Змістовий модуль 5 – Регулювання електро- та гідродвигунів

Тема 18. Регулювання струму електроприводу.

Загальні положення. Регулювання моменту двигунів є однією з найбільш загальних функцій автоматизованого електроприводау. Необхідність регулювання моменту диктується технічними і технологічними вимогами.

Для нормального функціонування електроприводу необхідно при його роботі обмежувати момент і струм двигуна припустимими значеннями в перехідних процесах пуску, гальмування і навантаження. Для механізмів, що мають при роботі значні перевантаження аж до зупинки робочого органу, виникає необхідність безперервного регулювання моменту електроприводу з метою обмеження динамічних ударних навантажень механічного устаткування. У багатьох практичних випадках потрібне точне дозування зусиль на робочому органі. Найбільш характерні в цьому відношенні промислові маніпулятори і роботи, зокрема маніпулятори, що обслуговують реактори на атомних електростанціях, маніпулятори з відображенням зусиль, створюваних на робочому органі, і т.ін. Вказані вимоги забезпечуються точним регулюванням моменту електропривода.

У результаті вивчення матеріалів даної глави необхідно знати засоби і можливості регулювання моменту в розімкненій і замкненій електромеханічній системах, навчитися оцінювати основні показчики регульованого за моментом електроприводу.

Реостатне регулювання моменту. Значення моменту $\mathbf{M}$ і швидкості $\boldsymbol{\omega}$ при заданому навантаженні $\mathbf{M_C}$ на кожному етапі роботи електроприводу обумовлюються його механічною характеристикою. Змінюючи параметри і впливи, від яких залежить механічна характеристика, можна змінювати в необхідному напрямку момент, що розвивається двигуном за даною швидкістю,

і у такий спосіб регулювати момент електроприводу, а також зв'язані з ним струм силового ланцюга і прискорення рухомих мас системи.

Аналізуючи рівняння статичної механічної характеристики узагальненого двигуна з лінійною механічною характеристикою:

$$\mathbf{M = \beta\,(n_0 - n),} \qquad (7.1)$$

де **β** – модуль жорсткості ($\boldsymbol{\beta = k_E\, k_M\, \Phi^2 / R_{я\Sigma}}$) можна укласти, що за даних параметрах відхилення моменту від необхідного значення тим більше, чим вище модуль жорсткості **β**. Іншими словами, при регулюванні моменту електромеханічний зв'язок є сильним збурюванням, і з погляду регулювання моменту найбільш ефективні зміни параметрів, що дозволяють необмежено зменшувати модуль статичної жорсткості **β**. Таким параметром є опір якірного ланцюга двигуна $\mathbf{R_{я\Sigma}}$. Схеми реостатного регулювання моменту і струму наведені на рис. 7.1, *а* . На рис. 7.1, б природна характеристика $\mathbf{M = f(\omega)}$ (пряма 1) і характеристика 2, відповідають певному додатковому резисторові в

Рисунок 7.1 – Схема реостатного регулювання моменту (*а*) і відповідні механічні характеристики (*б)* двигуна постійного струму з незалежним порушенням

силовому ланцюзі. Точність регулювання моменту за характеристикою 2 обумовлюється в заданих межах зміни швидкості електроприводу $\boldsymbol{\Delta\omega_{max} = \omega_{max} - \omega_{min}}$. Практично потрібно при широких межах зміни швидкості (пуск, реверс) підтримувати зміни моменту і струму в заданих межах від $\mathbf{M_{max}=M_1}$ до $\mathbf{M_{min} = M_2}$. Для виконання цієї умови потрібна східчаста або

плавна зміна $\mathbf{R_{доб}}$ у міру зміни швидкості. Отже, для підтримки моменту постійним необхідно збільшувати опір силового ланцюга в лінійній залежності від швидкості в міру її зниження. Аналогічні характеристики справедливі і для двигуна з послідовним збудженням для струмів якоря $\mathbf{I_1 = const}$ і $\mathbf{I_2 = const}$ (рис. 7.2, б). Графіки на рис. 7.2 дозволяють наочно оцінювати число східців регулювального резистора **R**, необхідне для підтримки моменту і струму в заданих межах під час пуску електроприводу. Незмінний опір $\mathbf{R_{яΣ} = R_1 = const}$ забезпечує підтримку моменту в межах $\mathbf{M_2 < M < M_1}$ при зміні швидкості від **0** до $\boldsymbol{\omega_1}$(прямі 7 і 8).

Діапазон реостатного регулювання моменту і струму обмежений зверху перевантажувальною здатністю двигуна, а межі зміни швидкості, у яких можна одержати задану точність регулювання, зменшуються із зростом $\boldsymbol{\beta}$, тобто в міру зменшення $\mathbf{R_{доб}}$. Плавність реостатного регулювання моменту і струму в розімкненій системі незначна. У зв'язку з необхідністю перемикань у

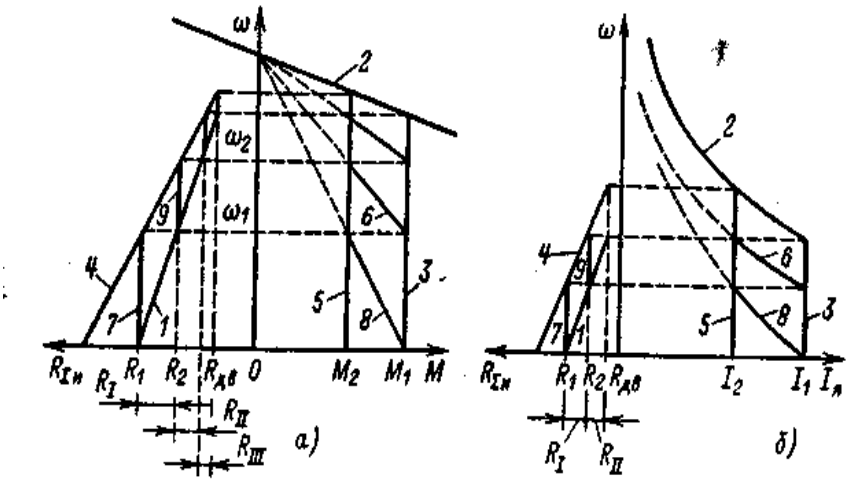

Рисунок 7.2 – Залежності $\mathbf{R_{ΣН} = f(\omega)}$ при реостатному регулюванні моменту

силовому ланцюзі двигуна одержання великого числа східців реостата пов'язано зі збільшенням габаритів комутуючого устрою. Однак є випадки, коли за високої необхідної точності регулювання моменту в перехідних

процесах пуску і гальмування передбачають значне число східців реостата і відповідне збільшення розмірів і вартості станцій управління. При цьому збільшення габаритів і вартості станцій управління окупається простотою і надійністю даного способу регулювання моменту.

Система джерело струму – двигун. Сприятливі умови для регулювання моменту двигуна постійного струму з незалежним збудженям забезпечуються при живленні якірного ланцюга від джерела струму.

Схема електроприводу за системою джерело струму – двигун (ДС–Д) наведена на рис. 7.3. Тут якорем двигуна тече струм $\mathbf{I_я=const}$, а управління електроприводом здійснюється впливом на ланцюг збудження шляхом зміни напруги $\mathbf{U_В = var}$ і відповідно струму збудження $\mathbf{I_в = var}$.

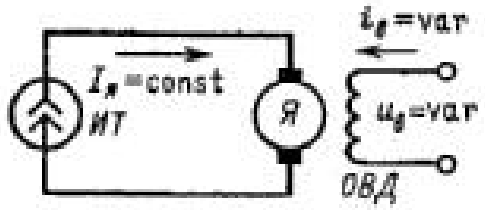

Рисунок 7.3 – Система ДС -Д

За незмінного струму якоря момент двигуна $\mathbf{M = kI_{ном}Ф = k_мФ,}$ тому, змінюючи потік двигуна, можна регулювати момент як за значенням, так і за знаком. Живлення двигуна від джерела струму цілком виключає електромеханічний зв’язок, тому будь-які зміни швидкості і відповідно ЕРС двигуна компенсуються без запізнювання зміною ЕРС джерела живлення. При цьому струм навантаження підтримується незмінним. При $\mathbf{Ф = const}$ двигун розвиває постійний момент при будь-яких збурюваннях, у тому числі і при реальних межах зміни швидкості.

Для одержання *знакозмінного* моменту в даному випадку не потрібно зміни напрямку струму якоря, тому джерело струму може мати однобічну провідність. Ці умови обумовлюють мінімальні габарити керованого вентильного перетворювача, на базі якого може бути реалізоване джерело струму, наприклад тиристорного перетворювача, замкненого швидкодіючим зворотним зв'язком за струмом. Використання керованого перетворювача дозволяє розширити діапазон регулювання моменту шляхом збільшення струму якоря на окремих етапах роботи електроприводу до значень, припустимих за умовами комутації. Однак найбільш прості схемні рішення з високими показчиками якості регулювання моменту утворюються при використанні параметричних джерел струму, принцип дії яких заснований на явищі резонансу в ланцюзі змінного струму, що містить індуктивні і ємнісні елементи. Найбільш поширений варіант трифазної схеми джерела струму для живлення двигуна постійного струму наведений у [7 , рис. 6.8].

Реостатне регулювання моменту асинхронного електроприводу. Високу плавність регулювання забезпечують засоби автоматичного регулювання опору $\mathbf{R_{доб}}$ з метою підтримки моменту. Як приклад, на рис. 7.4 наведена функціональна схема релейного автоматичного регулювання струму ротора і моменту асинхронного двигуна.

В схемі (рис. 7.4, *а*) у ланцюг ротора введений спрямлювач **В.** Додатковий резистор $\mathbf{R_{доб}}$ включений у ланцюг спрямленого струму з послідовно згладжуючим реактором **Р**. Комутація додаткового резистора провадиться за допомогою вентильного ключа **ТК**, закрите і відкрите становища якого обумовлюються вихідною напругою релейного елементу **РЕ**. На вхід релейного елементу подається сигнал, пропорційний різниці напруги, що задається $\mathbf{U_{з.т}}$ і напруги зворотного зв'язку за струмом $\mathbf{U_{о.т.}}$ Характеристика релейного елементу наведена на рис. 7.4, б: перехід від відкритого стану ключа до закритого здійснюється за сигналом на вході $\mathbf{U_{вх} = U_{з.т}}$, зворотне

переключення – при $\mathbf{U_{вх} = U_0}$. Як показано на рисунку, ці перемикання відповідають значенням струму $\mathbf{I_{нач.з}}$, $\mathbf{I_{нач.о.}}$ Чим вища чутливість релейного елементу, тим вища точність регулювання струму. Однак при цьому зростає максимальна частота релейного регулювання моменту і струму двигуна

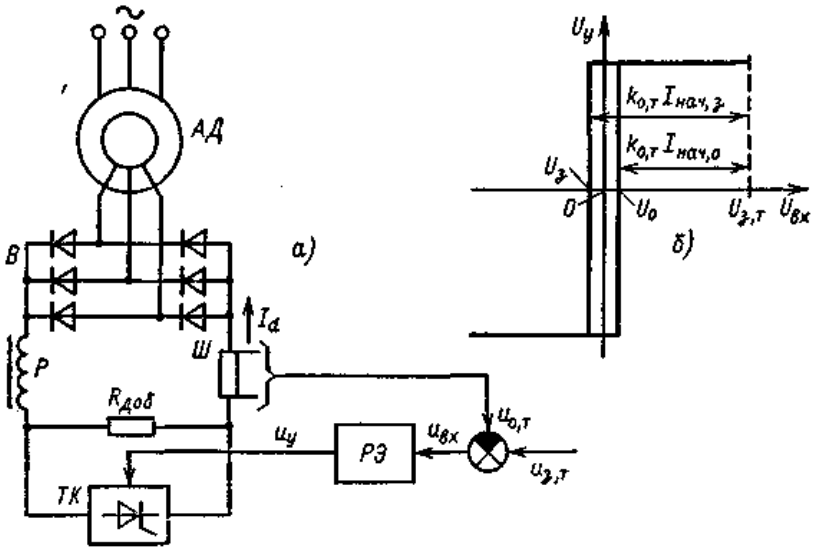

Рисунок 7.4 – Релейна схема реостатного регулювання моменту (*а*) і характеристика релейного елементу (*б*)

Частотне регулювання моменту асинхронного електроприводу. Важливою особливістю асинхронного електроприводу є відсутність простих засобів виміру електромагнітного моменту двигуна. Без вживання спеціальних заходів реалізувати зворотний зв’язок за моментом за допомогою зв’язку за струмом, як в електроприводі постійного струму, тут не вдається.

Керованість асинхронного електроприводу аналогічна керованості електроприводу постійного струму при **U = const** і **Ф = const** і забезпечується шляхом одночасного регулювання частоти $\boldsymbol{f_1}$ і напруги $\mathbf{U_1}$ або струму $\mathbf{I_1}$ статорної обмотки. Цей спосіб регулювання моменту реалізується в системі ПЧ – АД [7, рис 5.9]

У багатьох практичних випадках від автоматичного регулювання моменту за відхиленням відмовляються і вдаються до використання компенсаційного способу управління за допомогою позитивного зворотного зв’язку за швидкістю.

Як показано на рис. 7.5 для виміру швидкості на валу двигуна встановлюється тахогенератор **ТГ**, ЕРС якого $\mathbf{E_{тг}=k_{пс}\omega}$ за потоку $\mathbf{\Phi_{тг}=const.}$ У схемі із *інвертором напруги* ІН передбачається функціональний перетворювач **ФП**, на вхід якого подається сигнал $\boldsymbol{u_{у.ч}}$, пропорційний $\boldsymbol{\omega}$ двигуна, і сигнал $\boldsymbol{u_{з.м}}$, пропорційний абсолютному ковзанню $\mathbf{S}_а$. Сигнал помилки $\Delta = \boldsymbol{u_{з.м}} - \mathbf{k_{пс}\omega}$ через регулятор моменту **РМ** надходить на інвертор напруги ІН. Сигнал завдання моменту пропорційний абсолютному ковзанню

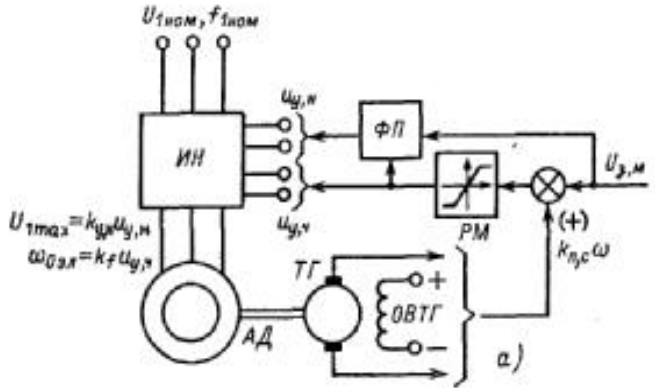

Рисунок 7.5 – Схема частотного регулювання моменту з інвертором напруги

двигуна $\mathbf{S_a}$, тому розглянутий компенсаційний спосіб іноді називають управлінням по абсолютному ковзанню.

Тема 19. Регулювання швидкості обертання електроприводу.

Основні показчики, що характеризують регулювання швидкості.

Під регулюванням швидкості обертання електроприводів будемо розуміти примусову зміну її величини в заданих межах, обумовлених вимогами технологічного процесу. При цьому поняття регулювання швидкості не слід змішувати з природною зміною швидкості електроприводу, що працює на даній механічній характеристиці при зміні навантаження на валові виконавчого механізму.

Регулювання швидкості обертання електроприводів обумовлюється різноманітними вимогами технологічного процесу з метою збільшення продуктивності, поліпшення якості продукції, забезпечення стабільності протікання процесу.

Регулювання швидкості електроприводу може бути зроблене як механічним шляхом (зміною передаточного числа між валами двигуна і виконавчого механізму), так і електричними спобами. Електричне регулювання швидкості електроприводу має *переваги* перед механічним за своїми технічними і економічними показчиками. Швидкість обертання електроприводу можна регулювати **зміною** величини живильної **напруги** або його **частоти**, введенням додаткових **опорів** у силові ланцюги і ланцюги збудження, **переключенням** обмоток і ін. У результаті двигун починає працювати на новій, штучній механічній характеристиці, і тому можна сказати, що регулювання швидкості двигуна зводиться до зміни його механічної характеристики. Основними показчиками регулювання швидкості обертання електроприводів є:

– **діапазон**, чи межа регулювання $k_{пр}$, під яким розуміють відношення максимальної швидкості обертання n_{max} до мінімальної n_{min}**(**$k_{пр} = n_{max} / n_{min}$**).** Це відношення виражається з в числах, наприклад 1:1, 2:1, 25:1 і т.д. Застосування замкнених систем регулювання дозволяє збільшити діапазон регулювання до $k_{пр}$ **= (100…500):1** і більше;

– **плавність** регулювання характеризують числом ступенів швидкостей, що можливо одержати в заданому діапазоні регулювання. Чим більше фіксованих швидкостей у заданому діапазоні регулювання, тим вища плавність регулювання. Плавність регулювання $k_{пл}$ визначають відношенням швид-костей обертання двигуна на двох сусідніх рівнях регулювання $k_{пл} = n_{i+1} / n_i$. Чим ближче $k_{пл}$ до одиниці, тим більш плавне регулювання;

– напрямок регулювання, тобто зміна швидкості приводу щодо швидкості за роботи на природній механічній характеристиці. Регулювання в напрямку зменшення швидкості називають регулюванням вниз, а в напрямку збільшення – регулюванням нагору;

– **припустиме навантаження** при регулюванні. Ряд механізмів вимагає навантажувального графіка роботи виконавчого механізму при регулюванні швидкості за постійного моменту, інші — за постійнійної потужності. Електродвигун має найбільший ККД при повному навантаженні. Тому бажано застосовувати такий метод регулювання, при якому двигун по можливості був би повністю завантажений при всіх швидкостях;

– **стабільність** роботи приводу на необхідній швидкості при довільній зміні навантаження. Стабільність характеризується невеликими змінами відносного значення швидкості за зміни навантаження. Цей показчик має важливе значення для приводів з великим діапазоном регулювання при роботі на малих швидкостях;

– **економічність** регулювання, що обумовлюється вартістю створення системи регулювання з витратами на експлуатацію. Важливим показчиком

експлуатаційних витрат є величина втрат потужності в регулюючих устроях, оцінюваних за допомогою ККД регулювання.

Штучні механічні характеристики двигуна незалежного збудження. Аналіз рівняння (6.7) показує, що штучні механічні характеристики можна дістати за рахунок зміни електричних величин **U, Ф** та $\mathbf{I_я}$, тобто за рахунок зміни $\mathbf{n_0}$ і $\mathbf{\Delta n}$.

Зміна напруги U, що живить якір двигуна, призводить до зміни швидкості ідеального холостого ходу $\mathbf{n_0}$. Крутість характеристики при цьому не

змінюється. Тому штучні механічні характеристики при зміні **U** рівнобіжні природній характеристиці (рис. 8.1, *а*).

Вмикання додаткового опору в якірний ланцюг двигуна призводить до збільшення крутості характеристики за рахунок $\mathbf{\Delta n = f(R_я + R_i)}$, а швидкість

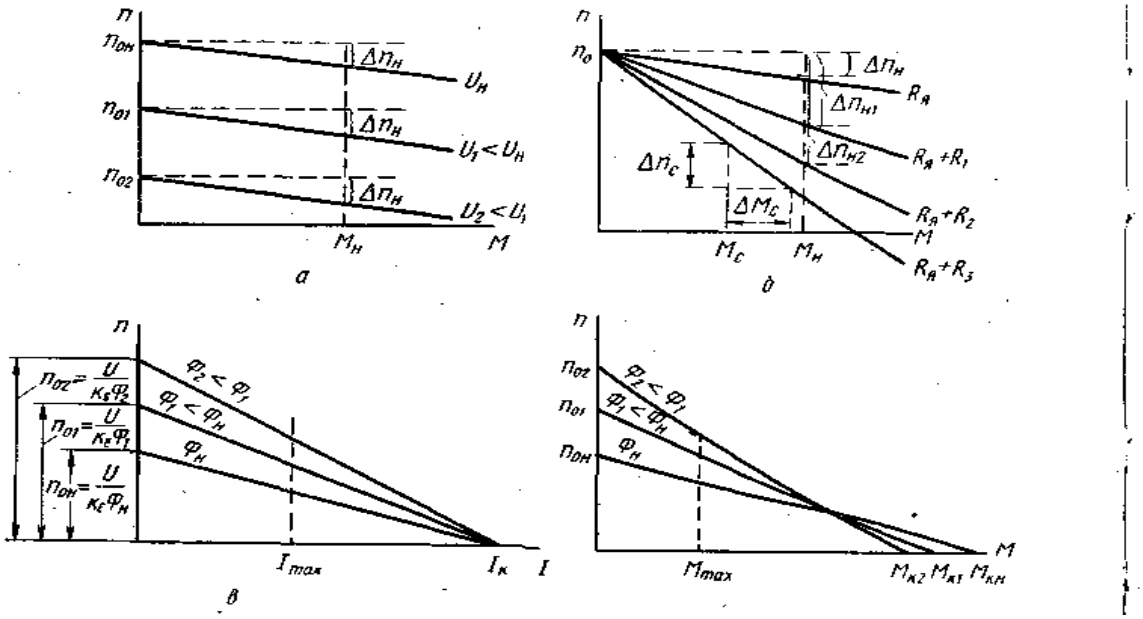

Рисунок 8.1 – Штучні механічні характеристики двигуна незалежного збудження

ідеального холостого ходу при цьому не змінюється (рис. 8.1, б). Прийнято говорити, що вмикання в ланцюг якоря додаткового опору зм'якшує механічну характеристику.

Зміна величини магнітного потоку (зміна струму збудження) призводить до зміни швидкості ідеального холостого ходу $\mathbf{n_0=U/(k_E\Phi)}$ і перепадові швидкості обертання за даним моментом **M.** Зміна струму збудження (магнітного потоку) легко здійснити, наприклад, вмиканням у ланцюг збудження двигуна додаткового опору. Характеристики $\mathbf{n = f(I)}$ мають вигляд, наведений на рис. 8.1, *в.* Як видно із рис. 8.1, *г* криві $\mathbf{n = f(M),}$ побудовані для різних значень потоків, перетинаються при значеннях моментів двигунів, близьких до значень моментів короткого замикання.

Механічні характеристики двигуна незалежного збудження при гальмових режимах. Розглянуті характеристики $\mathbf{n}= f\ (\mathrm{M})$ відносяться до випадку, коли двигун переборов момент навантаження та обертався в напрямку моменту, що розвивається двигуном, тобто момент і швидкість мали позитивні значення. На рис. 8.2, *а…г* зображений ряд можливих схем включення електроприводу підйомного механізму з двигуном незалежного збудження і показані механічні характеристики (рис. 8.2, *д)*, що дозволяють проаналізувати відповідні режими роботи двигуна.

Для здійснення режиму підйому номінального вантажу **Гр** зі швидкістю $\mathbf{V_{п.гр}}$ двигун включається за схемою, показаній на рис. 8.2, *а*. Усталений режим підйому визначається на рис. 8.2, *д* природною механичною характеристикою двигуна 1, причому прийнято, що статичний момент при підйомі вантажу $\mathbf{M_{с,п}}$ дорівнює номінальному моментові двигуна $\mathbf{M_{ном}}$. При цьому двигун працює в режимі руху. Для спуску

вантажу зі швидкістю $\mathbf{V_{с,гр}}$, близькій до швидкості $\mathbf{V_{п,гр}}$, двигун вмикається за тієї ж схеми, але до його якоря підводиться напруга $\mathbf{U_{ном}}$ протилежного знаку. Природна характеристика 2, що відповідає цій полярності, і статичний момент при спуску вантажу $\mathbf{M_{с,з}}$ обумовлюють на рис. 8.2, *д* робочу точку $\mathbf{M_{с,з}}$ **,** $\mathbf{\omega_{с,з}}$ **,** що відповідає *генераторному режимові* роботи,тобто роботи паралельно з мережею (режим *рекуперативного гальмування* двигуна).

Для одержання зниженої швидкості спуску вантажу двигун може бути включений за схемою, наведеній на рис. 8.2, *в.* Порівнюючи її зі схемою на рис. 8.2, *а*, можна переконатися, що вона відповідає вмиканню двигуна для ро-

боти в напрямку підйому вантажу, але в ланцюг якоря вводиться великий

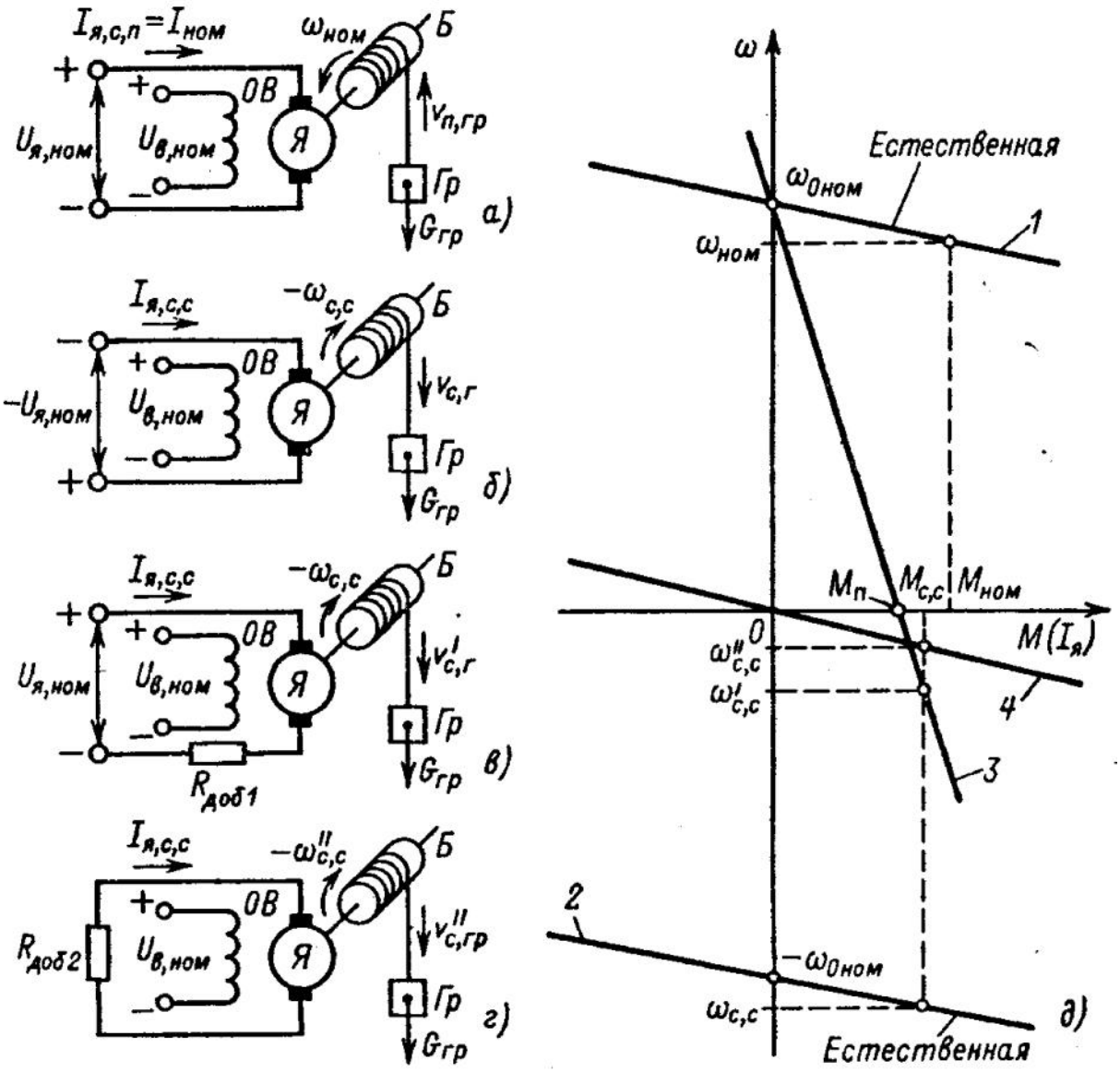

Рисунок 8.2 – Схеми вмикання електроприводу підйомного механізму з двигуном незалежного збудження

додатковий опір $\mathbf{R}_{доб1}$, при якому момент короткого замикання (пусковий момент $\mathbf{M}_{п}$) менший, а ніж активний момент навантаження при спуску вантажу $\mathbf{M}_{с.с.}$ Як показано на рис. 8.2, *д*, такий вибір опору (характеристика 3)забезпечує гальмовий спуск вантажу із швидкістю $\boldsymbol{\omega}_{с.с}$, при цьому активний рушійний момент навантаження примушує якір обертатися вбік, протилежний заданому. Цей генераторний режим роботи двигуна послідовно

з мережею частіше називають режимом *гальмування противмиканням*. Такий режим є неекономічним, тому що механічна потужність, яка надходить з валу, не віддається в мережу, а разом зі споживаною з мережі електричною потужністю перетворюється в теплоту, що виділяється на опорах якірного ланцюга.

У порівнянні з режимом противмиканням більш економічним гальмовим режимом є *динамічне гальмування*. Цей режим роботи розглянутої піднімальної установки забезпечується вмиканням двигуна за схемою рис. 8.2, *г.* Вибором додаткового опору $\mathbf{R_{доб2}}$ можна забезпечити спуск вантажу з необхідною за умовами технології швидкістю $\boldsymbol{\omega''_{с.з}}$, обумовленою механічною характеристикою 4 на рис. 8.2, *д.*

Регулювання швидкости двигунів незалежного збудження

Регулювання *зміною* **опору у ланцюзі якоря.** Як відзначалося в п.8.2, штучні механічні характеристики характеризують регулювальні властивості даного способу регулювання. На рис. 8.1, б показано, що при вмиканні додаткового опору в ланцюг якоря всі штучні характеристики лежать нижче природної, тобто цей засіб забезпечує регулювання швидкості **вниз**.

Потік двигуна $\mathbf{Ф_н}$ не залежить від опору в ланцюзі якоря. За умовами нагрівання при тривалій роботі двигуна струм якоря не повинен перевищувати $\boldsymbol{I_н}$, а це значить, що регулювання швидкості при цьому способі відбувається за постійного моменту:

$$\mathbf{M= k_м\, Ф_н\, I_н=M_н}\ . \qquad (8.1\ )$$

Додатковим опором проходить повний струм навантаження, що супроводжується великими втратами енергії. Цей спосіб регулювання неекономічний. Діапазон регулювання непостійний і залежить від крутості штучної механічної характеристики і величини моменту. Плавність

регулювання невисока, тому що виконати велике число східців складно, а також перемикання східців необхідно провадити в ланцюзі повної потужності.

Даний спосіб не забезпечує стабільної роботи при малих швидкостях, тому що механічна характеристика м'яка і при коливаннях моменту відбувається значна зміна швидкості обертання. Цей спосіб регулювання швидкості за всіма показниками нераціональний і знаходить застосування в промисловості за необхідності невеликого зм'якшення природних механічних характеристик (наприклад, у прокатному виробництві на станах з маховичним приводом).

Точність і плавність цього способу регулювання швидкості можуть бути істотно збільшені в замкненій системі автоматичного регулювання швидкості за відхиленням.

Регулювання *зміною* **потоку збудження.** На рис. 8.1, в, г наведені штучні механічні характеристики при цьому способі регулювання швидкості. Всі штучні характеристики лежать вище природної, тобто цей спосіб забезпечує регулювання швидкості **нагору**. При практичних розрахунках, нехтуючи падінням напруги у якірному ланцюзі (що становить кілька відсотків щодо величини живильної напруги), можна вважати, що $\mathbf{U \approx E.}$ Живляча напруга $\mathbf{U}$ за даного способу регулювання – величина постійна. Виходить, що всі ЕРС двигуна рівні між собою при регулюванні швидкості.

За умовами нагрівання за тривалої роботі струм двигуна не повинен перевищувати $\boldsymbol{I_н}$, тобто цей спосіб регулювання забезпечує роботу при моментах, менших за номінальні.

Діапазон регулювання при цьому способі для компенсованих двигунів або тих, що мають спеціальну обмотку на головних полюсах , звичайно приймають 2:1 або 3:1, а в спеціальних випадках до 5:1 (наприклад, моталки станів холодної прокатки).

Потужність ланцюга збудження вимірюється кількома відсотками від потужності ланцюга якоря. Тому регулювальні опори є опорами малої

потужності, що дозволяє будувати реостати з великим числом східців, забезпечуючи необхідну плавність регулювання.

Штучні характеристики при ослабленні потоку (рис. 8.1,в, г*)* мають більшу крутість. Однак відносна зміна швидкості при коливаннях моменту змінюється незначно, тому що із зменшенням потоку зростає абсолютне значення швидкості, тобто даний спосіб забезпечує стабільну роботу на штучних характеристиках.

Спосіб регулювання є економічним, тому що втрати при регулюванні відбуваються в ланцюзі малої потужності і відносно невеликі. Цей спосіб забезпечує гарні показчики регулювання швидкості і знаходить широке поширення в електроприводі прокатних станів.

Регулювання *зміною* **напруги на якорі.** Штучні механічні характеристики при зміні напруги на якорі двигуна наведені на рис. 8.1, *а*. Для зміни напруги при регулюванні швидкості електроприводів застосовують індивідуальні джерела живлення, якими можуть бути генератор постійного струму чи тиристорний перетворювач.

У випадку, якщо двигун дістає живлення від індивідуального генератора, система називається *генератор-двигун (Г-Д)*. Керований кремнієвий напівпровідниковий спрямлювач називають *"тиристорний перетворювач-двигун (ТП-Д)"*.

Регулювання за системою Г-Д забезпечує великий діапазон і плавне регулювання швидкості обертання двигуна незалежного збудження і знаходить велике застосування в прокатному виробництві. Схема системи Г-Д наведена на рис. 8.3. Робоча машина **РМ** приводиться в рух двигуном незалежного збудження **Д.** Якір двигуна **Д** дістає живлення від генератора постійного струму **Г**, що обертається синхронним (або асинхронним) двигуном **СД**. Статорна обмотка **СД** підключена до мережі змінного струму, а обмотка збудження **СД** — до спеціального збудника **ВСД**. Обмотки збудження **ОВД** двигуна **Д** и **ОВГ** генератора **Г** дістають живлення від незалежного джерела постійного струму (на схемі від збудника **В**). Із

схеми видно, що зв’язок між якорями генератора і двигуна тільки електричний без яких-небудь додаткових опорів. Генератор **Г**, синхронний двигун **СД**, збудник **В** и збудник синхронного двигуна **ВСД** мають механічний зв’язок між собою. Ці машини складають

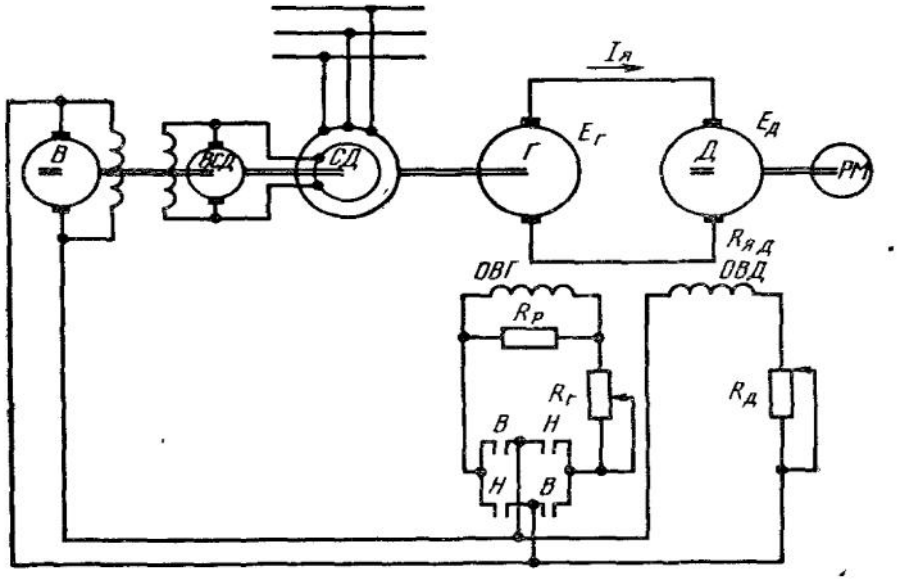

Рисунок 8.3 – Схема регулювання швидкості обертання двигуна незалежного збудження за системою Г-Д

мотор-генераторну установку і мають постійну швидкість обертання, що задається двигуном СД. В обмотках якоря наводиться ЕРС генератора $\mathbf{E_г}$, величина якої може змінюватися за допомогою реостата $\mathbf{R_м}$.

Величина магнітного потоку двигуна **Д** можна змінювати за допомогою реостата $\mathbf{R_д}$. При замкнених реостатах ($\mathbf{R_м} = 0$ та $\mathbf{R_д} = 0$) магнітні потоки генератора і двигуна мають номінальні значення (як правило, вони ж і максимальні).

Система Г-Д забезпечує одержання штучних механічних характеристик з різною величиною швидкості обертання ідеального холостого ходу.

Діапазон регулювання напругою обумовлюється тією мінімальною напругою на двигуні, за якої вона мало відрізняється від $\mathbf{I_я R_я}$ і робота двигуна без спеціальних регуляторів ще є стійкою. Досвід показує, що

усталена робота зміною напруги при номінальному моменті на двигуні може бути отримана без застосування регуляторів швидкості в межах (8...10): 1.

Спосіб регулювання напругою плавний, тому що регулювання провадиться в ланцюзі невеликої потужності.

Механічні характеристики другої групи (при незмінній ЕРС генератора і різних потоках двигуна) утворюються зміною опору $\mathbf{R_д}$. Ці характеристики аналогічні розглянутим штучним характеристикам двигуна незалежного збудження при зміні **Ф**, тобто регулювання відбувається нагору при постійній потужності. Регулювання плавне, економічне з діапазоном (2...3): 1.

Таким чином, система Г-Д забезпечує плавне, економічне і стійке регулювання швидкості вниз і нагору як з постійним номінальним моментом, так і з постійною номінальною потужністю з загальним діапазоном регулювання без застосування регулюючих устроїв.

Застосування комбінованого способу регулювання швидкості у системі Г-Д напругою генератора і потоком двигуна відповідає технологічним вимогам прокатних станів, що у більшості випадків прокочують різноманітні профілі. При цьому великі профілі прокочують при менших швидкостях і великих моментах, а малі профілі – при високих швидкостях і малих моментах.

Схема дозволяє одержати на генераторі настільки малу величину напруги, що при вмиканні нерухомого якоря двигуна забезпечує проходження в якірному ланцюзі струму, меншого за максимально припустимий для двигуна. Тому в системі Г-Д пуск двигуна здійснюється плавним підвищенням напруги генератора і нема потреби у пускових реостатах. Цим забезпечується економічний пуск двигуна без додаткових втрат енергії в силовому ланцюзі.

Зміну напрямку обертання двигуна в системі Г-Д здійснюють *зміною напрямку струму збудження* (магнітного потоку) генератора за допомогою вмикання **ОВГ** до шин збудника **В** через систему місткових контактів **В** и **Н**.

При цьому полярність напруги генератора змінюється, що при сталості магнітного потоку двигуна призводить до зміни напрямку обертання двигуна.

Переваги: легкість одержання необхідних характеристик; економічність при регулюванні швидкості обертання двигуна; високий діапазон регулювання.

Недоліки : значна вартість, викликана наявністю трьох електричних машин, потужність кожної з яких приблизно дорівнює потужності приводного двигуна; великі габарити установки; високі експлуатаційні витрати; низький ККД у випадку застосування її для механізмів, що пускаються рідко в хід; велика інерційність обмотки збудження генератора, що знижує швидкодію системи.

Тому все більше поширення дістають системи регулювання швидкості двигуна постійного струму з використанням керованих статичних перетворювачів, що мають більш високий ККД і швидкодію, прості і надійні в експлуатації.

Автоматичний регулятор швидкості (наприклад, у прокатних станах) повинен забезпечувати підтримку заданої швидкості обертання валків з високою точністю при зміні навантаження стану (через зміну температури металу, розміру підкату, величини натягу чи інших технологічних параметрів) як у сталих, так і в перехідних режимах роботи стану. Це здійснюється за рахунок негативного зв’язку за швидкістю, що подають на вхід регулятора, а також різних корегуючих устроїв.

Регулятор впливає на джерело живлення двигуна і, змінюючи напругу на якорі двигуна або струм збудження, або обидві ці величини одночасно, здійснює регулювання швидкості обертання двигуна.

Розглянемо замкнену схему регулятора швидкості (рис 8.4, *а*) із застосуванням тільки негативного зворотного зв’язку за швидкостю, що забезпечує регулювання швидкості за рахунок зміни середньої спрямленої напруги статичного перетворювача **ТП** при постійному магнітному потоці

двигуна. Фазоімпульсне управління здійснюється за вертикальним принципом. Необхідне значення швидкості двигуна **Д** задається за допомогою еталонної напруги U_0, що знімається з потенціометру. Вимірювальним органом фактичної швидкості обертання двигуна **Д** є тахогенератор **ТГ,** напруга якого пропорційна швидкості обертання $U_т = k_т n$. Ця напруга порівнюється з ко-

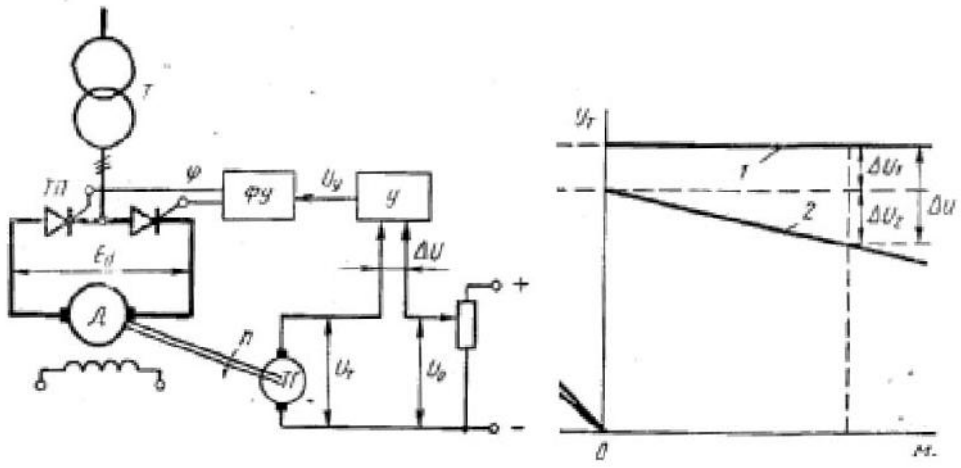

Рисунок 8.4 – Функціональна (*а*) і статичні характеристики (б) регулятора швидкості з рівнобіжною корекцією: 1 – ідеальний регулятор, *2* – реальний регулятор

мандною напругою U_0, і помилка $\Delta U = U_0 - U_т$ подається на вхід безінерційного підсилювача **У** з коефіцієнтом підсилення $k_у$. Вихідна напруга підсилювача $U_у = k_у \Delta U$ подається на вхід вузла фазоімпульсного керування і обумовлює величину спрямленної напруги E_d.

Робота регулятора швидкості полягає в наступнім. При збільшенні моменту опору M_c швидкість двигуна зменшується, що призводить до збільшення помилки ΔU і величини E_d, у результаті швидкість двигуна зросте і прагне до заданого значення. У регуляторах швидкості звичайно в

якості основного корегувального зв’язку використовується зворотний зв’язок за струмом головного ланцюга якорю.

Автоматичний регулятор швидкості з послідовною корекцією. Принцип послідовної корекції передбачає розподіл системи на ланки, що містять не більш двох постійних часу, і при цьому кожна така ланка є об’єктом регулювання, що має свій регулятор.

В автоматичному регуляторі швидкості електроприводу з послідовною корекцією основною регульованою величиною є швидкість обертання, а внутрішнім контуром системи регулювання швидкості зміною напруги, підведеної до якорю двигуна, є контур регулювання струму якорю.

Функціональна схема автоматичного регулятора швидкості з послідовною корекцією наведена на рис. 8.5, *а* . Як видно зі схеми, у ланцюзі регулювання є два послідовно з’єднані регулятори **РС** і **РТ**. На вході регулятора швидкості **РС** складаються сигнали завдання швидкості $\mathbf{U_з}$ і зворотного зв’язку за швидкостью $\mathbf{U_т}$, а на вході регулятора струму **РТ** — вихідний сигнал **РС**, що є завданням величини струму $\mathbf{I_з}$, і сигнал зворотного зв’язку за струмом якорю $\mathbf{I_я}$. У перехідних процесах при значній неузгодженості сигналів $\mathbf{U_з}$ і $\mathbf{U_т}$ регулятор

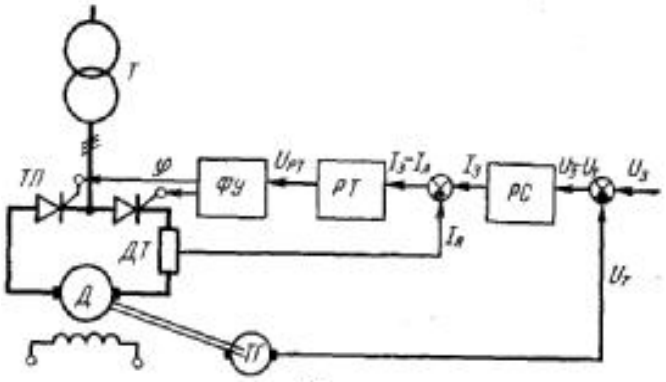

Рисунок 8.5 – Функціональна схема регулятора швидкості з послідовною корекцією

РС насичується і його вихідний струм $\mathbf{I_з}$ не залежить від швидкості, тобто зворотний зв'язок за швидкостью як би розривається. У цьому випадку схема працює як регулятор струму. Правильне настроювання регулятора струму **РТ** дозволяє найбільш повно використовувати можливості електроприводу і забезпечити високу продуктивність стану.

Асинхронний двигун. Одержати штучні характеристики в асинхронному двигуні можна за рахунок введення додаткового опору в ланцюг ротора (у двигунів з контактними кільцями), зміни величини і частоти напруги, що живить статор.

Вмикання додаткового опору $\mathbf{R_{д1}}$ у кожну фазу ротора відповідно до рівнянь (6.16), (6.17) і (6.13) призводить до збільшення критичного ковзання $\mathbf{S_{к1}}$, а величину максимального моменту $\mathbf{M_к}$ і синхронну швидкість не змінює (рис. 8.6, *а*).

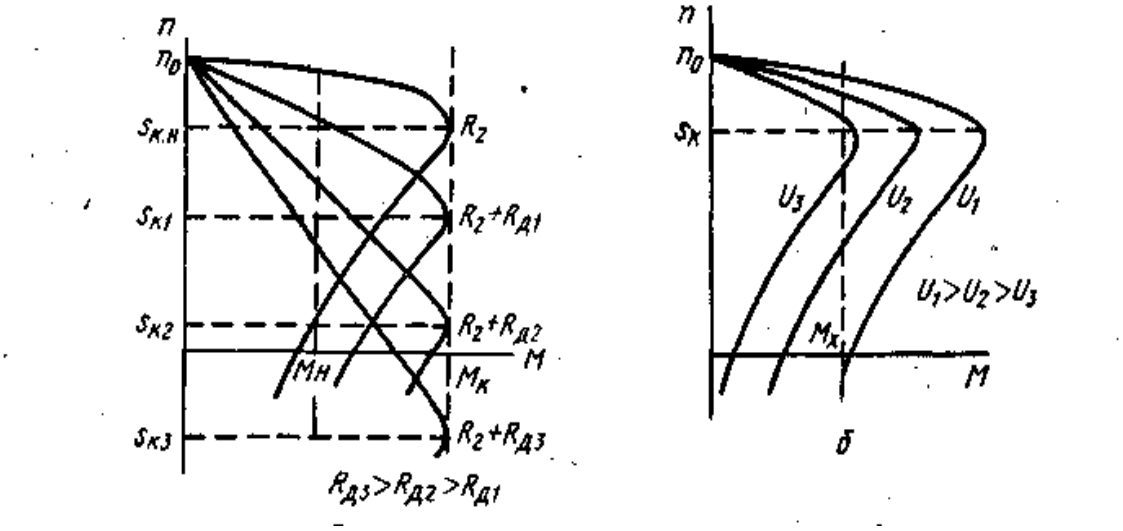

Рисунок 8.6 – Штучні механічні характеристики асинхронного двигуна, отримані: *а* – введенням додаткового опору в ланцюг ротора; *б* – зміною напруги

Зміна величини напруги $\mathbf{U_ф}$, як видно з тих же формул, призводить до зміни максимального моменту $\mathbf{M_{к1}}$, а величину критичного ковзання і синхронну швидкість не змінює (рис. 8.6, б). При напругах, більших за номінальні, різко зростає сила струму холостого ходу, збільшується насичення і зростає нагрівання сталі, тому практично підвищення напруги не застосовують. Велике зниження напруги призводить до різкого зменшення максимального моменту, тому що останній пропорційний квадратові напруги.

Зміна частоти живильної напруги, як видно з тих же формул, призводить до зміни синхронної швидкості обертання, найбільшого моменту і критичного ковзання. Механічні характеристики для цього випадку розглянуті в гл. 6.

Регулювання швидкості обертання *зміною числа пар полюсів* можливе лише у спеціальних двигунів, для яких кожна фаза статорної обмотки виконується з окремих частин. Наприклад, у двошвидкісному двигуні кожна обмотка фази складається з двох однакових частин. Змінюючи напрямок струму в різних частинах обмотки кожної фази, одержують у двигуні дві різні швидкості.

Електромашинобудівні заводи виготовляють дво-, трьох- і чотирьохшвидкісні двигуни. Трьохшвидкісні мають дві незалежні статорні обмотки, з яких одна забезпечує одержання двох швидкостей перемиканням,

а третю швидкість дає друга обмотка, що має відмінне від першої обмотки число пар полюсів. Чотирьохшвидкісні двигуни мають по дві статорні обмотки, кожна з яких забезпечує одержання двох різних швидкостей.

Такі двигуни забезпечують східчасте регулювання швидкості в діапазоні 8:1. При цьому регулювання швидкості обертання може бути здійснене як за постійного моменту, так і за постійної потужності.

Регулювання швидкості вмиканням опору у ланцюг ротора. Вмикання додаткового опору $\mathbf{R_{доб}}$ у кожну фазу ротора призводить до збільшення критичного ковзання $\mathbf{S_{к1}}$, а синхронну швидкість не змінює (рис. 8.6, *а*). Точність і плавність цього способу регулювання швидкості можуть бути істотно збільшені в замкненій системі автоматичного регулювання швидкості за відхиленням. Для здійснення автоматичного реостатного регулювання швидкості асинхронного двигуна може бути використана система релейного регулювання моменту (див. рис. 8.3), якщо її доповнити негативним зворотним зв'язком за швидкостью за схемою, наведеній на рис. 8.8, *а*. Механічні характеристики, відповідні різним значенням $\mathbf{U_{з.с}}$, показані на рис. 8.7, б. Межі, у яких регулятор швидкості може підтримувати швидкість

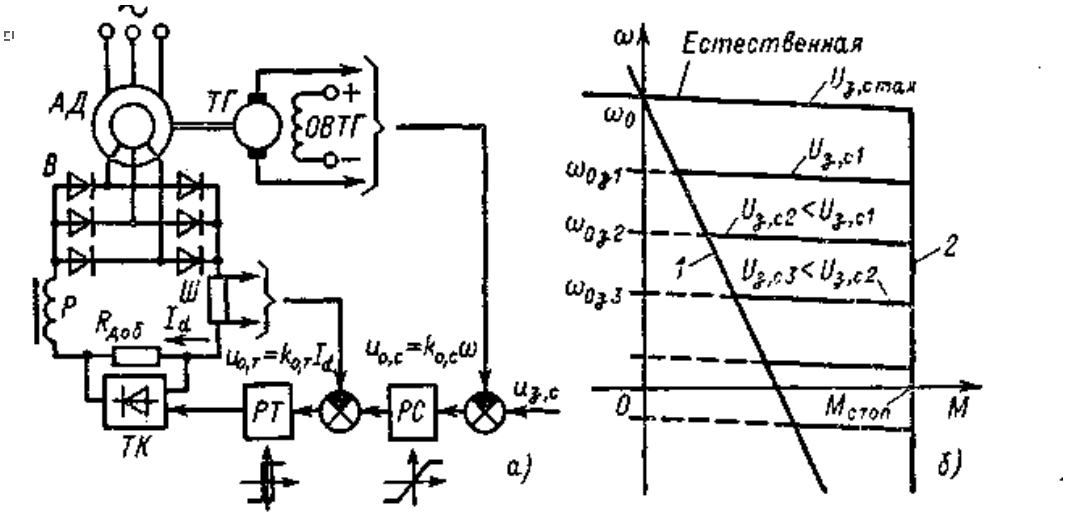

Рисунок 8.7 – Схема і механічні характеристики асинхронного електроприводу при реостатному автоматичному регулюванні швидкості

постійною, обмежені за малих навантажень реостатною характеристикою 1 (резистор $\mathbf{R_{доб}}$ не вимикається), а за великих – характеристикою 2, що обумовлюється максимальним значенням вихідної напруги регулятора швидкості, що відповідає насиченню його характеристики (рис. 8.7, *а*). Пояснюється це тим, що в даній схемі вихідна напруга регулятора швидкості РС є сигналом завдання струму $\mathbf{U_{зт}}$ **.**

Регулювання швидкості обертання зміною частоти живильної напруги. Плавна зміна синхронної швидкості обертання магнітного поля асинхронного двигуна, відповідно до рівняння $\mathbf{n_0 = 60f_1 / p}$, можлива тільки за рахунок плавної зміни частоти $\boldsymbol{f_1}$ напруги, підведеної до двигуна. У випадку, якщо асинхронний двигун отримує живлення від синхронного генератора СГ, плавна зміна частоти можлива тільки за рахунок плавної зміни швидкості обертання синхронного генератору. Широкі межі зміни частоти напруги СГ вимагають широких меж зміни швидкості його обертання. У цьому випадку для приводу СГ необхідно застосовувати двигун постійного струму незалежного збудження, керованого за системою Г-Д або ТП-Д. У прокатному виробництві цей спосіб має широке застосування для живлення двигунів рольгангів із індивідуальним приводом. Загальна принципова схема регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна зміною частоти напруги синхронного генератора наведена на рис. 8.8.

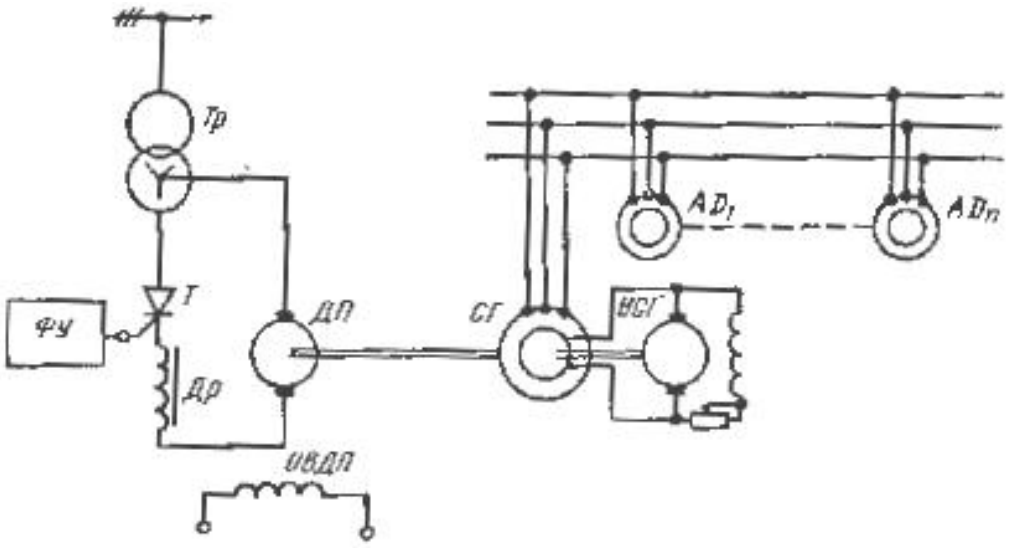

Рисунок 8.8 – Схема регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна зміною частоти живильної напруги

Із схеми видно, що **СГ** обертається двигуном постійного струму **ДП**, керованим за системою ТП-Д. Потужність **СГ** при одночасній роботі всіх регульованих двигунів $AD_1, \ldots, AD_n$ повинна дорівнювати сумарній потужності двигунів з урахуванням їх ККД. Потужність приводного двигуна **ДП** без урахування втрат у **СГ** повинна дорівнювати потужності **СГ**, а потужність тиристорного перетворювача **Т** відповідно повинна дорівнювати потужності **ДП**. При цьому складовою частиною перетворювальної установки частоти є складна і дорога система ТП-Д для управління двигуном. Для асинхронного двигуна можна прийняти, що ЕРС, що індукує в обмотці статора, практично дорівнює підведеній до двигуна напрузі:

$$E_1 = 4{,}44\, k_1 f_1 \Phi \approx U_\Phi \qquad (8.2)$$

Формула показує, що зміна частоти живильної напруги призводить до зміни магнітного потоку двигуна за $U_\Phi = const$. При зменшенні частоти магнітний потік двигуна зростає, а отже, відбувається збільшення струму холостого ходу.

Тому діапазон зміни частоти для серійних двигунів обмежений. За зміни частоти змінюється величина критичного ковзання. Якщо привод працює в діапазоні основних швидкостей обертання, вирівнювання навантажень роблять зміною напруги генераторів.

При роботі з ослабленим полем двигунів спочатку відносно швидко відбувається зміна швидкості за рахунок зміни напруги генераторів, що викликає наступну зміну потоків збудження двигунів. Цим забезпечується належна швидкодія і технологічно необхідне регулювання.

Зміна напруги, розглянута у гл.7 як спосіб регулювання моменту в розімкненій системі, може бути використана для регулювання швидкості в системі автоматичного регулювання за відхиленням. Для цього схеми з магнітним підсилювачем і тиристорним регулятором напруги необхідно доповнити негативним зв’язком за швидкістю. Розглянемо основні показчики такого способу регулювання.

Схема регулювання швидкості асинхронного електроприводу шляхом зміни напруги на статорі наведена на рис. 8.9. Вона складається із магнітного чи тиристорного регулятору напруги **РН**, регулятору швидкості **РС**, вихідна

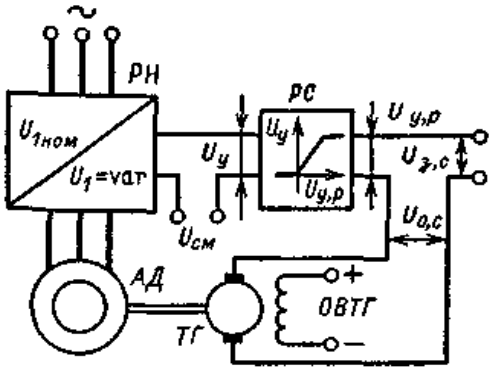

Рисунок 8.9 – Регулювання швидкості в системі ТРН-АД

напруга якого $\mathbf{U_y}$ впливає на обмотку управління тиристорного регулятора напруги. На вхід **РС** подані сигнал завдання $\mathbf{U_{з.с}}$ і сигнал зворотного зв'язку за

швидкістю $\mathbf{U_{о.с}}$, одержуваний з якоря тахогенератора **ТГ**. У ланцюг управління **РН** введений сигнал зсуву $U_{см}$, за допомогою якого при $\mathbf{U_y} = 0$ встановлюється мінімальна напруга на виході РН. Практично в схемах з магнітними підсилю-

вачами для цієї мети передбачається окрема обмотка зсуву, а в тиристорних регуляторах напруги для настанови початкового кута регулювання $\boldsymbol{\alpha_0}$ звичайно є відповідні елементи.

При оцінці умов регулювання швидкості у системі тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун (ТРН – АД) необхідно враховувати, що напруга на виході тиристорного регулятора несінусоїдальна, залежить від кута регулювання $\boldsymbol{\alpha}$ і від кута активно-індуктивного навантаження $\boldsymbol{\varphi_н}$, яким є асинхронний двигун для **ТРН** при певному ковзанні **S**.

За даним способом регулювання втрати в роторному ланцюзі пропорційні ковзанню. Тому припустимий момент при регулюванні швидкості за незалежної вентиляції двигуна потрібно знижувати, тому що його навантаження обратно пропорційне ковзанню [7].

Для двигунів із самовентиляцією це зниження повинне бути більшим з урахуванням погіршення умов охолодження в міру зростання ковзання. Цей недолік обмежує область застосування замкнених систем асинхронного електроприводу, заснованих на регулюванні напруги, механізмами, у яких момент навантаження при регулюванні швидкості швидко зменшується,. Крім того, цей спосіб успішно застосовується в тих випадках, якщо в робочому циклі потрібне короткочасне зниження швидкості, а основний час електропривод працює на природній характеристиці.

Тема 20. Регулювання положення і зусилля ланки.

Загальні положення. Машини, робочий орган яких для нормального перебігу технологічного процесу повинен на окремих етапах роботи або в кожний момент часу займати в просторі строго фіксовані положення, називаються позиційними. Робочі органи зміщюються в просторі за допомогою кількох взаємодіючих механізмів, що забезпечують зміщення окремими координатами простору, які обслуговуються. Ці позиційні механізми мають, як правило, індивідуальні приводи, управління якими і забезпечує необхідні просторові зміщення робочого органу.

При ручному керуванні контроль поточного положення робочого органу здійснюється візуально оператором, який впливає на завдання швидкостей електроприводів окремих механізмів і забезпечує зміщення робочого органу машини за необхідними траєкторіями, або установку у фіксовані позиції відповідно до технологічного процесу. При цьому до приводу вимога регулювання положення не пред'являється. Однак привод має забезпечувати регулювання швидкості і володіти сприятливими динамічними якостями, що полегшують умови регулювання положення оператором.

Автоматичне регулювання положення вимагає дискретного або безперервного контролю фактичних значень регульованої координати. У залежності від конкретних вимог можливі варіанти автоматичного регулювання положення:

– точне позиціювання приводу в заданих точках шляху за дискретними сигналами шляхових датчиків (точна зупинка);

– безперервне автоматичне регулювання положення за відхиленням з метою здійснення дозованих зміщень;

– безперервне регулювання положення за відхиленням по заданій програмі (програмно-керований позиційний привод);

– безперервне автоматичне регулювання положення за відхиленням при довільно змінюванім сигналові завдання (позиційний привод, що стежить,).

Точна зупинка приводу. Розглянемо задачу точного позиціювання робочого органу механізму в заданих точках шляху за сигналами шляхових датчиків точної зупинки (ДТЗ). Ця задача зводиться до автоматичного відмикання двигуна і накладенню механічного гальма в такій точці шляху, з якої привод за час гальмування, рухаючись за інерцією, зміщується в задану точку шляху з необхідною точністю. Процес зупинки, таким чином, починається з надходження в схему управління приводом імпульсу шляхового датчика на відключення двигуна і накладення механічного гальма. Якщо прийняти, що відключення двигуна і накладення механічного гальма відбуваються одночасно і зусилля гальма зростає до встановленого значення стрибком, то весь процес точної зупинки можна розділити :

– *перший етап,* обумовлений наявністю власного часу спрацьовування апаратури t_a в схемі управління. Внаслідок виникаючого запізнювання протягом часу t_a двигун не відключається від мережі і привод продовжує рух зі швидкістю $\omega_{нач}$, з яким він підійшов до датчика точної зупинки, і проходить шлях $\varphi' = \omega_{нач} t_a$. Після закінчення часу спрацьовування апаратури двигун відключається від мережі і накладається механічне гальмо;

– на другому етапі запасена у всіх рухомих масах системи кінетична енергія витрачається на здійснення роботи з подолання сил статичного опору рухові на шляху, що проходить :

$$I_\Sigma \omega^2_{нач} / 2 = (M_c + M_т)\varphi'', \quad (9.1)$$

де I_Σ – сумарний приведений момент інерції I_Σ електроприводу; $M_т$ – момент механічного гальма.

Сумарний шлях

$$\varphi = \varphi' + \varphi'' = \omega_{нач}\, t_a + I_{\Sigma}\, \omega^2_{нач} / [2\,(M_c + M_т)] \qquad (9.2)$$

Тому що всі параметри, які обумовлюють по (9.2) шлях, що проходить привод у процесі точної зупинки, при роботі приводу не залишаються постійними, абсолютно точна зупинка неможлива. Після спрацьовування ДТЗ рух системи є некерованим і найбільша неточність зупинки залежить тільки від меж зміни параметрів, що входять у (9.2).

Основним фактором, що викликає неточність зупинки електроприводу, є зміна навантаження приводу, тому що вона безпосередньо позначаються на значенні динамічного моменту $\mathbf{M_{дин}}$ і при даній жорсткості механічної характеристики електроприводу визначає основне відхилення початкової швидкості від середнього значення, обумовленого змінами навантаження. Зміни навантаження в більшості випадків зв'язані з одночасною зміною сумарного приведеного моменту інерції $\boldsymbol{I_{\Sigma}}$ електроприводу. При даних межах зміни статичного навантаження основним способом зменшення помилки позиціювання є зниження середньої швидкості при підході до ДТЗ.

Таким чином, розглянутий спосіб управління положенням може забезпечити будь-яку необхідну точність зупинки робочого органа механізму у заданій позиції при належному виборі середньої зупиночної швидкості $\boldsymbol{\omega_{ср}}$ і забезпеченню високої точності стабілізації цієї швидкості. Це означає, що вимогу автоматичної точної зупинки електроприводу обумовлює необхідний діапазон регулювання швидкості електроприводу $\mathbf{D = \omega_{ном}/\omega_{ср}}$ при заданих межах зміни навантаження та інших факторів, що обурюють.

Важливою перевагою розглянутого способу є простота реалізації, однак при високих вимогах до точності зупинки і великому діапазоні регулювання, необхідному для одержання цієї точності, процес точного позиціювання може за певних умов неприпустимо затягуватися і знижувати

продуктивність механізму. Зазначені умови обумовлюються динамічними властивостями електроприводу в процесі уповільнення електропривода від робочої швидкості $\omega_{ном}$ до зниженої зупинної швидкості $\omega_{ср}$.

Автоматичне управління *кутовим положенням* **вала двигуна.** Функціональна схема електроприводу системи ТП-Д з автоматичним управлінням кутовим положенням вала двигуна наведена на рис. 9.1.

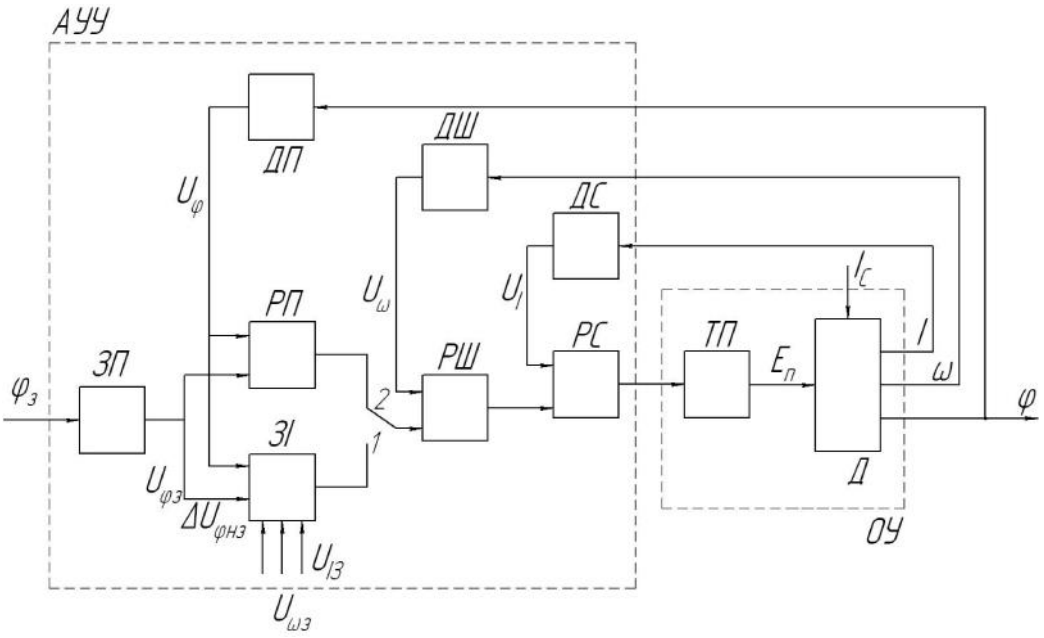

Рисунок 9.1– Функціональна схема електроприводу з автоматичним управлінням кутовим положенням вала двигуна

Електропривод складається з двигуна Д и тиристорного перетворювача ТП, що живить якірний ланцюг двигуна. Управління двигуном здійснюється за постійним потоком збудження. Автоматичне управління електроприводом, як об'єктом управління ОУ, здійснюється автоматичним устроєм управління АУУ. Керуючий устрій включає датчики положення ДП, швидкості ДШ і струму якоря двигуна ДС, задатчик положення ЗП, задатчик інтенсивності ЗІ, регулятори положення РП, швидкості РШ і струму РС, а також двопозиційне реле режиму роботи Р (реле на схемі не показане). Датчик положення перетворює кутову координату валу двигуна φ у напругу U_φ . Датчик

швидкості (наприклад, тахогенератор) перетворює швидкість двигуна ω у напругу U_ω . Датчик струму (наприклад, шунт, включений у якірний ланцюг) перетворює струм якоря I у напругу U_I. Задатчик інтенсивності, датчик швидкості і регулятор РШ складають регулятор швидкості, а датчик струму якоря і регулятор РС — регулятор струму якоря двигуна. Задатчик інтенсивності перетворює задане значення швидкості $\omega_З$ у напругу $U_{\omega З}$ таким чином, щоб прискорення двигуна в будь-який момент часу не перевершувало припустимого значення. Перетворювач РШ у функції відхилення $\Delta U_\omega = U_{\omega З} - U_\omega$ виробляє завдання $U_{IЗ}$ регуляторові струму якорю двигуна, який у функції відхилення $\Delta U_I = = U_{IЗ} - U_I$ здійснює вплив $U_У$ на тиристорний перетворювач ТП, встановлюючи ЕРС таким чином, щоб забезпечити відповідність швидкості двигуна завданню при зовнішнім навантаженні двигуна, що характеризується статичним струмом якоря $I_С$.

Двоконтурне підпорядковане регулювання швидкості і струму якорю двигуна дозволяє одержати більш сприятливі характеристики приводу в порівнянні з одноконтурним регулюванням швидкості.

Задатчик положення ЗП, датчик положення ДП, а також, у залежності від стану контактів реле Р, регулятор РП або задатчик інтенсивності ЗІ утворюють регулятор положення. Задатчик положення виробляє напругу $U_{\varphi З}$, пропорційну заданому значенню кутової координати $\varphi_З$. Задатчик інтенсивності виробляє напругу $U_{\omega З}$ як функцію часу t і відхилення $\Delta U_\varphi = U_{\varphi З} - U_\varphi$. Графік цієї функції наведений на рис. 9.2. На рисунку $t_{нЗ}$ і $t_{н0}$ – моменти початку уповільнення і початку зупинки, обумовлені як моменти, у яких відхилення ΔU_φ дорівнює заданим значенням $\Delta U_{\varphi н.З}$ і $\Delta U_{\varphi н.о}$ відповідно, а величини $U^У_{\omega З}$, $U^Д_{\omega З}$ задають швидкості сталого руху і підходу до заданого положення (дотягування). Регулятор РП виробляє напругу $U_{\omega З}$,

пропорційну відхиленню ΔU_{φ}. Контакт реле Р перебуває в положенні 1, якщо $\Delta U_{\varphi} > \Delta U_{\varphi н.о}$ або в положенні 2 – якщо $\Delta U_{\varphi} \leq \Delta U_{\varphi н.о}$. У момент $t = 0$ початку зміщення двигуна в задане положення $\varphi = \varphi_З$ контакт реле режиму роботи знаходиться в положенні 1. При цьому на вхід регулятора швидкості надходить завдання $U_{\omega З}$ від задатчика інтенсивності. Його зміна забезпечує розгін двигуна, усталений рух до моменту $t_{н \cdot з}$, уповільнення і підхід до заданого положення з заданими швидкостями і прискореннями. У момент часу $t_{н.о}$ реле режиму роботи перемикає свій контакт у положення 2. При цьому на вхід регулятора швидкості надходить

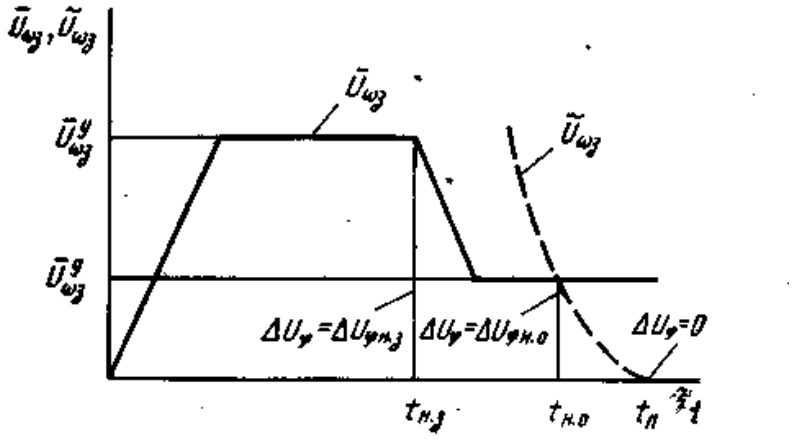

Рисунок 9.2 – Тимчасова діаграма зміни завдання регулятора швидкості при автоматичному керуванні кутовим положенням вала двигуна.

завдання $U_{\omega З}$ із регулятор РП, зміна якого забезпечує точну зупинку двигуна в заданому положенні в момент часу $t_п$.

Програмне управління швидкістю в режимі 1 дозволяє здійснити розгін і уповільнення двигуна з припустимим прискоренням, а також підхід до заданого положення зі швидкістю, що забезпечує необхідну точність зупинки. Триконтурне підлегле регулювання положення, швидкості і струму двигуна в

режимі 2 створює умови для одержання більш сприятливих характеристик приводу в порівнянні з одноконтурним регулюванням положення.

Автоматичне управління *положенням* **веденої ланки гідродвигуна.** Функціональна схема гідроприводу з електрогідравличним перетворювачем і автоматичним управлінням положенням веденої ланки (вала, штока, плунжера) гідродвигуна показана на рис. 9.3. Гідродвигун ГД з'єднується з магістралями живлення і зливу за допомогою електрогідравличного перетворювача ЕГП. Гідродвигун і електрогідравличний перетворювач утворюють об'єкт управління ОУ автоматичного устрою управління АУУ, що складається з

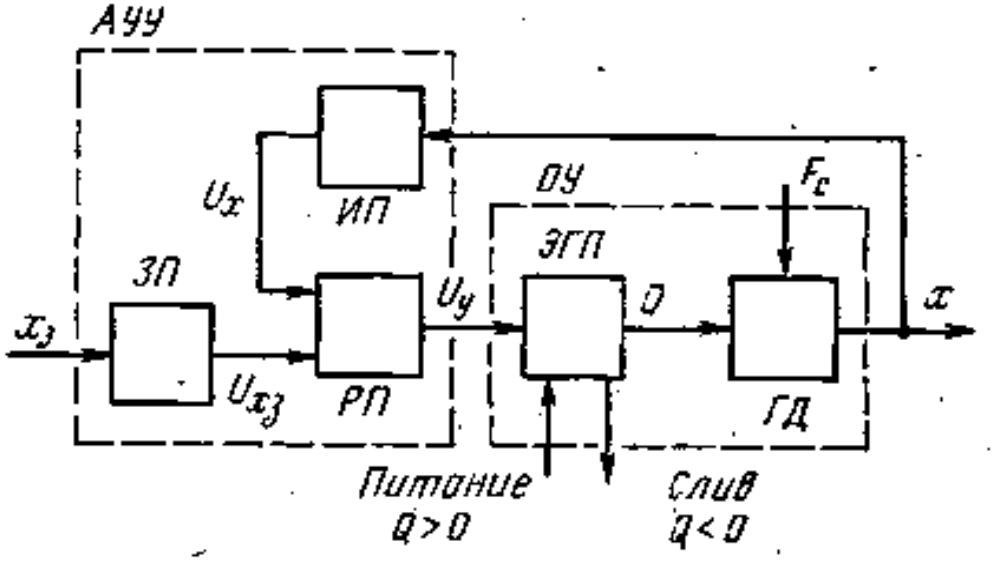

Рисунок 9.3 – Функціональна схема гідроприводу із автоматичним управлінням положенням веденої ланки

датчика положення веденої ланки гідродвигуна ИП, задатчика положення ЗП і регулятора РП. Датчик положення перетворює координату X веденої ланки в напругу $\mathbf{U_x}$. Задатчик положення перетворює задане значення координати $\boldsymbol{x_з}$ у напругу $\boldsymbol{U_{xз}}$. Регулятор РП у функції відхилення $\boldsymbol{\Delta U_x = U_{xз} - U_x}$ змінює напругу $\boldsymbol{U_y}$ на керуючих обмотках електрогідравличного перетворювача, встановлюючи витрату $\mathbf{Q}$ робочої рідини, що надходить у

двигун від магістралі живлення (**Q** > 0) або відводиться з двигуна в магістраль зливу (**Q** < 0) таким чином, щоб забезпечити відповідність положення веденої ланки гідродвигуна завданню при зовнішньому навантаженні $\mathbf{F_c}$.

Автоматичне управління *зусиллям***, що розвивається гідродвигуном.** Функціональна схема гідроприводу з керованим гідронасосом з автоматичним управлінням зусиллям, що розвивається гідродвигуном, показана на рис. 9.4. Гідропривод складається із гідродвигуна ГД, реверсивного керованого гідронасоса УГН, що має привод від електродвигуна з керованою швидкістю обертання, і бака Б з робочою рідиною. Гідропривод є об'єктом

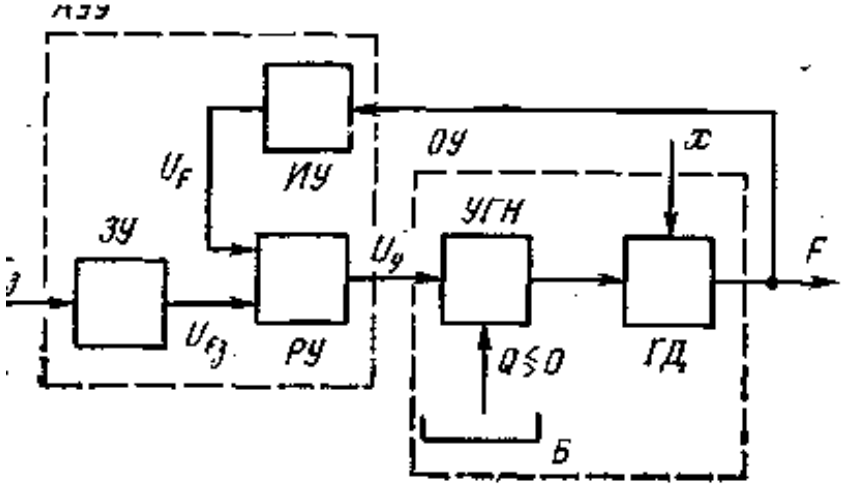

Рисунок 9.4 – Функціональна схема гідроприводу з автоматичним управлінням зусиллям на веденій ланці гідродвигуна

управління ОУ автоматичного устрою управлінням АУУ, що включає датчик зусилля гідродвигуна ИУ, задатчик зусилля ЗУ і регулятора РУ.Датчик і задатчик зусилля перетворюють фактичне **F** і задане $\mathbf{F}_3$ значення зусиль у напруги $\boldsymbol{U_F}$ та $\boldsymbol{U_{F3}}$ відповідно. Регулятор РУ виробляє завдання $\boldsymbol{U_y}$ устроєві управління швидкістю електродвигуна приводу насоса. Тим самим витрата **Q** робочої рідини, що подається насосом з бака в гідродвигун або відводиться ним з гідродвигуна в бак, змінюється таким чином, щоб зусилля, що розвивається

гідродвигуном, відповідало завданню при положенні робочого органа із координатою x. Зусилля, що розвивається гідродвигуном, найбільше зручно вимірювати побічно, шляхом виміру тиску робочої рідини в гідродвигуні. Однак похибка виміру внаслідок тертя в ущільненнях гідродвигуна може виявитися значною.

Гідропривід з використанням електрогідравличних перетворювачів значно перевершує гідропривод з керованими насосами за швидкодією і точностю, у той же час поступаючи йому за надійностю і зручностю в експлуатації.