову схему регулятора ПР3.25. До складу регулятора входять: пропорційна частина, яку утворюють п'ятимембранні елементи порівняння *7* й *9*, дросельний суматор *8* і підсилювач потужності *10*; інтегральна частина, до складу якої входять регульований дросель *5*, ємність *6* і п'ятимембранний елемент порівняння *4*; диференційну частину утворюють тримембранний елемент *1*, що має ланцюжок зворотного зв'язку, у який входять пневмоємність *2* і змінний дросель *3*. Органом настроювання $T_Д$ служить дросель *3*. Реле відключення вимикають П-частину, І-частину й Д-частину, при цьому *12* закорочує (шунтує) відповідне коло, а *11* й *13* відключають сигнал.

Рівняння, що реалізується регулятором, має вигляд

$$p_{ВИХ}(t) = K_P \cdot (p_Д - p_{ЗД}) + \frac{1}{T_I} \cdot \int (p_Д - p_{ЗД}) \cdot dt + K_P \cdot T_Д \cdot \frac{d(p_Д)}{dt}$$

Органи настроювання незалежні. Як бачимо, регулятор реалізує ПІД-закон тільки по змінній $p_Д(t)$, при зміні завдання $p_{ЗД}$ – реалізується ПІ-закон.

23. ПНЕВМАТИЧНІ ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ

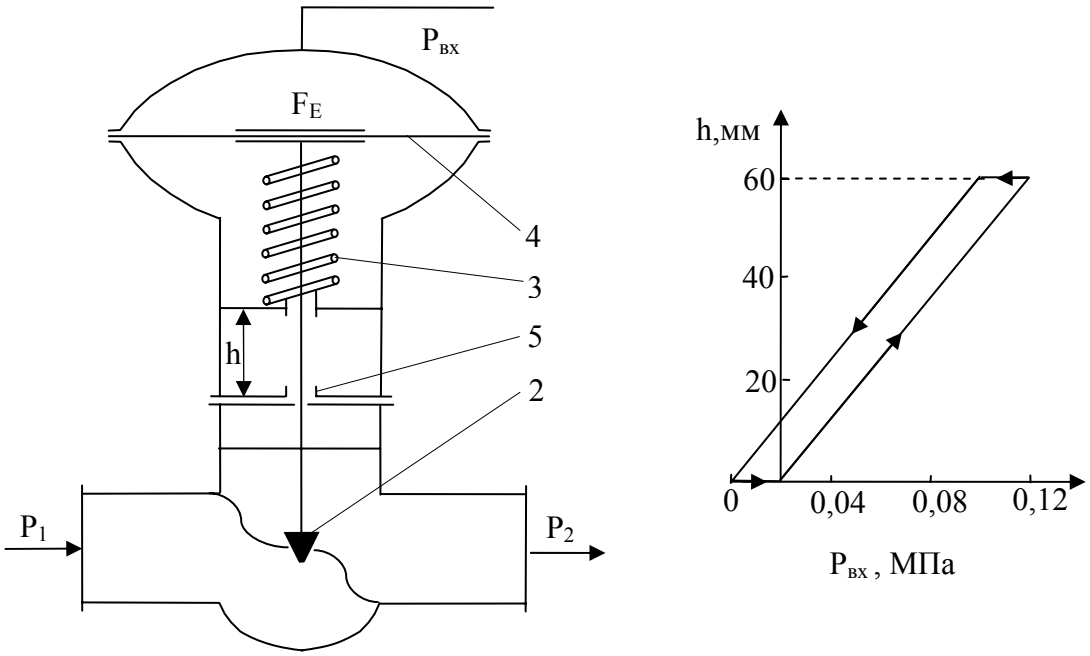
У пневматичних виконавчих механізмах переставне зусилля створюється за рахунок дії тиску стисненого повітря на мембрану, поршень або сильфон. Відповідно розрізняють мембранні, поршневі й сильфонні виконавчі механізми, які можуть бути пружинними й безпружинними.

У пружинних механізмах переставне зусилля в одному напрямку створюється силою тиску стисненого повітря, а в зворотному напрямку - силою пружності стислої пружини, тобто значна частина зусилля, створювана за рахунок дії тиску, витрачається на стиск пружини.

Від цього недоліку вільні безпружинні виконавчі механізми, у яких переставне зусилля в протилежних напрямках створюється дією тиску по обидва боки мембрани або поршня; тиск із однієї сторони зростає, а з іншого боку - зменшується або ж навпаки.

Сильфонні виконавчі механізми застосовуються для створення невеликих переставних зусиль. Прямолінійні мембранні пружинні й безпружинні механізми, які доповнені важільною передачею, можуть забезпечувати поворотне переміщення.

23.1. Мембранні виконавчі механізми



а) б)

Рис. 23.1. Пневматичний мембранний виконавчий механізм.

а - принципова схема; б - статична характеристика.

Переміщення вихідного штока *1*, з'єднаного з регулювальним органом *2*, в одну сторону здійснюється силою, що створюється тиском p_{BX}, в іншу – зусиллям від пружини *3*. Сигнал p_{BX} надходить у герметичну мембранну головку, у якій перебуває мембрана *4* із твердим центром. Знизу на мембрану давить пружина *3*. Мембранні виконавчі механізми класифікуються за розмірами мембранних головок. Статичні характеристики більшості механізмів близькі до лінійних, однак майже завжди спостерігається гістерезис (2-15% від максимального значення p_{BX}).

Величина гістерезису залежить від зусиль в ущільнюючому сальнику *5*, від перепаду тисків p_1-p_2 на регулювальному органі й від ефективної площі

мембрани *Fe*. Статична характеристика наведена на рисунку (максимальне переміщення штока *h* звичайно не перевищує 60мм). Слід зазначити, що для мембранних виконавчих механізмів з більшими *Fe* вплив тертя в сальнику й перепаду тиску p_1-p_2 на величину гістерезису незначний (зона гістерезису становить 1-3% і практично не впливає на якість перехідних процесів системи регулювання). Однак через великий обсяг мембранної камери динамічні характеристики таких виконавчих механізмів наближаються до характеристик аперіодичної ланки, що значно знижує якість регулювання.

У динамічному відношенні механізми з величиною гістерезису менш 2% можна вважати підсилювальними ланками при частотах $\omega<\omega_H\approx0{,}3$ рад/с. Якщо ж зона гістерезису досягає 3-5%, то ω_H зменшується до 0,03-0,05 рад/с. Для зменшення зони гістерезису й поліпшення динамічних характеристик на виконавчий механізм установлюють спеціальні підсилювачі тиску зі зворотним зв'язком по положенню штока привода, які називають позиціонерами.

23.2. Позиціонери

Позиціонери за принципом дії підрозділяються на позиціонери, що працюють за схемою компенсації переміщень і за схемою компенсації зусиль. При установці позиціонера на мембранному виконавчому механізмі використовується принцип глибокого пропорційного зворотного зв'язку.

Позиціонер П-1, що працює за схемою компенсації переміщень, рис. 23.2. має сильфонний чутливий елемент *1*, у який надходить командний сигнал з виходу пневматичного регулювального пристрою. Зміни цього сигналу приводять до переміщень дна сильфона й золотника *2*. Останній сполучає порожнину над мембраною виконавчого механізму з атмосферою (при ході униз), або з лінією живлення (при ході угору).

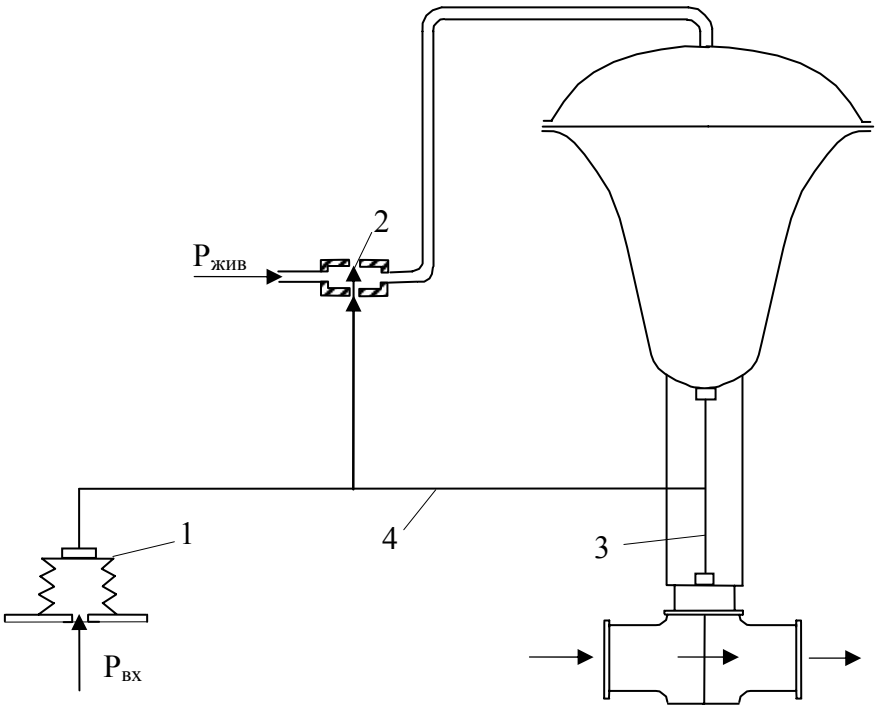


Рис. 23.2. Принципова схема позиціонера, що працює за принципом компенсації переміщень.

Зріст або зменшення тиску над мембраною триває доти, поки під його дією шток *3* не переміститься настільки, що за допомогою важелів *4* знову поставить золотник *2* у нейтральне положення. Нове положення штока буде при цьому визначаться характеристиками сильфона й важільної системи позиціонера, тобто не буде залежати від тертя в рухливій системі механізму.

Позиціонер ПР-10 побудований з використанням чутливого елемента й діє за принципом силової компенсації. Вхідний пневматичний сигнал p_{BX}, надходячи від регулювального пристрою через штуцер *б* у камеру *А*, розвиває на мембранному блоці *4* спрямоване униз зусилля. На шток того ж мембранного блоку передається зусилля стиску пружини *2*, спрямоване угору.

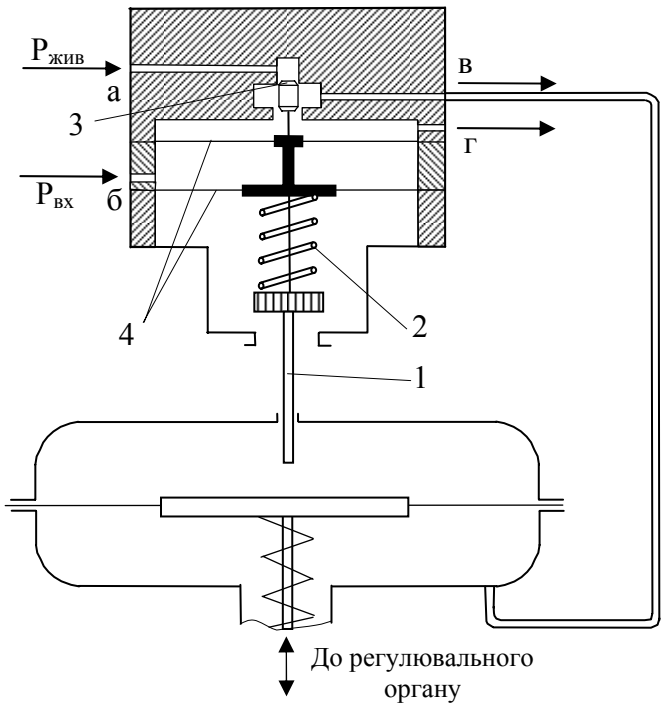


Рис. 23.3. Принципова схема позиціонера, що працює за принципом компенсації зусиль.

Порушення рівноваги зусиль, що діють на блок, приводить до його переміщення, а отже, і до зміни ступеня відкривання скидного й живильного клапанів золотником *3* у камері *В*. Це у свою чергу викликає зміну тиску в лінії, що йде через штуцер *в* на мембрану виконавчого механізму, і буде тривати доти, поки переміщення штока через важіль *1* зворотного зв'язку й пружину *2* не відновить рівність сил на елементі порівняння, тобто нове положення штока визначається лише кінематичною системою зворотного зв'язку й характеристикою пружини *2* і не залежить від тертя в рухомій системі. Похибка у відпрацюванні положення штока виконавчого механізму при переміщенні позиціонера ПР-10 не перевищує в статиці 1%.

Величина гістерезису для мембранних виконавчих механізмів з позиціонерами зменшується до 1-1,5%, а область нормальних режимів розширюється до ω_H=0,5 рад/с. Позиціонери доцільно застосовувати при значному віддаленні виконавчого механізму від пневматичного регулятора. Позиціонери, що працюють за схемою компенсації переміщень, застосовуються в основному для мембранних виконавчих механізмів, що мають великий хід

штока (25-100 мм), а позиціонери, які побудовані за схемою компенсації зусиль, - для мембранних механізмів, хід штока яких становить 7-25 мм.

23.3. Поршневі виконавчі механізми

Поршневі виконавчі механізми на відміну від мембранних дозволяють одержати велике переміщення штока, що в деяких випадках визначає доцільність їхнього застосування. Основні елементи поршневих виконавчих механізмів - поршень *3* і циліндр *1*, герметичність між тертьовими поверхнями яких забезпечується манжетою *2*. Під дією вхідного тиску на поршні розвивається зусилля, що буде поступально переміщати регулювальний орган.

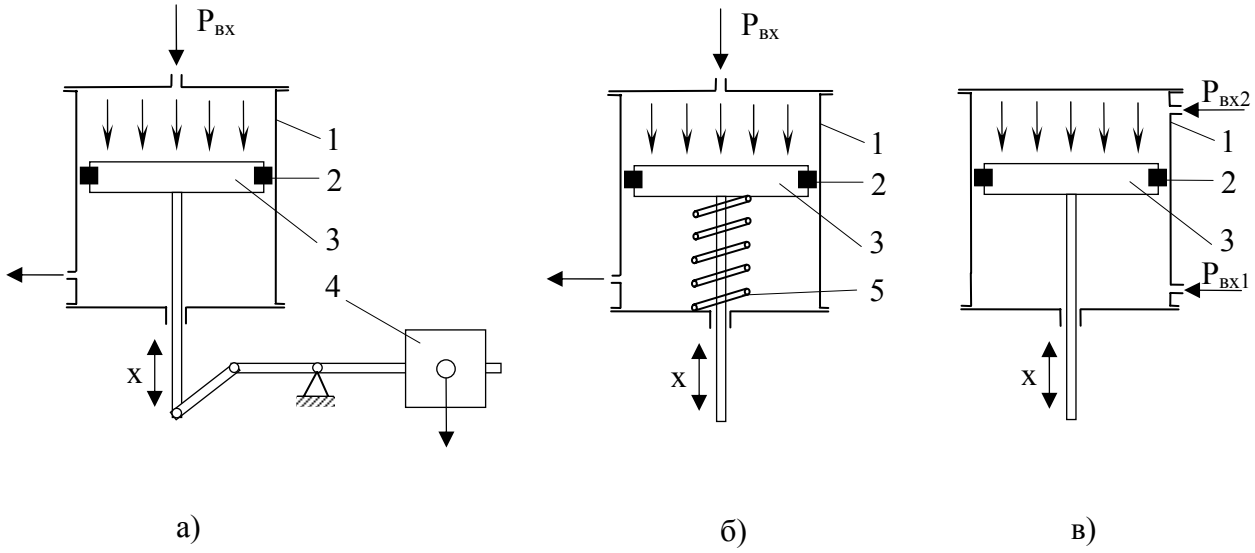


Рис. 23.4. Схеми поршневих виконавчих механізмів.

а - з вантажем, що врівноважує; *б* - із пружиною, що врівноважує; *в* - з подачею різниці тисків.

Конструктивно поршневі виконавчі механізми можуть бути виконані різними способами. В одних (а, б) повітря підводиться до поршня з одного боку, а сила , що розвивається при цьому поршнем, урівноважується або протидією вантажу *4* (рис. а), або силою пружності пружини *5* (рис. б). В інші (рис. в) переміщення поршня здійснюється під дією тисків p_{BX1} і p_{BX2} в різних порожнинах циліндра. Для збільшення точності й зменшення інерційності

поршневих виконавчих механізмів їх, як і мембранні, доповнюють позиціонерами рис. 23.5. Такі поршневі приводи називаються приводами, що стежать.

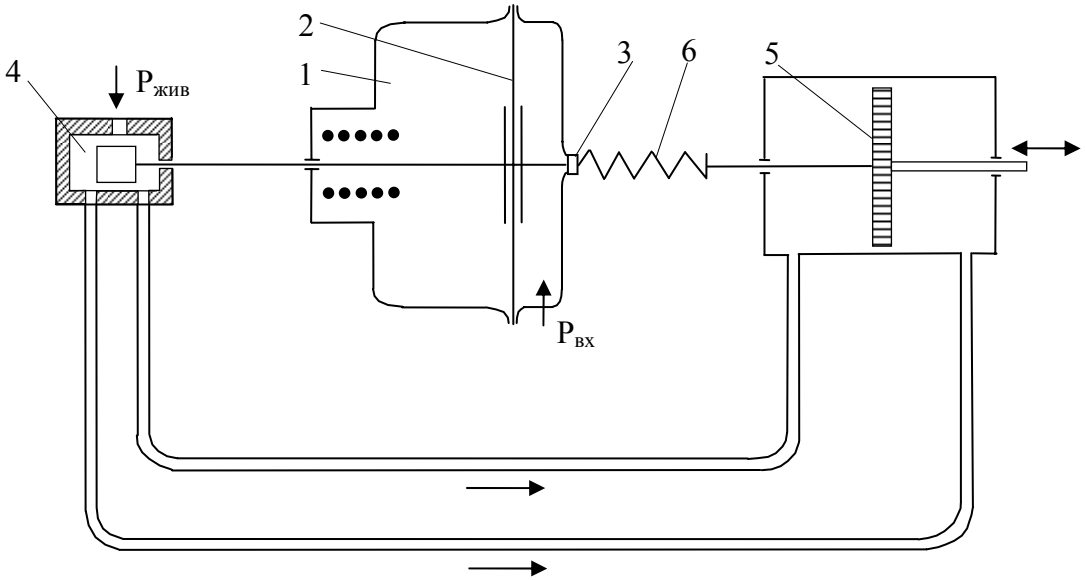


Рис. 23.5. Схема поршневого привода, що стежить.

Поршнєвій привод, що стежить, складається з виконавчого механізму *1*, що має більшу *2* і меншу *3* мембрани, золотника *4* із трьома клапанами, поршневого механізму *5* із пружиною від'ємного зворотного зв'язку *6*. При збільшенні p_{BX} золотник зміщується ліворуч й тиск живлення $p_{ЖИВ}$ надходить до лівої порожнини циліндра *5*, переміщуючи поршень праворуч й збільшуючи натяг пружини зворотного зв'язку до встановлення нового стану рівноваги. Зона нечутливості в поршневому приводі, що стежить, дорівнює 0,5%, повний час переміщення 4 с (при відсутності навантаження). В області частот $0 \le \omega \le 0{,}6$ рад/с поршневий привод, що стежить, можна розглядати як пропорційну ланку.

23.4. Пневматичні лінії зв'язку.

Всі елементи й пристрої пневмоавтоматики з'єднуються пневматичними лініями зв'язку (пневмопроводами). Пневмопровід може бути як невеликим по довжині каналом, що з'єднує елементи одного пристрою, так і каналом великої довжини, що з'єднує окремі пристрої (наприклад, при передачі сигналів від

вимірювальних перетворювачів до регулювальних пристроїв і вторинних приладів і сигналів до виконавчих механізмів).

Пневмопроводи являють собою металеві або пластмасові трубки зовнішнім діаметром 4-8 мм, або канали круглого, прямокутного або квадратного перетину, виконані в металевих, пластмасових або з органічного скла пластинах. Для зручності монтажу пневмопроводів застосовують пневмокабелі - кілька пластмасових трубок, укладених у загальний гнучкий кожух.

Всі існуючі пневмопроводи за принципом передачі сигналів можна розділити на витратні й безвитратні. У витратних пневмопроводах сигнали передаються в рушійному середовищі й мірою сигналу служить витрата повітря. Цей тип пневмопроводів застосовують в основному в схемах, реалізованих на засобах струминної техніки. У безвитратних пневмопроводах передача сигналу здійснюється за рахунок зміни тиску на вході й мірою сигналу тут служить сталий тиск. Цей тип пневмопроводів характерний для імпульсних ліній від вимірювальних перетворювачів і регуляторів.

Найбільш важливими характеристиками пневмопроводів є динамічні характеристики, що визначають час передачі сигналу. При більших довжинах пневматичних ліній обсяг й опір трубки починає впливати на динамічні властивості АСР. Незважаючи на те, що довгий пневмопровід являє собою об'єкт із розподіленими параметрами, експериментальні дослідження динаміки безвитратних пневмопроводів показують, що вони з достатньої для практичних цілей точністю можуть бути аппроксимовані сукупністю двох послідовно з'єднаних ланок: ланки транспортного запізнювання й аперіодичної ланки першого порядку:

$$T\frac{d\Delta p_{вих}}{dt} + \Delta p_{вих} = \Delta p_{вх}(t-\tau)$$

де T - постійна часу пневмопровода; (τ- час запізнювання поширення імпульсу тиску.

Значення τ і T залежать від довжини лінії L, її діаметра d, матеріалу трубки і якості обробки внутрішньої поверхні. Найбільш істотно τ і T залежать від L й d. На промислових підприємствах, де застосовуються пневматичні системи, є центральна мережа живлення приладів стисненим повітрям. Робочий діапазон вхідних і вихідних пневматичних сигналів, у більшості систем пневмоавтоматики прийнятий за стандартний, становить 0,02-0,1 МПа, тиск живлення стисненого повітря 0,14 МПа з відхиленнями ±10% від номінального значення.

Виробництво стисненого повітря для пневматичних елементів і систем, що працюють у стандартному діапазоні робочих тисків, здійснюється компресорами. Повітря після компресора повинно бути очищеним від пар води й мастила, а також від пилу, для того щоб уникнути утворення крапель і льоду в приладах і лініях зв'язку й запобігти закупорці постійних, змінних і керованих пневмоопорів і сопел.

24. ГІДРАВЛІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Гідравлічні засоби автоматичного регулювання одержали поширення на деяких агрегатах у металургійній і хімічній промисловості, також застосовуються в енергетиці й машинобудуванні на об'єктах, де пред'являються високі вимоги до потужності й надійності виконавчих пристроїв і не потрібні складні закони регулювання.

Тому що носієм інформації в них є зміна тиску рідини, є можливість використати давачі з механічним переміщенням на виході. Регульовані величини: тиск, розрідження, перепад тисків, витрата, рівень, кількість обертів й ін.

Сигналом завдання звичайно служить переміщення або зусилля, застосовуються пружинні задавачі з регульованим ступенем стиску.

Формування законів регулювання в гідравлічних засобах автоматичного регулювання здійснюється за рахунок застосування двох видів зворотного зв'язку: жорсткий зворотний зв'язок (система важелів) і гнучкий або ізодромний зворотний зв'язок, використовуваний для формування ПІ-закону регулювання.

Гідравлічні виконавчі механізми з достатнім ступенем точності реалізують інтегруючу ланку. У цілому ж точність відтворення законів регулювання гідравлічними засобами автоматичного регулювання значно гірше ніж електричними, кількість реалізованих законів менше: П-, І- і ПІ-закон.

Як органи настроювання в гідравлічних засобах автоматичного регулювання використовуються дроселі. Їхніми недоліками є нелінійні характеристики й неширокий діапазон зміни регульованих параметрів.

Властивості підсилювачів - задовільні: можна одержати досить високий коефіцієнт підсилення (це необхідно для точності формування закону регулювання), при невеликих габаритах досягається велике посилення сигналу по потужності (важливо при керуванні потужними виконавчими механізмами).

Гідравлічні виконавчі механізми (ГВМ) мають найбільший питомий момент і питому потужність серед всіх виконавчих механізмів (розвивають великі зусилля при достатній швидкодії).

У ролі гідравлічного носія сигналів звичайно використовують масло, іноді воду. Для роботи гідравлічної системи автоматичного регулювання необхідне спеціальне джерело енергії (маслонасосна станція), пристрої, що забезпечують задане значення живильного тиску (редуктор) і система фільтрів. Швидкість передачі інформації визначається швидкістю передачі тиску в рідині. Ця обставина обмежує застосування гідравлічних засобів регулювання, тому що не дозволяє розташовувати елементи системи регулювання далеко один від одного. Довжина ліній зв'язку між елементами системи не повинна перевищувати: по горизонталі - 100...150 м, по вертикалі - 20...30 м.

На структурних схемах гідравлічних систем регулювання однією лінією показують механічні зв'язки, двома - гідравлічні, хвилястою лінією позначають електричні зв'язки.

У пневматичних засобах перетворення інформації обсяги робочих середовищ і ліній зв'язку, як правило, малі й використовувані газоподібні середовища поводяться в першому наближенні як нестисливі рідини. Тому для побудови гідравлічних засобів перетворення інформації можна використовувати аналогічні принципи і побудувати їхні гідравлічні аналоги (у тому числі дросельні опори й суматори, мембранні підсилювачі типу «сопло-заслінка» і мембранні елементи порівняння, і т.п.). Але елемент, еквівалентний пневмоємності, буде мати більш складну конструкцію, тому що будується з урахуванням нестисливості робочого середовища (рис. 24.1).

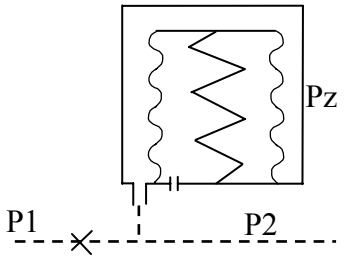


Рис. 24.1. Однокамерна гідравлічна ємність.

Маса нестисливої рідини в сталому обсязі практично не залежить від тиску. Тому варто використовувати камеру зі змінним обсягом, що залежить від тиску робочого середовища (наприклад, сильфонний пристрій). У виконавчій частині гідравлічних систем автоматизації також можна використовувати аналогічні типи виконавчих механізмів. Однак якщо для пневмоавтоматики типове застосування підпружиненого мембранного виконавчого механізму, то в гідроавтоматиці загальпромислового призначення використовуються переважно поршневі виконавчі механізми з вільним ходом поршня. При нестисливому робочому середовищі такі механізми здатні розвивати більшу питому потужність гідравлічного виконавчого механізму, приблизно в десять разів більше, ніж в електричного, що має однакову масу. Введення протидіючих пружин означає зниження корисної питомої потужності

й, поверх того, зменшення діапазону лінійності характеристик виконавчого механізму.

Поршнєвий виконавчий механізм працює по перепаду тиску Δp_z. Тому для побудови систем гідроавтоматики необхідно мати перетворювачі різних типів сигналів-носіїв інформації в перепад тисків із двополярною характеристикою. Звичайно вихідний каскад таких перетворювачів будується на базі струминного або золотникового підсилювачів-перетворювачів.

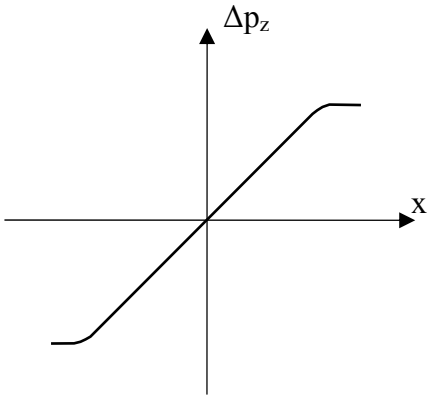


Рис. 24.2. Характеристика струминного перетворювача.

Струминний перетворювач переміщення (зусилля) в перепад тисків побудований за принципом перетворення кінетичної енергії струменя рідини, що витікає із трубки-сопла, у потенційну енергію гідростатичного тиску рідини при гальмуванні її в соплах-приймачах. При цьому гідростатичний тиск рідини в кожному із сопел залежить від кута повороту струминної трубки, а між соплами виникає перепад тисків Δp_Z, приблизно пропорційний переміщенню керувального штока (рис. 24.2). Такий перетворювач може використовуватися також для підсумовування двох сигналів (x і x_{33}) з різними знаками, у цьому випадку переміщення струминної трубки відбувається в результаті взаємодії двох взаємно протилежних зусиль(24.3 а).

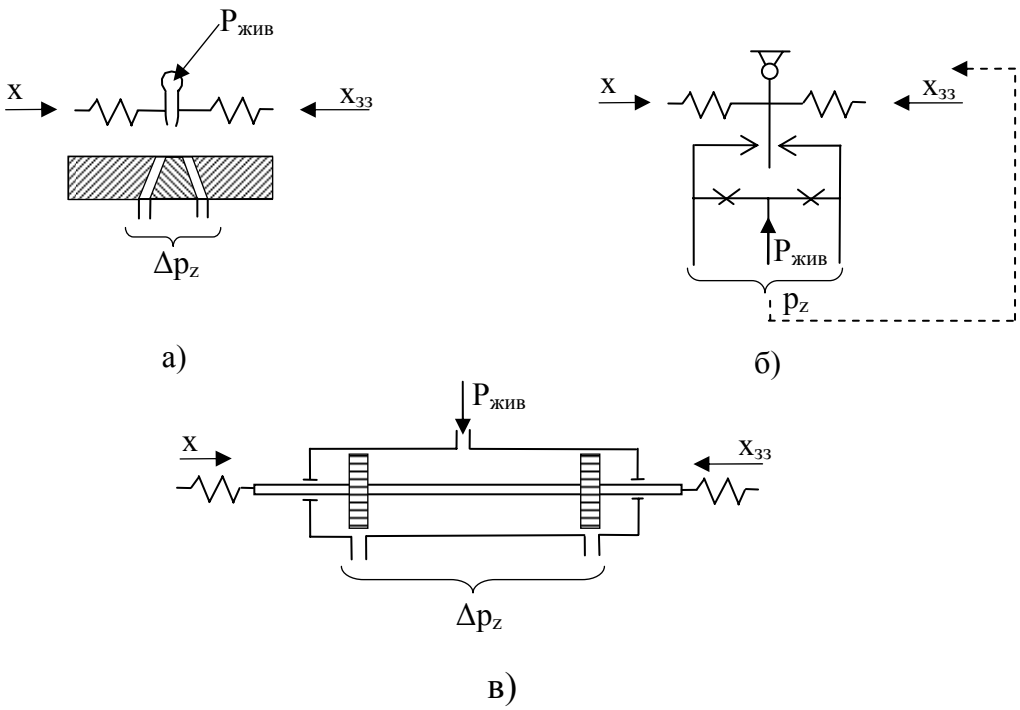


Рис.24.3. а) струминний перетворювач; б) перетворювач «сопло-заслінка» в) золотниковий перетворювач

Поряд зі струминними перетворювачами в гідроавтоматиці застосовуються також перетворювачі типу «сопло-заслінка». Так як перетворювачі цього типу мають нелінійну характеристику, то для побудови лінійних алгоритмів тут доцільне введення функціональних зворотних зв'язків (рис. 24.3 б).

Струминні перетворювачі мають високу чутливість до малих зусиль, але дозволяють одержувати відносно малопотужні сигнали перепаду тисків (тому що коефіцієнт корисної дії системи «струминна трубка - соплова головка» й «сопло-заслінка» невеликий). Тому в гідроавтоматиці широке застосування знаходять маючі потужніший вихід золотникові перетворювачі (рис. 24.3 в). У таких перетворювачах використовується ефект різкої зміни опору гідравлічних ліній при зміні положення золотника. Золотниковий перетворювач може мати досить круту статичну характеристику, що дозволяє використовувати його й для релейного керування виконавчим механізмом. У цьому випадку золотник просто перемикає гідравлічні лінії, тобто працює як розподільник потоків робочого середовища.

У порівнянні зі струминною трубкою золотник має більшу масу, і для його переміщення необхідно розвивати більші зусилля. Тому в гідравлічних системах регулювання ці перетворювачі часто використовуються спільно для побудови двокаскадних підсилювачів.

Виконавчі механізми бувають двох видів: поршневі й кривошипно-шатунні

Елемент порівняння найчастіше виконується на основі мембранної конструкції.

24.1. Гідравлічні засоби регулювання заводу «Теплоавтомат»

До складу гідравлічної системи Харківського заводу «Теплоавтомат» входять наступні пристрої.

Давачі:

УИМН-1 - пристрій виміру мембранний низького тиску,

УИМС-3 - пристрій виміру мембранний середнього тиску,

УИМВ-2 - пристрій виміру мембранний високого тиску,

УИС -пристрій виміру сильфонний,

УИДС -пристрій виміру диференційний сильфонний,

УИРС -пристрій виміру важільний сильфонний.

Задавач

МРН - механізм ручного настроювання.

Підсилювачі:

УОКГ - підсилювач однокаскадний з гідравлічним коректором (струминний),

УДКГ - підсилювач двокаскадний з гідравлічним коректором (золотниковий).

Виконавчі механізми:

СПГП - сервопривід гідравлічний поршневий,

СПГК - сервопривід гідравлічний кривошипний.

Пристрої зворотного зв'язку:

ИГ -пристрій гнучкого ЗЗ (ізодром гідравлічний),

МНГИ -механізм важільного ЗЗ.

Маслонасосна станція МСА-18.

Органи настроювання:

УНК - покажчик настроювання коректора,

МНЛ - механізм настроювання лекала,

МДН - механізм дистанційного настроювання.

24.2. Принцип дії гідравлічного регулятора інтегральної дії

Функціональна й спрощена принципові схеми І-регулятора представлені на рис. 39Д.

Для формування закону регулювання (див. 8.3. 2) використовується те, що ГВМ — інтегральна ланка. Порівняння сигналів давача й задавача виконується на мембранному елементі. Для одержання І-закону необхідно ще здійснити пропорційне перетворення сигналу переміщення в перепад тиску по потужності достатній для керування ВМ. У найпростішому випадку це виконується за допомогою струминного підсилювача, а якщо його потужності не досить, то застосовується двокаскадний підсилювач. Параметр настроювання регулятора T_I визначається часовими характеристиками виконавчого механізму й коефіцієнтом передачі підсилювача.

24.3. Гідравлічний регулятор П-дії

Функціональна й спрощена принципові схеми П-регулятора з механічним зворотним зв'язком представлені на рис. 40Д.

У порівнянні з попередньою конструкцією доданий важільний механізм ЛР-1 і МНЛ-1 (жорсткий зворотний зв'язок). У такий спосіб регулятор містить формуючий відємний зворотний зв'язок (див.8.2.1), коефіцієнт передачі якого можна змінювати за допомогою коректора *К*.

24.4. Гідравлічний регулятор ПІ-дії

Функціональна й спрощена принципові схеми ПІ-регулятора представлені на рис. 41Д. Формуючий зворотний зв'язок являє собою АП-ланку, що як відомо з теорії (див. 8.4) дозволяє одержати ПІ- алгоритм регулювання.

У конструкції регулятора з'явився пристрій гнучкого зворотного зв'язку ИГ. Якщо дросель в ИГ повністю закритий і відсутній перетік масла між його порожнинами, то в силу нестисливості рідини вплив ИГ на роботу регулятора відсутній і він функціонує як пропорційний. Тобто при наявності неузгодження поршень ГВМ переміщується убік, що відповідає знаку розбалансу, доти, поки сигнал зворотного зв'язку не компенсує його. Органом настроювання пропорційної частини є коректор. При зсуві поршня ізодрома стискується пружина. В момент рівноваги між правою й лівою порожниною ізодрома є різниця тисків, зусилля від якої компенсується зусиллям від стиснення пружини. Якщо частково відкрити дросель ізодрома *Др*, то під дією різниці тиску рідина буде перетікати з одної порожнини в іншу, почнеться повільний процес вирівнювання тисків, у результаті зусилля стислої пружини буде більшим, ніж сила тиску й поршень почне зміщатися. Але цей зсув відбувається повільно й визначається швидкістю перетоку рідини через дросель. При цьому послабляється x_{33}, тобто сигнал x не буде скомпенсований (x-$x_{33}\neq 0$). Під дією цього сигналу струминна трубка буде повільно переміщуватися, породжуючи різницю тисків того ж знака, що й у початковий момент часу й викличе додаткове поступове переміщення поршня ВМ. Цей процес відповідає роботі інтегральної частини (відбувається повільно). Кут нахилу прямої на перехідній характеристиці регулятора як відомо визначає час інтегрування T_I й залежить від ступеня відкриття *Др*. Якщо дросель повністю відкритий, то регулятор стає інтегральним, тому що ЗЗ зашунтований, а у випадку якщо дросель закритий, то регулятор перетворюється в пропорційний, тому що зворотний зв'язок стає жорстким. Органи настроювання: коректор *К* и дросель *Др*.

ЛІТЕРАТУРА

1. Беляев Г.Н., Кузищин В.Ф., Смирнов Н.И. Технические средства автоматизации в теплоэнергетике. - М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с.;

2. Дубровный В.А. Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования. – Киев.: «Наукова думка», 1976. - 963с.;

3. Штейнберг Ш., Хвилевицкий. Промышленные автоматические регуляторы. – М.: «Энергия», 1973 - 568 с.;

4. Плетнев Г.П. Автоматическое управление и защита тепловых установок электростанций: Учебник для техникумов – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 344с.;

5. Каталоги ГСП издание ЦНИИТЭИ приборостроения (том 1 — том 5);

6. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: Справочное пособие./ Под редакцией А.С. Клюева – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 368 с.;

7. Ніколаєнко А.М. Технічні засоби автоматизації. Конспект лекцій – Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2002. – 330 с.;

8. Радионов В.Д., Терехов В.А., Яковлев В.Б. Технические средства АСУТП. – М.: Высшая школа, 1989. – 263 с.;

9. Смирнов А.А. Справочное пособие по ремонту приборов и регуляторов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 832 с.: ил.;

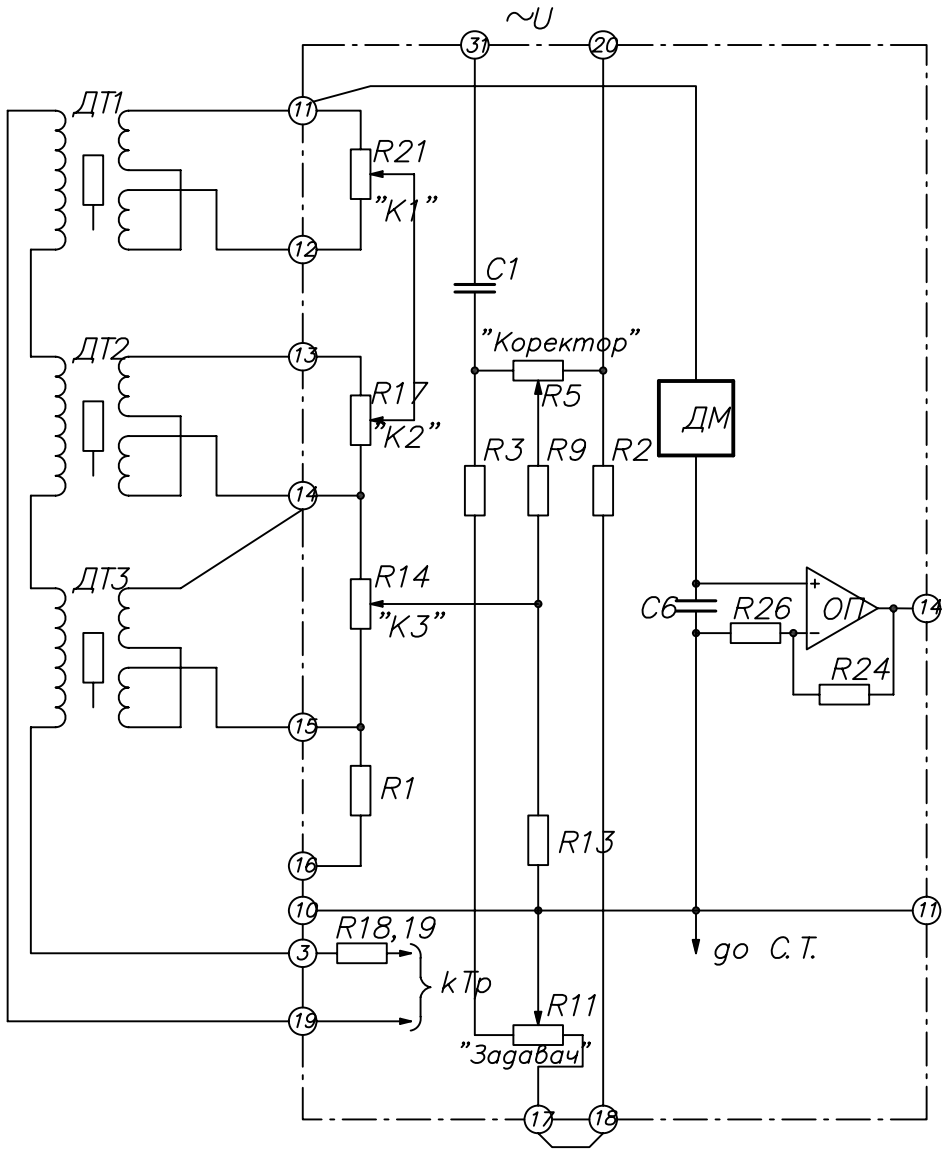


Рис.1Д. Вим?рювальна схема Р25.1

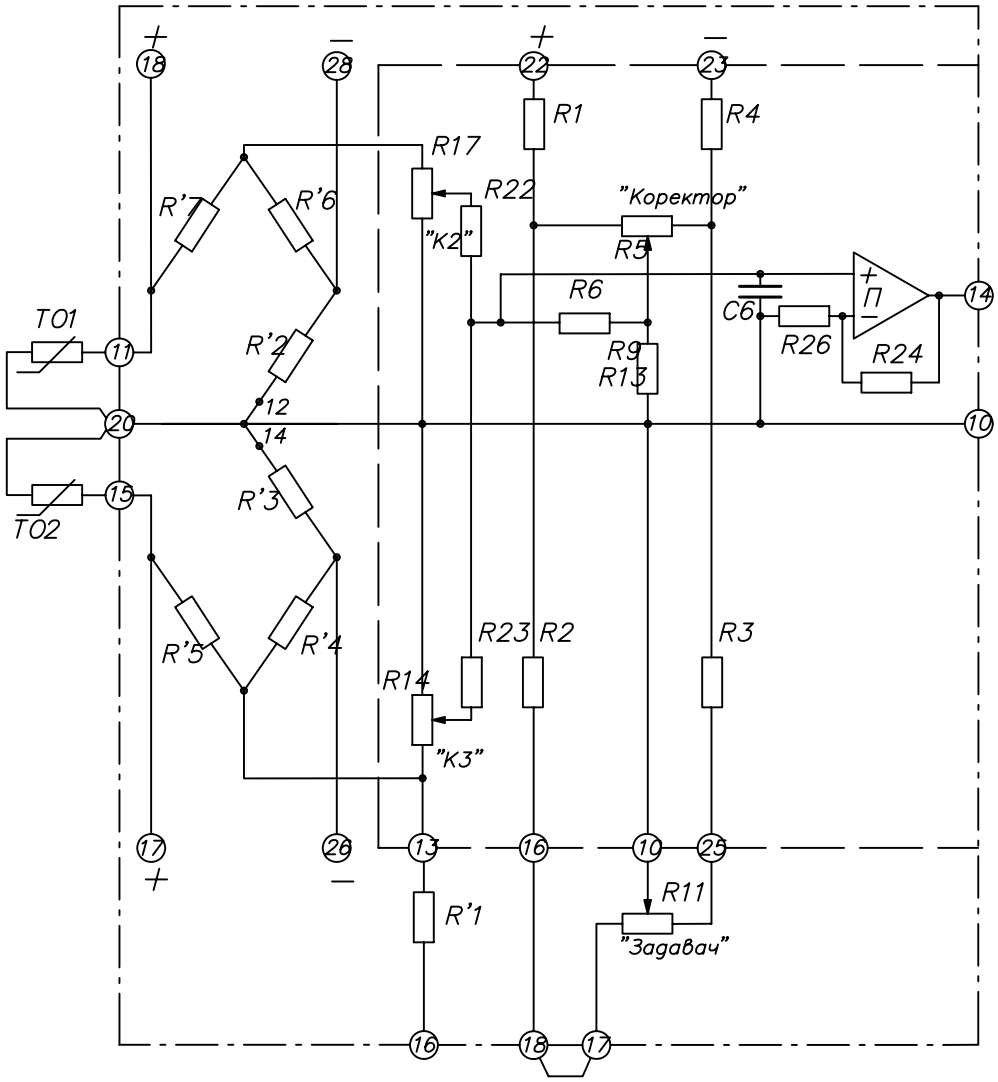


Рис.2Д. Вим?рювальна схема Р25.2

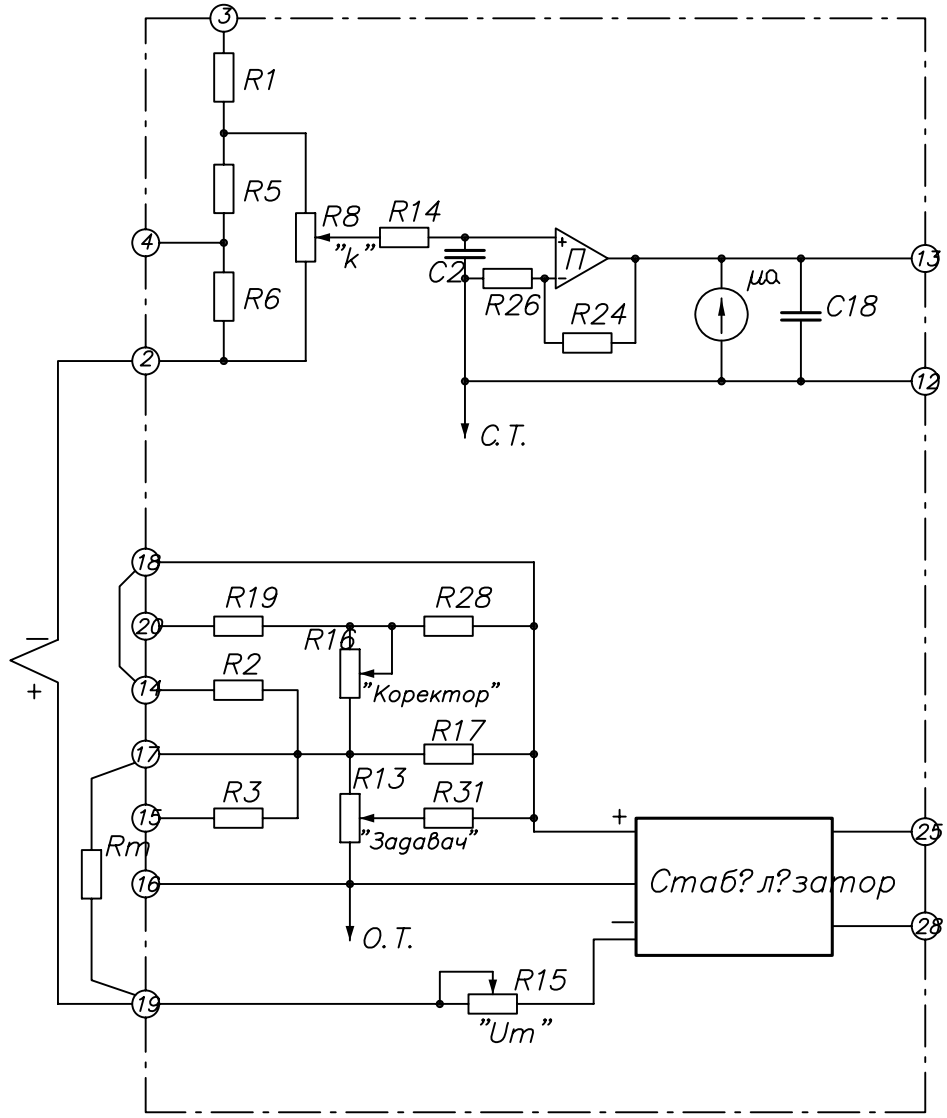


Рис.3Д. Вим?рювальна схема Р25.3

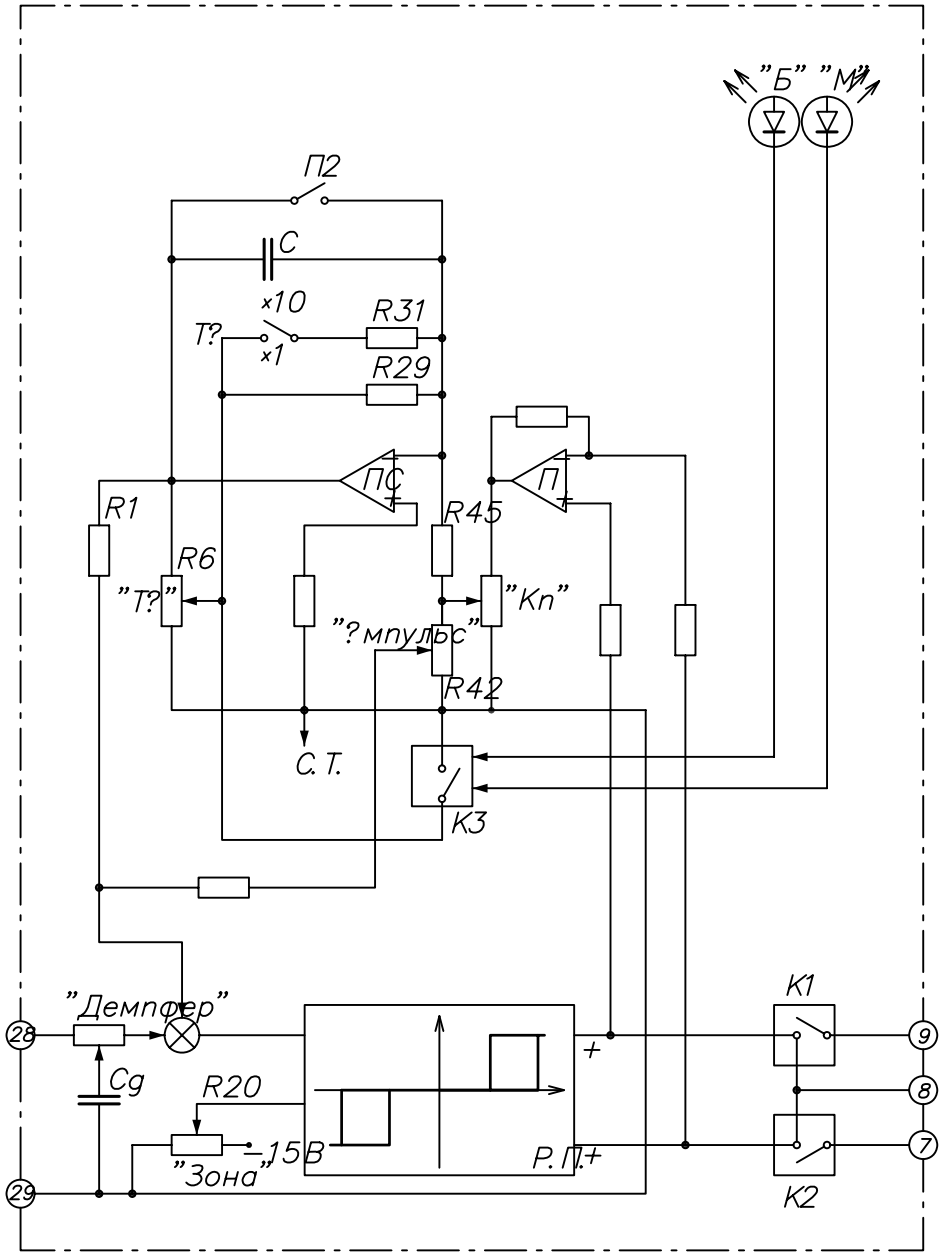


Рис.4Д. Регулювальний субблок регулятора Р

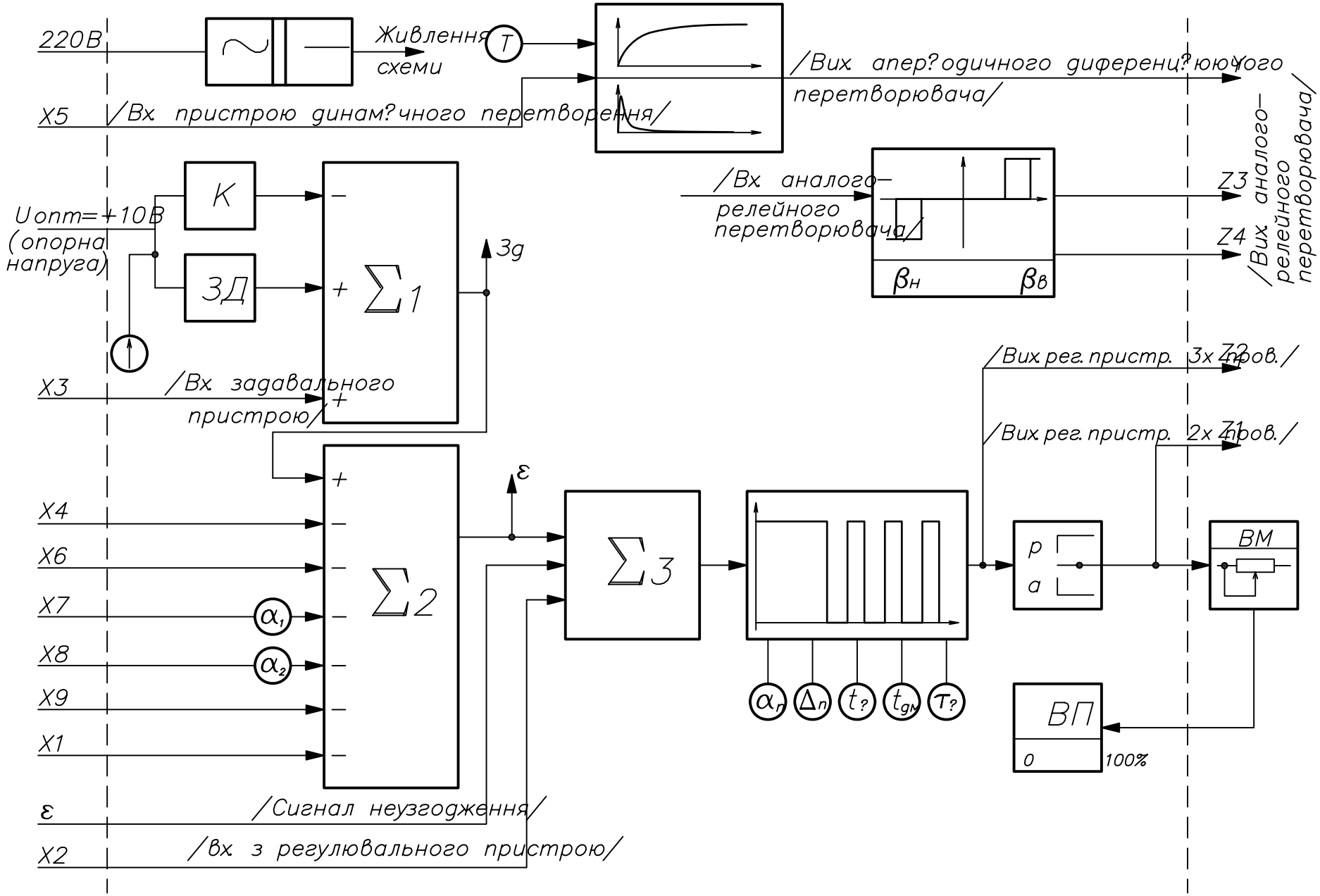
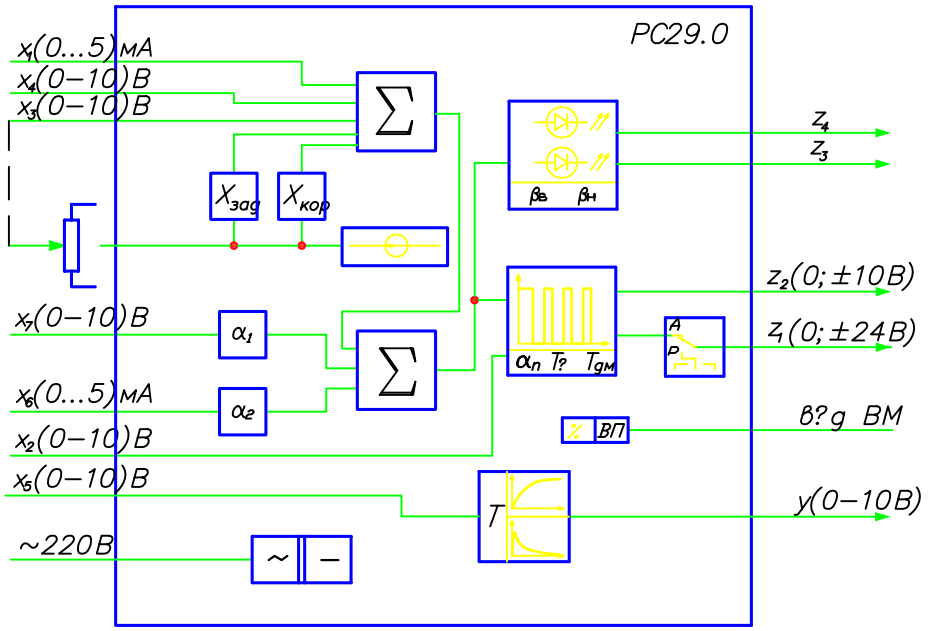


Рис.5Д. Структурна схема багатофункц?онального регулювального приладу з



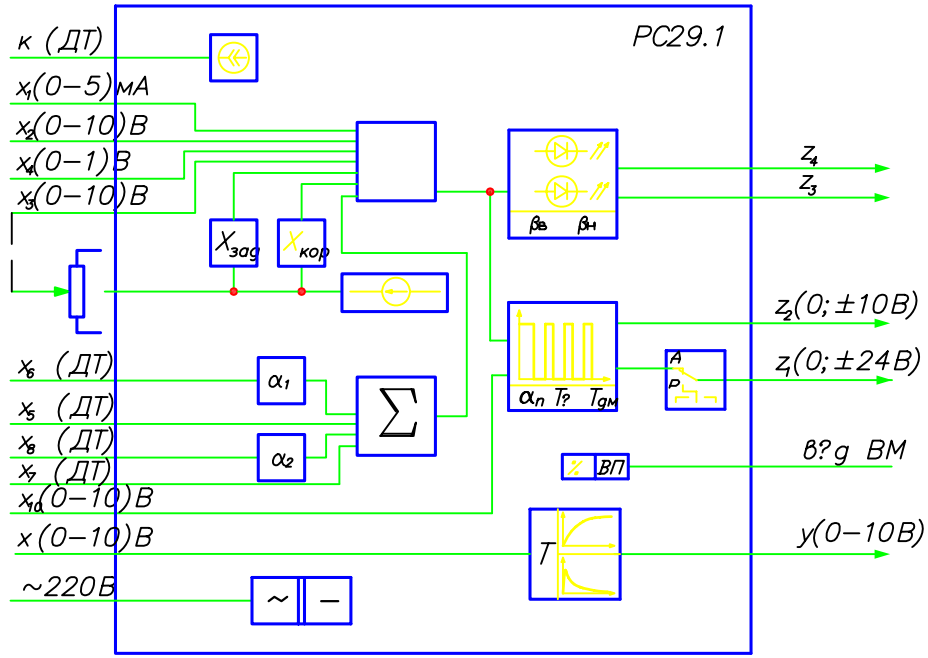
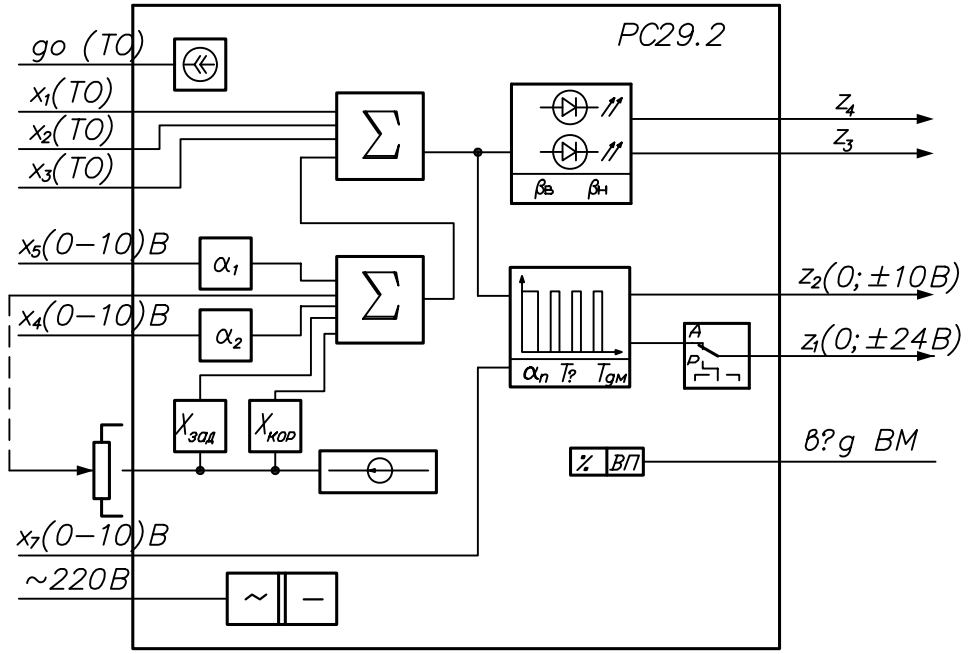


Рис.6Д. Структурн? схеми модиф?кац?й РС29.0



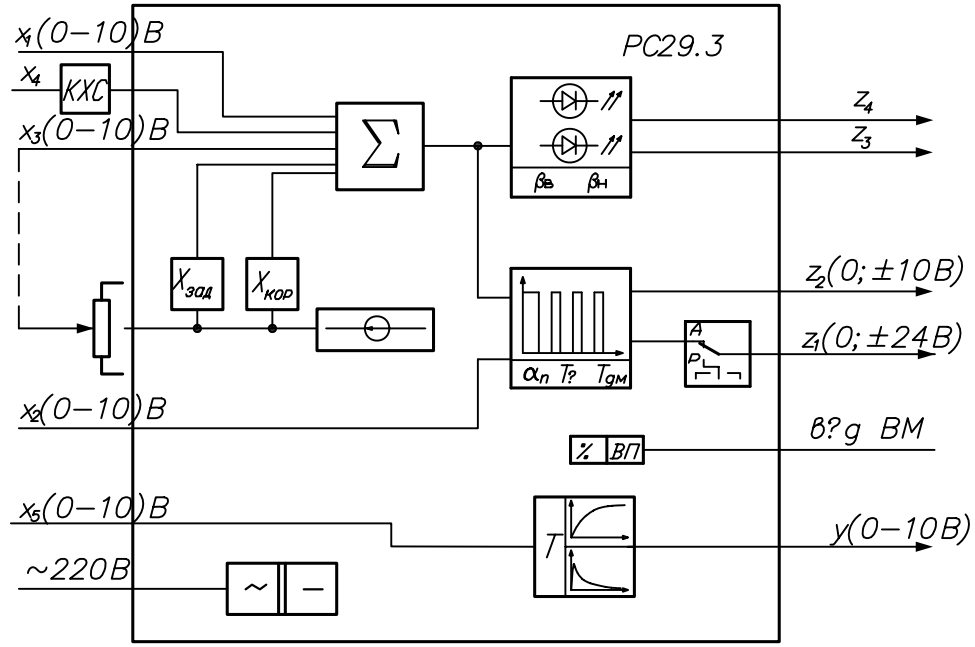


Рис.7Д. Структурн? схеми модиф?кац?й PC29.2

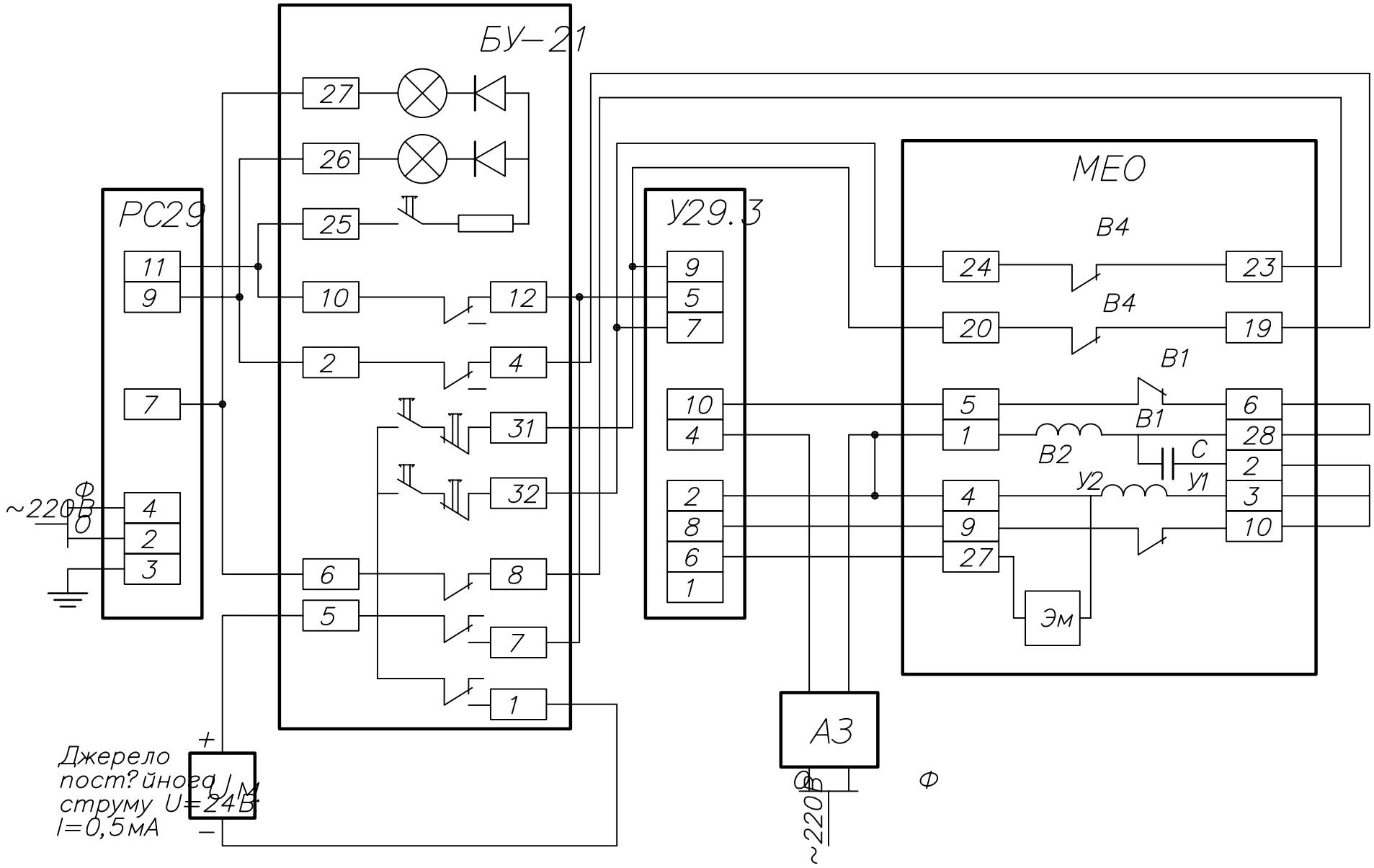
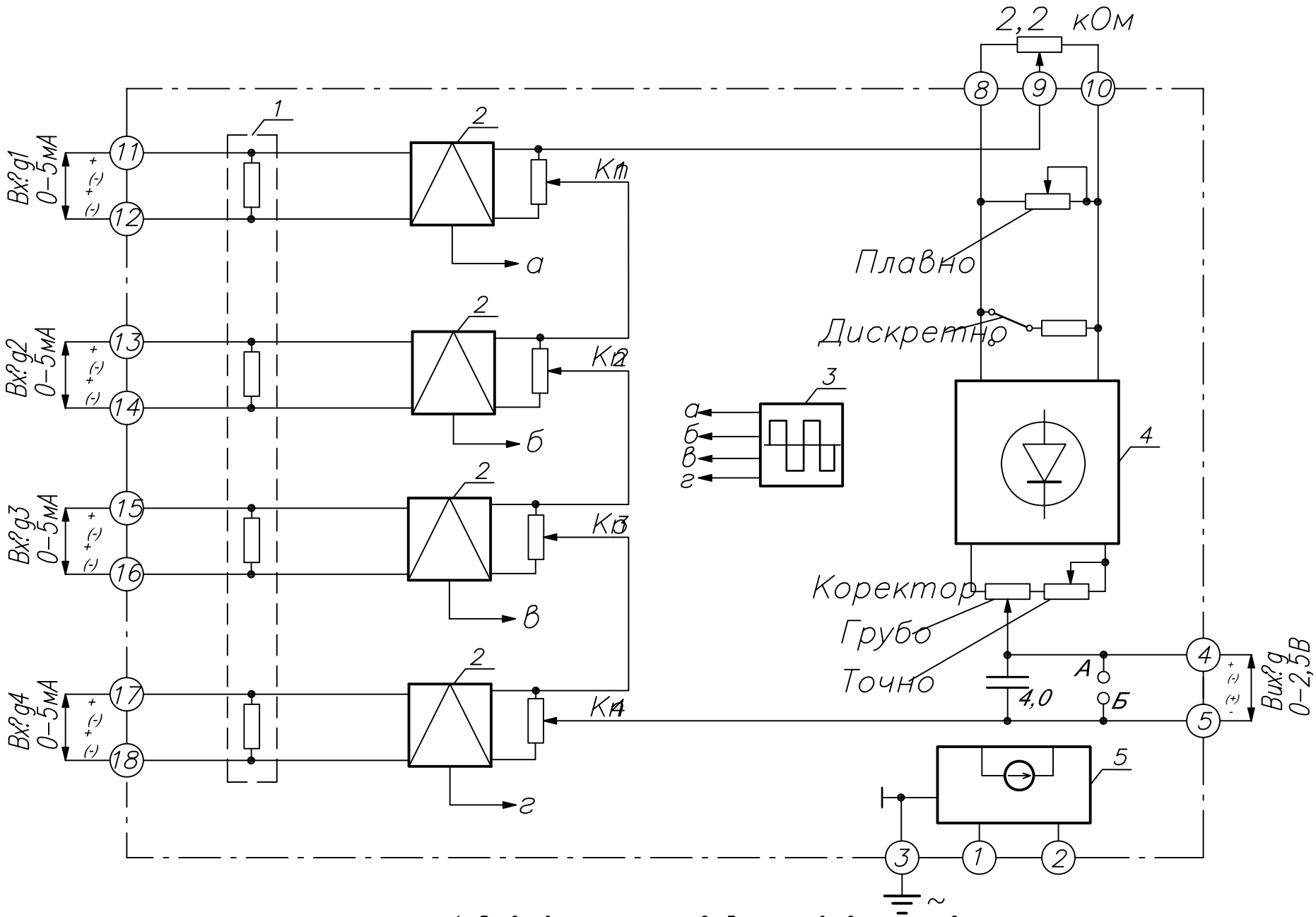
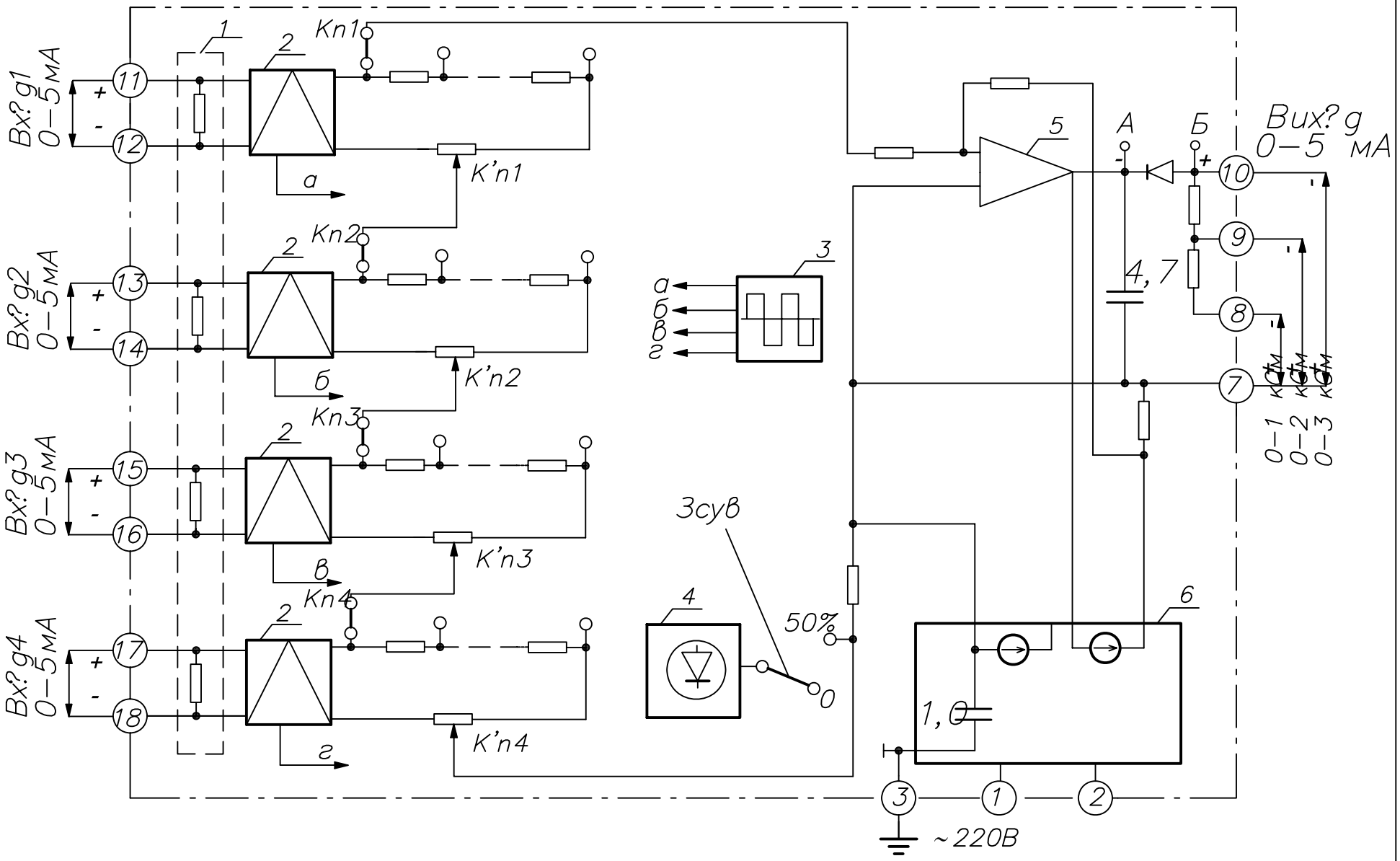


Рис.8Д. Схема з'?днання РС29 з виконавчими пристроями БУ–21, У



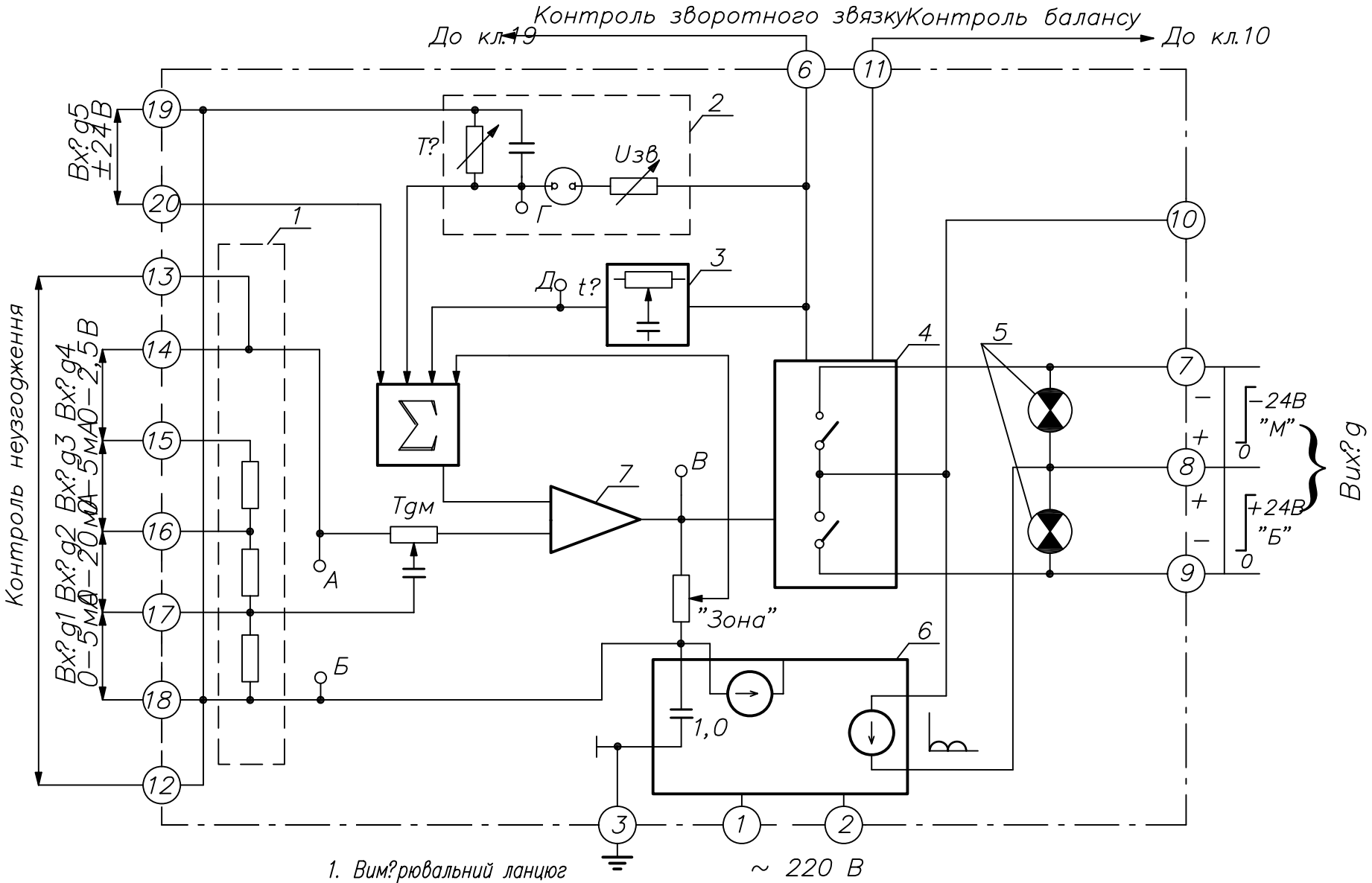
1. Вим?рювальний ланцюг 2. Вузел гальван?чного розділення
3. Генератор 4. Стаб?л?затор 5. Джерело живлення

Рис.9Д. Функц?ональна схема блоку И 04



1. Вим?рювальний ланцюг 2. Вузел гальван?чного розд?лення 3. Генератор
4. Стаб?л?затор 5. Операц?йний п?дсилювач 6. Джерело живлення

Рис.10Д. Функц?ональна схема блоку А 04



1. Вим?рювальний ланцюг
2. Головний ланцюг зворотного зв'язку
3. Додатковий ланцюг зворотного зв'язку
4. Трьохпозиц?йний релейний п?дсилювач
5. Сигнальн? лампочки 6. Джерело живлення
7. Операц?йний п?дсилювач

Рис.11Д. Функц?ональна схема блоку Р 21

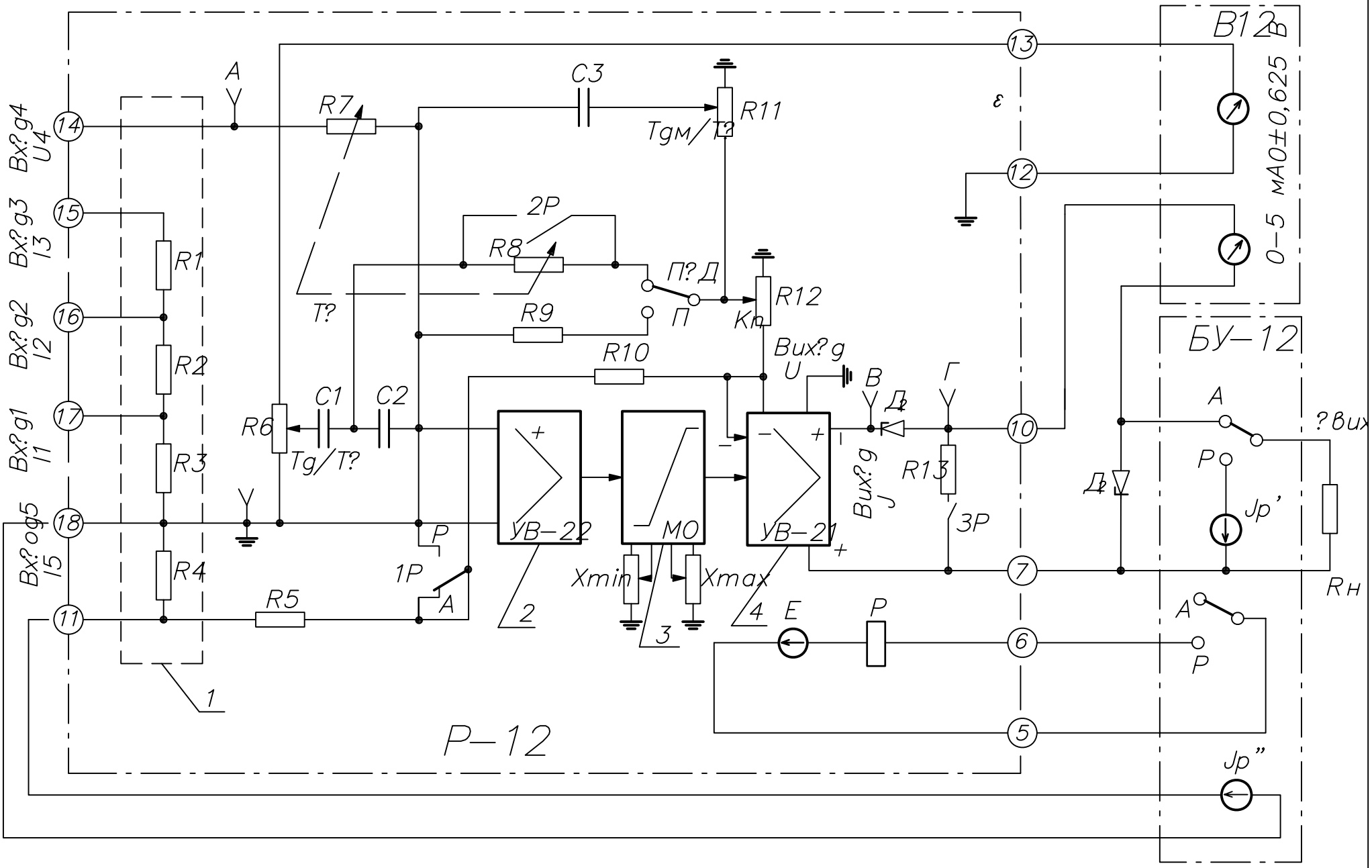


Рис. 12Д. Регулювальний блок з аналоговим виходом Р12

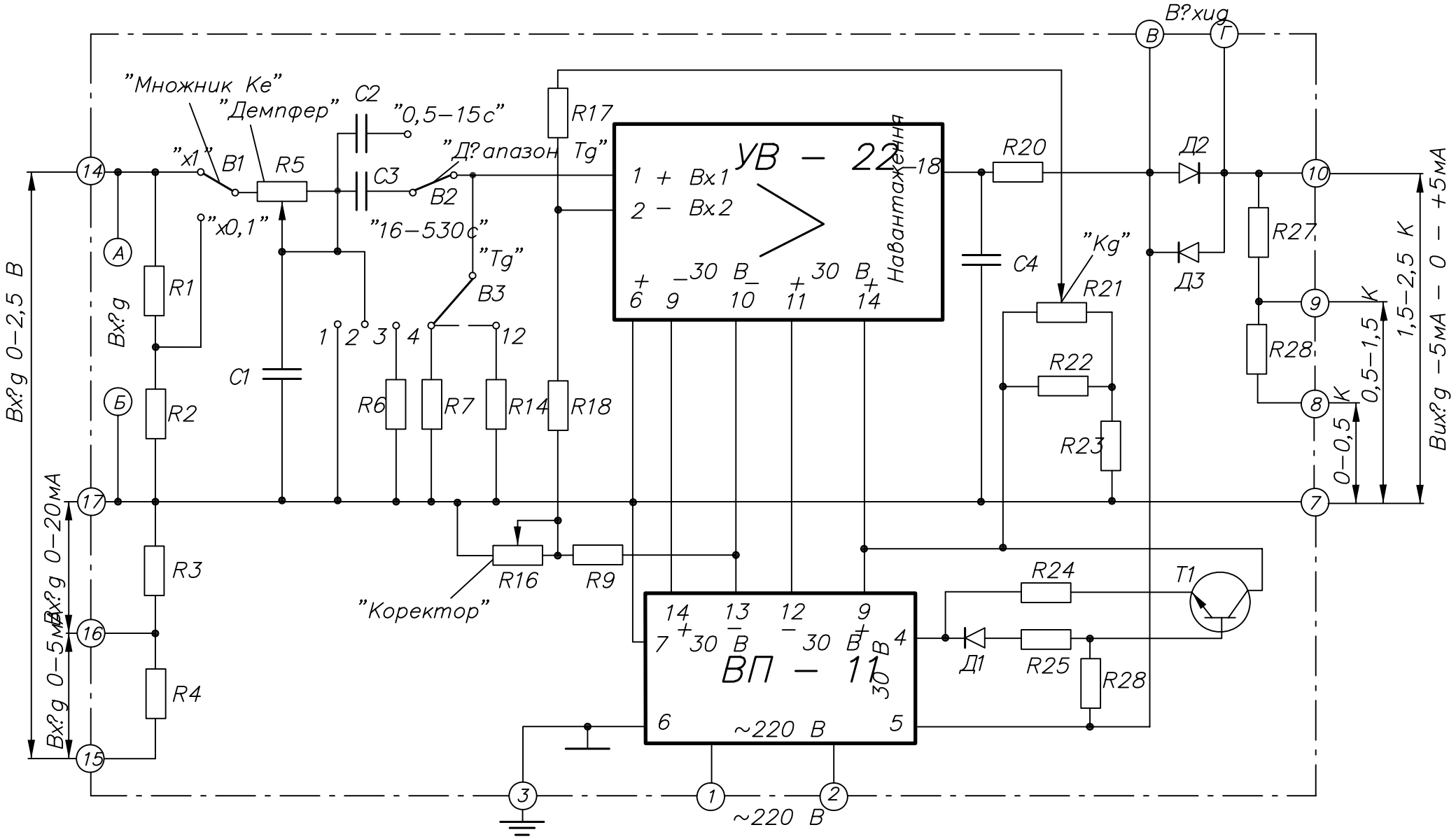
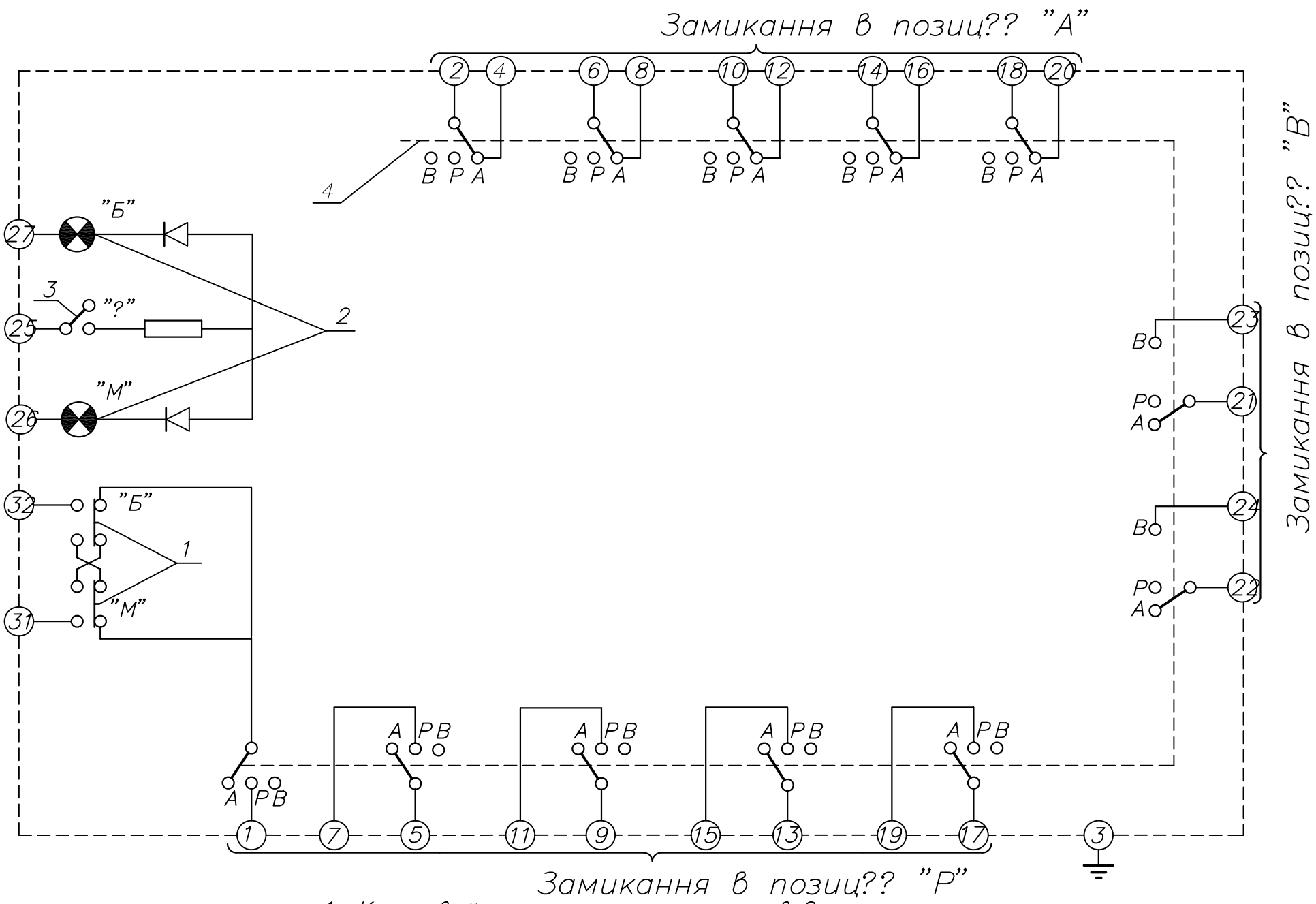


Рис.13Д. Принципова схема блоку диференц?ювання Д01



1. Кнопковий перемикач ручного управл?ння
2. ?ндикаторн? лампочки
3. Кнопка виклику ?ндикац??

Рис. 14Д. Принципова схема блоку БУ 21

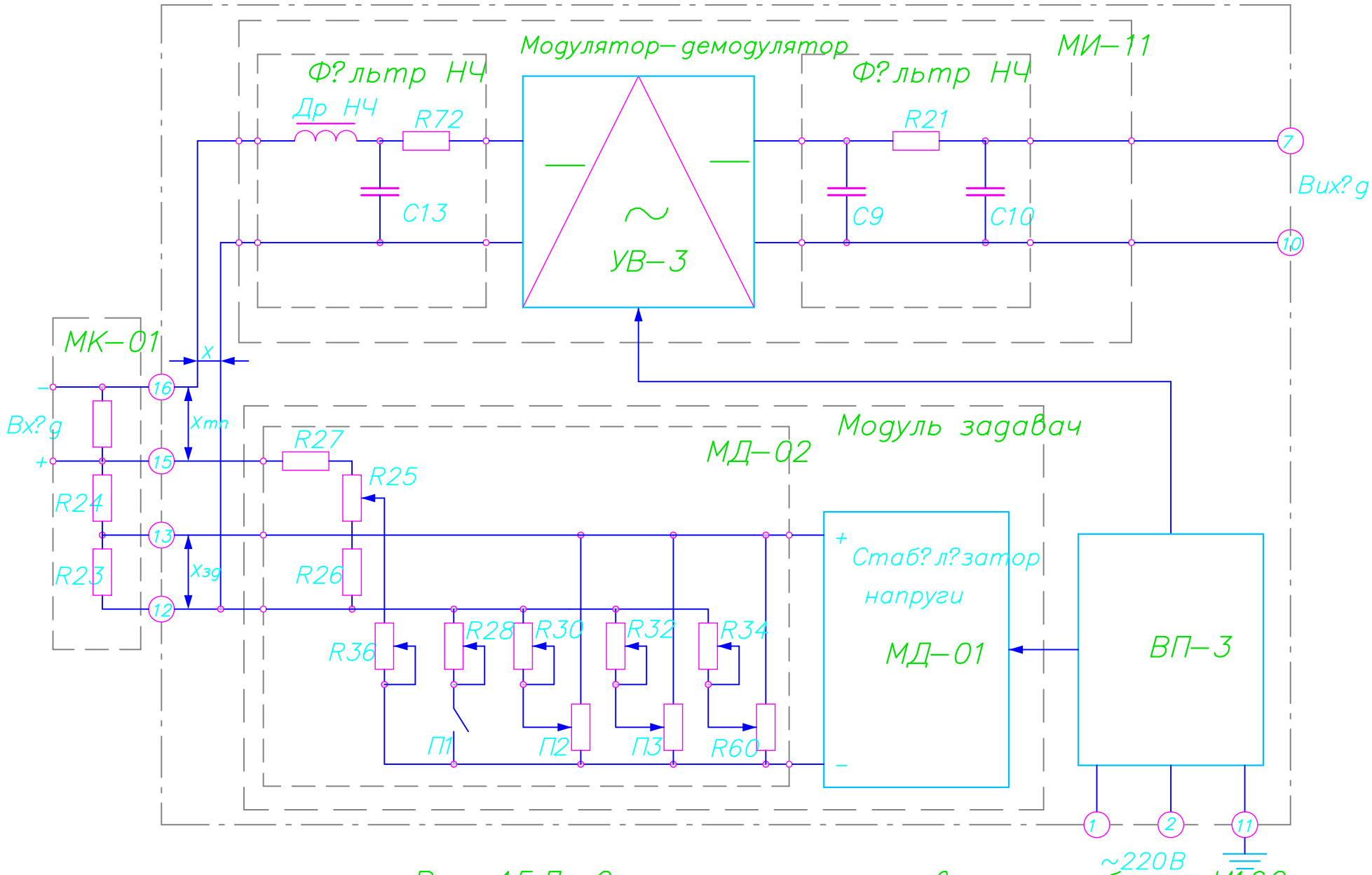


Рис. 15Д. Спрощена принципова схема блоку И102

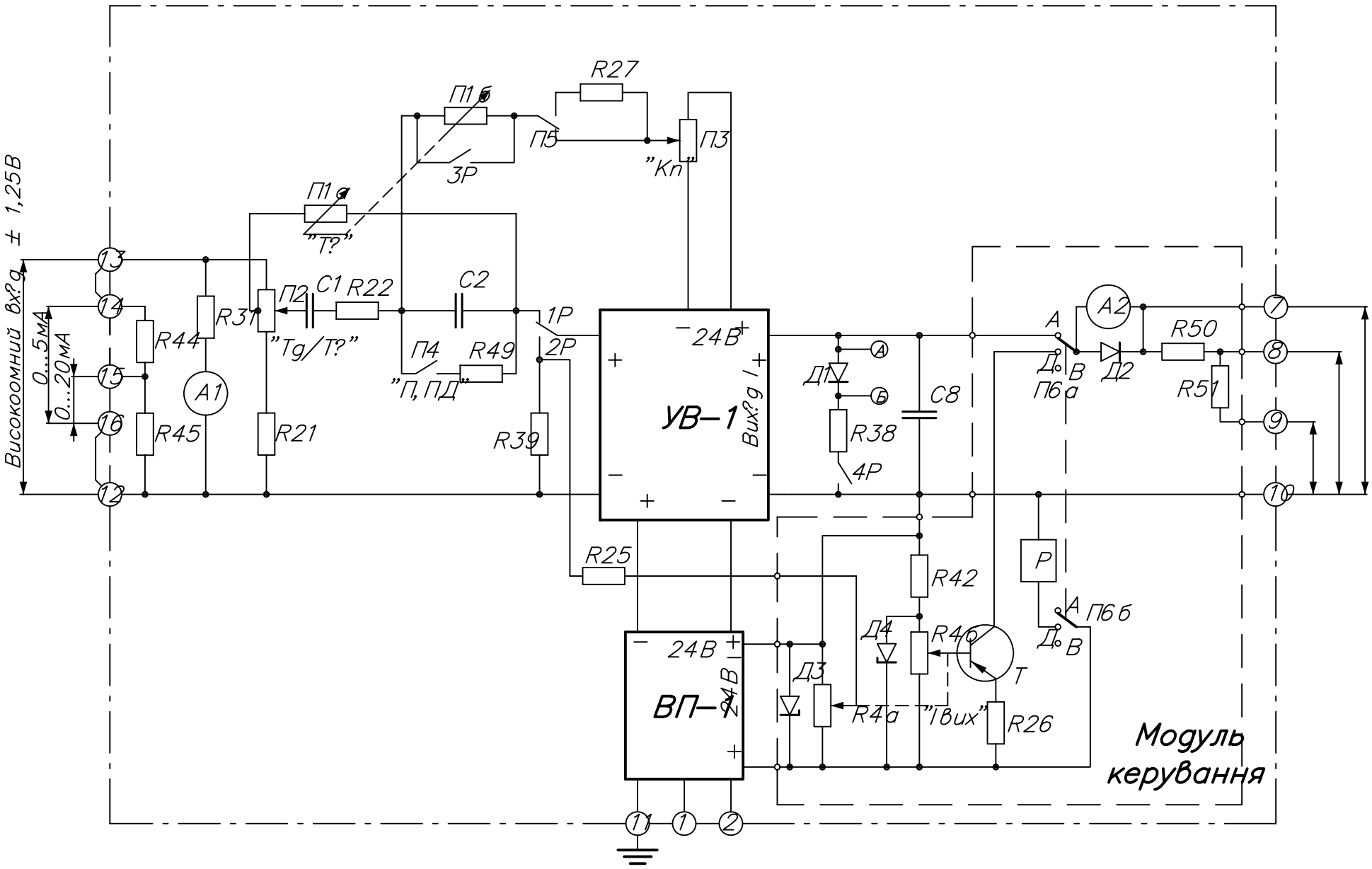


Рис. 16Д. Спрощена принципова схема блоку Р111

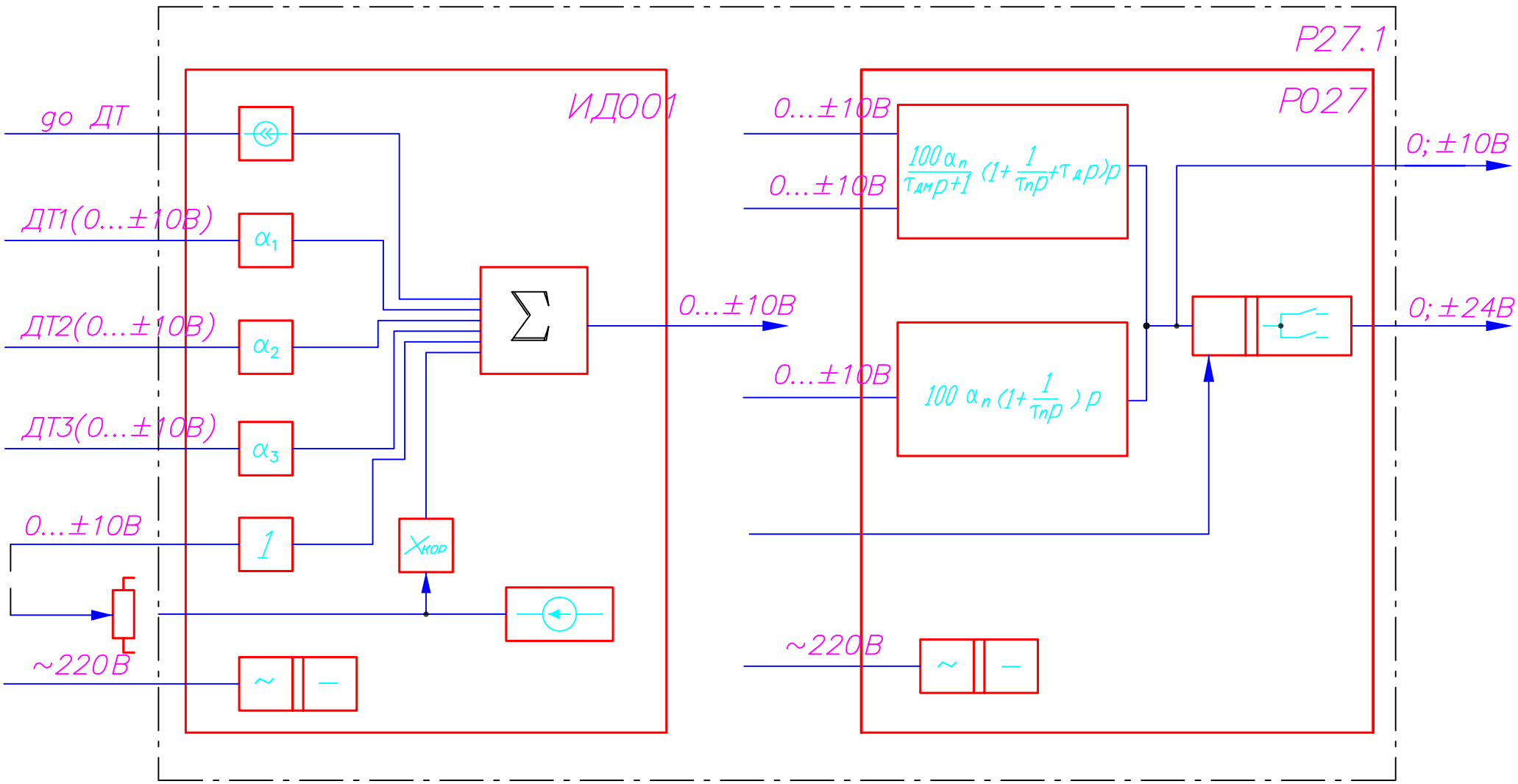


Рис.17Д. Блок регулювальний аналоговий з ?мпульсним вих?дним сигн

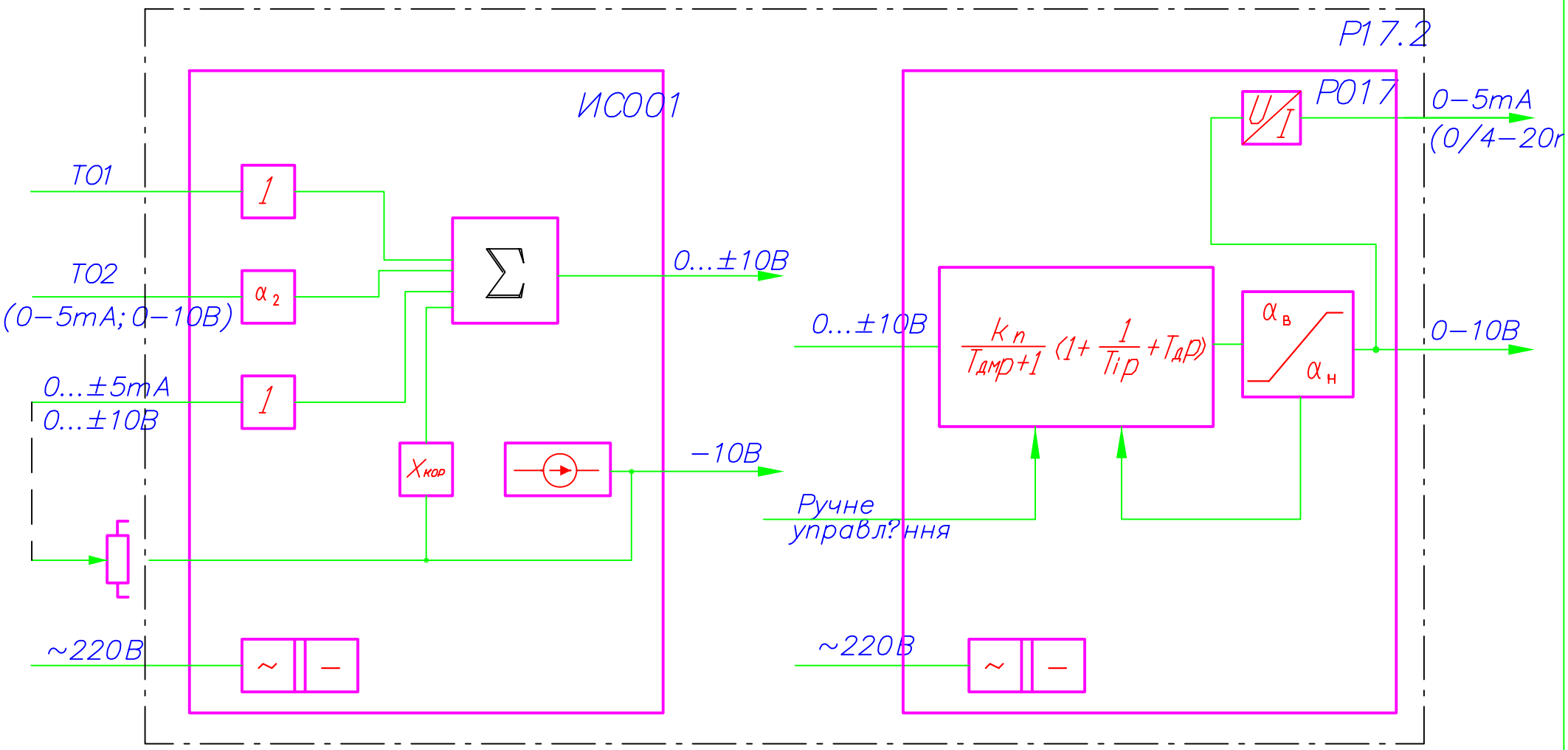


Рис.18Д. Блок регулювальний аналоговий з неперервним вих?дним сиг

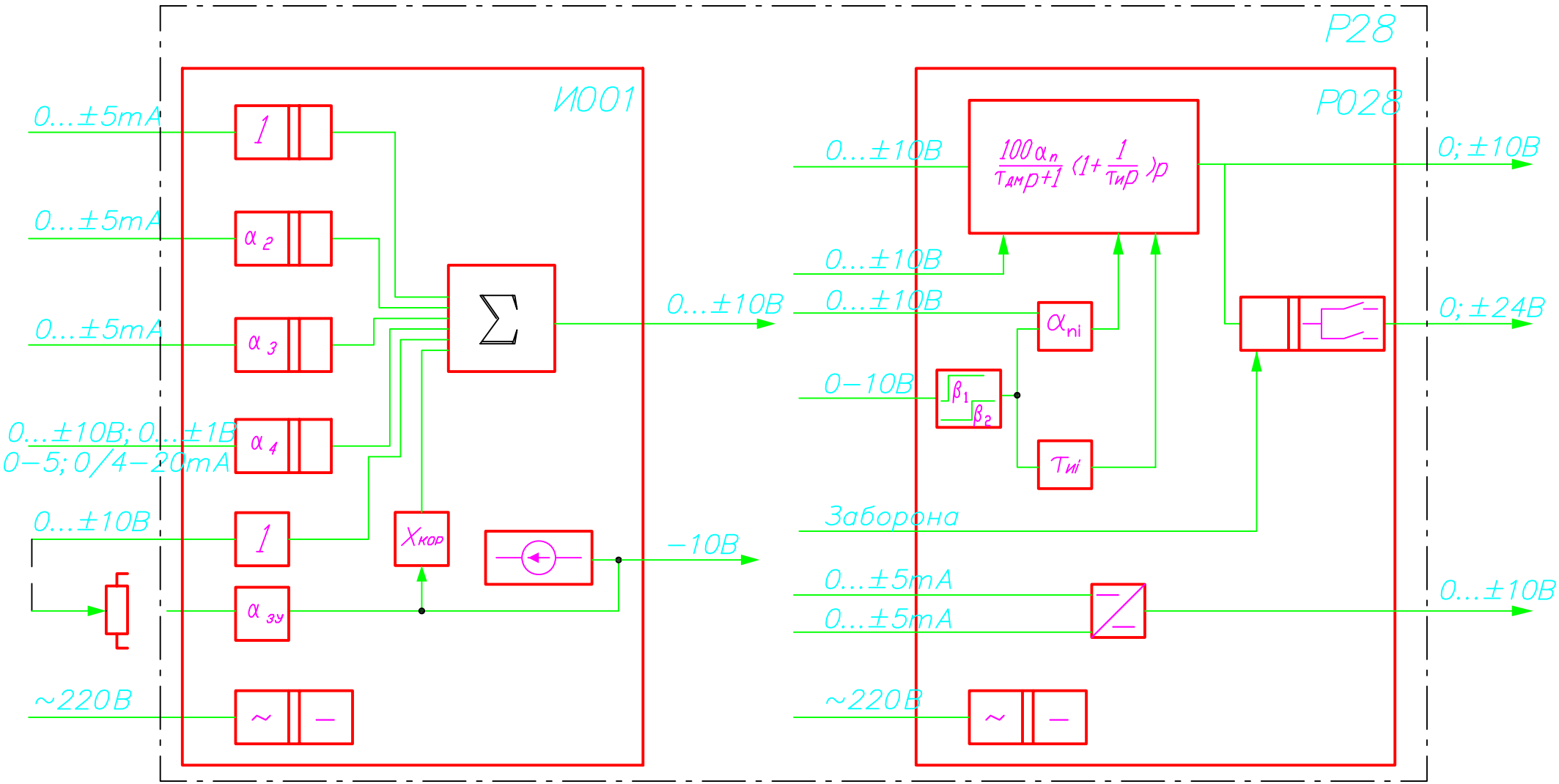


Рис.19Д. Блок регулювальний аналоговий з ?мпульсним виходом ? автоп?длаштуванням параметр?в Р28

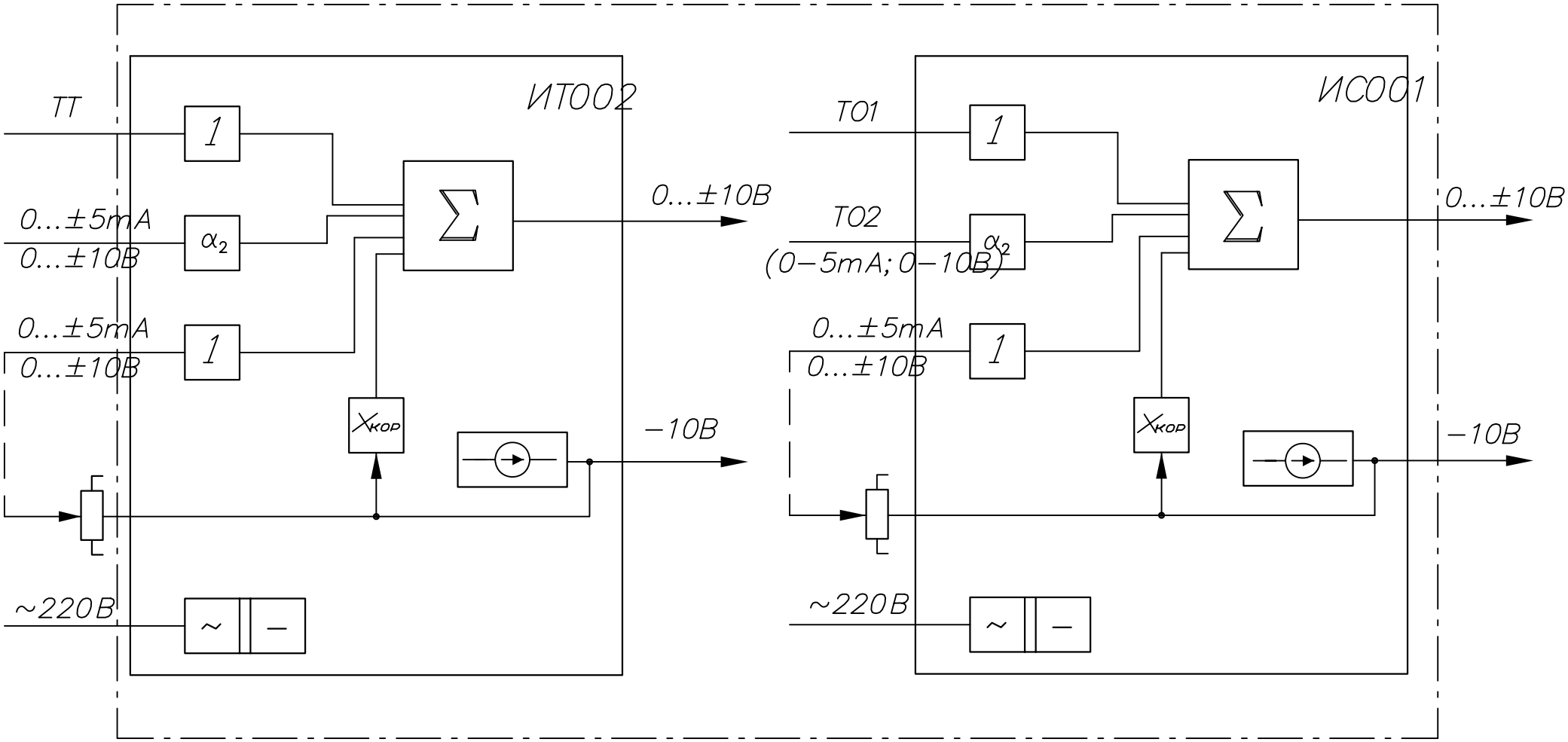


Рис.20Д. Модул? формування сигналу в?дхилення : а – ИТ002, б –

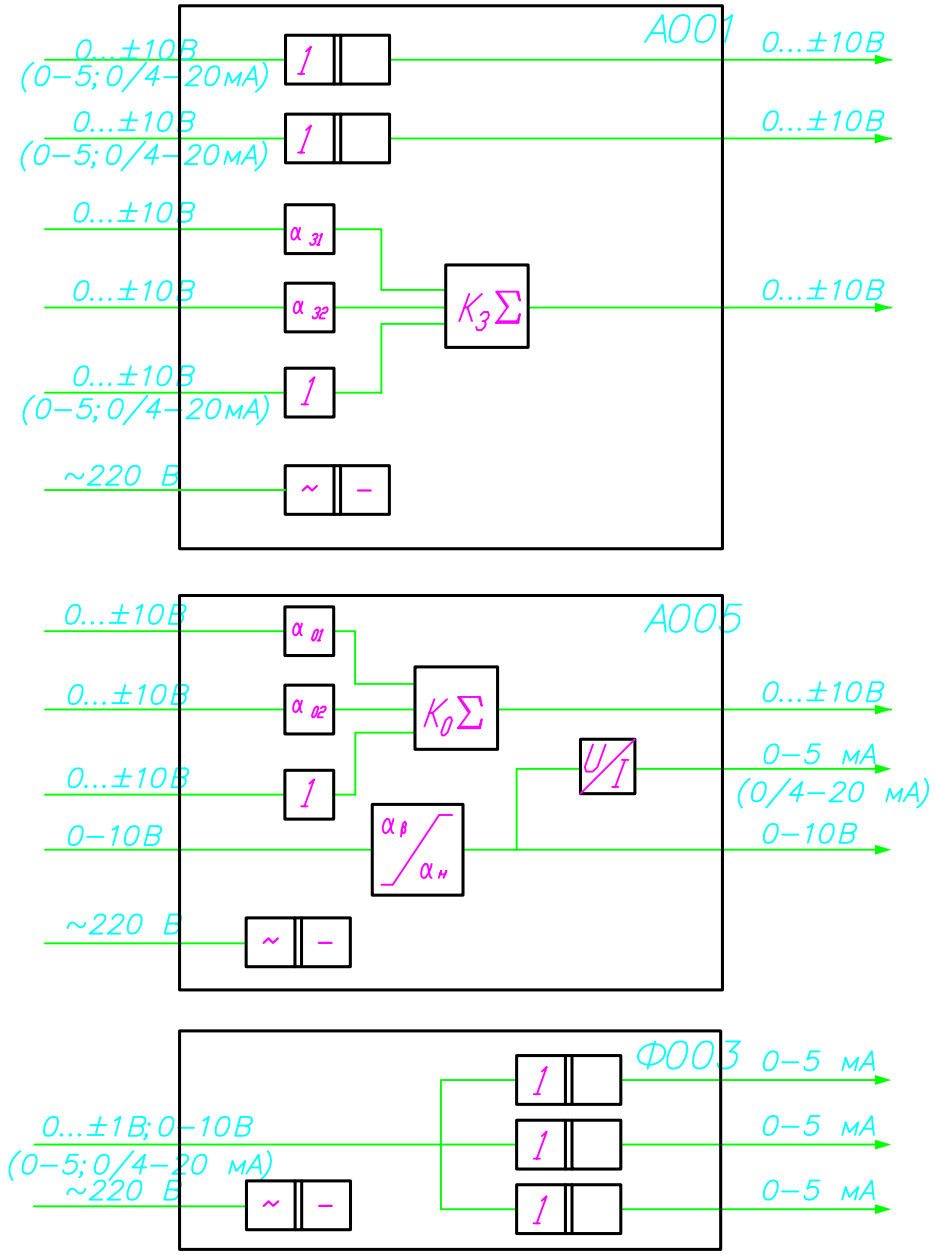


Рис.21Д. Модул? статичного перетворення сигна

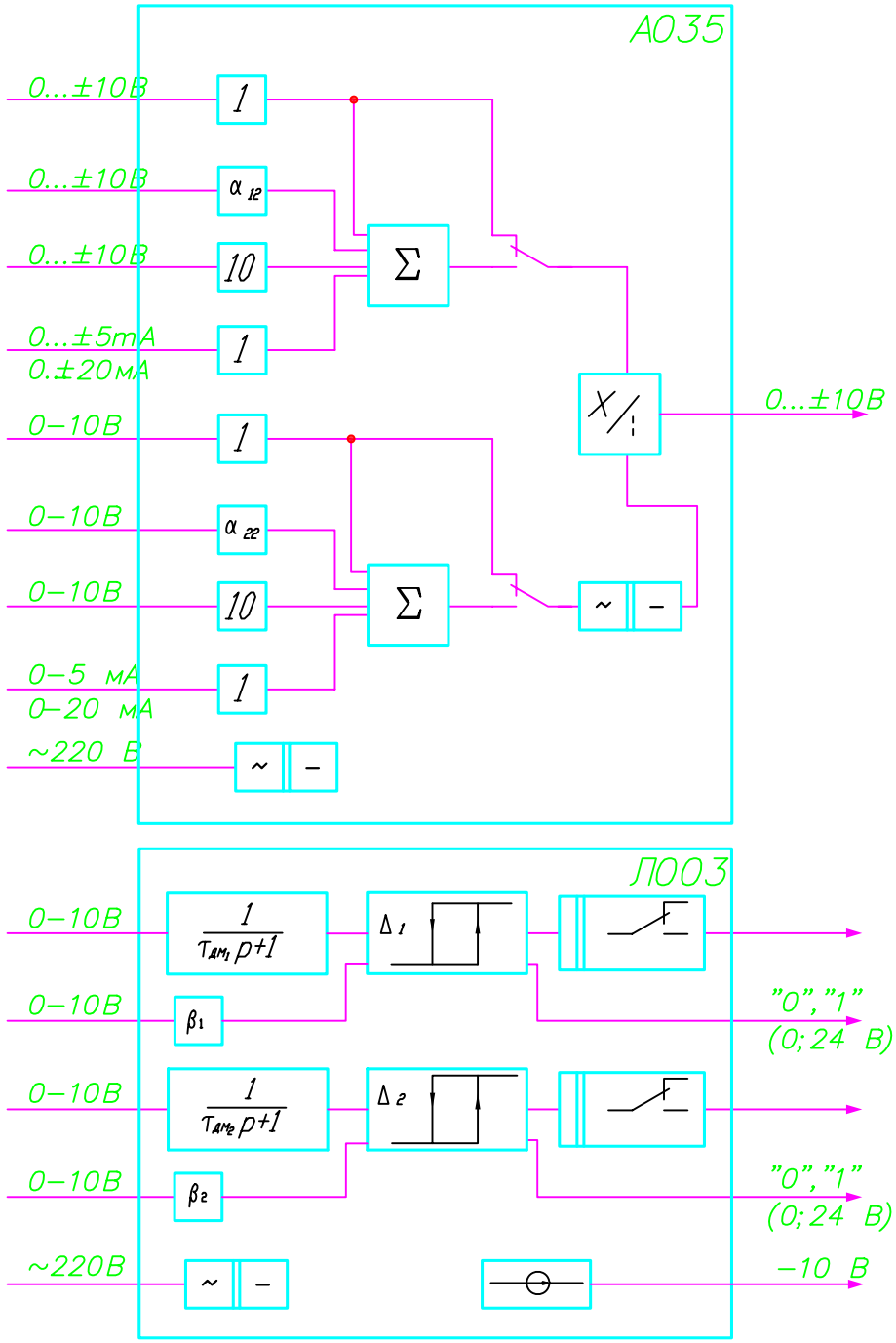
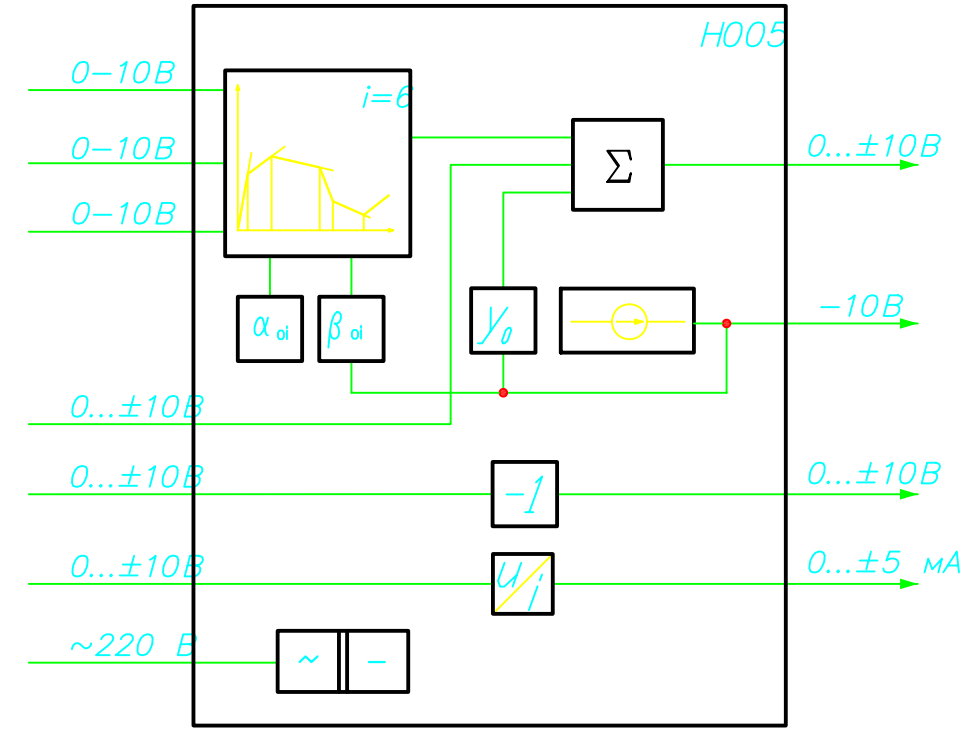


Рис.22Д. Модулі статичного перетворення сиг



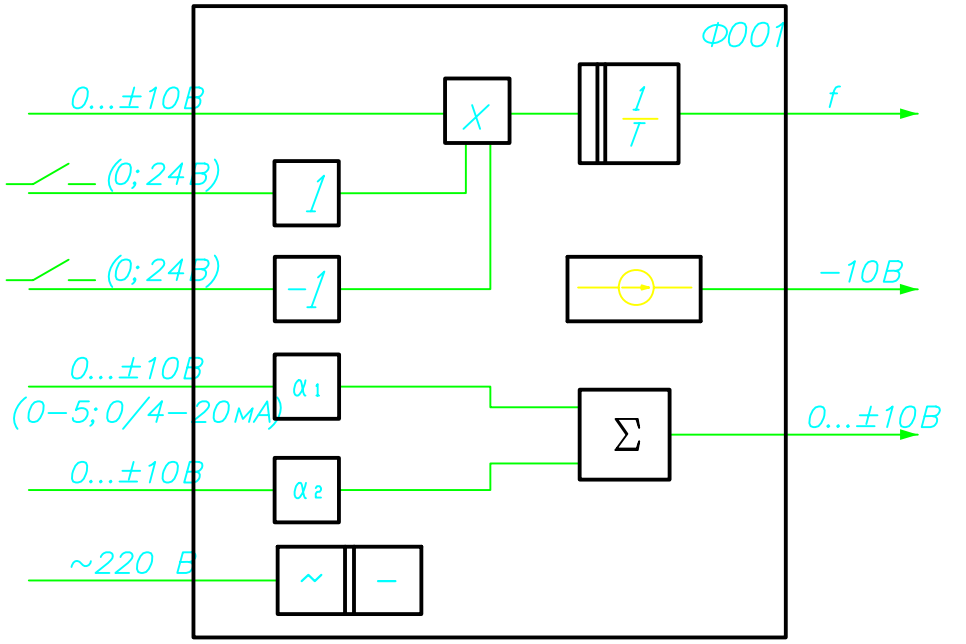


Рис.23Д. Модулі статичного перетворення си

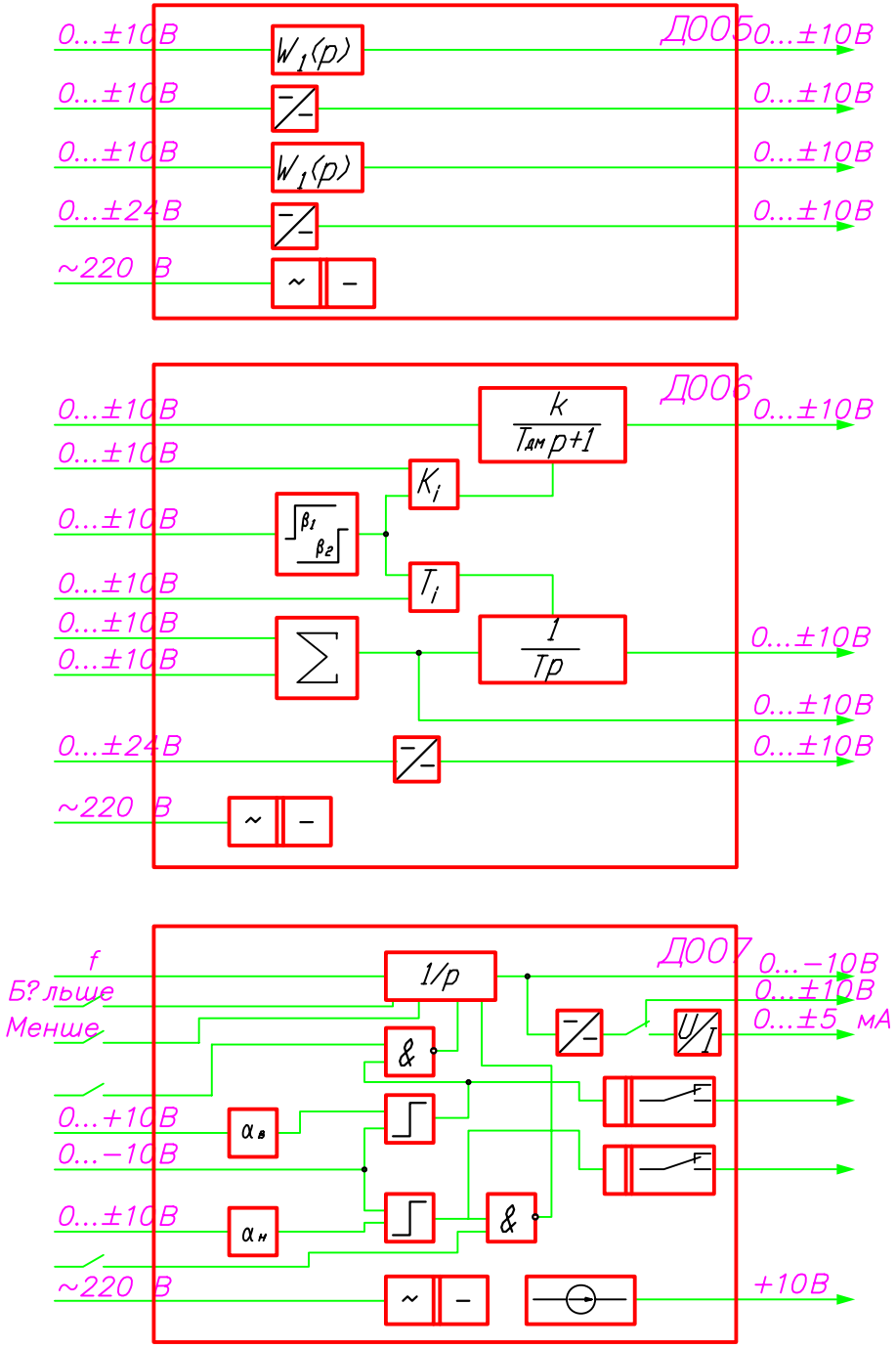


Рис.24Д. Модуль динамічного перетворення

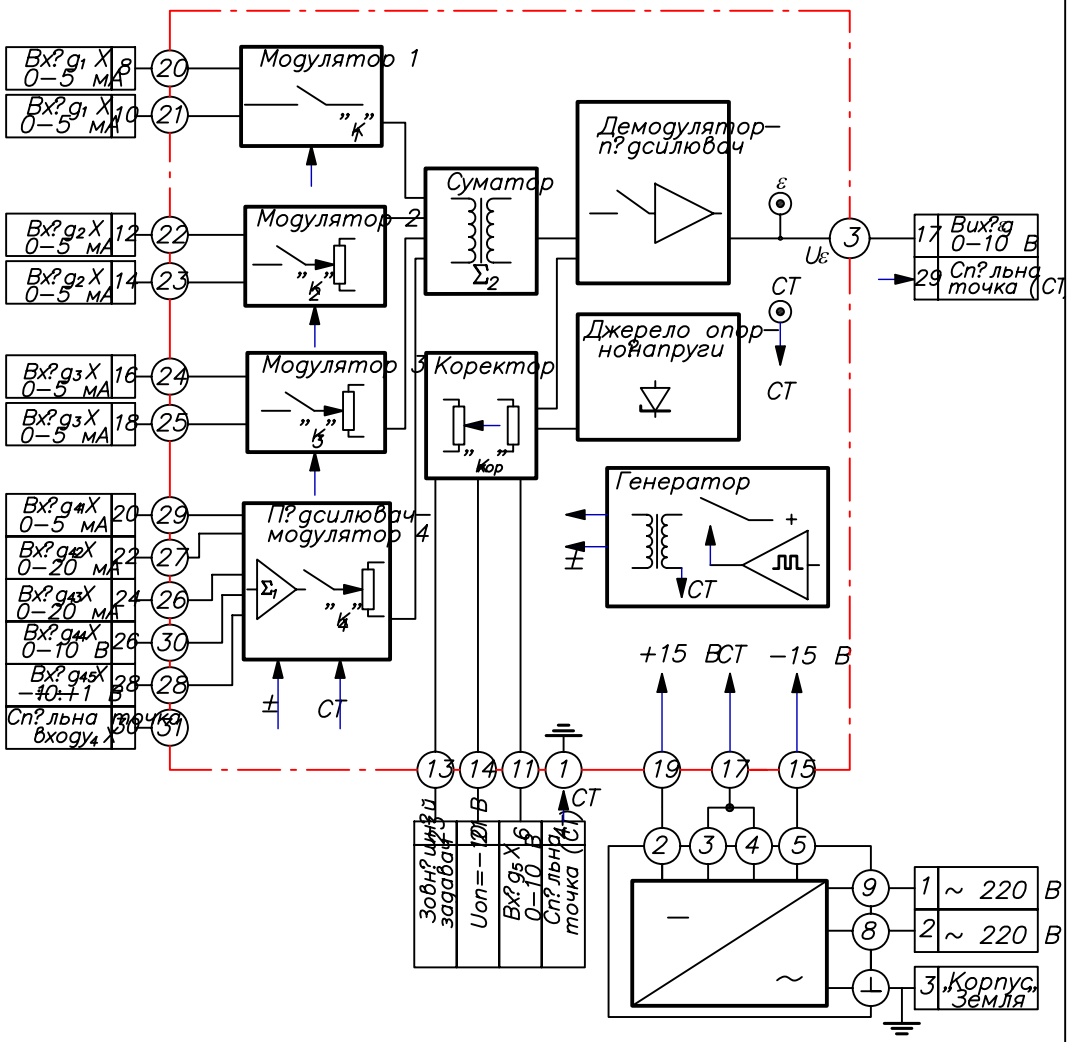


Рис.25Д. Принципова електрична схема И001.1

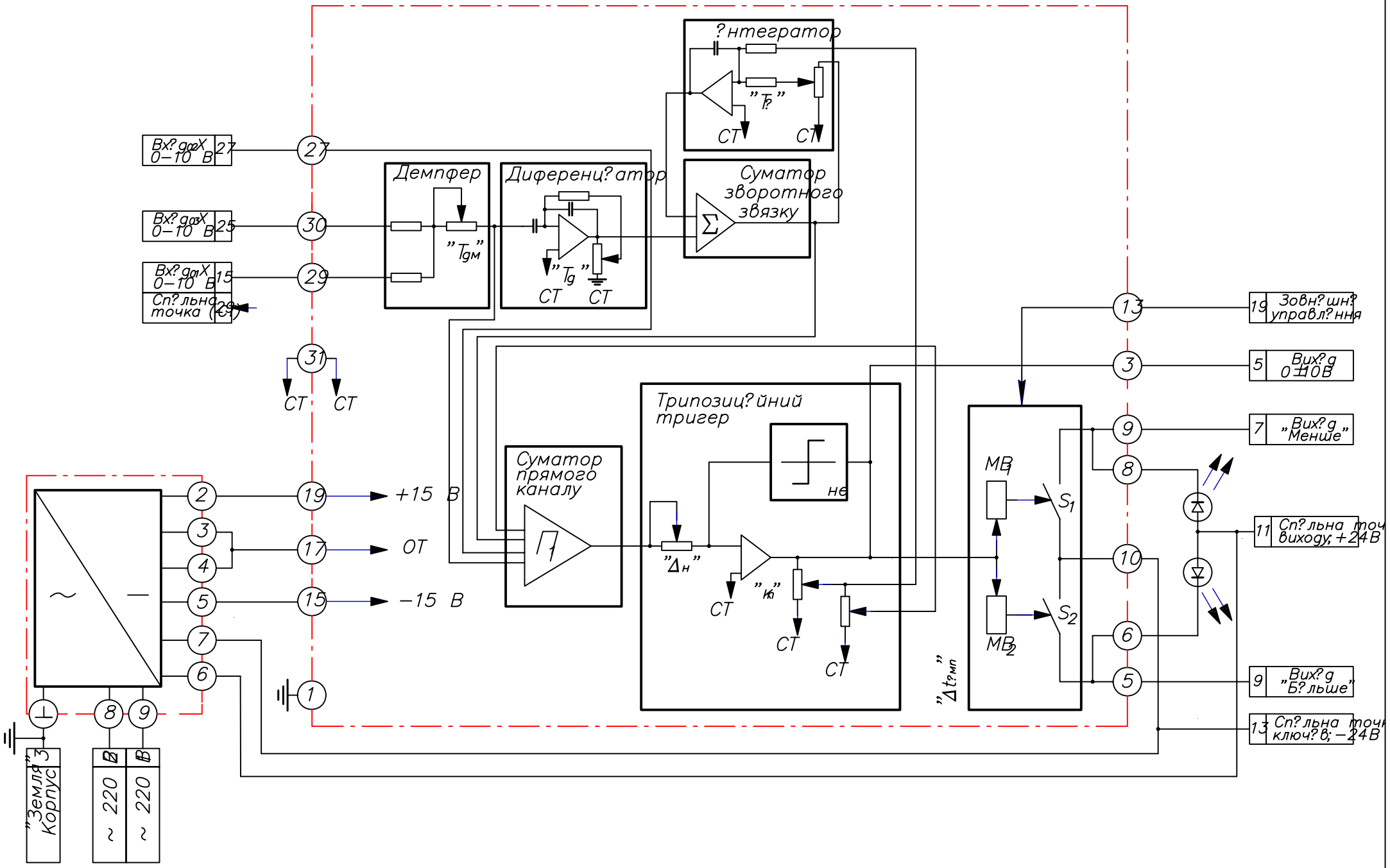


Рис.26Д. Принципова електрична схема Р027.1

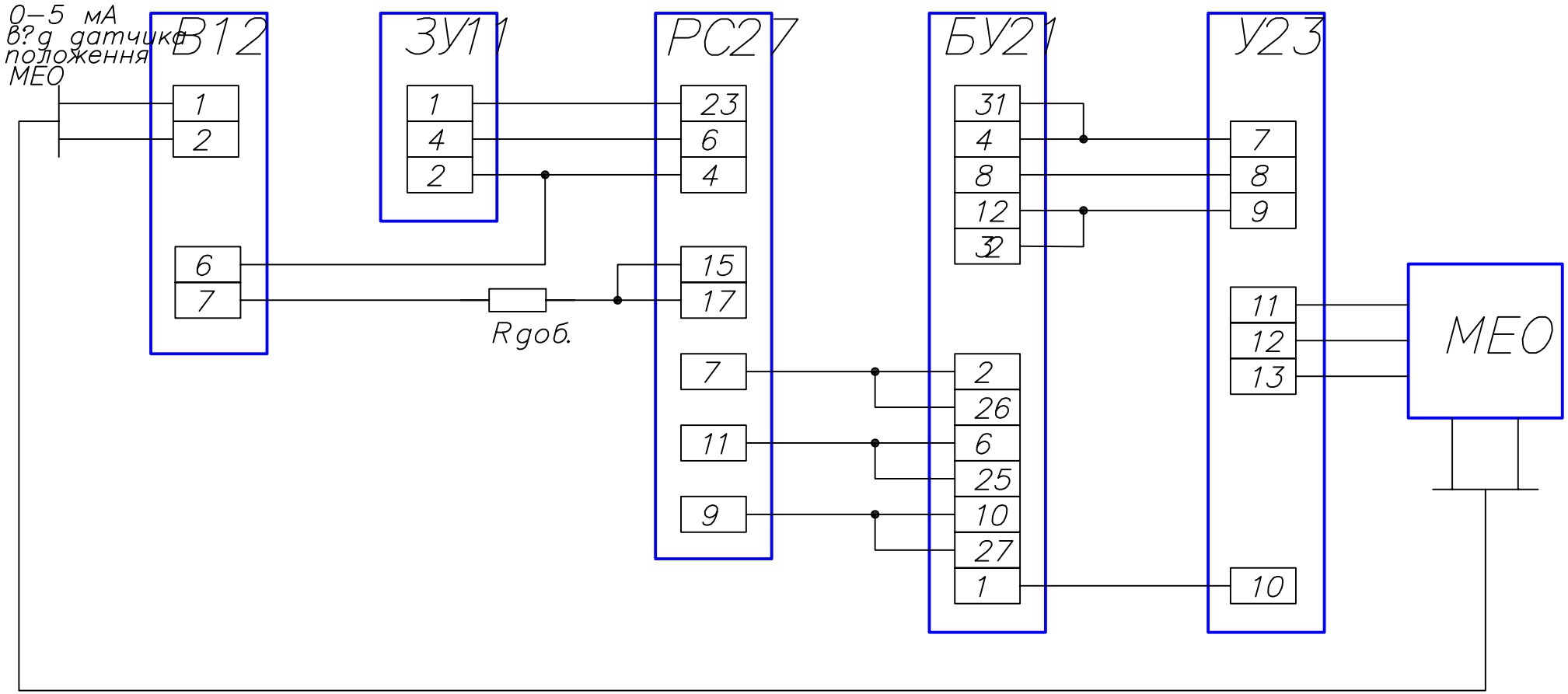


Рис. 27Д. Схема зовн?шн?х п?дключень Р27 з допом?жними пристро

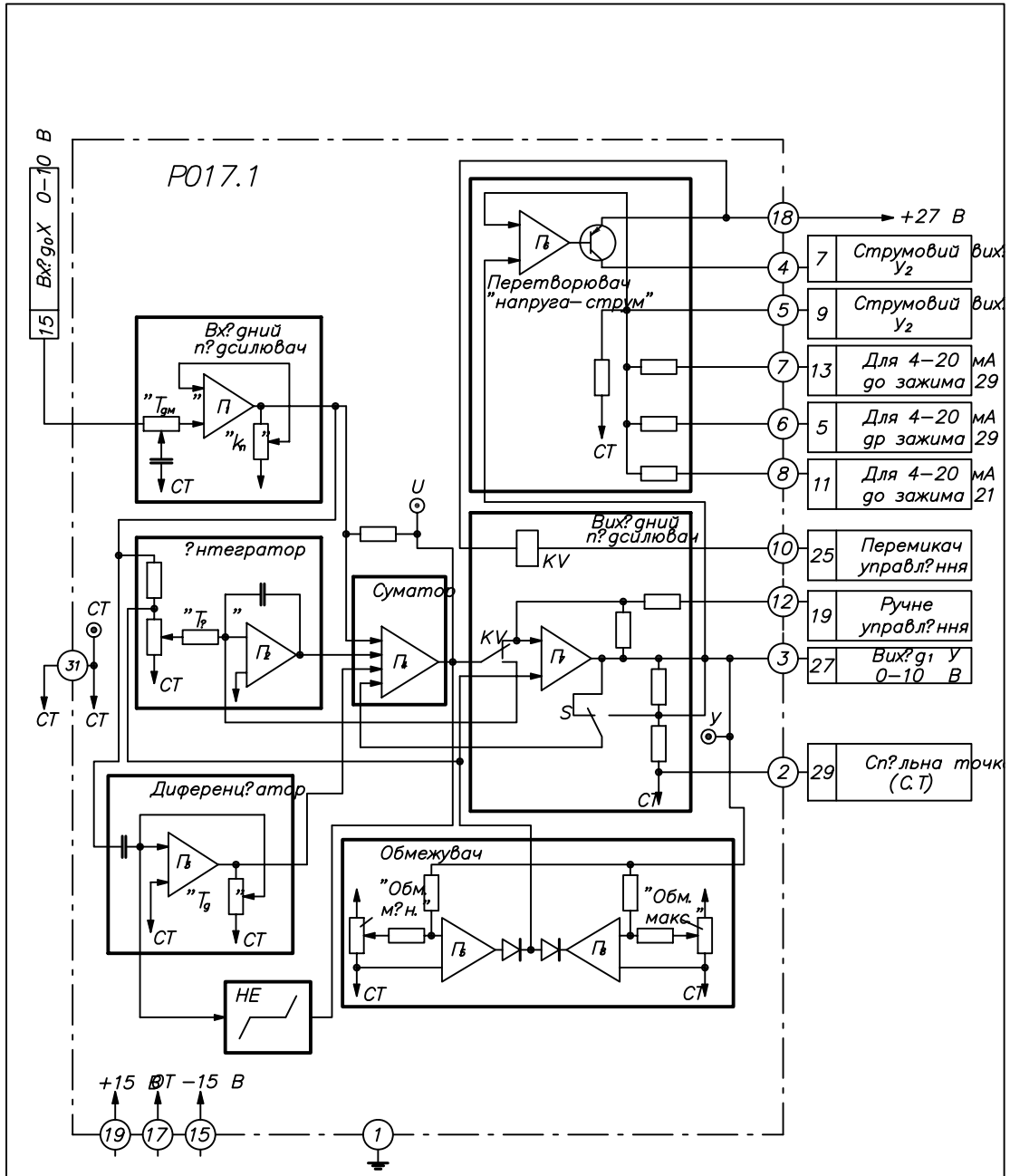


Рис. 28Д. Функц?ональна схема регулювальн

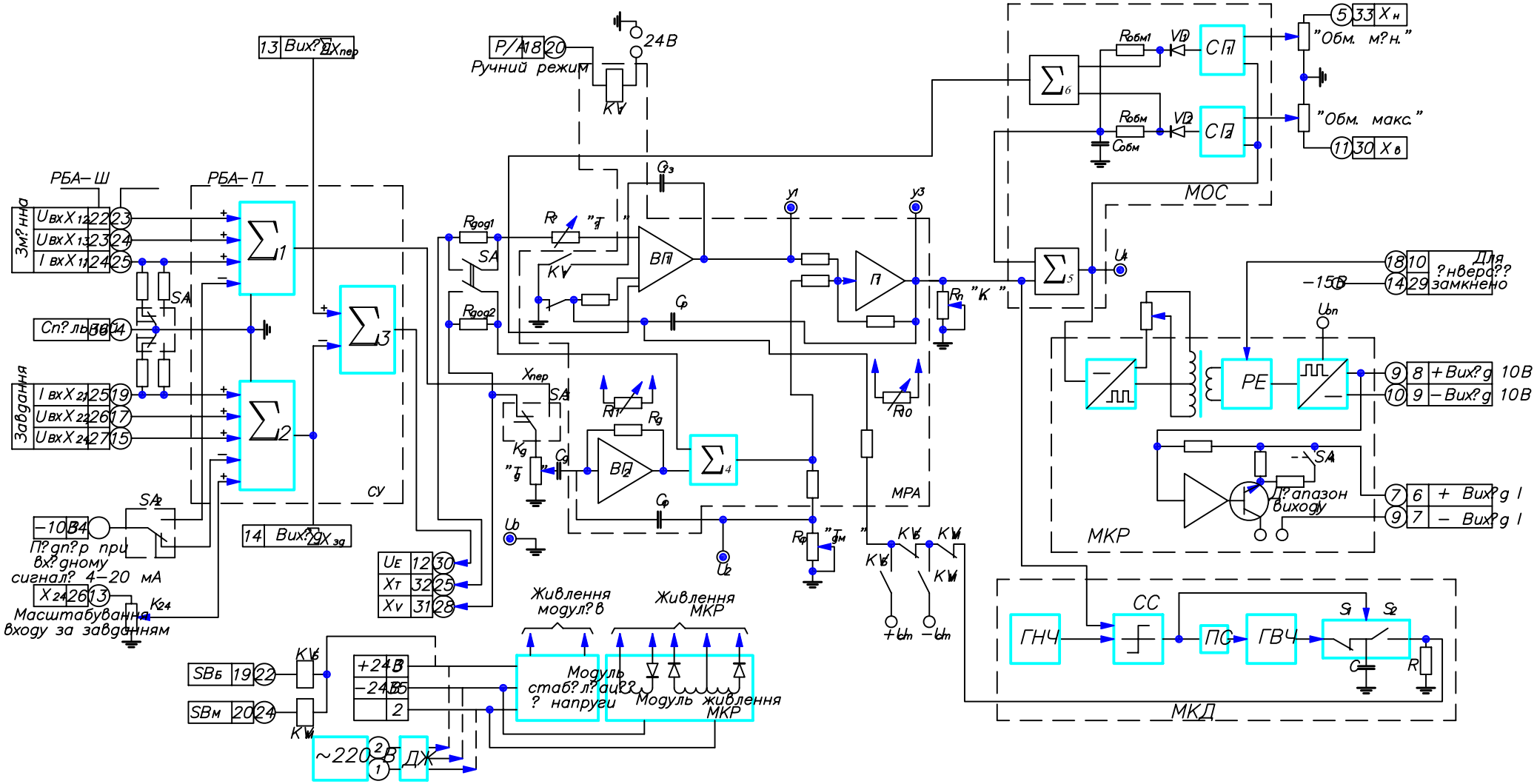


Рис. 29Д. Принципова електрична схема регулятора РБА

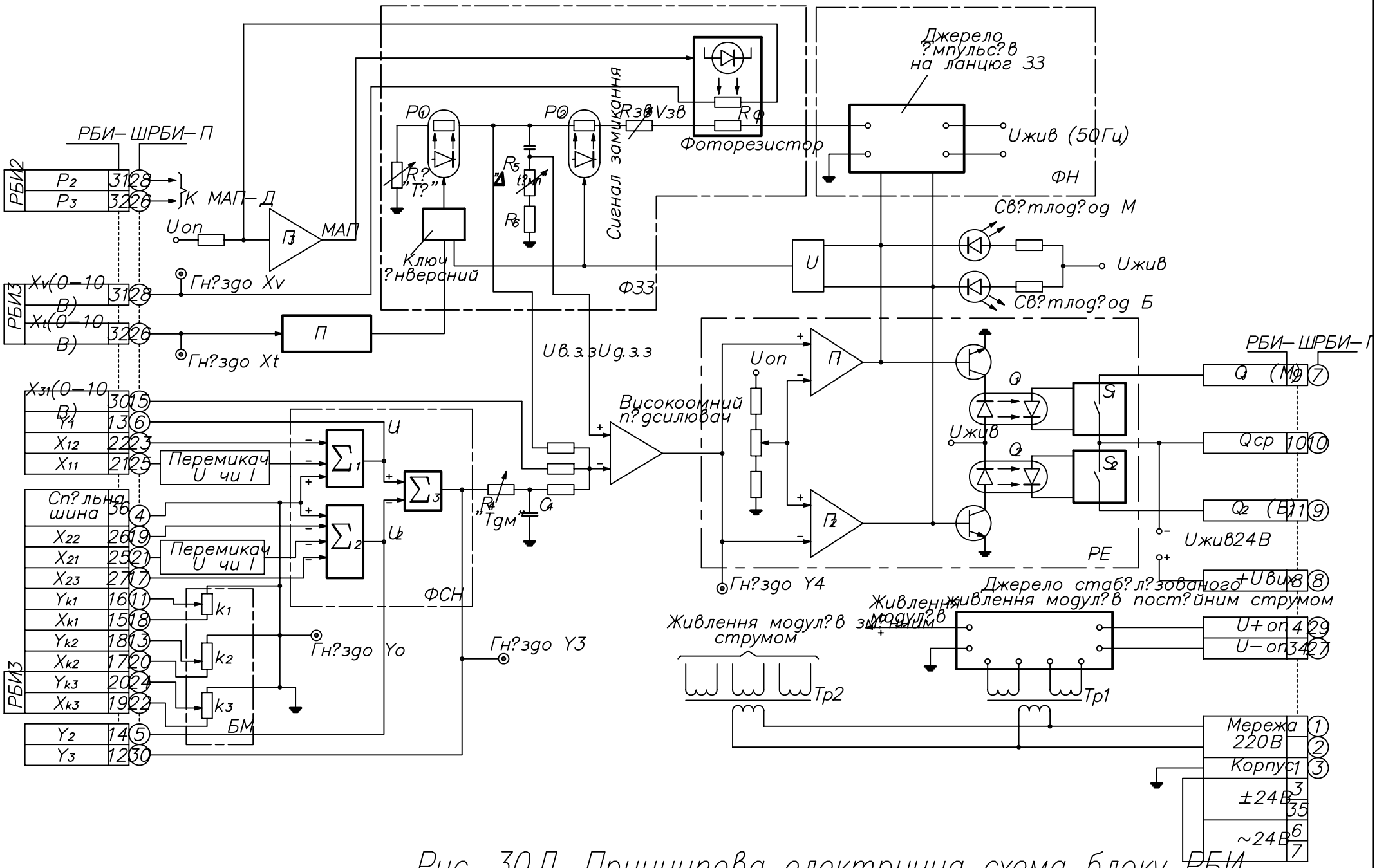


Рис. 30Д. Принципова електрична схема блоку РБИ

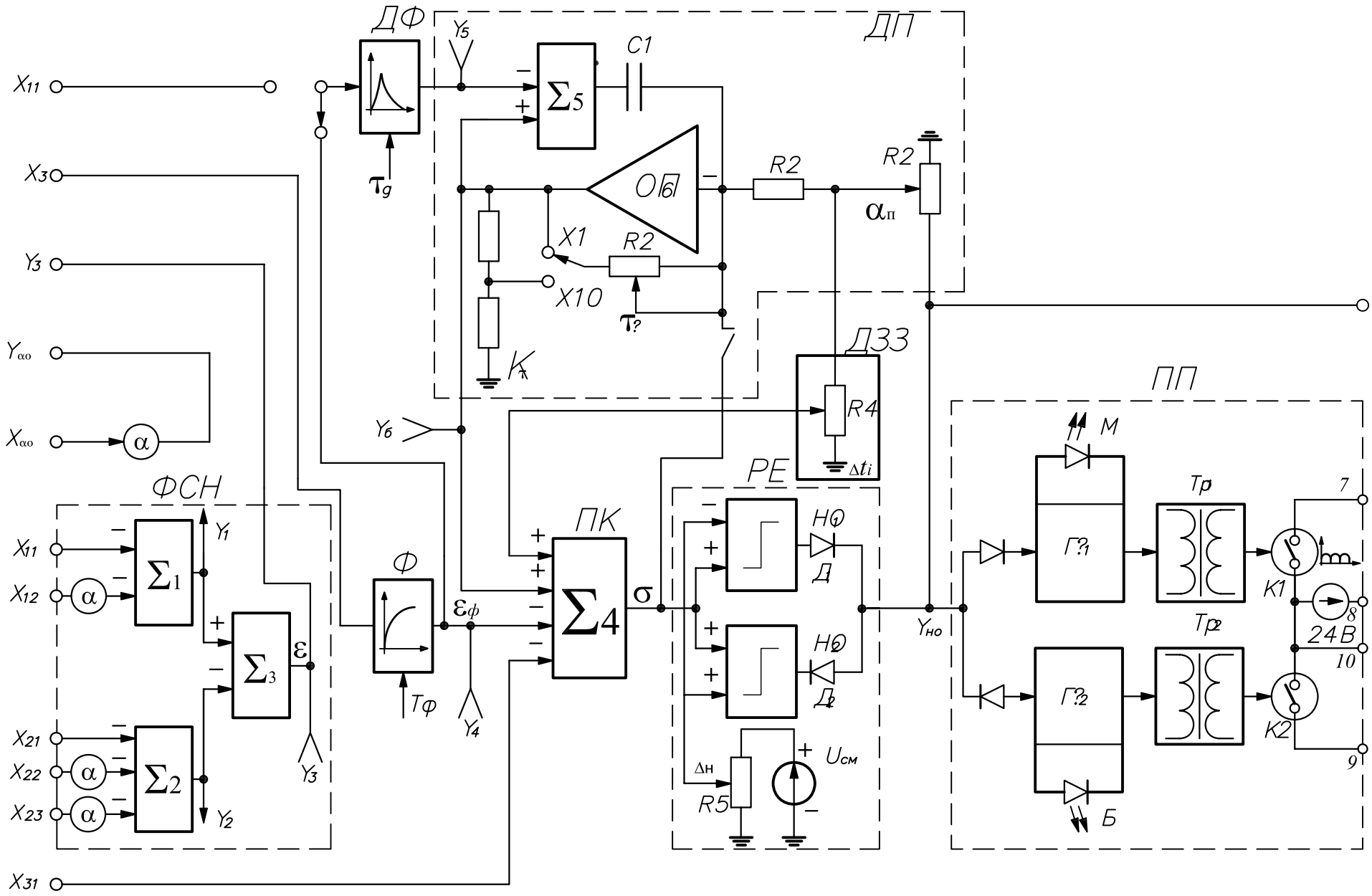
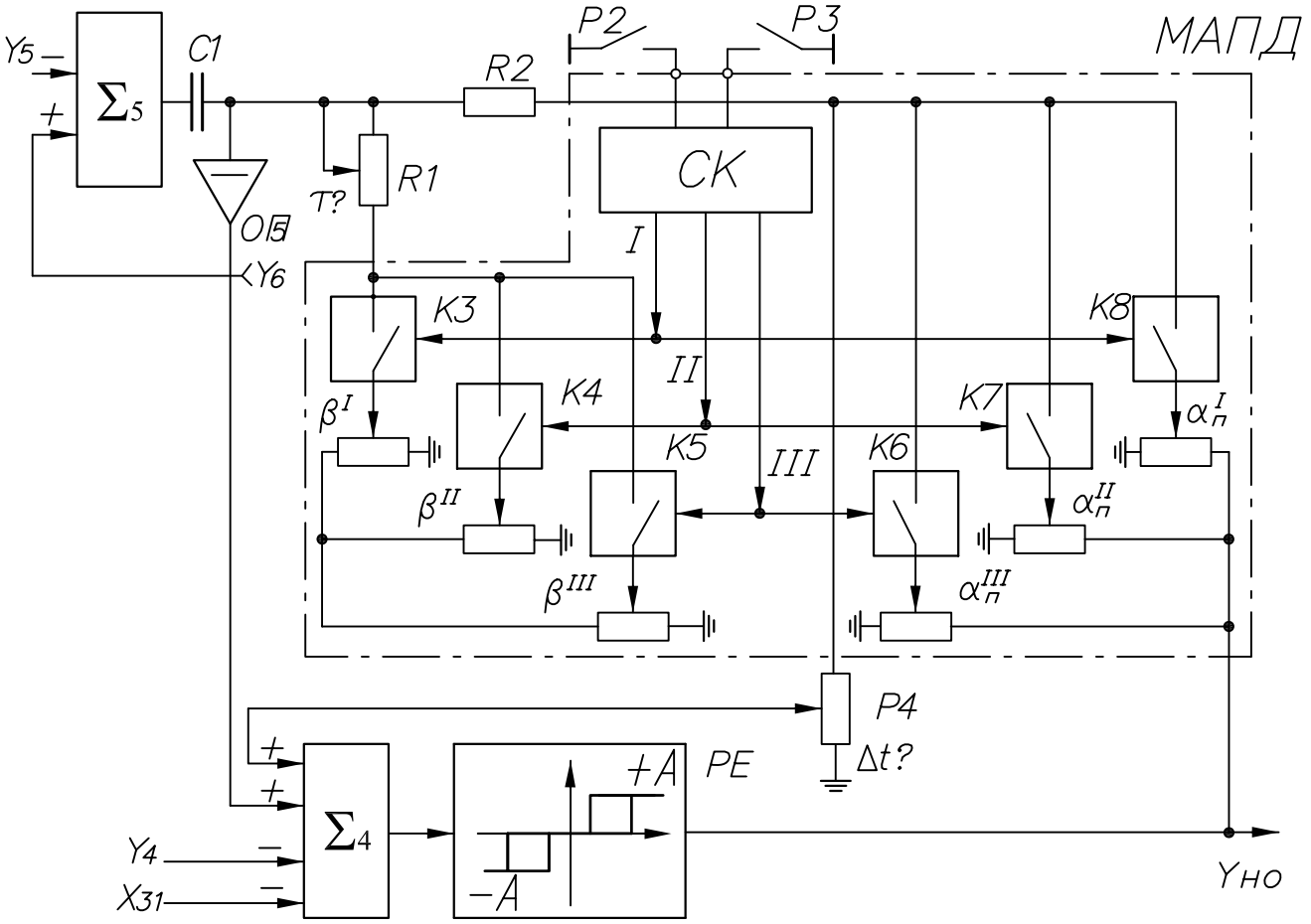


Рис. 31Д. Регулювальний блок з ?мпульсним виходом РБ



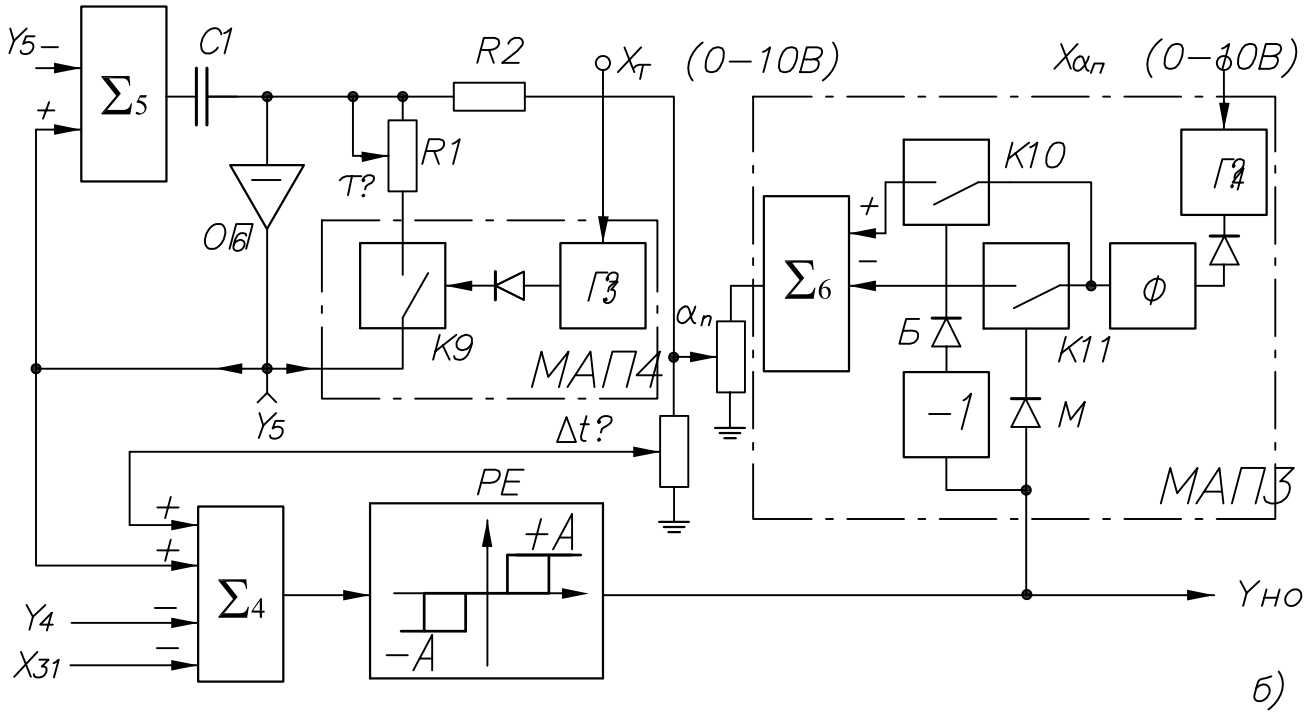
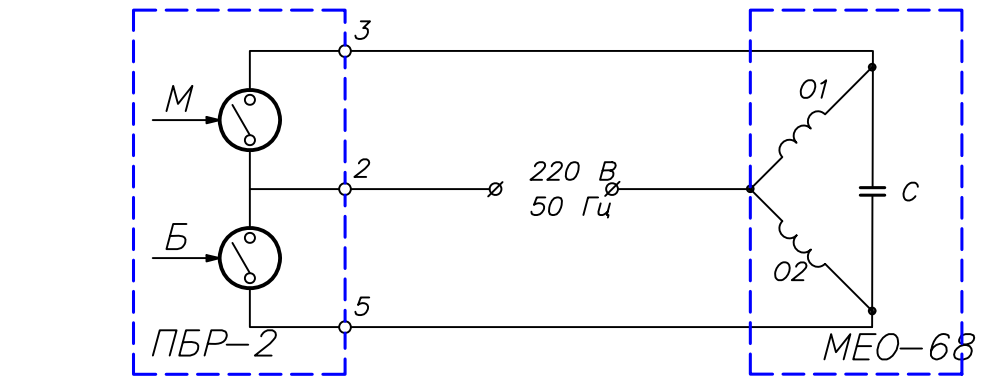
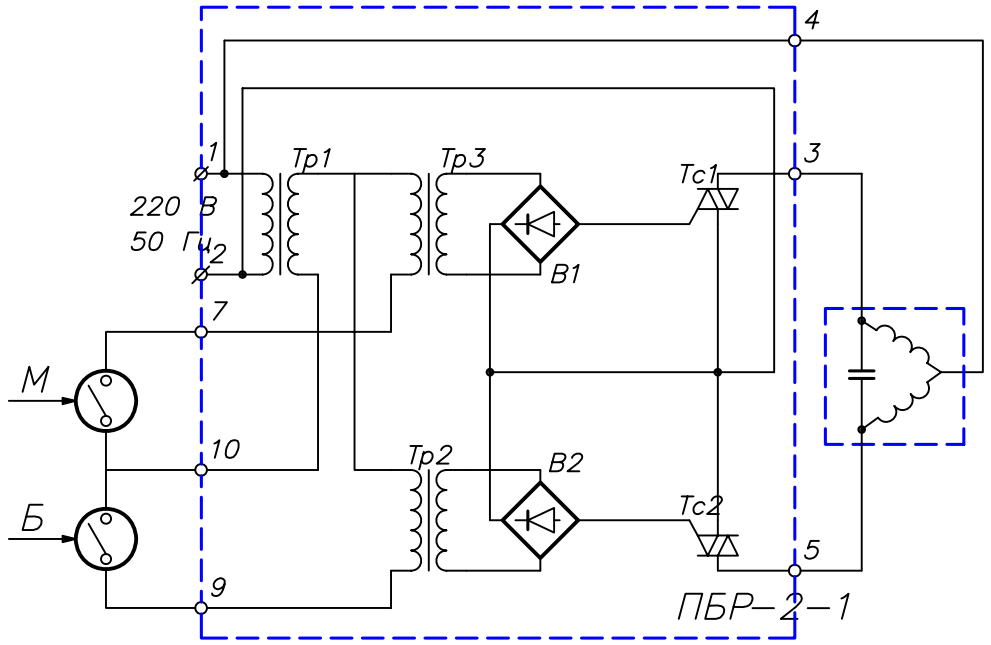


Рис.32Д. Схеми дистанц?йно? п?дстройки парамет

а – дискретно?; б – аналогово?

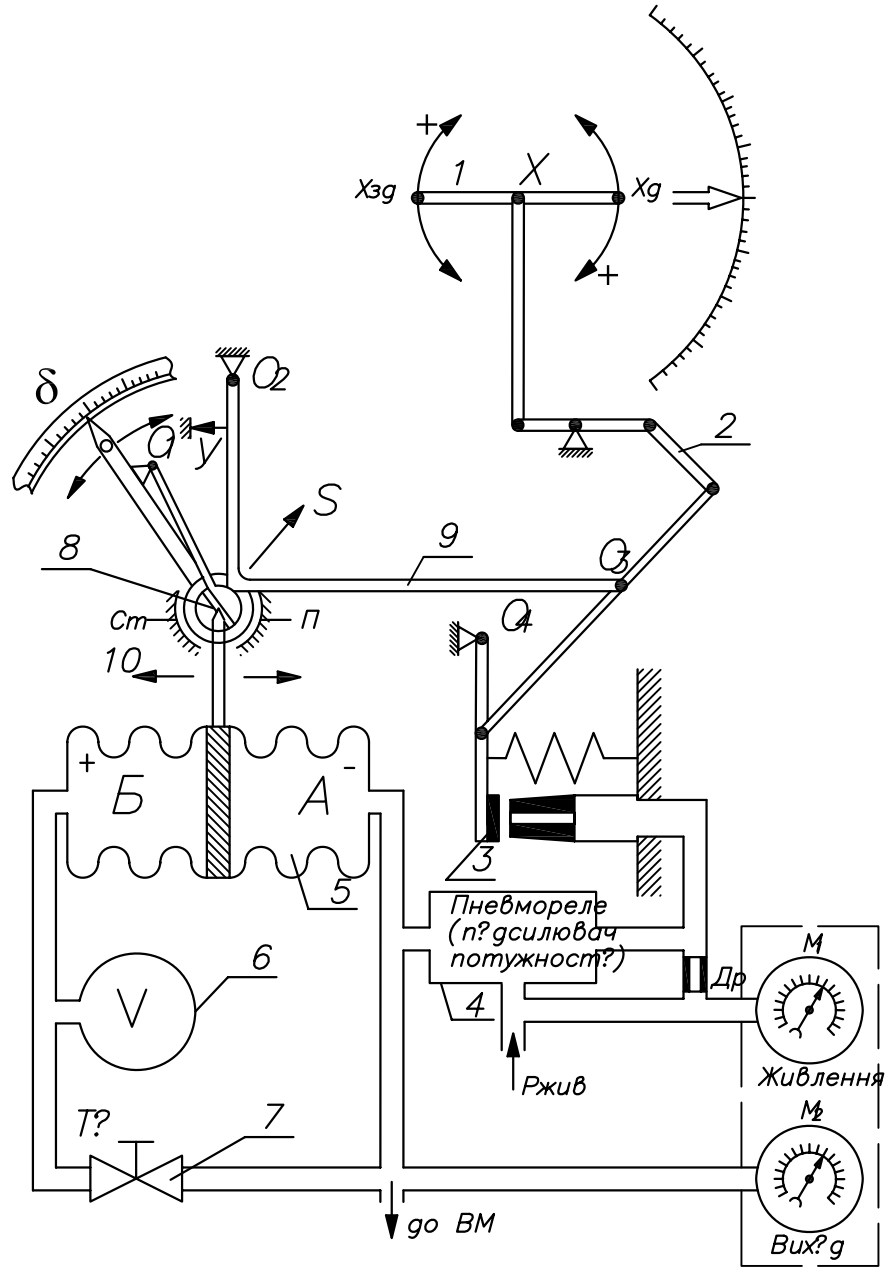


а)



б)

Рис. 33Д. Пускач безконтактний реверсивний ПБ



1 – вузол пор?вняння показань давача ? задавача; 2 – ричажна передача;
3 – сопло–засл?нка; 4 – пневматичне реле (п?дсилювач потужност?);
5 – пристр?й зворотнонго зв'язку ; 6 – ?мн?сть; 7 – дросель;
8 – механ?чна система; 9 – ричажна передача зворотного зв'язку.

Рис. 34Д. Пневматичний регулятор приборно

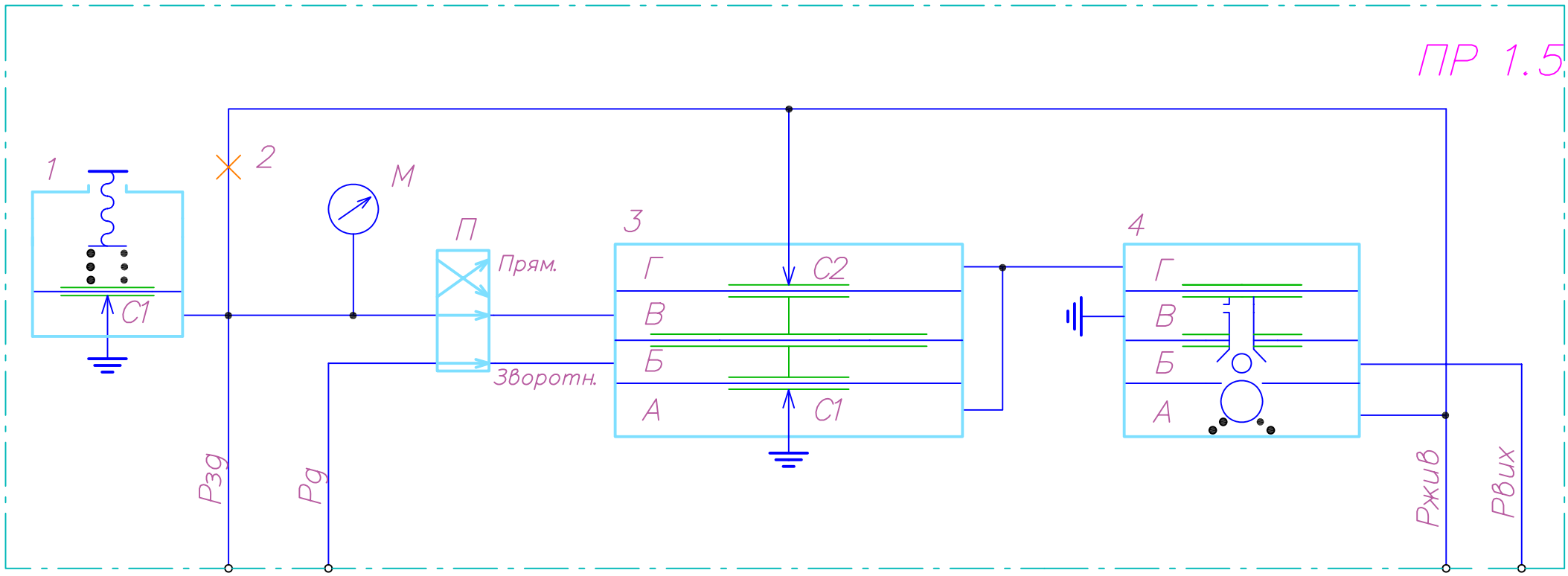


Рис. 35Д. Принципова схема регулятора ПР 1.5

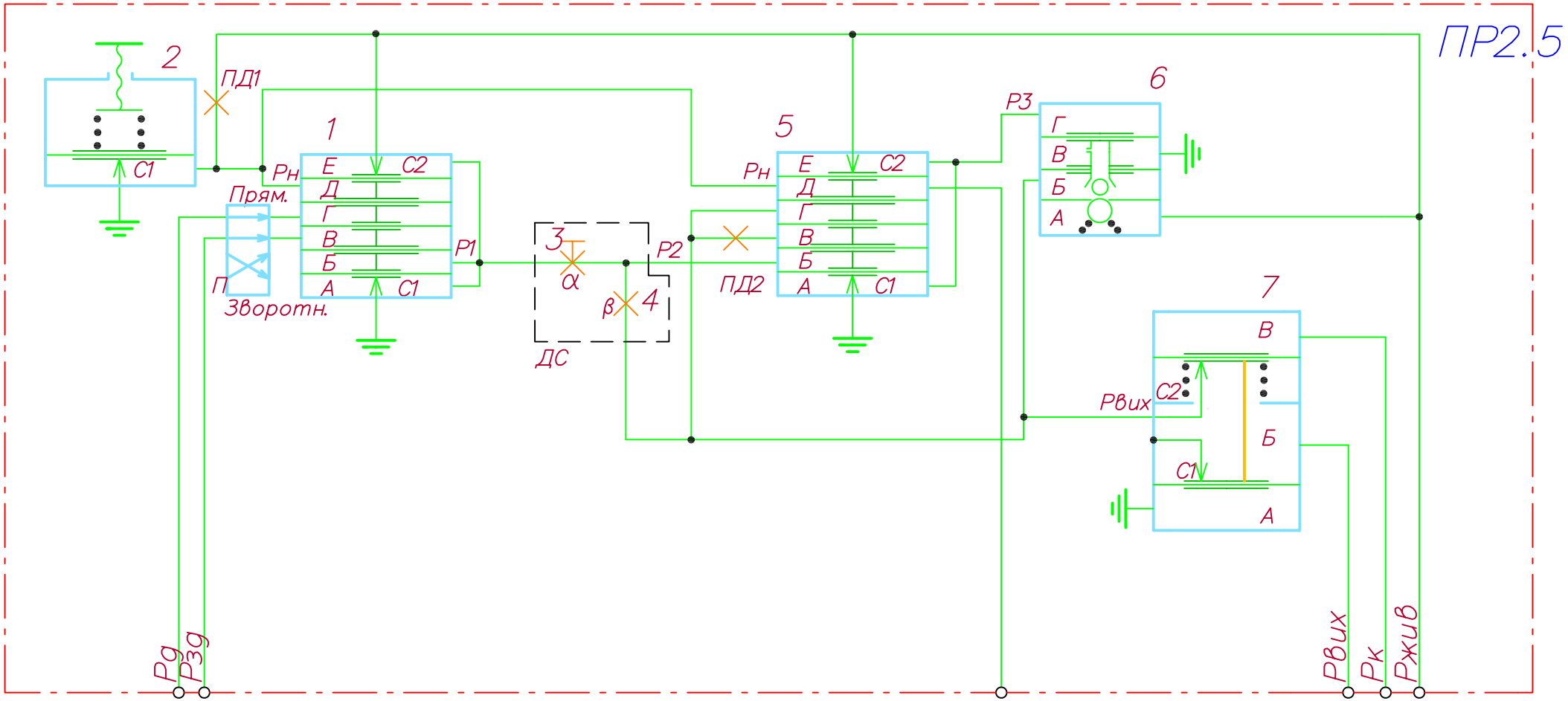


Рис. 36Д. Принципова схема регулятора ПР2.5

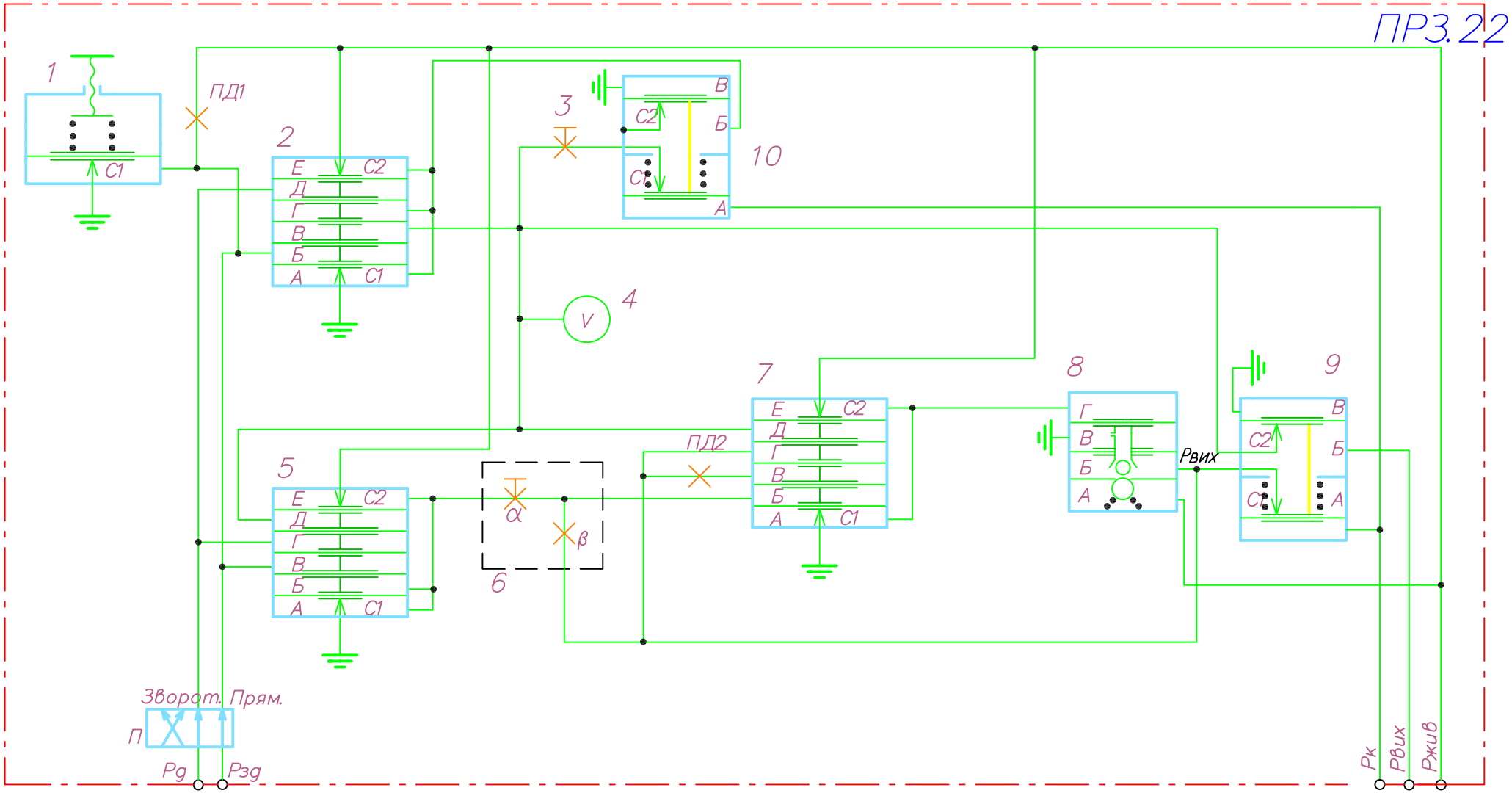


Рис. 37Д. Принципова схема ? схема лабораторно? перев?рки регулятор?в П

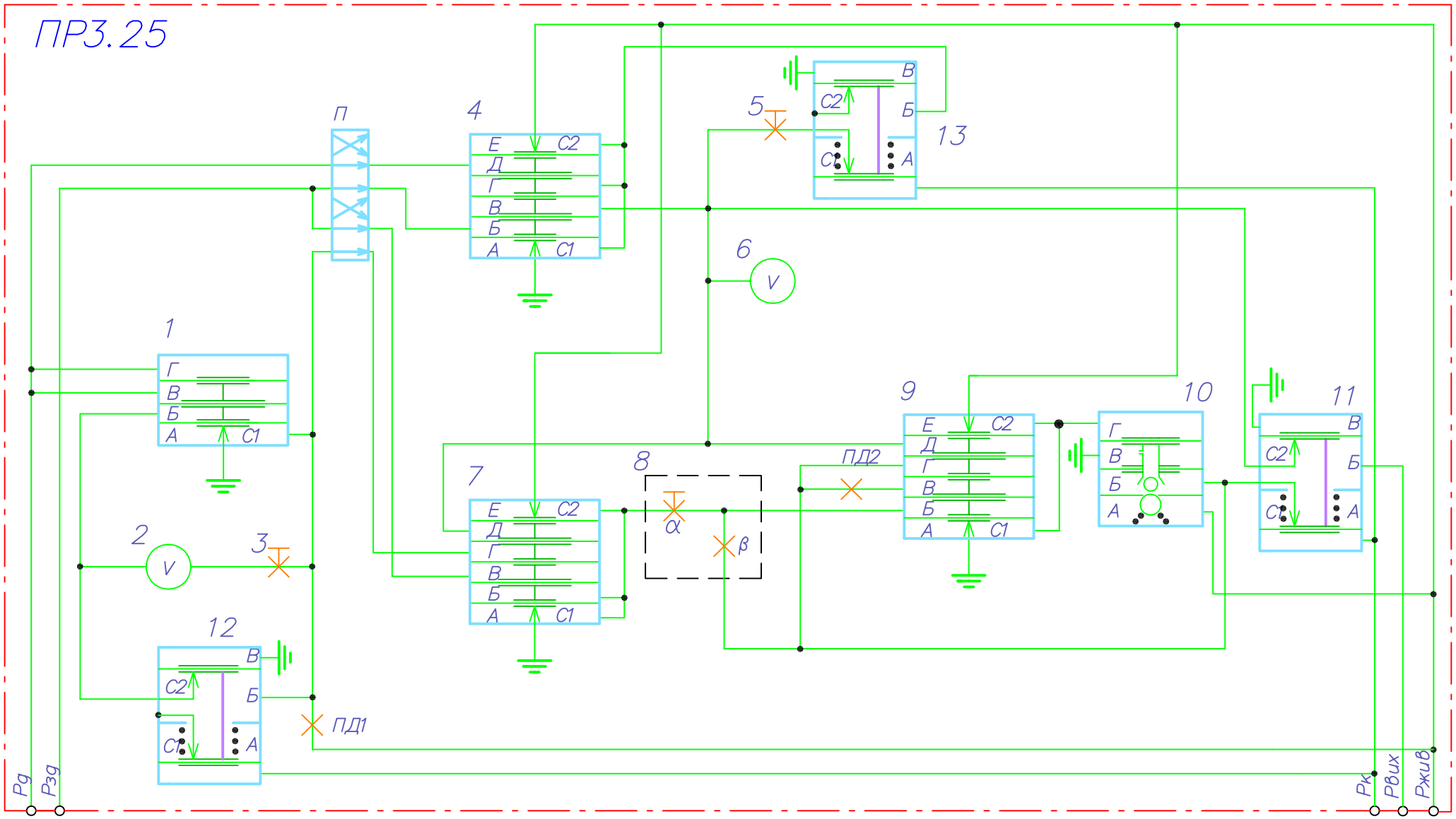
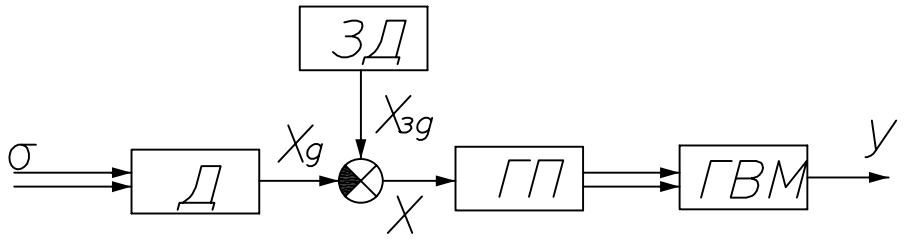
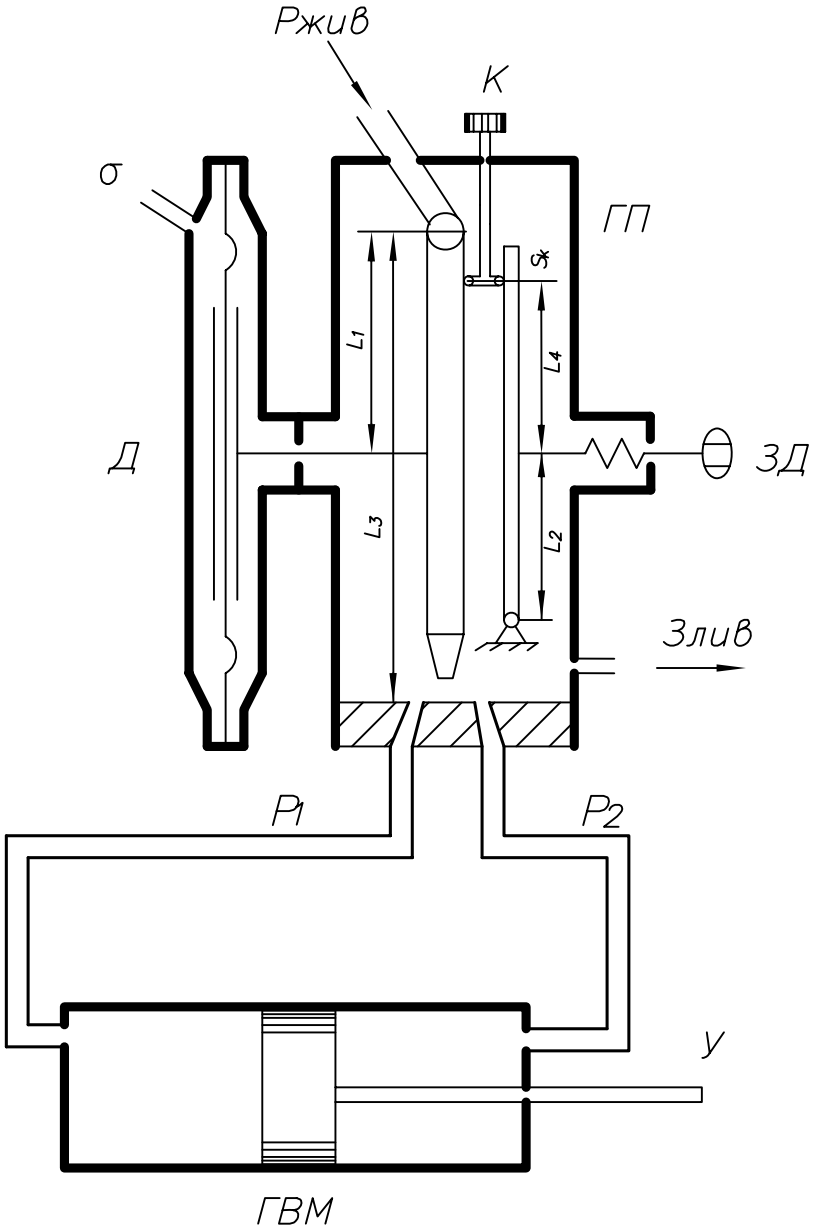


Рис.38Д. Принципова схема регулятора ПР3.25



а)



б)

а – структурна; б – принципова

⟹ – г?дравл?чний сигнал

→ – механ?чний сигнал

Рис.39Д. Схеми ? –регулятора

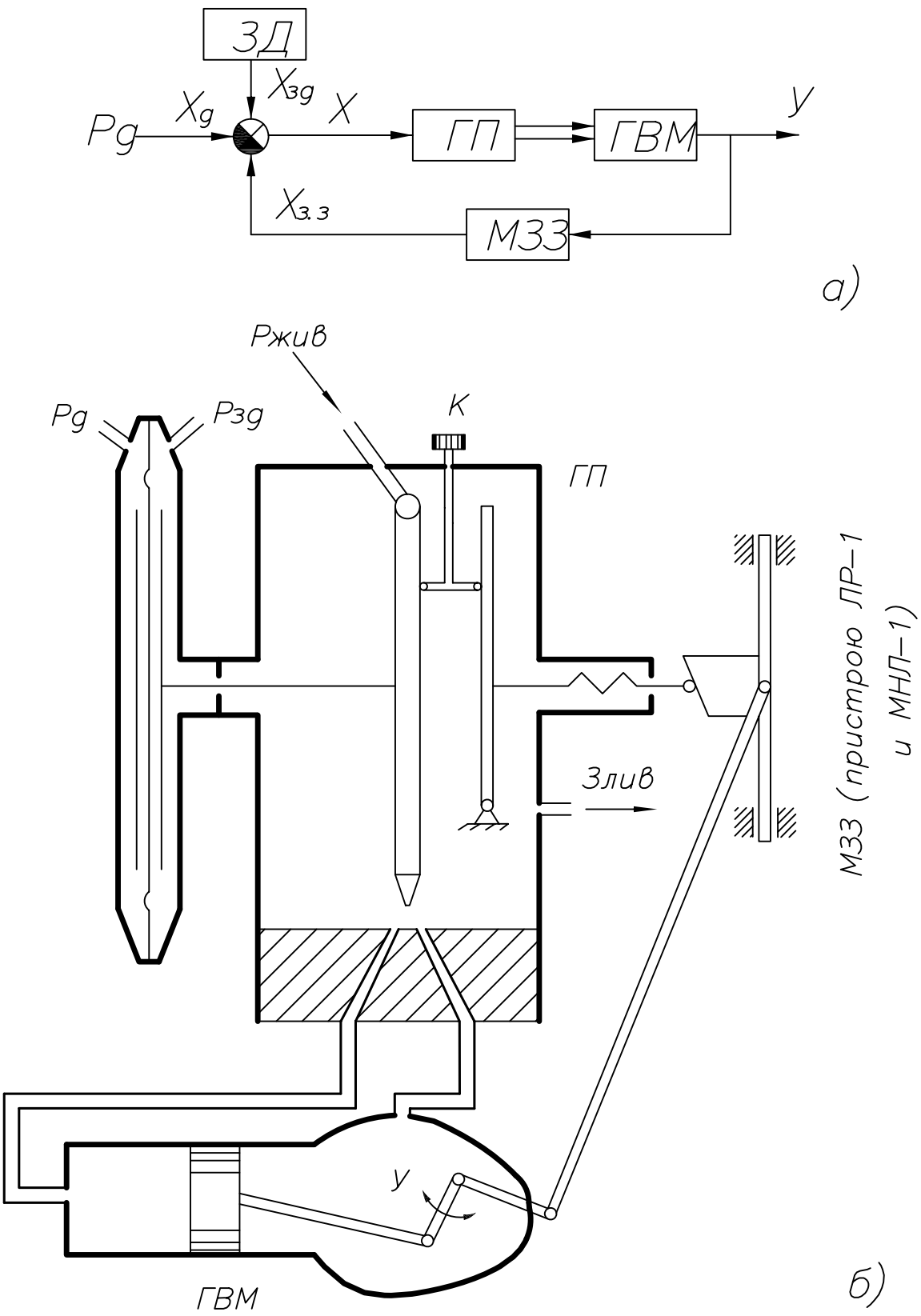


Рис.40Д. Схеми П–регулятору з механ?чним зв
а – структурна; б – принципова

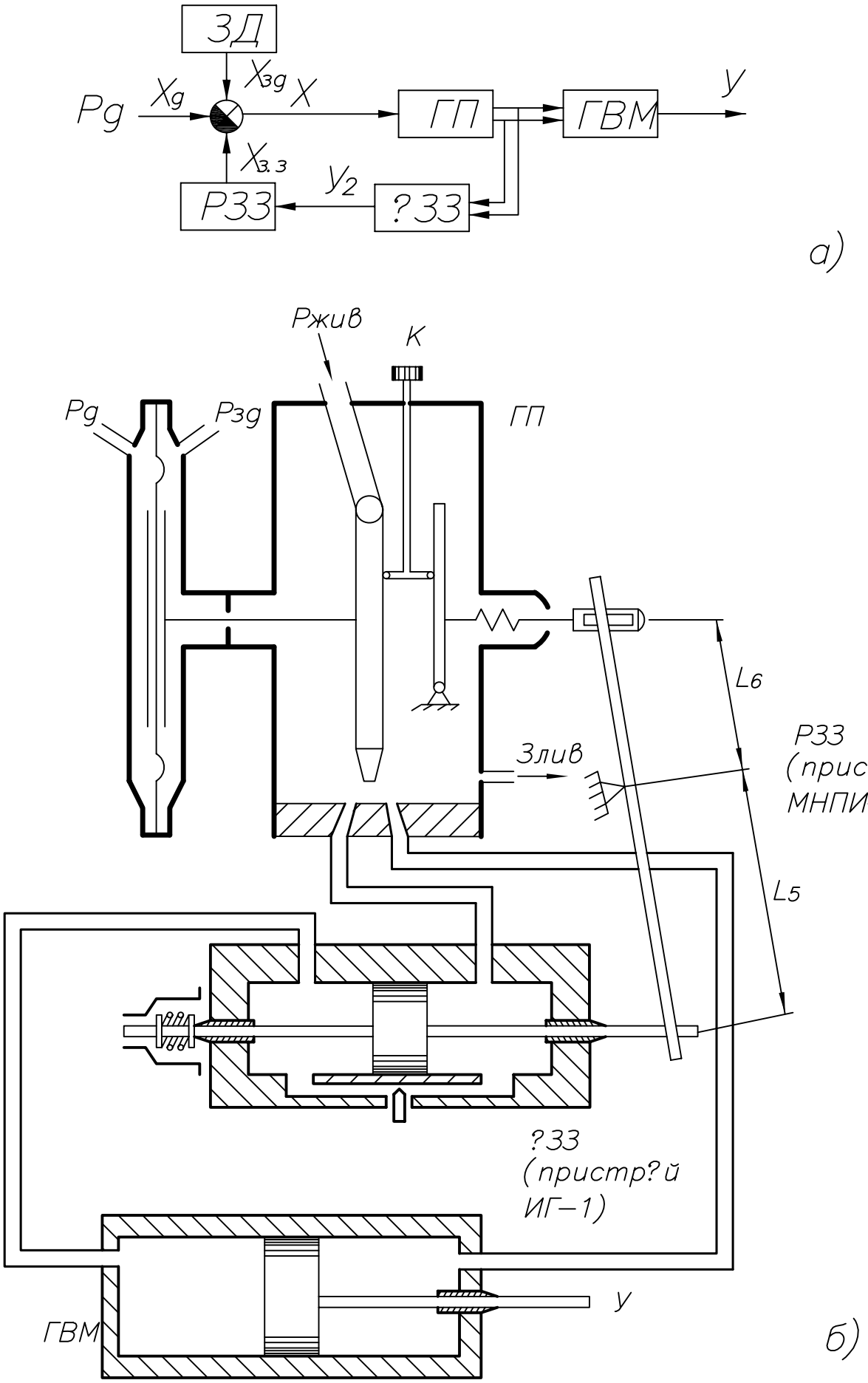


Рис.41Д. Схеми П?–регулятору
а – структурна; б – принципова