

Тема 1. ПОЗИЦІЙНІ ЕЛЕКТРОПРИВОДИ З БЕЗПЕРЕРВНИМИ ЗАКОНАМИ УПРАВЛІННЯ

1.1 Специфіка застосування прецизійних електроприводів

Прецизійними, тобто високоточними, називають електроприводи, здатні відтворювати сигнал, що задає швидкість або переміщення, з високою точністю, швидкодією та передбачуваним характером перехідних процесів.

Електроприводи міцно займають ведуче положення в якості силових виконавчих елементів стаціонарних виробничих транспортуючих систем. Чільне місце електричних приводів зумовлене їхньою здатністю більш точного і швидкого відтворення заданих режимів роботи порівняно з тепловими двигунами, що особливо важливо для ефективної роботи устаткування в умовах загальної автоматизації управління виробничими процесами і транспортними потоками.

В якості керованих перетворювачів для ЕП використовуються тиристорні перетворювачі. Разом з тим все більшого поширення набувають транзисторні силові перетворювачі, що у даний час практично не поступаються тиристорним за такими показниками, як номінальний струм і напруга. Вони, як правило, працюють у режимі широтно-імпульсних перетворювачів, будучи інверторами напруги. Висока швидкодія транзисторних інверторів напруги дозволяє широко застосовувати в електроприводах релейні закони управління рухом, які потенційно забезпечують більш точне і швидке позиціонування виробничих механізмів і систем.

Отже, актуальним є вивчення динамічних режимів релейних систем управління як таких, що найбільшою мірою відповідають вимогам до високоточних позиційних електроприводів. Задачею даної дисципліни є вивчення методик розрахунку та порівняльна оцінка ефективності різних законів управління позиційними електроприводами з метою формування навичок вільної орієнтації проектувальників щодо подальшого застосування оптимальних алгоритмів і структур, що їх реалізують, у прецизійних системах електроприводу.

1.2 Загальні принципи побудови систем управління позиційними електроприводами

Автоматичні системи регулювання положення забезпечують точне позиціонування виконавчого органа робочої машини (ВОРМ) у заданих точках шляху по дискретних сигналах датчиків положення (кінцевих вимикачів) чи при безперервному автоматичному регулюванні положення по відхиленню від заданого значення.

На рис. 1.1 приведена функціональна схема системи управління положенням ЕП по відхиленню: *М* (1-*М*) — ДПС незалежного збудження; *П* — тиристорний перетворювач напруги, що підключається до мережі перемінного струму чи безпосередньо через силовий трансформатор; *РС*, *РШ*, *РП*, *ДС*, *ДШ*, *ДП* -регулятори і датчики струму, швидкості і положення; *ФЧВ* — фазочутливий випрямляч; *ВС*, *ВЕ* — сельсини давач (задатчик) і приймач. На вході *СУ*

ПЕП сумуються сигнал завдання положення φ_3 і сигнал $\varphi_{п}$ від ДП, пропорційний дійсному положенню механізму. На вхід РП надходить сигнал неузгодженості і виробляється сигнал завдання швидкості $U_{зш}$.

СУ ПЕП забезпечує регулювання струму, швидкості і положення. КШ і КС наладжуються так само, як у системі регулювання швидкості. При настроюванні контуру положення в позиційному ЕП, що забезпечує різні переміщення, розглядаються три види переміщення: мале (М), середнє (С) і велике (Б). За виглядом діаграм швидкості ці режими також класифікують як режим малого трикутника, трикутника і трапеції (рисунок 1.2 а,б,в відповідно). При малому переміщенні (рисунок 1.2а), коли швидкість двигуна не досягає робочої номінальної швидкості і струм не досягає значення струму обмеження, система лінійна.

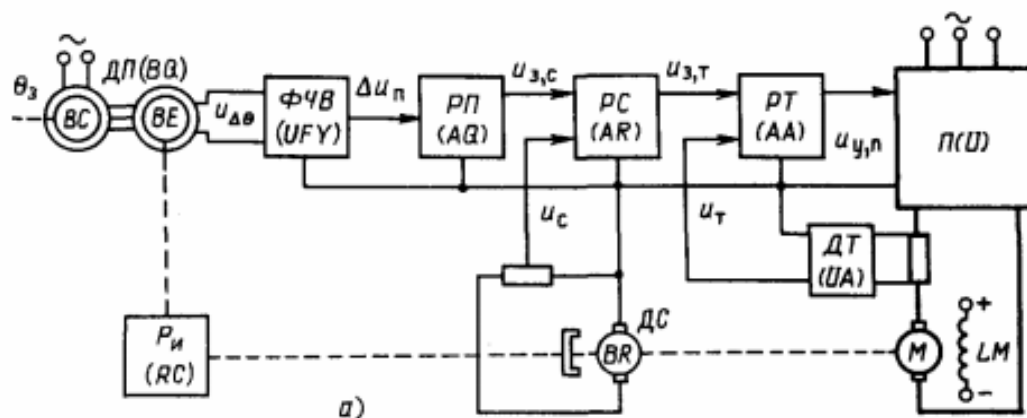


Рисунок 1.1 - Функціональна схема аналогової системи управління позиційним електроприводом

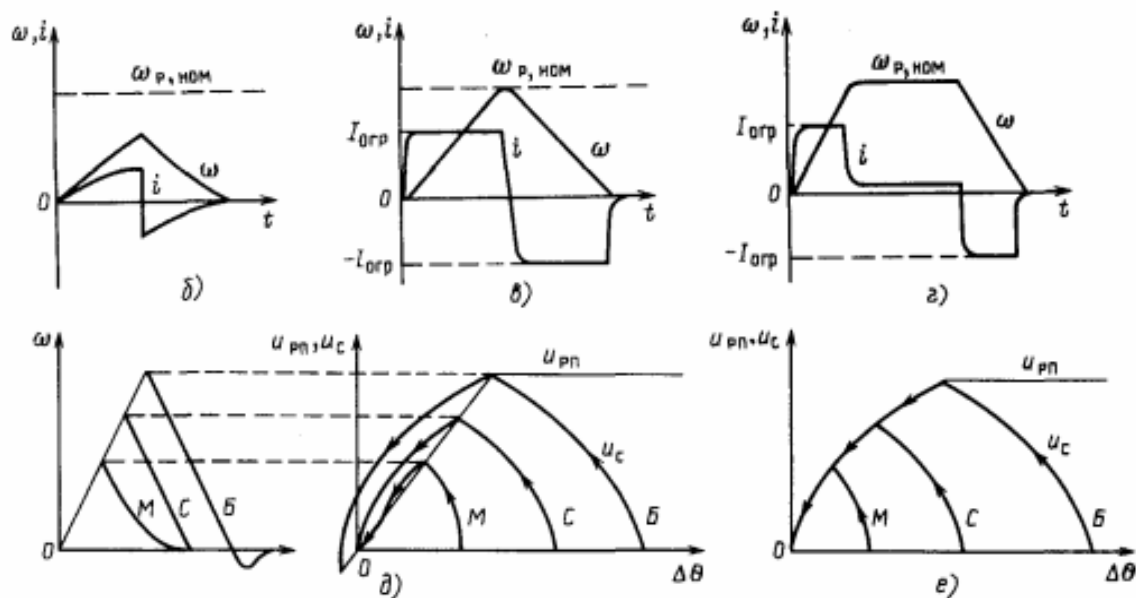


Рисунок 1.2 - Перехідні процеси системи управління позиційним електроприводом

1.3 Налаштування регулятора положення

Для відпрацювання малих переміщень контур положення наладжується на технічний оптимум і приймається пропорційний (П) РП із передатною функцією, що визначає його коефіцієнт підсилення:

$$W_{\text{рп}}(p) = k_{\text{рп}} = \frac{k_{\text{ом}}}{8T_{\mu}k_{\text{оп}}},$$

де $k_{\text{ом}}, k_{\text{оп}} = \frac{1}{k_p}$ — коефіцієнти зворотних зв'язків по швидкості і положенню; T_{μ} — мала некомпенсована стала часу, прийнята при налаженні КС і КШ; k_p — передатне відношення редуктора ($k_p = 1$ при відсутності редуктора).

Такий РП забезпечує оптимальний перехідний процес з $\sigma=6,2\%$ і $T_p = 13,6T_{\mu}$. Точність позиціонування визначається статичною погрішністю, рівної при $\omega = 0$ і налаженні на ТО

$$\Delta\phi_{\text{ст}} = 32T_{\mu} \frac{M_c}{J}, \text{ де } J \text{ — момент інерції ЕП.}$$

При великих значеннях M_c погрішність $\Delta\phi_{\text{ст}}$ виявляється великою і по якору нерухомого двигуна може протікати великий струм.

РП наладжується на велике переміщення, коли швидкість і струм досягають рівнів обмеження. У цьому випадку

$$k_{\text{рп}} = \frac{2k_{\text{ш}}\epsilon_{\text{max}}}{k_{\text{оп}}\omega_{\text{max}}},$$

де $\epsilon_{\text{max}} = \frac{M_{\text{max}} - M_c}{J}$ — максимальне уповільнення при гальмуванні

двигуна; $M_{\text{max}} = \frac{I_{\text{max}}}{c}$ — максимальний момент двигуна.

Однак при таких налаженні точне позиціонування забезпечується при великих переміщеннях, а при малому (М) і середньому (С) воно забезпечується з дотягуванням. Це видно на фазових траєкторіях напруги зворотного зв'язку по швидкості u_c у функції переміщення $\Delta\phi$, накладених на характеристику РП (рисунок 1.26).

Тому поширеним є налаження РП на середнє переміщення, коли швидкість не досягає рівня обмеження. У цьому випадку

$$k_{\text{рп}} = \frac{2k_{\text{ш}}\epsilon_{\text{max}}}{k_{\text{оп}}\omega_{\text{розр}}},$$

де $\omega_{\text{сєр}}$ - середня швидкість в режимі "трикутника".

Однак при таких налаженні точне позиціонування забезпечується тільки при середньому розрахунковому переміщенні (З), а при малому (М) і великому

(Б) воно забезпечується відповідно з дотягуванням і перерегулюванням. Це видно на фазових траєкторіях напруги зворотного зв'язку по швидкості u_c у функції переміщення $\Delta\phi$, накладених на характеристику РП (рисунок 1.2б).

Для того щоб при середніх і великих переміщеннях забезпечувалося точне позиціонування (рисунок 1.2в), застосовують параболічний РП із коефіцієнтом підсилення, що є функцією похибки позиціонування.

Згідно зв'язку між координатами СУЕП при рівноуповільненому гальмуванні з $\epsilon = -\epsilon_{\max}$, який виражається залежностями: $\omega = \epsilon_{\max} t$; $\phi = \frac{\epsilon_{\max} t^2}{2}$, де t - зворотний час, відрахований від моменту зупинки, виключивши з формул час на інтервалі траєкторій від початкової швидкості гальмування до зупинки, отримаємо:

$$k_{\text{рп}} = \sqrt{\frac{2\epsilon_{\max}}{\Delta\phi}}.$$

За початкову швидкість двигуна при гальмуванні приймається рівень обмеження швидкості ω_{\max} , що дозволяє відпрацювати за оптимальними перехідними траєкторіями весь діапазон середніх та великих переміщень.

Такий регулятор формує при гальмуванні завдання на швидкість для внутрішніх контурів СУЕП, яке дорівнює $\omega_3 = \sqrt{2\epsilon_{\max} \Delta\phi}$ при $\omega_3 < \omega_{\max}$.

Але $k_{\text{рп}} = \sqrt{\frac{2\epsilon_{\max}}{\Delta\phi}} \rightarrow \infty$ при $\Delta\phi \rightarrow 0$, що спричиняє втрату системою

стійкості в області малих похибок та призводить до виникнення автоколиваний в статичних режимах.

Для усунення автоколиваний СУЕП в області точки рівноваги застосовують лінеаризацію ("спрямлення") початкового участку статичної характеристики параболічного РП. В результаті отримують регулятор положення змінної

структури з параболічною характеристикою $k_{\text{рп}} = \sqrt{\frac{2\epsilon_{\max}}{\Delta\phi}}$ для середніх і вели-

ких переміщень і початковою лінійною ділянкою з пропорційним алгоритмом

управління $k_{\text{рп}} = \frac{k_{\text{ос}}}{8T_{\mu} k_{\text{оп}}}$ або $k_{\text{рп}} = \frac{2k_{\text{ш}} \epsilon_{\max}}{k_{\text{оп}} \omega_{\text{розр}}}$ залежно від рівня похибки, за

якого відбувається переключення структур, тобто перехід між параболічною та лінійною характеристиками.

1.5 Система підпорядкованого регулювання тиристорного ЕП

Система регулювання швидкості виконується двоконтурною з КШ і КС (рисунок 1.4). Вона містить: M, LM — якор і обмотку збудження ДПС; Π — тиристорний перетворювач напруги (ТП); $PШ, PC$ — регулятори швидкості і струму, з операційними підсилювачами $B1$ і $B2$; $ДШ, ДС$ - датчики швидкості і струму із шунтом RS ; $A3$ - аперіодична ланка; $ЗИ$ — задатчик інтенсивності. РШ приймається з обмеженням вихідної напруги, здійснюваного за допомогою стабілітронів VI і $V2$, що обмежує напругу завдання струму $U_{зс}$ і, відповідно, струм двигуна.

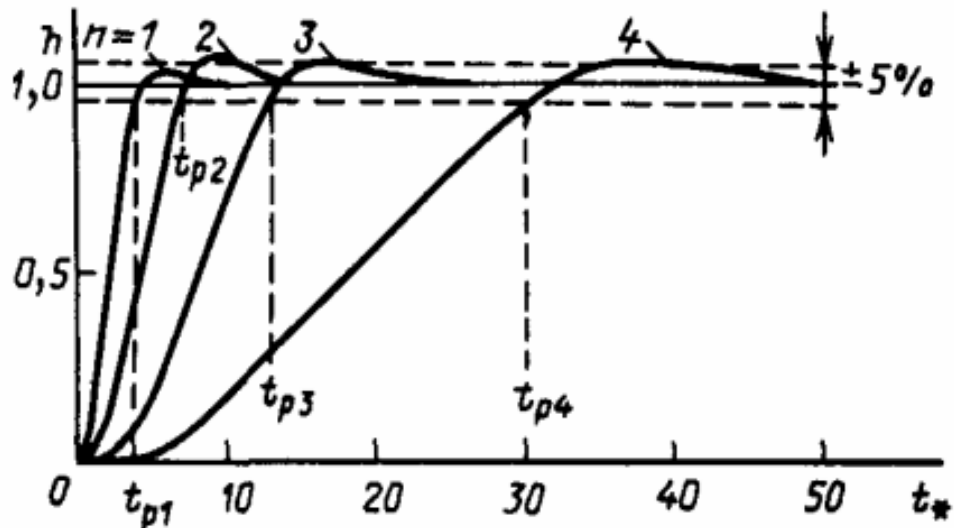


Рисунок 1.3 - Перехідні процеси в системі підпорядкованого регулювання

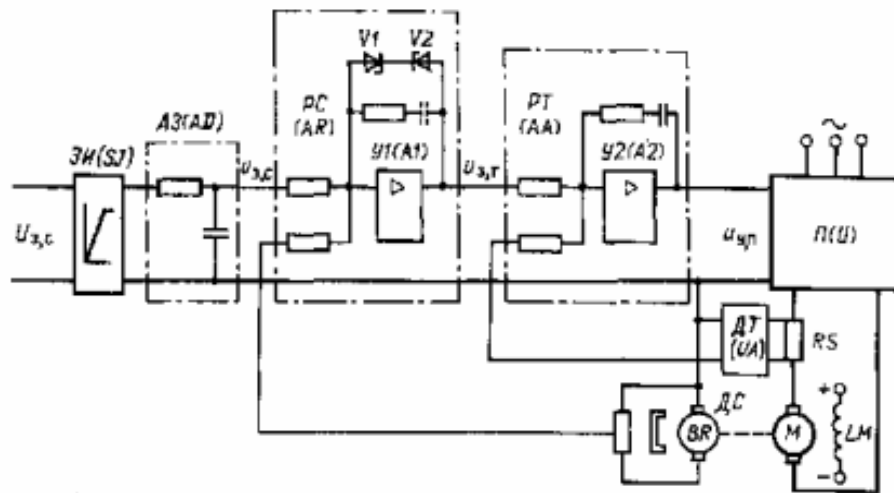


Рисунок 1.4 - Система підпорядкованого регулювання

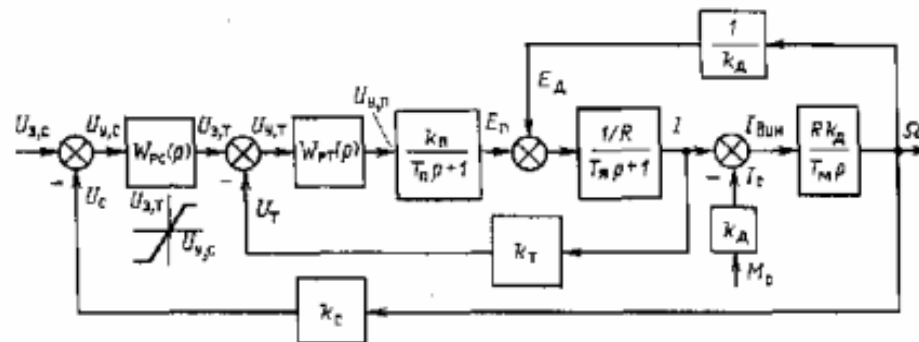


Рисунок 1.5 - Структурна схема системи підпорядкованого регулювання

В еквівалентній структурній схемі системи (рисунок 1.5) ТП приймається інерційним з малою некомпенсованою сталою часу $T_{\mu} = T_n$. Налаштування КС при задаючому впливі виконується за ТО і приймається пропорційно-інтегральний регулятор струму ПІ РС. Перехідний процес такого контуру відповідає рисунку 1.3 і має коливальний характер з перерегулюванням $\sigma=4,3\%$. Він використовується для налаштування контуру при нерухомому двигуні і відключеній його обмотці збудження.

КШ може налаштовуватися на ТО чи СО. При налаштуванні на ТО виходить однократно інтегруюча система. Перехідний процес швидкості при одиничному стрибку завдання швидкості має коливальний характер $\sigma=8\%$ і $t_p = 7T_n$ і приведений на рисунку 1.6 (крива 1). Перехідний процес струму (крива 2) при одиничному стрибку напруги контуру, що задає, має коливальний характер з перерегулюванням $\sigma=4,3\%$.

EMX у такій системі при стабілізації швидкості — статична, зі статизмом, обумовленим статичним падінням швидкості в розімкнутій системі $\Delta\omega = IRk_d$.

При налаштуванні КШ на СО виходить дворазово інтегруюча система. Графік перехідного процесу зображений штриховою лінією на рисунку 1.6,

(крива 3). Процес коливальний форсований $\sigma = 53\%$. Графік струму зображений штриховою лінією (крива 4).

Для виключення дії, що форсує, ПІ РШ на вхід системи включається апериодична ланка АЗ (рисунок 1.12) з передатною функцією $W(p) = \frac{1}{8T_n + 1}$.

Перехідний процес швидкості в такій системі коливальний із $\sigma = 6,2\%$, $t_p = 13,6T_n$; він представлений штрихпунктирною лінією на рис. 1.6, крива 5, 6.

При обмеженні струму двигуна за допомогою РШ система забезпечує сталість струму і прискорення (рисунок 1.6б). Для зміни необхідного прискорення у таких системах застосовується задатчик інтенсивності ЗИ, що забезпечує необхідний темп наростання вхідного сигналу (рисунок 1.6в).

Структурні схеми для аналізу реакції статичної та астатичної систем на збурюючі впливи представлені на рисунку 1.7а,б. Графіки швидкості і струму при ударному прикладенні навантаження в одноразово інтегруючій системі приведені на рисунку 1.7в, у (криві 1 і 2). Вони мають оптимальний характер, тому що система, оптимізована по задаючому впливові, оптимізована і по збурюючому впливові. Струм двигуна при впливові по навантаженню змінюється за тим же законом, що і швидкість двигуна при задаючому впливові. Система статична по навантаженню.

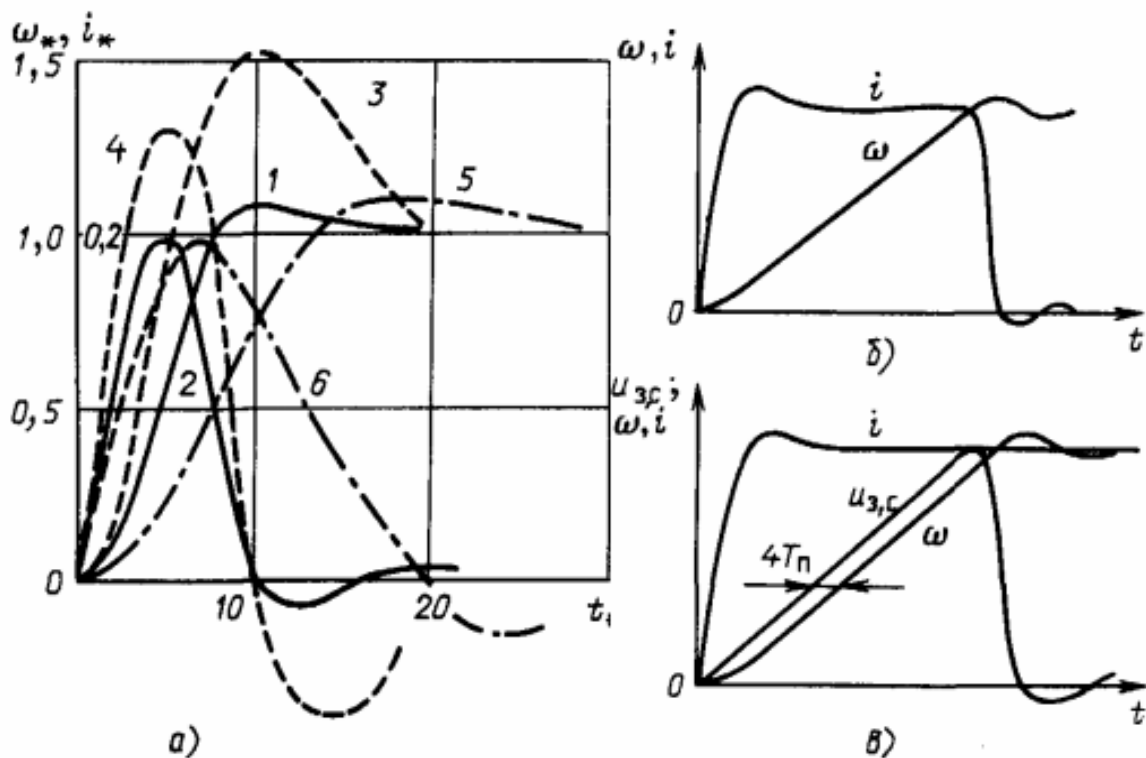


Рисунок 1.6 - Перехідні процеси в системі: а) без обмежень; б) з обмеженням струму і тапруги; в) з задавачем інтенсивності

У дворазово інтегруючій системі з ПІ-РШ перехідні процеси струму і швидкості при збурюючому впливові показані на рисунку 1.7 штриховими лініями (криві 3 і 4). Система астатична по навантаженню. Струм змінюється з перерегулюванням $\sigma = 53\%$, як швидкість при впливі, що задає. Аперіодична ланка на вході системи, так само як і задатчик інтенсивності, дозволяє при впливах, що збурюють, по навантаженню одержати оптимальні перехідні процеси струму.

Розглянуті діаграми перехідних струмів і швидкостей електропривода в системах з безперервними законами управління дозволяють зробити висновок про невідповідність виду цих діаграм розрахунковим кривим, по яких ведеться синтез оптимальних законів управління положенням. Перерегулювання і до-тяжки по швидкості і струму (прискоренню), властиві експонентним перехідним процесам лінійних підсистем регулювання швидкості і струму, роблять вкрай неефективним застосування параболічних алгоритмів управління по-позиціями, рассчитаных по прямокутних діаграмах прискорень. Ця обставина вимагає створення для позиційних СУЕП внутрішніх контурів із граничною швидкодією і точністю, що здатні забезпечити тільки релейні регулятори.

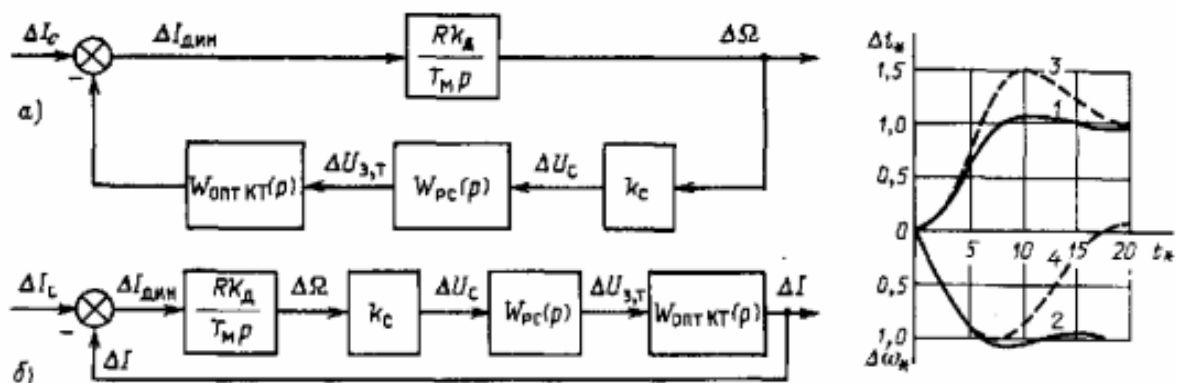


Рисунок 1.7 – Реакція СУЕП при ударному прикладанні навантаження: структурні схеми з впливом а) на швидкість, б) на струм; в) та перехідні процеси в СУЕП при ударному прикладанні навантаження: 1,2 -статична система; 3,4 - астатична системи

Контрольні питання

- 1 Які властивості відповідають визначенню „прецизійний електропривод”?
- 2 Які вимоги накладають автоматизовані технологічні установки на показники якості регулювання швидкості електроприводу?
- 3 Який характер перехідного процесу позиційної системи є вкрай небажаним за технологічними умовами?

4 Що є головним недоліком системи підпорядкованого регулювання швидкості електроприводу з пропорційним регулятором швидкості та ІІ регулятором струму ?

5 За яких умов похибка регулювання швидкості системи ТП-Д з пропорційним регулятором швидкості та ІІ регулятором струму буде мінімальною ?

6 За яких умов похибка регулювання швидкості системи ТП-Д з ІІ регулятором швидкості та ІІ регулятором струму буде мінімальною ?

7 Якими є характерні риси перехідних траєкторій режиму малих переміщень ?

8 Якими є характерні риси перехідних траєкторій режиму середніх переміщень ?

9 Якими є характерні риси перехідних траєкторій режиму великих переміщень ?