

Міністерство освіти і науки України
Національний гірничий університет

Кафедра електропривода



РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ВЕРСТАТІВ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

Методичні вказівки до курсового та дипломного проектування
для студентів спеціальності 7.05070204

Електромеханічні системи автоматизації та електропривід

Дніпропетровськ
2014

Розрахунок електроприводів верстатів з числовим програмним керуванням: Методичні вказівки до курсового та дипломного проектування для студентів спеціальності 7.05070204 Електромеханічні системи автоматизації та електропривід /Уклад. М.М. Казачковський – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2013. – 50 с.

Укладачі: М.М.Казачковський, канд. техн. наук, професор

Відповідальний за випуск завідувач кафедри електропривода

О.С.Бешта, д-р техн. наук, проф.

ВСТУП

Метою проекту є поглиблення знань, отриманих на лекціях, лабораторних та практичних заняттях.

Темою проекту може бути обраний електропривід одного з механізмів верстата з числовим програмним керуванням (ЧПК) або з цифровою індикацією (привод шпинделя або однієї з робочих чи допоміжних подач). Тема обирається за матеріалами виробничої практики п'ятого курсу або за номером варіанта, заданого викладачем.

Окрім рекомендацій з вибору завдання на проектування, необхідних довідкових матеріалів, вимог до оформлення пояснювальної записки, методичні вказівки містять:

- послідовність розрахунку швидкостей і навантажень основних механізмів токарного та фрезерного верстатів;
- рекомендації з вибору елементів силового кола та розрахунку параметрів систем автоматичного регулювання (САР) найбільш розповсюджених систем верстатних електроприводів (тиристорний електропривід постійного струму за системою “керований випрямляч–двигун”, транзисторний електропривід постійного струму за системою “широотно-імпульсний перетворювач–двигун”, електропривід з вентильним двигуном).

Проте студент може обрати верстат, механізм, систему електропривода або структуру САР, які відрізняються від розглянутих нижче.

1. ВМІСТ ПРОЕКТУ

Курсовий проект містить пояснювальну записку на 20...30 сторінках та один аркуш креслень формату А1 (для економії місця розрахунки, які повторюються, наприклад, на кожному з переходів, слід оформлювати у табличному вигляді).

Вміст пояснювальної записки:

- титульний аркуш;
- завдання на проектування та вихідні дані;
- зміст;
- попередній вибір двигуна;
- розрахунок діаграми швидкостей та навантажень;
- перевірка попередньо вибраного двигуна;
- вибір елементів силового кола;
- розрахунок параметрів САР;
- список літератури.

Уміст графічного аркушу: діаграми швидкостей та навантажень під час обробки типової деталі; функціональна та структурна схеми електропривода; схема вмикання електропривода; принципові схеми силового кола та основних вузлів САР.

2. ВИХІДНІ ДАНІ

Табл. 1 додатку 1 дозволяє залежно від номера завдання вибрати різновид верстата (токарний Т або фрезерний Ф), механізм (шпиндель Z, робоча подача X або Y), рекомендовану систему електропривода (керований випрямляч–двигун постійного струму КВ–Д, транзисторний широтно-імпульсний перетворювач–двигун постійного струму ШПІ–Д, вентильний двигун з транзисторним інвертором ВД), а також один з варіантів числових вихідних даних.

Вихідними даними для проектування є вимоги до електропривода, параметри верстата, розміри типової деталі та інструменту, параметри режиму різання. Основними вимогами до приводу шпинделя є: максимальна потужність різання P_Z ; діапазон частот обертання шпинделя $n_{ш\min} \dots n_{ш\max}$, у якому забезпечується ця максимальна потужність; загальний діапазон регулювання швидкості (для всіх варіантів прийнятий на рівні 1000). Основні вимоги до приводу робочих подач: максимальна робоча швидкість подачі $v_{p,\max}$; максимальна швидкість швидкого ходу $v_{шх}$; максимальне робоче зусилля на гвинті F_p ; діапазон регулювання швидкості (для всіх варіантів прийнятий на рівні 10000).

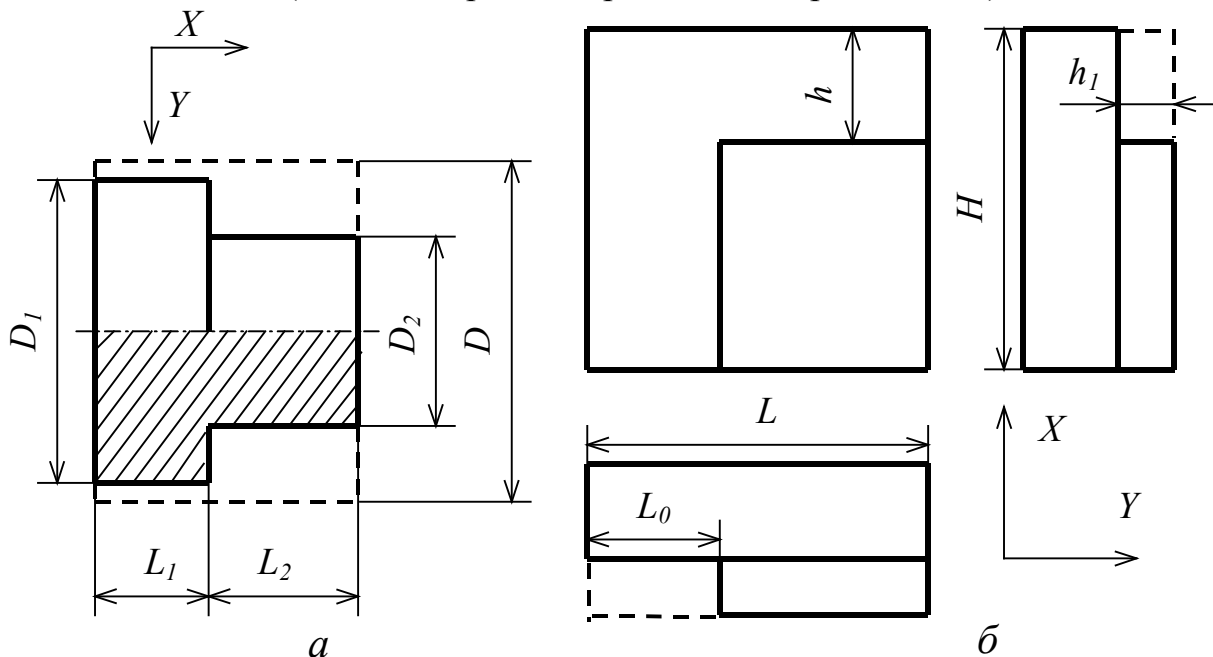


Рис. 2.1. Креслення типових деталей

До параметрів верстата відносяться маси та моменти інерції рухомих вузлів, параметри передачі гвинтової або рейкової передачі. Креслення типової деталі, оброблюваної на токарному верстаті, наведений на рис. 2.1а, фрезерному – на рис. 2.1б, де переривчастою лінією позначено контур заготовки, суцільною – креслення деталі. Параметрами режиму різання є подача на оборот s (для токарного верстата), діаметр D та кількість зубів фрези z (для фрезерного верстата), а також тривалість паузи t_0 та глибина різання t .

Типові кінематичні схеми механізмів зображені на рис. 2.2. У схемі рис. 2.2а завдяки можливості пересування зубчастих коліс z_8, z_9 вздовж вала V можна реалізувати три рівня передатного числа (один – для положення коліс $z_8,$

z_9 , зображеного на рис. 2.2а, другий – коли колесо z_9 зчеплене з z_{10} , третє – коли з'єднані z_8 та z_{11}). На рис. 2.2б надано кінематичну схему з кулько-гвинтовою парою, на рис. 2.2в – з парою “зубчасте колесо–рейка”.

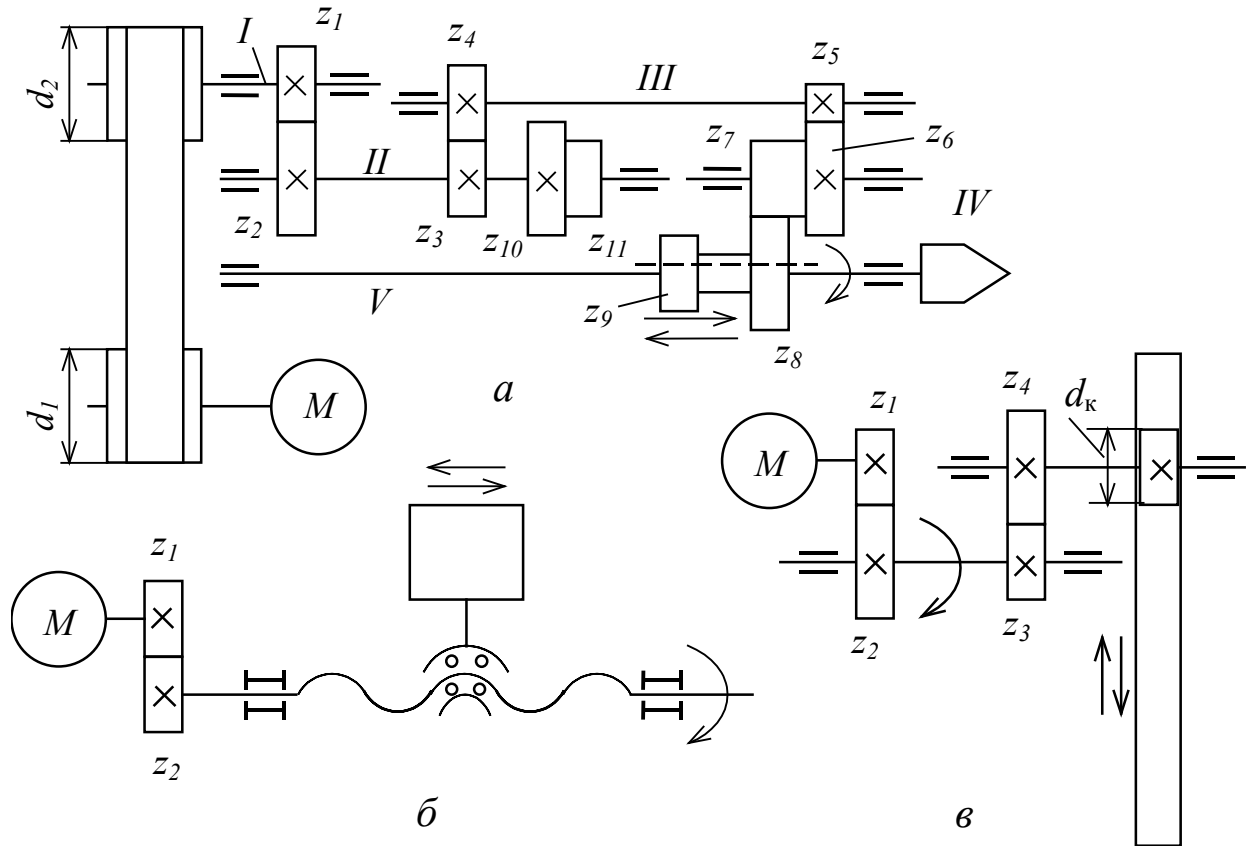


Рис. 2.2. Типові кінематичні схеми механізмів головного руху (а) та подач (б, в)

Варіанти вихідних даних для приводів токарного та фрезерного верстатів наведені відповідно в табл. 2 та 3 додатку 1.

Пояснимо на прикладі вибір вихідних даних. Нехай номер завдання – 27. За табл. 1 додатку 1 визначаємо різновид верстата (Т - токарний), координату (поздовжня подача X), систему електропривода (вентильний двигун ВД), варіант числових вихідних даних (2). Другому варіанту числових вихідних даних для токарного верстата відповідають розміри деталі (рис. 2.1а), параметри режиму різання, верстата та вимоги до приводу X, розташовані у другому стовпчику табл. 2 додатку 1.

3. ПОПЕРЕДНІЙ ВИБІР ДВИГУНА ТА ПЕРЕДАТНОГО ЧИСЛА

3.1. Двигун шпинделя

Двигун вибирають за потужністю різання з урахуванням діапазону регулювання швидкості, в якому забезпечується незмінність потужності. Максимальна швидкість двигуна відповідає максимальній швидкості шпинделя.

Із ряду двигунів з електромагнітним збудженням (табл. 1 додатку 2) вибирають двигун із потужністю

$$P_n \geq (1,2 \dots 1,3) P_z. \quad (3.1)$$

Якщо діапазон регулювання швидкості обраного двигуна послабленням поля

$$D_\phi = \frac{\omega_{д\max}}{\omega_{дн}} \geq D = \frac{\omega_{ш\max}}{\omega_{ш\min}}, \quad (3.2)$$

то закон $P = P_z = const$ може бути забезпечений у потрібному діапазоні швидкостей $\omega_{ш\min} \dots \omega_{ш\max}$ зміною лише потоку двигуна за незмінного передатного числа коробки швидкостей (рис. 3.1а). Тому попередній вибір двигуна в разі виконання умови (3.2) вважається завершеним. Передатне число у цьому випадку

$$i = \omega_{д\max} / \omega_{ш\max}. \quad (3.3)$$

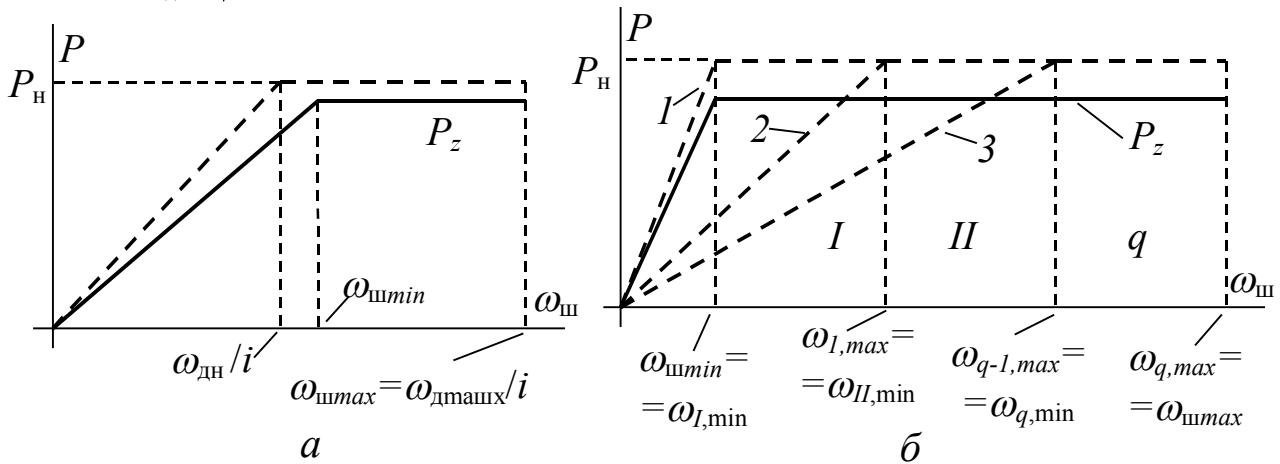


Рис. 3.1. До вибору передатного числа коробки швидкостей

Проте частіше умова (3.2) не виконується, що потребує зміни передатного числа коробки швидкостей для забезпечення незмінності потужності в усьому діапазоні $\omega_{ш\min} \dots \omega_{ш\max}$.

Необхідна кількість ступенів передатного числа, тобто піддіапазонів регулювання швидкості (округлити до найближчого більшого цілого):

$$q = \frac{\lg(D)}{\lg(D_\phi)}.$$

Передатне число першого піддіапазону

$$i_1 = \omega_{дн} / \omega_{ш\min}.$$

Максимальні швидкості першого і k -ого піддіапазонів

$$n_{I,\max} = \sqrt[q]{\omega_{ш\max} \omega_{ш\min}^{q-1}};$$

$$n_{k,\max} = \frac{\omega_{k-1,\max}^2}{\omega_{k-1,\min}} \quad (k=1, 2, \dots, q).$$

Мінімальна швидкість k -ого піддіапазону

$$\omega_{k,\min} = \omega_{k-1,\max}.$$

Передатне число k -ого піддіапазону

$$i_k = \omega_{дн} / \omega_{k,\min}. \quad (3.4)$$

Слід звернути увагу на те, що передатне число ремінної передачі $i = d_2 / d_1$ входить до загального передатного числа.

На рис. 3.1б зображені залежності потужності різання P_z та потужності двигуна від швидкості шпинделя (лінії 1, 2, 3) для трьох значень передатного числа (відповідно до кінематичної схеми рис. 2.2а). Подібні залежності мають бути наведені в пояснювальній записці з розрахованими значеннями швидкостей та потужностей.

3.2. Двигун подачі

Двигун вибирається виходячи із заданого зусилля під час різання, а також максимальної робочої швидкості подачі та швидкості швидкого ходу. Передатне число редуктора забезпечує відповідність максимальної частоти обертання двигуна та швидкості швидкого ходу супорта:

$$i \leq \frac{\omega_{\text{дmax}}}{v_{\text{шх}}} \cdot \frac{t_{\text{г}}}{2\pi} \quad (3.5)$$

(для передачі “гвинт–гайка”) або

$$i \leq \frac{\omega_{\text{дmax}}}{v_{\text{шх}}} \cdot \frac{d_{\text{к}}}{2}$$

(для передачі “колесо–рейка”),

де $\omega_{\text{дmax}}$ – максимальна швидкість двигуна, рад/с; $v_{\text{шх}}$ – швидкість швидкого ходу, м/с; $t_{\text{г}}$ – крок гвинта, м; $d_{\text{к}}$ – діаметр колеса пари “колесо–рейка”, м.

УВАГА! Якщо розраховується варіант з передачею “колесо–рейка”, надалі у всіх формулах замість $t_{\text{г}}/2\pi$ треба ставити $d_{\text{к}}/2$ ($d_{\text{к}}$ – діаметр колеса).

Із ряду двигунів (табл. 2 або 3 Додатку 2) вибирають двигун з тривалим моментом

$$M_{\text{д0}} \geq \frac{(1,2 \dots 1,3) F_{\text{р}} t_{\text{г}}}{2\pi i}, \text{ Нм}$$

та перевіряють умову забезпечення діапазону робочих швидкостей подач:

$$\omega_{\text{дн}} \geq \frac{2\pi v_{\text{рmax}} i}{t_{\text{г}}},$$

де $v_{\text{рmax}}$ – максимальна швидкість робочої подачі, м/с.

Якщо остання умова не виконується, зменшують передатне число до

$$i \leq \frac{\omega_{\text{дн}} t_{\text{г}}}{2\pi v_{\text{рmax}}},$$

перевіряють умову (3.5) і (якщо остання не виконується) вибирають двигун із більшим номінальним моментом.

4. РОЗРАХУНОК ДІАГРАМ ШВИДКОСТЕЙ І НАВАНТАЖЕНЬ ПРИВОДІВ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА

4.1. Швидкості, зусилля та тривалості різання

Швидкості та зусилля розраховують для чорнового точіння, як найбільш важкого режиму. Для зовнішнього поздовжнього та поперечного точіння окружну швидкість різання розраховують за емпіричною формулою

$$v = \frac{C_v}{60 T^m t^{X_v} S^{Y_v}}, \text{ м/с}, \quad (4.1)$$

де t – глибина різання, мм; s – подача на оберт (або просто подача), мм/об; $T=60$ хв – стійкість різця; C_v, X_v, Y_v, m – емпіричні коефіцієнти, значення яких залежно від подачі наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Коефіцієнти для розрахунку швидкості різання

Подача, мм/об	C_v	X_v	Y_v	m
$s \leq 0,3$	420	0,15	0,2	0,2
$0,3 < s \leq 0,7$	350	0,15	0,35	0,2
$s > 0,7$	340	0,15	0,45	0,2

Спочатку визначають послідовність обробки поверхонь залежно від профілю заготовки та креслень деталі. На рис. 4.1 як приклад на фоні профілю заготовки (переривиста лінія) та креслення деталі (суцільна товста лінія) показані траєкторія вершини різця (тонка лінія) та її характерні точки. Для цього прикладу співвідношення розмірів заготовки та готової деталі таке, що обробка здійснюється у чотири переходи (на рис. 4.1 позначені римськими цифрами). Різець починає рух з точки 1 і проходить послідовно всі точки від 2 до 16. Відрізки 1–2, 5–6, 9–10, 13–14 інструмент проходить зі швидкістю робочої подачі, інші – зі швидкістю швидкого ходу. Після повернення інструмента до вихідної точки

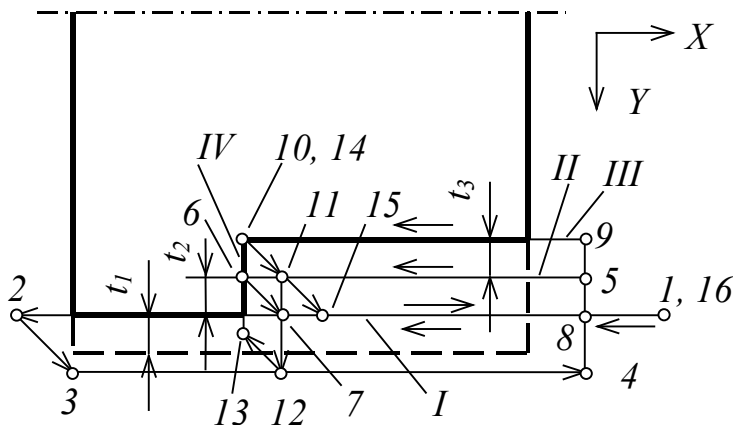


Рис. 4.1. Послідовність точіння

відбувається зміна заготовки та починається новий цикл обробки. Щоб запобігти поломки різця, точки, у яких він змінює напрямок руху (2...5, 7...9, 11, 12), віддалені від поверхні деталі на кілька міліметрів.

Частоту обертання шпинделя для кожного з переходів під час поздовжнього точіння визначають як

$$\omega_{ши} = \frac{2v}{D_i}, \text{ c}^{-1}, \quad (4.2)$$

де D_i – діаметр оброблюваної поверхні на i -ому переході, м (визначається виходячи з положення вершини різця: на рис. 4.1 для I переходу $D_i = D_1$, для II – $D_i = D_1 - 2t_2$, для III – $D_i = D_2$).

Під час обробки торцевих та нециліндричних поверхонь з метою стабілізації окружної швидкості різання частота обертання шпинделя безперервно змінюється системою ЧПК пропорційно радіусу оброблюваної поверхні, а швидкість подачі – пропорційно частоті обертання шпинделя для стабілізації обертової подачі. Для розрахунку частот обертання шпинделя за змінного радіуса обробки необхідно визначити початкову та кінцеву частоти за формулою (4.2) для початкового та кінцевого діаметрів, а зміну частоти у часі вважати приблизно лінійною.

Швидкість робочої подачі для кожного з переходів під час поздовжнього та торцевого точіння

$$v_{pi} = \frac{sn_{\text{ш}i}}{60000} = \frac{s\omega_{\text{ш}i}}{2000\pi}, \text{ м/с.} \quad (4.3)$$

Тривалість переходу під час поздовжнього точіння

$$t_{pi} = L_i / v_{pi}, \text{ с,} \quad (4.4)$$

де L_i – довжина твірної оброблюваної поверхні, м (інакше – шлях, пройдений зі швидкістю подачі v_{pi}).

Під час торцевого точіння

$$t_{\text{пр}} = \frac{30000\pi}{sv} (D_{\text{п}}^2 - D_{\text{к}}^2), \text{ с,} \quad (4.5)$$

де $D_{\text{п}}^2$ та $D_{\text{к}}^2$ – початковий та кінцевий діаметри на траєкторії торцевого точіння, м.

Вигляд діаграми швидкостей шпинделя під час обробки деталі за рис. 4.1 наведена на рис. 4.2. Цифри відповідають положенням інструмента на рис. 4.1.

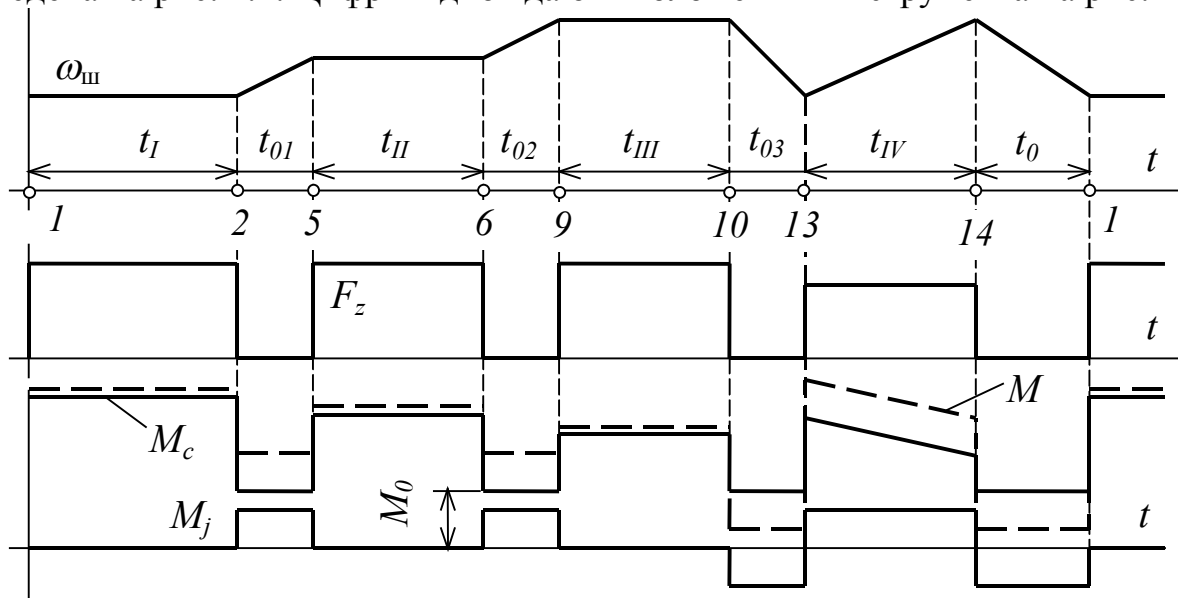


Рис. 4.2. Діаграми швидкостей та навантажень приводу шпинделя токарного верстата

Таблиця 4.2

Коефіцієнти для розрахунку зусиль різання

Коефіцієнт	C_{Fz}	X_{Fz}	Y_{Fz}	n_z	C_{Fy}	X_{Fy}	Y_{Fy}	n_y	C_{Fx}	X_{Fx}	Y_{Fx}	n_x
Конструкційна сталь та сталеві виливки	300	1,0	0,75	-0,15	243	0,9	0,8	-0,3	330	1,0	0,5	-0,4
Сірий чавун	92	1,0	0,75	0	54	0,9	0,75	0	46	1,0	0,4	0
Ковкий чавун	81	1,0	0,75	0	43	0,9	0,75	0	38	1,0	0,4	0

Складові зусилля різання:

тангенціальна

$$F_z = 10C_{Fz} t^{X_{Fz}} s^{Y_{Fz}} v^{n_z}, \text{ Н}; \quad (4.6)$$

радіальна

$$F_y = 10C_{Fy} t^{X_{Fy}} s^{Y_{Fy}} v^{n_y}, \text{ Н}; \quad (4.7)$$

поздовжня (осьова)

$$F_x = 10C_{Fx} t^{X_{Fx}} s^{Y_{Fx}} v^{n_x}, \text{ Н}. \quad (4.8)$$

Емпіричні коефіцієнти формул (4.5)...(4.7) для зовнішнього точіння твердосплавним різцем наведені в табл. 4.2.

4.2. Навантаження приводу шпинделя

Статичний момент на валі двигуна на кожному з переходів

$$M_c = \frac{F_z D_i}{2i\eta}, \quad (4.9)$$

де i – загальне передатне число передач; $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n$ – сумарний коефіцієнт корисної дії передач (визначається з ККД окремих пар за даними табл. 1 додатку 3).

Щоб визначити, яке з розрахованих у п. 3.1 передатних чисел використувати тут і надалі, слід для кожного з переходів вибрати таке з них, за якого швидкість двигуна лежить у межах від номінальної до максимальної:

$$\omega_{\text{дн}} \leq \omega_{di} = \omega_{\text{шп}} i_k \leq \omega_{\text{дmax}}. \quad (4.10)$$

Приблизний вигляд діаграми статичного моменту надано на рис. 4.2. На переході III зі змінним радіусом обробки залежність статичного моменту від часу прийнята лінійною.

Протягом пауз t_{01} , t_{02} , t_{03} та t_0 відбувається пересування інструмента без контакту з деталлю. Статичний момент при цьому дорівнює моменту холостого ходу

$$M_0 \approx 0,6(1 - \eta)M_{c \text{ max}},$$

де $M_{c \text{ max}}$ – максимальний статичний момент (для діаграми рис. 4.2 відповідає першому переходу).

Момент інерції деталі визначається як сума моментів інерції елементарних суцільних циліндрів

$$J_{\text{ц}} = \pi D_{\text{ц}}^4 L_{\text{ц}} \gamma / 32, \text{ кгм}^2, \quad (4.11)$$

де $D_{\text{ц}}$, $L_{\text{ц}}$ – діаметр та довжина циліндра, м; $\gamma = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ – питома вага оброблюваного матеріалу (сталі).

Сумарний зведений до вала двигуна момент інерції привода

$$J = J_{\text{дв}} + J_{\text{шк}} + J_{\text{п}} / i_p^2 + (J_{\text{шп}} + J_{\text{дет}}) / i^2, \text{ кгм}^2,$$

де $J_{\text{дв}}$, $J_{\text{шк}}$, $J_{\text{п}}$, $J_{\text{шп}}$, $J_{\text{дет}}$ – моменти інерції двигуна, шків, проміжного вала, шпинделя (табл. 2 додатку 1) та деталі; $i_p \approx \sqrt{i}$ – передатне число ремінної передачі.

Динамічний момент на ділянках зі змінною швидкістю

$$M_j = Ji \frac{\omega_{\text{шк}} - \omega_{\text{шп}}}{t_i}, \text{ Нм},$$

де $\omega_{\text{шк}}$ та $\omega_{\text{шп}}$ – кінцева та початкова швидкості шпинделя на ділянці зі змінною швидкістю; t_i – тривалість цієї ділянки, с.

Повний момент двигуна

$$M = M_c + M_j.$$

Зразок діаграм динамічного та повного моментів наведений на рис. 4.2.

4.3. Навантаження приводів подач

Двигуни робочих подач працюють у трьох суттєво різних режимах: швидкий хід (контакт інструмента з деталлю відсутній, двигун навантажений моментом тертя в передачі); точіння або робочий хід (двигун навантажений моментами від сил різання та тертя); пуск та гальмування (момент двигуна визначається рівнем струмообмеження). На рис. 4.3 зображені діаграми швидкостей та навантажень приводів подач під час обробки деталі за рис. 4.1. Знаки швидкостей подані відповідно до напрямку осей координат. Знак моменту від сил тертя збігається зі знаком швидкості.

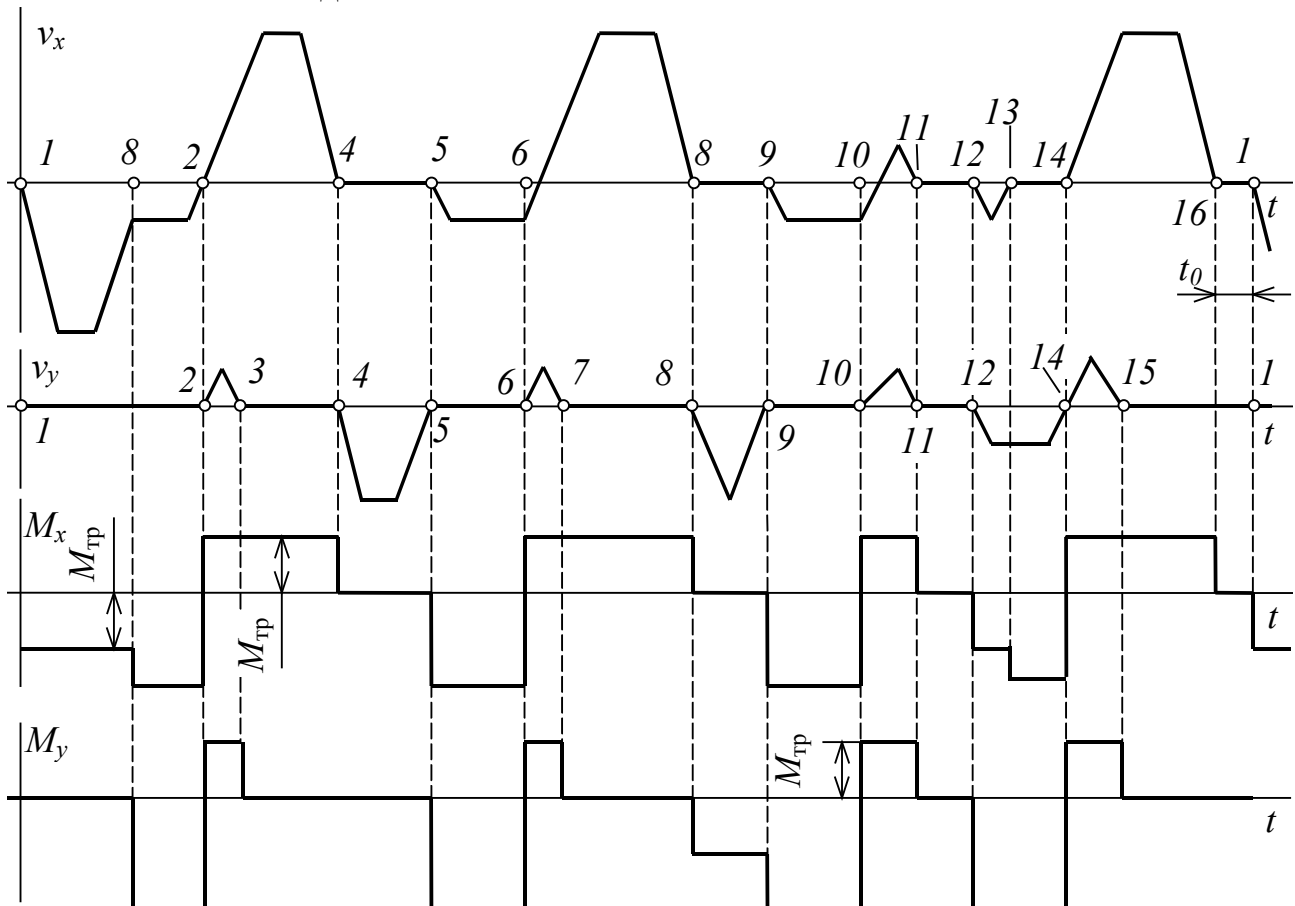


Рис. 4.3. Приблизні діаграми швидкостей та навантажень приводів подач токарного верстата

Особливістю верстатів з ЧПК є те, що для забезпечення заданої траєкторії інструмента і профілю деталі на ділянках, паралельних осям координат двигуни подач, які на цих ділянках нерухомі (поперечна подача під час повздовжнього

точіння та повздовжня подача під час торцевого точіння), не відключаються, а завдяки регулятору положення відпрацьовують незмінне завдання на положення. Тому привід подачі X між точками 13 та 14, а також привод Y між точками 8 та 2, 5 та 6, 9 та 10 хоча й нерухомі, однак навантажені моментами від сил різання та тертя.

Під час швидкого ходу статичне навантаження визначається силами тертя

$$M_{\text{шх}} = M_{\text{тр}} = M_{\text{трн}} + M_{\text{п}} + M_{\text{г}}, \quad (4.12)$$

де $M_{\text{трн}}$, $M_{\text{п}}$, $M_{\text{г}}$ – моменти від сил тертя в напрямних опорах, від попереднього натягу в упорних підшипниках гвинта, від натягу гвинтової передачі.

$$M_{\text{трн}} = \frac{F_{\text{трн}} t_{\text{г}}}{2\pi i \eta}, \text{ Нм}, \quad (4.13)$$

де $F_{\text{трн}} = \rho mg$ – сила тертя в напрямних опорах, Нм; ρ – коефіцієнт тертя в напрямних опорах (табл. 2 додатку 3); m – маса вузлів, що рухаються поступально, кг; i , η – сумарні передатне число та ККД редуктора та гвинтової передачі.

$$M_{\text{п}} = n_{\text{п}} F_{\text{н}} f_{\text{п}} r / i \eta_{\text{р}}, \text{ Нм}, \quad (4.14)$$

де $n_{\text{п}}$ – кількість упорних підшипників гвинта; $f_{\text{п}}$ – коефіцієнт тертя в підшипниках (табл. 2 додатку 3); r – радіус цапфи під підшипником, м (можна прийняти приблизно рівним радіусу гвинта за табл. 3 додатку 3); $F_{\text{н}} = (F_{\text{р}} + F_{\text{трн}}) / 3$; $F_{\text{р}}$ – зусилля різання на поточному переході, Н (осьове $F_{\text{х}}$ для координати X та радіальне $F_{\text{у}}$ для координати Y); $\eta_{\text{р}}$ – ККД редуктора.

$$M_{\text{г}} = M_{\text{хх}} / i \eta_{\text{р}}, \text{ Нм}, \quad (4.15)$$

де $M_{\text{хх}}$ – момент холостого ходу гвинта, Нм (табл. 3 додатку 3).

Під час робочого ходу статичний момент дорівнює

$$M_{\text{рх}} = M_{\text{тр}} + M_{\text{р}}, \quad (4.16)$$

де $M_{\text{р}} = \frac{F_{\text{р}} t_{\text{г}}}{2\pi i \eta}$ – момент від сил різання для відповідної координати, Нм.

Момент інерції привода, зведений до вала двигуна

$$J = 1,2 J_{\text{дв}} + \frac{J_{\text{г}}}{i^2} + \frac{m t_{\text{г}}^2}{4\pi^2 i^2}, \text{ кгм}^2, \quad (4.17)$$

де $J_{\text{г}}$ – момент інерції гвинта, який визначається за формулою (4.11) виходячи з діаметра $d_{\text{г}}$ та довжини $L_{\text{г}}$ гвинта (табл. 2 Додатку 1).

Уважаючи тривалість розгону та гальмування під час швидкого ходу набагато меншими від тривалості усталеного руху, тривалість кожного з інтервалів швидкого ходу визначимо як

$$t_{\text{шх}i} = L_i / v_{\text{шх}}, \text{ с},$$

де L_i – шлях, який проходить різець під час швидкого ходу, м.

Тривалість розгону та гальмування під час швидкого ходу

$$t_{\text{рш}} = \frac{2\pi i J v_{\text{шх}}}{(M_{\text{max}} - M_{\text{тр}})t_{\text{Г}}}, \text{ с}; \quad (4.18)$$

$$t_{\text{гш}} = \frac{2\pi i J v_{\text{шх}}}{(M_{\text{max}} + M_{\text{тр}})t_{\text{Г}}}, \text{ с}, \quad (4.19)$$

де M_{max} – максимально допустимий момент двигуна. Якщо використовується двигун, максимальний момент якого залежить від швидкості (високомоментний), тривалості розгону та гальмування визначаються за методикою п. 4.4.

Тривалість руху за трикутною тахограмою (як між точками 2–3, 6–7, 8–9, 10–11, 12–13, 14–15)

$$t_{\Delta i} = \sqrt{\frac{4\pi i L_{\Delta} \cdot \varepsilon_{\text{р}} + \varepsilon_{\text{Г}}}{t_{\text{Г}} \varepsilon_{\text{р}} \varepsilon_{\text{Г}}}}, \text{ с},$$

де L_{Δ} – довжина траєкторії з трикутною тахограмою, м; $\varepsilon_{\text{р}} = (M_{\text{max}} - M_{\text{тр}})/J$, $\varepsilon_{\text{Г}} = (M_{\text{max}} + M_{\text{тр}})/J$ – прискорення під час розгону та гальмування, с^{-2} . Для високомоментних двигунів замість M_{max} може бути використаний максимальний момент за нерухомого якоря, оскільки швидкість на подібних ділянках невелика.

Тривалості робочого ходу на кожному з переходів дорівнюють тривалостям відповідних переходів за (4.4), (4.5). Тривалість розгону та гальмування на ділянках різання

$$t_{\text{рр}i} = \frac{2\pi i J v_{\text{п}i}}{(M_{\text{max}} - M_{\text{рх}})t_{\text{Г}}}, \text{ с};$$

$$t_{\text{гр}i} = \frac{2\pi i J v_{\text{п}i}}{(M_{\text{max}} + M_{\text{рх}})t_{\text{Г}}}, \text{ с},$$

де $v_{\text{п}i}$, $M_{\text{рх}}$ – швидкість подачі та статичний момент на відповідному переході.

Тривалість циклу обробки деталі

$$t_{\text{ц}} = \sum t_{\text{п}i} + \sum t_{\text{шх}i} + t_0.$$

Еквівалентний момент

$$M_e = \sqrt{\left\{ M_{\text{max}}^2 \left[\sum (t_{\text{рш}i} + t_{\text{гш}i}) + \sum (t_{\text{рр}i} + t_{\text{гр}i}) + \sum t_{\Delta i} \right] + M_{\text{рх}}^2 \sum t_{\text{п}i} + M_{\text{тр}}^2 \sum t_{\text{шх}i} \right\} / t_{\text{ц}}}.$$

Для високомоментного двигуна (ВМД) зі змінним моментом протягом розгону та гальмування в останній формулі замість M_{max} слід використовувати еквівалентний пусковий момент $M_{\text{пе}}$ (п. 4.4).

4.4. Тривалість пуску та пусковий момент високомоментного двигуна

Перевантажувальна здатність ВМД залежить від швидкості. Зокрема, під час пуску та гальмування динамічна механічна характеристика не повинна виходити за межі області, обмеженої максимальним моментом M_{max} (лінія 1) та комутаційною кривою 3 (див. рис. 4.4 та відповідну криву з додатку 2). Для об-

меження навантаження в динамічних режимах до САР швидкості вводять вузол залежного струмообмеження, який обмежує завдання на струм, апроксимуючи

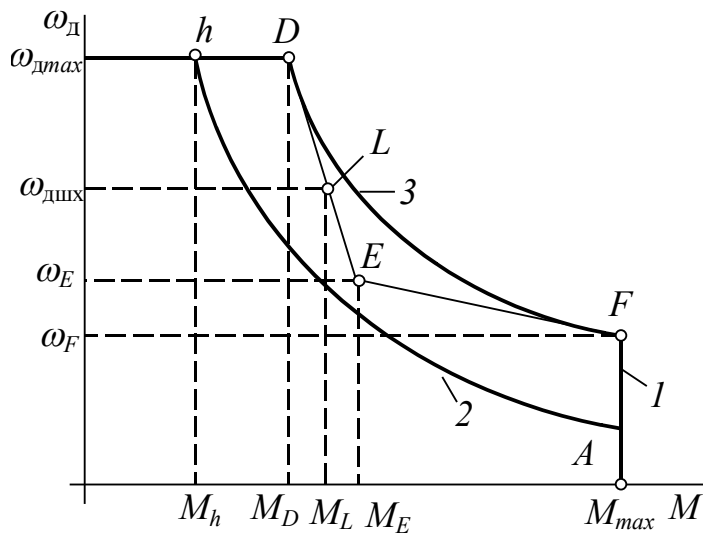


Рис. 4.4. До визначення тривалості пуску ВМД

$T_{ED} = J \left| \frac{\omega_{d\max} - \omega_E}{M_E - M_D} \right|$. Верхній знак у виразах (4.20) відповідає розгону, нижній –

гальмуванню. Будуючи лінії FE та ED , слід прагнути, щоб вони були дотичними до комутаційної кривої 3 у точках D та F .

Сумарна тривалість пуску (гальмування)

$$t_p = t_{AF} + t_{FE} + t_{ED}.$$

Момент, за його лінійної залежності від швидкості, є експоненціальною функцією часу. Для спрощення розрахунків замінимо експоненти прямими. При цьому під час розгону дійсний момент буде меншим розрахованого, під час гальмування – навпаки. Тоді еквівалентні (середньоквадратичні) моменти на окремих ділянках будуть

$$\left. \begin{aligned} M_{AF} &= M_{\max}; \\ M_{FE} &= \sqrt{(M_{\max}^2 + M_E^2 - M_{\max}M_E)/3}; \\ M_{ED} &= \sqrt{(M_E^2 + M_D^2 - M_DM_E)/3}. \end{aligned} \right\} \quad (4.21)$$

Якщо розгін відбувається до швидкості, меншої від ω_{\max} , або гальмування – до швидкості, більшої нуля, то у виразах (4.20) та (4.21) замість кінцевих моментів (M_D для розгону та M_{\max} для гальмування) слід підставити дійсний кінцевий момент (наприклад, M_L за рис. 4.4).

Еквівалентний момент протягом пуску (гальмування)

$$M_{\text{пе}} = \sqrt{(M_{AF}^2 t_{AF} + M_{FE}^2 t_{FE} + M_{ED}^2 t_{ED})/3}.$$

Якщо високомоментний двигун живиться від широтно-імпульсного перетворювача, слід мати на увазі, що перевантажувальна здатність двигуна у цьому випадку не може бути використана повністю внаслідок обмеженої перевантажувальної здатності транзисторів. Розрахунок тривалості розгону і гальмування та

криву 3 ламаною FED .

Тривалості розгону (гальмування) на ділянках AF , FE , ED дорівнюють

$$\left. \begin{aligned} t_{AF} &= J \frac{\omega_F - \omega_A}{M_{\max} \mp M_c}; \\ t_{FE} &= T_{FE} \ln \frac{M_{\max} \mp M_c}{M_E \mp M_c}; \\ t_{ED} &= T_{ED} \ln \frac{M_E \mp M_c}{M_D \mp M_c}. \end{aligned} \right\} \quad (4.20)$$

В останніх виразах

$$T_{FE} = J \left| \frac{d\omega_d}{dM} \right| = J \left| \frac{\omega_E - \omega_F}{M_{\max} - M_E} \right|;$$

еквівалентного моменту двигуна слід виконувати за умови, що струм у пускогальмівних режимах дорівнює подвоєному номінальному струмові блоку регулювання (див. п. 7.2).

5. РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ ПРИВОДІВ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА

5.1. Швидкості, зусилля та тривалість різання

Ескіз деталі з траєкторією руху центру фрези відносно неї (насправді звичайно рухається деталь, а фреза нерухома) наведений на рис. 5.1.

Швидкість різання (окружна швидкість зубів фрези) для кожного з переходів визначається за емпіричною формулою

$$v = \frac{C_v D^{q_v}}{60 T^m t^{X_v} s_z^{Y_v} B^{u_v} Z^p}, \text{ м/с,}$$

де D – діаметр фрези, мм; t – глибина різання, мм (у даному випадку дорівнює висоті уступу h_1 за рис. 2.1); s_z – подача на зуб фрези, мм/зуб; Z – кількість зубів фрези; B – ширина фрезерування, мм (для I та III переходів прийняти

$B = L_0/2$, для IV та VI $B = h/2$, для II та V $B = D/2$); $T=180$ хв – стійкість фрези; $C_v=64,7$; $q_v=0,25$; $m=0,2$; $X_v=0,1$; $Y_v=0,2$; $u_v=0,15$; $p=0$.

Частота обертання фрези

$$\omega_\phi = \frac{100v}{3D}, \text{ с}^{-1};$$

$$n_\phi = 30\omega_\phi / \pi, \text{ об/хв.}$$

Оборотна подача

$$s = s_z Z, \text{ мм/об.}$$

Тривалість переходу

$$t_i = \frac{2\pi L_i}{s\omega_\phi}, \text{ с,}$$

де L_i – шлях, пройдений центром фрези на поточному переході, мм (рис. 5.1).

Тангенціальна складова зусилля різання

$$F_z = \frac{10C_F t^{X_F} s_z^{Y_F} B^n Z}{D^{q_F} n_\phi^w}, \text{ Н,}$$

де емпіричні коефіцієнти для обробки конструкційних сталей дорівнюють: $C_F=82,5$; $X_F=0,95$; $Y_F=0,8$; $n=1$; $q_F=1,1$; $w=0$.

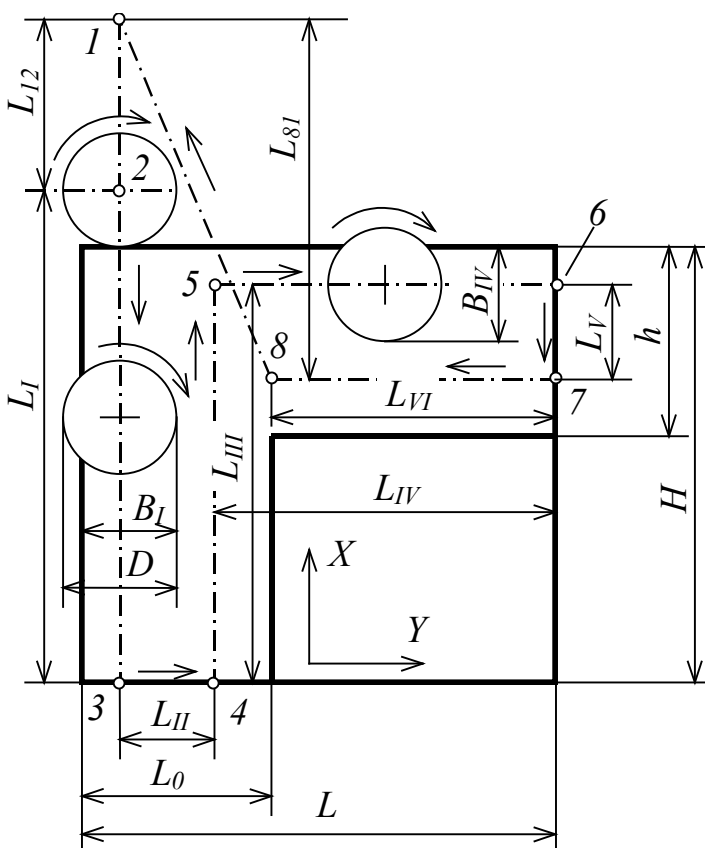


Рис. 5.1. Траєкторія руху фрези

Оскільки в процесі фрезерування напрям обертання фрези залишається незмінним, то за схемою обробки, наведеною на рис. 5.1, на різних переходах характер фрезерування буде різним: на переходах I, II, VI матимемо несиметричне зустрічне фрезерування, коли зуб фрези під час контакту з оброблюваним матеріалом рухається переважно назустріч подачі деталі; на переходах III, IV, V – несиметричне попутне фрезерування, коли напрям руху зуба переважно збігається з напрямом подачі. Величина та напрям проекцій сумарного зусилля різання на напрям подачі та поперечний напрям різняться залежно від характеру фрезерування. Епюри зусиль для кожного з переходів зображені на рис. 5.2. Коли знаки швидкості подачі та проекція зусилля вздовж напрямку цієї подачі збігаються, зусилля подачі сприяє рухові приводу подачі, за різних знаків – протидіє. Величина цих зусиль як часток від тангенціального зусилля різання наведена в табл. 5.1.

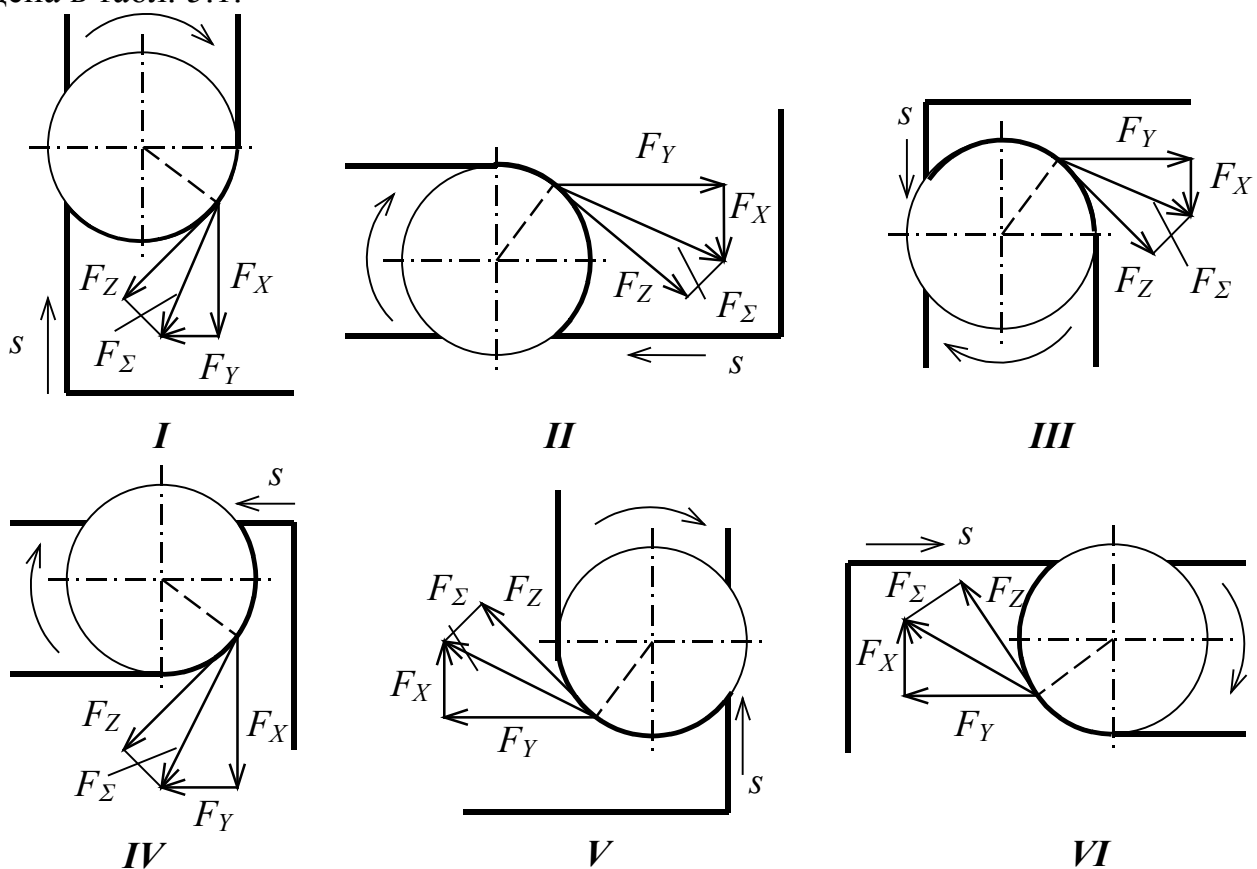


Рис. 5.2. Напрями зусиль різання на кожному з переходів

Таблиця 5.1

Проекції зусилля різання як частки від тангенціального зусилля

Напрямок проекції	Зустрічне фрезерування	Попутне фрезерування
Уздовж подачі	0,6...0,8	0,2...0,3
Перпендикулярно подачі	0,85...0,95	0,9...1,0

Нехай необхідно визначити зусилля різання на I переході. Оскільки в цьому випадку фрезерування зустрічне, а подача здійснюється вздовж осі X, то

$$F_X = (0,6...0,8)F_Z;$$

$$F_Y = (0,85...0,95)F_Z,$$

причому зусилля F_X протидіє подачі.

На III переході фрезерування попутне, тому

$$F_X = -(0,2 \dots 0,3)F_Z;$$

$$F_Y = (0,9 \dots 1,0)F_Z,$$

причому зусилля F_X сприяє подачі.

5.2. Навантаження приводу шпинделя

Статичний момент на валі шпинделя під час фрезерування

$$M_c = \frac{F_Z D}{2000 i \eta}, \text{ Нм,}$$

де i , η – сумарне передатне число (див. умову (4.10)) та ККД передачі (табл. 1 додатку 3).

Момент під час холостого ходу фрези

$$M_0 \approx 0,6(1 - \eta)M_{c \max},$$

де $M_{c \max}$ – статичний момент максимально навантаженого переходу (має місце за максимальної ширини фрезерування).

Приблизний вигляд діаграм частоти обертання фрези та навантаження приводу шпинделя наданий на рис. 5.3. Розраховуючи навантаження приводу шпинделя, динамічними навантаженнями від зміни швидкості, а також тривалістю пересування між точками 1 та 2, 8 та 1 можна знехтувати.

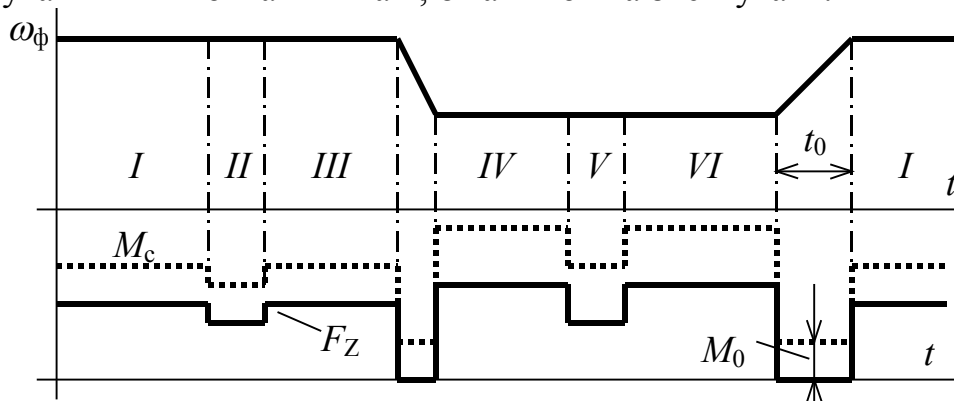


Рис. 5.3. Діаграми швидкостей і навантажень фрезерного верстата

Зведений до вала двигуна момент інерції приводу

$$J = J_{дв} + J_{шк} + J_{п} / i_p^2 + J_{шп} / i^2,$$

де $J_{дв}$, $J_{шк}$, $J_{п}$, $J_{шп}$ – моменти інерції двигуна, шківів, проміжного вала, шпинделя (табл. 3 додатку 1); $i_p \approx \sqrt{i}$ – передатне число ремінної передачі.

5.3. Навантаження приводів подач

Режим роботи та характер навантажень приводів подач фрезерного і токарного (п. 4.3) верстатів подібні.

На рис. 5.4 показані приблизні діаграми швидкостей і навантажень приводів подач під час обробки деталі за рис. 5.1. Із вихідної точки 1 фреза зі швидкістю швидкого ходу наближається до заготовки. Перед т. 2 швидкість знижується.

ся до швидкості робочого ходу. Між точками 2 та 8 відбувається фрезерування, а згодом – повернення до вихідної точки 1.

Під час швидкого ходу між т. 1 та 2, 8 та 1 двигун подач навантажений лише моментом від сил тертя, який визначається за формулами (4.11)–(4.14). Під час фрезерування з моментом від сил тертя алгебраїчно складається момент від сил різання, величина якого визначається за формулою (4.15) виходячи із зусиль різання F_X та F_Y згідно з рис. 5.2 та табл. 5.1. Знак моменту від сил різання збігається зі знаком моменту тертя, якщо різняться знаки швидкості подачі та сили різання вздовж відповідної осі (рис. 5.4). За однакових знаків швидкості подачі та сили різання момент від цих сил сприяє подачі та віднімається від моменту тертя. На рис. 5.4 наведені приблизні діаграми моменту тертя та сумарного статичного моменту для координати X.

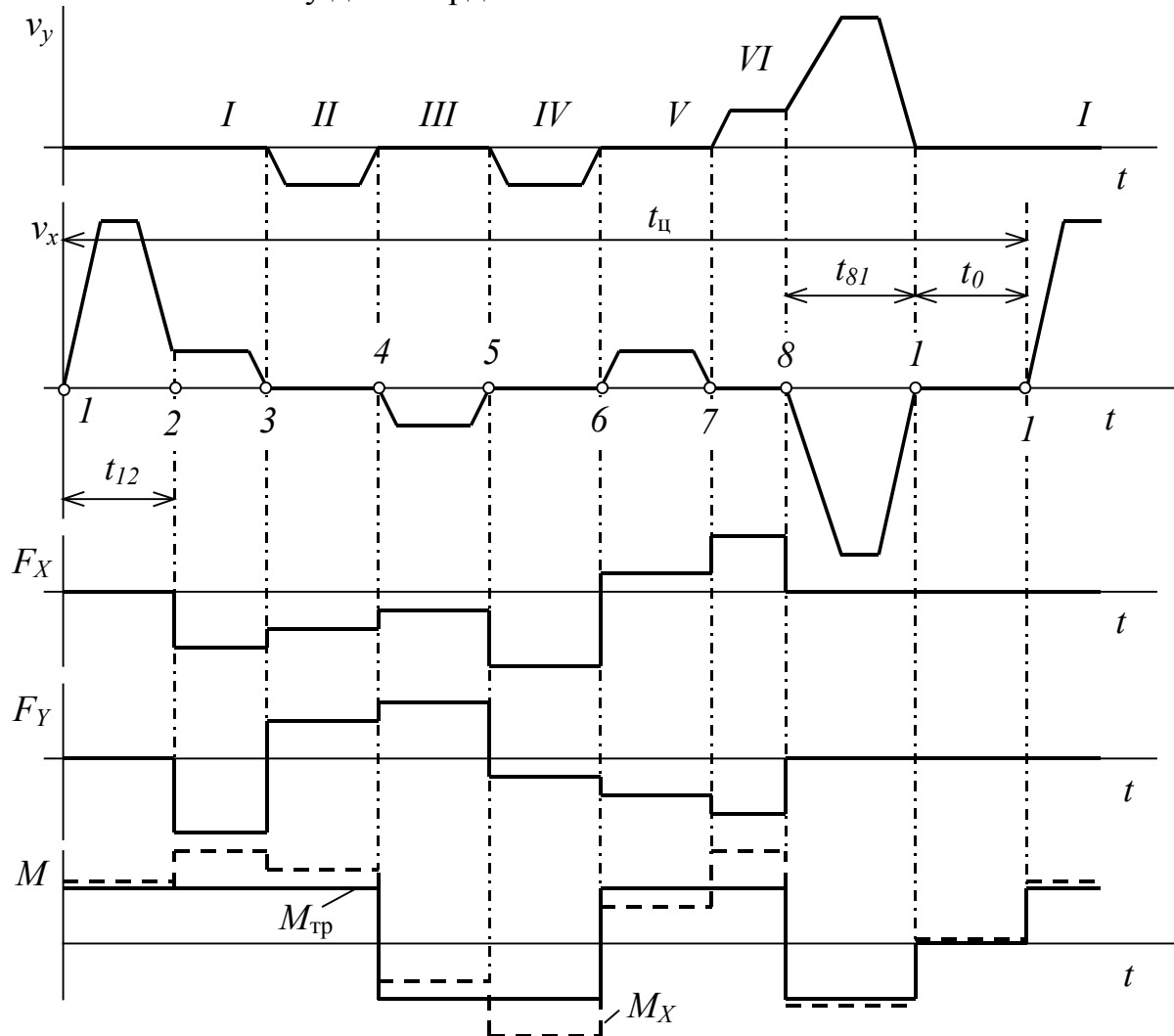


Рис. 5.4. Приблизні діаграми швидкостей та навантажень приводів подач під час фрезерування

Момент інерції приводу подачі розраховується, як і для токарного верстака, за виразом (4.16).

Необхідні для побудови діаграми навантажень тривалості періодів швидкого ходу

$$t_{12} = L_{12} / v_{шх}, \text{ с};$$

$$t_{81} = L_{81}/v_{шх}, \text{ с,}$$

де $L_{12}=0,3$ м – відстань між т. 1 та 2 (рис. 5.1); L_{81} – відстань уздовж осі Х між т. 8 та 1, м.

Тривалості розгону та гальмування під час швидкого ходу визначаються за формулами (4.17), (4.18). Розрахунок цих параметрів для ВМД здійснюється за методикою п. 4.4.

Тривалість циклу обробки деталі

$$t_{ц} = \sum t_i + t_0 + t_{12} + t_{81}, \text{ с,}$$

де $\sum t_i$ – сумарна тривалість переходів.

Еквівалентний момент

$$M_e = \sqrt{\left\{ M_{\max}^2 \left[\sum (t_{ршi} + t_{гшi}) + \sum (t_{рпi} + t_{гпi}) \right] + M_{рх}^2 \sum t_{пi} + M_{тр}^2 \sum t_{шхи} \right\} / t_{ц}}.$$

Для ВМД зі змінним моментом протягом розгону та гальмування в останній формулі замість M_{\max} слід використовувати еквівалентний пусковий момент $M_{пе}$ (п. 4.4).

6. ПЕРЕВІРКА ПОПЕРЕДНЬО ВИБРАНОВОГО ДВИГУНА

6.1. Двигун шпинделя

Критеріями перевірки двигуна є нагрів та перевантажувальна здатність. Еквівалентний за нагріванням момент для розрахованої в п.п. 4.2 або 5.2 діаграми навантажень дорівнює

$$M_e = \sqrt{\sum M_{ci}^2 t_i / t_{ц}}, \quad (6.1)$$

де M_{ci} та t_i – статичний момент на i -й ділянці навантажувальної діаграми та тривалість цієї ділянки.

Для ділянок діаграми навантажень, на яких частота обертання двигуна ω_i більша від номінальної (тобто йде робота з послабленим полем), замість моменту M_{ci} у формулі (6.1) слід використовувати скориговане значення моменту

$$M'_{ci} = M_{ci} \omega_{дi} / \omega_{дн}.$$

Для ділянок з лінійною зміною моменту замість M_{ci} підставляють середньоквадратичне значення

$$M_{скi} = \sqrt{(M_{пoch}^2 + M_{кін}^2 - M_{пoch} M_{кін}) / 3},$$

де $M_{пoch}$ та $M_{кін}$ – моменти на початку та в кінці ділянки лінійної зміни моменту.

Двигун не перегрівається, якщо його номінальний момент

$$M_n \geq (1,1 \dots 1,2) M_e.$$

Перевірку на перевантажувальну здатність здійснюють для кожної ділянки діаграми навантажень, на якій $\omega_i > \omega_n$, згідно з умовою

$$M_{ci} \leq M_{\max} \omega_{дн} / \omega_{дi},$$

де M_{\max} – максимальний момент двигуна.

У першій зоні регулювання, де $\omega_{di} < \omega_{дн}$, перевіряють лише ділянку з найбільшим статичним моментом за умови $M_{ci} \leq M_{\max}$.

6.2. Двигун подачі

Критеріями перевірки двигуна є нагрів, перевантажувальна здатність та тривалість пуску.

Двигун не перегрівается, якщо $M_e \leq M_{d0}$.

Перевірку на перевантаження вентильного двигуна здійснюють для кожного з переходів.

ВМД не перевантажений, якщо на кожному з переходів точка з координатами $[n_{di}, M_{ci}]$ лежить ліворуч від кривої допустимого статичного перевантаження двигуна (лінія 2 на рис. 4.4). Крім того, повинна виконуватися умова $M_{шх} \leq M_h$ (рис. 4.4). Під час перевірки двигунів серій ДПУ та ДК1 слід мати на увазі, що їхні криві допустимих статичних (лінія 2 рис. 4.4) та динамічних перевантажень (лінія 3) збігаються.

Тривалість кожного з пусків не повинна перевищувати 0,2 с.

7. ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВОГО КОЛА

7.1. Електропривід за системою “керований випрямляч –двигун”

Для верстатів з ЧПК вітчизняною промисловістю випускається гамма комплектних тиристорних електроприводів постійного струму (серії ЭПУ1, ЭТУ3601, ЭТУ2, БТУ3601 тощо), до складу яких входять тиристорні випрямлячі (ТВ) для кола якоря (у разі необхідності – і для кола збудження), необхідний набір регуляторів та датчиків, силові трансформатори або мережні реактори, згладжувальний дросель (якщо потрібно), блок захистів, блокувань та сигналізації. Номінали ТВ узгоджені з параметрами вітчизняних двигунів.

Таблиця 7.1

Номінальні струми та напруги ТВ для приводів подач

$I_{дн}, A$	11	11	25	25	25	50	50	50	100	100	100	200	200
$U_{дн}, B$	115	230	115	230	460	115	230	460	115	230	460	230	460

Комплектний електропривід вибирають після вибору двигуна за номінальними струмом та напругою якоря:

$$I_{дн} \geq I_{ян}; U_{дн} \geq U_{ян}.$$

Таблиця 7.2

Для комплектного електропривода з ВМД

$$I_{дн} \geq I_{d0}; U_{дн} \geq U_{ян} n_{д\max} / n_{дн}.$$

Можливі сполучення номінальних струмів та напруг ТВ для кола якоря привода подач наведені в табл. 7.1.

Схема силових кіл ТВ комплектних

Коло якоря		Коло збудження	
$I_{дн}, A$	$U_{дн}, B$	$I_{дн}, A$	$U_{дн}, B$
25	460	5	220
50	460	10	220
100	460	10	220
200	460	20	220
400	460	20	220
630	460	20	220

тиристорних електроприводів подач наведена на рис. 7.1, схема вмикання – на рис. 7.2а. Номінальні струми і напруги ТВ для кіл якоря та збудження приводу головного руху подані у табл. 7.2.

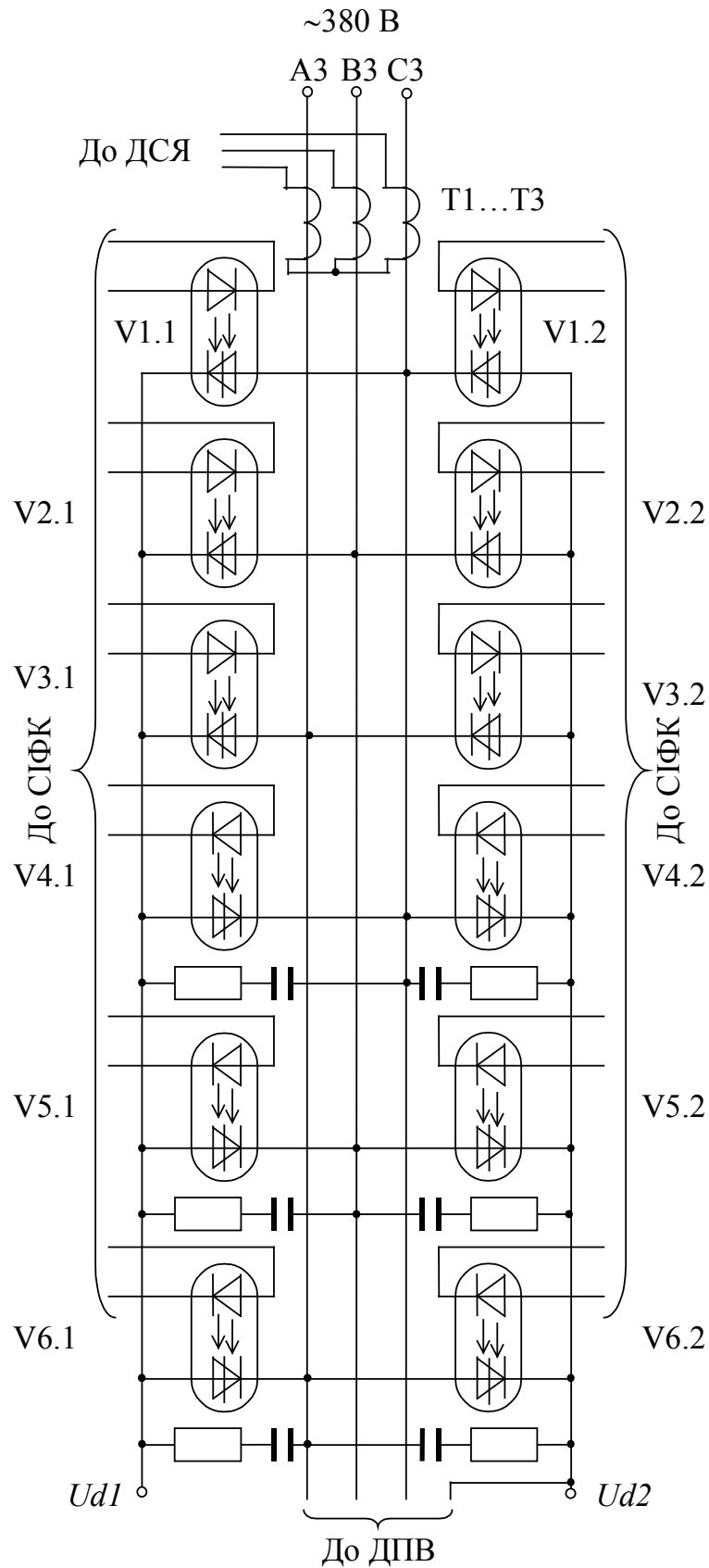


Рис. 7.1. Силова схема реверсивного тиристорного випрямляча для кола якоря

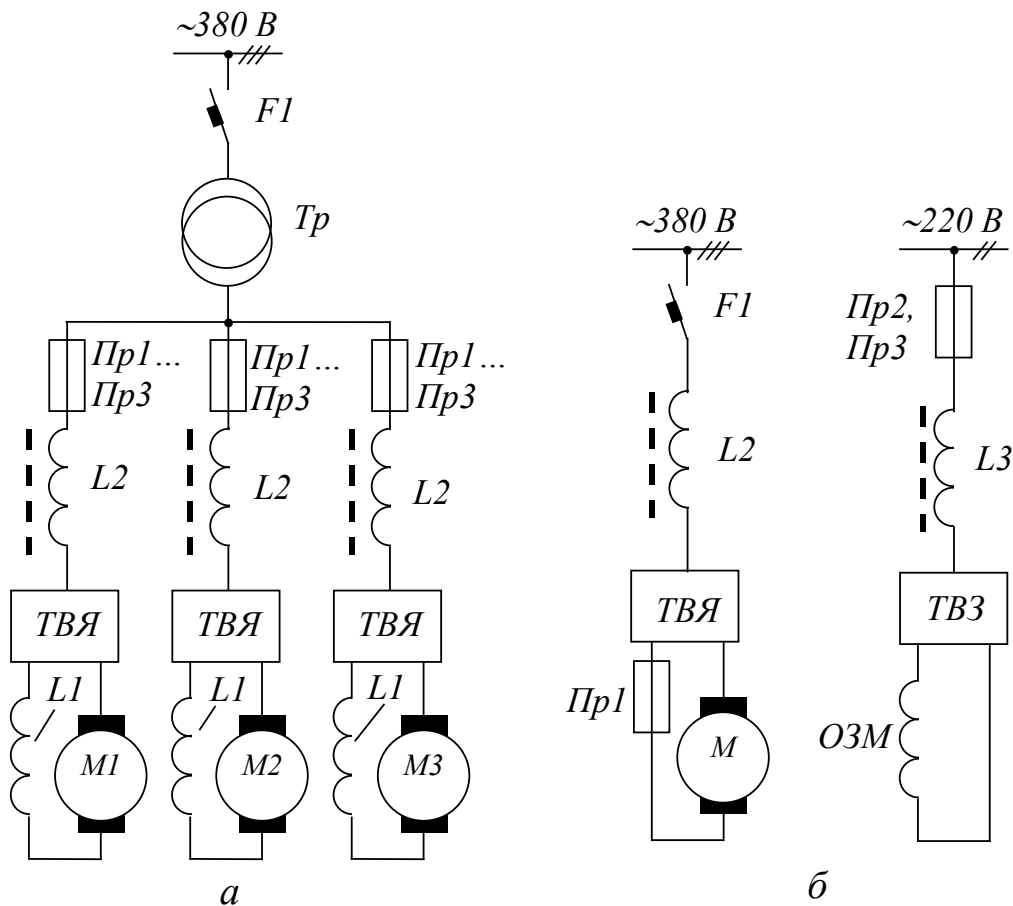


Рис. 7.2. Схеми вмикання тиристорних електроприводів постійного струму (а – подач, б – головного руху)

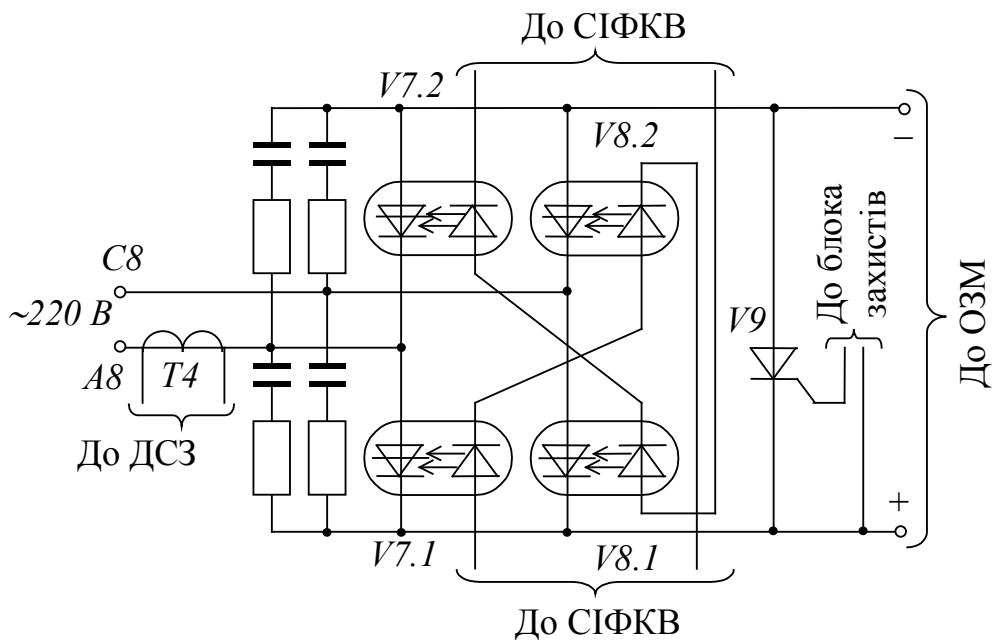


Рис. 7.3. Силова схема тиристорного збудника

головного руху ідентична схемі рис. 7.1, схема силових кіл ТВ збудження наведена на рис. 7.3, а схема вмикання – на рис. 7.2б.

Параметри мережних реакторів L_2 (рис. 7.2б) для кола якоря привода головного руху подані в табл. 7.3. Опори мережного реактора L_3 в колі збудження можна не враховувати.

Таблиця 7.3

Параметри мережних реакторів

I_n , А	11	25	50	100	200	400	630
L_p , мГн	2,2	1,33	0,66	0,3	0,17	0,17	0,048
r_p , Ом	0,04	0,025	0,0064	0,003	0,0061	0,0061	0,0023

Силовий трансформатор для живлення ТВ приводів подач вибирають за напругою

$$U_{2л} \geq U_{дн} / 1,35$$

та потужністю

$$S_T \geq 1,4 n_{п} k_{п} U_{2л} I_{дн}, \text{ ВА},$$

де $n_{п}$ – кількість приводів подач на верстаті (2 на токарному та як мінімум 3 на фрезерному); $k_{п}$ – коефіцієнт попиту, що враховує неодночасність роботи приводів подач (табл. 7.4).

Параметри трансформаторів наведені в табл. 7.5.

Таблиця 7.4

Коефіцієнт попиту

$n_{п}$	1	2	3	4	5	6
$k_{п}$	1	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5

7.2. Електропривід ШП-Д

Для механізмів подач верстатів з ЧПК випускаються комплектні електроприводи постійного струму з транзисторними ШП типу ЭШИМ1 та ЭШИМ2. До комплекту електроприводу входять силовий трансформатор, силовий блок живлення, один або кілька блоків регулювання (складається з широтно-імпульсного перетворювача, регуляторів струму та швидкості, датчика струму, системи захистів та блокування) згладжувальний дросель (у разі необхідності). Електропривід має два конструктивні

Таблиця 7.5

Параметри трифазних трансформаторів

Тип	S_T , кВА	Номинальна напруга		u_k , %	$\Delta P_{кз}$, Вт
		$U_{1л}$, В	$U_{2л}$, В		
ТСУ-1,0	1,0	380	85; 170; 220	5	80
ТСУ-1,6	1,6	380		4,5	90
ТСУ-2,5	2,5	380		4,5	115
ТСУ-4,0	4,0	380		4	140
ТСУ-6,3	6,3	380	104; 208	2	175
ТСУ-10	10	380		2	220
ТСУ-16	16	380		2	340
ТСУ-25	25	380		2	280
ТСУ-40	40	380		2	440
ТС3-10/0,66	10	380	230; 400	4,5	280
ТС3-16/0,66	16	380	230; 400	4,5	400
ТС3-25/0,66	25	380	230; 400	4,5	560
ТС3-40/0,66	40	380	230; 400	4,5	800
ТС3-63/0,66	63	380	230; 400	4,5	1090
ТС3-100/0,66	100	380	230; 400	4,5	1500
ТС3-160/0,66	160	380	230; 400	4,5	2060

варіанти: касетний (блоки виконані у вигляді висувних касет у спільному корпусі) та блочний (кожен блок є самостійною монтажною одиницею). Схема з'єднання блоків та їх вмикання до мережі змінного струму наведена на рис. 7.4.

Блок регулювання (табл. 7.6) вибирають за номінальним струмом двигуна та напругою, яка відповідає максимальній швидкості

Таблиця 7.6

Номінальні дані блоків регулювання

Тип блоку	$I_{бр},$ А	$U_{бр},$ В	Конструктивний варіант
БС 3001–263	4	60	касетний
БС 3001–293	8	60	касетний
БС 3001–325	16	150	блочний
БС 3001–322	16	180	блочний
БС 3001–327	16	220	блочний
БС 3001–345	25	150	блочний
БС 3001–342	25	180	блочний
БС 3001–347	25	220	блочний
БС 3001–385	40	150	блочний
БС 3001–362	40	180	блочний
БС 3001–387	40	220	блочний

$$I_{бр} \geq I_{ян}; U_{бр} \geq U_{ян} n_{дmax} / n_{дн}.$$

Якщо потрібна напруга блока регулювання більша від максимально можливої за табл. 7.6, вибирають блок з найбільшою напругою. У цьому випадку двигун не буде повністю використаний за швидкістю, і надалі його розрахункову максимальну швидкість слід уважати такою, що дорівнює

$$n_{дmax} = n_{дн} U_{бр} / U_{ян}.$$

Силову схему блока регулювання (БР) наведена на рис. 7.5.

Випрямлена напруга на виході блока живлення (БЖ) повинна відповідати номінальній напрузі блока регулювання:

$$U_{дн} = U_{бр}.$$

Номінальний струм блока живлення

$$I_{дн} \geq 1,05 n_{п} k_{п} I_{ян},$$

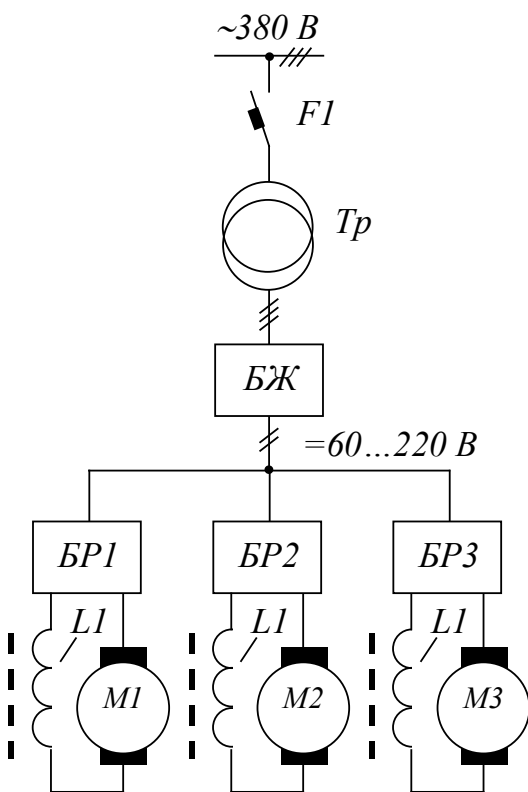


Рис. 7.4. Схема вмикання електропривода ШП-Д

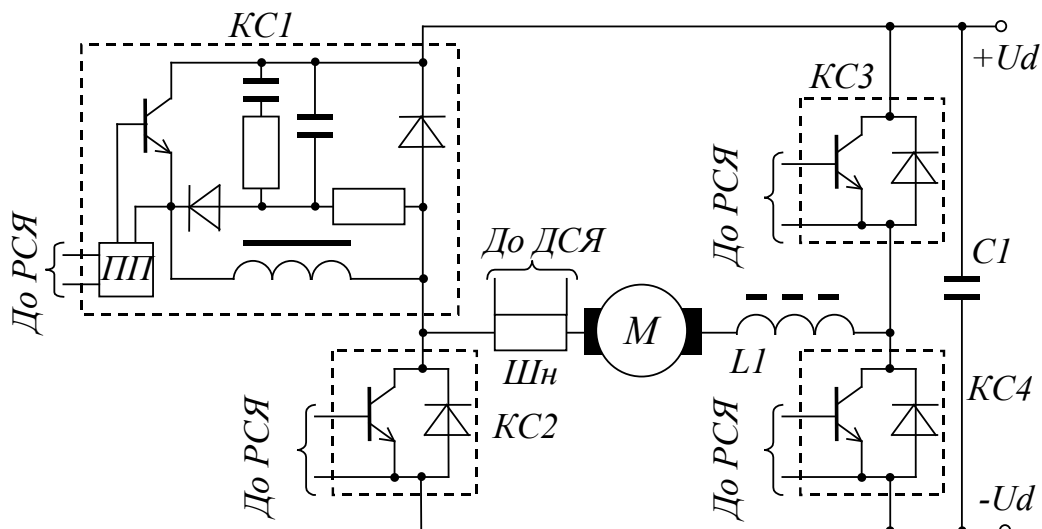


Рис. 7.5. Силову схему блока регулювання електропривода ШП-Д

де $n_{\text{п}}$ – кількість приводів подач на верстаті (2 на токарному та як мінімум 3 на фрезерному); $k_{\text{п}}$ – коефіцієнт попиту, що враховує неодночасність роботи приводів подач (табл. 7.4).

Номинальні параметри БЖ наведені у табл. 7.7, а схема його силових кіл – на рис. 7.6.

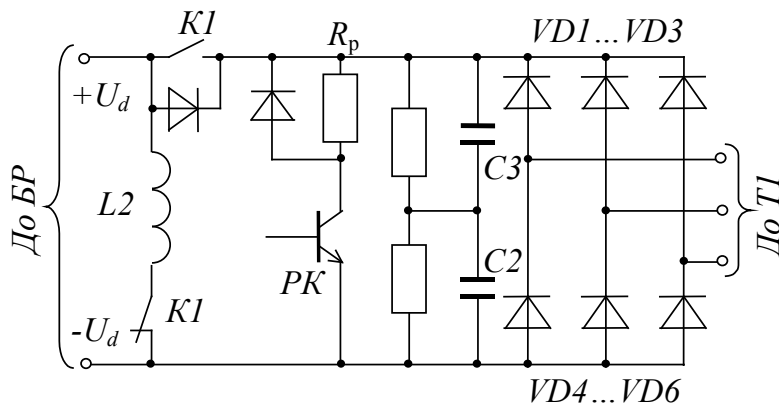


Рис. 7.6. Силова схема блока живлення електропривода ШПП–Д

Під час вибору БЖ слід урахувувати конструктивний варіант вибраного блока регулювання (електропривід комплектується з блоків лише однотипної конструкції). Кількість БР, які можуть житися від одного БЖ, указано в табл. 7.7. У разі необхідності до складу електроприводу можуть входити два БЖ, підключені до спільного силового трансформатора.

Необхідна напруга силового трансформатора

$$U_{2л} \geq U_{дн} / 1,35.$$

Потужність силового трансформатора

$$S_{\text{T}} \geq 1,05 k_{\text{п}} n_{\text{п}} I_{\text{ян}} U_{\text{ян}} \frac{n_{\text{дmax}}}{n_{\text{дн}}} \cdot \frac{v_{\text{рmax}}}{v_{\text{шх}}} + n_{\text{п}} P_{\text{к}}, \text{ ВА},$$

де $P_{\text{к}}$ – потужність, споживана пристроями керування (50 В, якщо $I_{\text{бр}} \leq 8 \text{ А}$ та 60 ВА, якщо $I_{\text{бр}} > 8 \text{ А}$).

Номинальні параметри трансформаторів наведені в табл. 7.8.

Таблиця 7.7

Номинальні параметри блоків живлення для електроприводів ШПП–Д

Тип блока	$I_{\text{дн}}, \text{ А}$	$U_{\text{дн}}, \text{ В}$	Кількість живлених БР	Конструктивний варіант
БС 9802–293	8	60	До 6	касетний
БС 9802–325	16	150	До 3	блочний
БС 9802–322	16	180	До 3	блочний
БС 9802–327	16	220	До 3	блочний
БС 9802–345	25	150	До 3	блочний
БС 9802–342	25	180	До 3	блочний
БС 9802–347	25	220	До 3	блочний
БС 9802–365	40	150	До 3	блочний
БС 9802–362	40	180	До 3	блочний
БС 9802–367	40	220	До 3	блочний

Таблиця 7.8

Номінальні параметри силових трансформаторів

Тип	S_T , кВА	$U_{2л}$, В
TSM 761	0,315	45
TSM 763	0,5	45
TSM 764	0,8	112
TSM 765	0,8	163
TSM 766	1,0	112
TSM 767	1,0	163
TSM 768	1,6	112
TSM 769	1,6	163
TSM 770	2,0	112
TSM 771	2,0	163
TSM 786	4,0	112
TSM 787	4,0	163
TSM 788	6,3	112
TSM 789	6,3	163

Розрядний опір R_p у силовому БЖ вибирають з таких міркувань. Щоб у гальмівному режимі енергія гальмування не накопичувалася в конденсаторі силового фільтра, а розсіювалася на розрядному резисторі, необхідно, щоб спад напруги в цьому резисторі був менший за випрямлену напругу. Тому опір розрядного резистора

$$R_p \leq U_{дн} / I_{г.макс}$$

де $I_{г.макс} = k_{дп} I_{бр}$ – максимально можливий гальмівний струм; $k_{дп}$ – коефіцієнт допустимого перевантаження БР за струмом у пуско-гальмівних режимах (для блоків типу БС 3001 дорівнює 2).

Потужність резистора визначається сумарною кінетичною енергією, що розсіюється у вигляді тепла в періоди гальмування протягом циклу $T_{ц}$:

$$\Delta P_R = k_{зр} J \sum (\omega_{пi}^2 - \omega_{кi}^2) / 2T_{ц}$$

де $k_{зр} = 2$ – коефіцієнт запасу за потужністю; $\omega_{пi}$, $\omega_{кi}$ – початкова та кінцева швидкість на i -му періоді гальмування.

7.3. Електропривід із вентильним двигуном

Для механізмів подач верстатів із ЧПК випускаються комплектні електроприводи з вентильним двигуном та транзисторним інвертором напруги з ШІМ. До складу електроприводу входять силовий блок живлення (БЖ), силовий

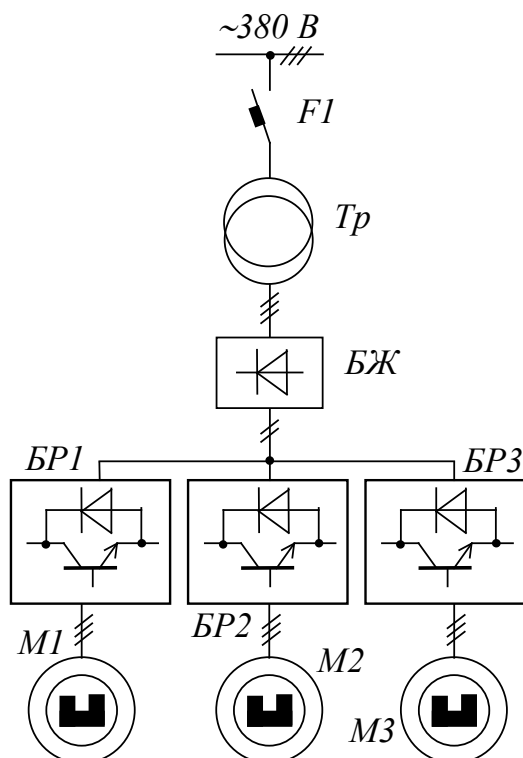


Рис. 7.7. Схема вмикання електроприводу з ВД

трансформатор (для БЖ з номінальним струмом 8 А відсутній), один або кілька (за кількістю подач) блоків регулювання (складається з транзисторного інвертора напруги, розподільника імпульсів, регуляторів струму та швидкості, системи захистів та блокувань). Схема з'єднання блоків та їх вмикання до мережі змінного струму наведена на рис. 7.7. Побудова та принцип дії електроприводів з вентильним двигуном розглянуті в [7,8].

Блок регулювання (БР) вибирають за струмом та напругою двигуна

$$I_{бр} \geq I_{д0}; U_{бр} \geq U_{дн}$$

Параметри БР наведені у табл. 7.9, силова схема – на рис. 7.8.

До одного БЖ можна підключати до трьох блоків регулювання (слід використовувати БР та БЖ однакового конструктивного виконання). Випрямлена напруга на виході

Таблиця 7.9

Параметри блоків регулювання

Тип блока	$I_{бр},$ А	$U_{бр},$ В	Конструктивний варіант
БС 4102–2600	4	60	касетний
БС 4102–2900	8	60	касетний
БС 4102–3050	10	520	блочний
БС 4102–3045	22	520	блочний

Таблиця 7.10

Параметри блоків живлення

Тип блока	$I_{дн},$ А	$U_{дн},$ В	Конструктивний варіант
БС 9803–2900	8	60	касетний
БС 9803–3050	10	520	блочний
БС 9803–3550	32	520	блочний

БЖ повинна відповідати номінальній напрузі вибраного БР ($U_{дн} = U_{бр}$). Номінальний струму БЖ

$$I_{дн} \geq 1,05 n_{п} k_{п} I_{d0}.$$

де $n_{п}$ – кількість приводів подач на верстаті (2 на токарному та як мінімум 3 на фрезерному); $k_{п}$ – коефіцієнт попиту, що враховує неодночасність роботи приводів подач (табл. 7.4).

Номінальні параметри БЖ зведені до табл. 7.10, а схема силового кола аналогічна схемі рис. 7.6.

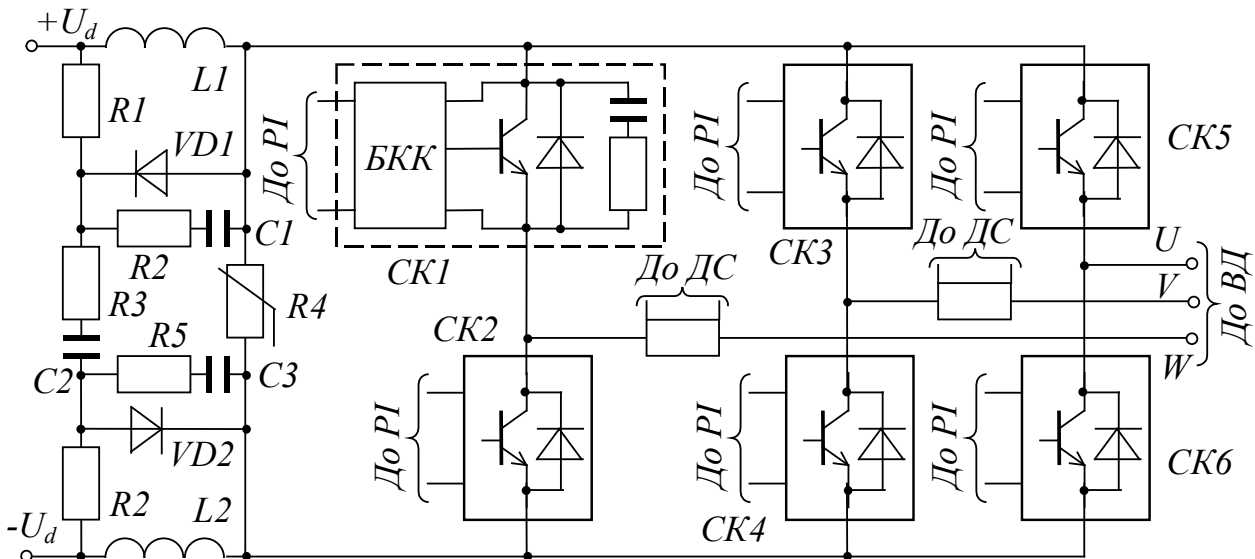


Рис. 7.8. Силова схема інвертора вентильного двигуна

8. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ САР

8.1. Тиристорний привід постійного струму

8.1.1. Параметри об'єкта керування

Опори та індуктивність фазної обмотки силового трансформатора, зведені до вторинного кола

$$\left. \begin{aligned} r_{\tau} &= \Delta P_{кз} U_{2л}^2 / S_{\tau}^2; \\ Z_{\tau} &= \frac{3u_k^2 U_{2л}^2}{100 S_{\tau}}; \\ x_{\tau} &= \sqrt{Z_{\tau}^2 - r_{\tau}^2}; \\ L_{\tau} &= x_{\tau} / 314 \end{aligned} \right\}, \quad (8.1)$$

де S_T – номінальна потужність трансформатора, ВА.

Опір, обумовлений перекриттям вентилів

$$R_\gamma = \frac{px_T}{2\pi}, \text{ Ом,}$$

де p – пульсність випрямляча (для трифазної мостової схеми випрямлення $p=6$).

Активний опір, індуктивність та електромагнітна стала якірного кола, зведені до температури обмоток 90°

$$\left. \begin{aligned} R_e &= (R_{\text{я}} + R_{\text{сд}} + 2r_T + 2r_p) [1 + (90 - t_0^\circ) \alpha] + R_\gamma; \\ L_e &= L_{\text{я}} + L_{\text{сд}} + 2L_T + 2r_p; \\ T &= L_e / R_e, \end{aligned} \right\} \quad (8.2)$$

де $\alpha=0,004$ – температурний коефіцієнт опору для міді; t_0° – температура “холодної” обмотки (табл. 1 або 2 додатку 2); $R_{\text{сд}}, L_{\text{сд}}$ – активний опір та індуктивність згладжувального дроселя у колі випрямленого струму [14]; r_p, L_p – опір та індуктивність мережних реакторів ($L2$ на рис. 7.2 та табл. 7.3).

Для безтрансформаторної схеми параметри трансформатора у виразі (8.2), звичайно, не використовують.

Коефіцієнт моменту для високомоментного двигуна

$$k\Phi = M_{d0} / I_{d0}, \text{ Нм/А,}$$

а для двигуна з електромагнітним збудженням

$$k\Phi = M_{\text{н}} / I_{\text{н}}.$$

Коефіцієнт передачі тиристорного випрямляча з пилкоподібною опорною напругою в СІФК

$$k_{\text{вя}} = U_{d0} \pi / U_{\text{опт}}, \quad (8.3)$$

де $U_{d0} = k_U U_{\text{ж}}$ – максимальна можлива середня випрямлена напруга випрямляча; $U_{\text{ж}}$ – діюча лінійна напруга живлення випрямляча (для трансформаторних схем – напруга вторинної обмотки трансформатора, для безтрансформаторних – напруга мережі); k_U – коефіцієнт схеми (для однофазної мостової 0,9; для трифазної нульової 0,667; для трифазної мостової 1,35); $U_{\text{опт}}$ – амплітуда опорної напруги СІФК (звичайно 8...12 В).

8.1.2. Параметри САР однозонного електропривода з ВМД

Вихідними даними для синтезу параметрів регуляторів є параметри об'єкта керування, потрібна резонансна частота замкненого контуру швидкості ω_p та коефіцієнти А, В та С, які характеризують форму перехідного процесу [6]. Рекомендовані для різних ситуацій параметри форми наведені у табл. 8.1.

Під час синтезу регуляторів вважають, що тиристорні випрямляч безінерційний, однак верхня межа резонансної частоти, яка визначає швидкодію контуру, вибирають такою, що реальні інерційність та неповна керованість перетворювача не проявляються.

Функціональна схема САР наведена на рис. 8.1, а структурна – на рис. 8.2. Система регулювання швидкості – двоконтурна, із внутрішнім контуром струму та пропорційним регулятором струму. Вузол залежного струмообмеження ВЗС забезпечує зміну рівня обмеження струму залежно від швидкості згідно з переважувальною здатністю двигуна. Нелінійна ланка НЛ призначена для компенсації нелінійності регульовальної характеристики випрямляча та контуру струму в зоні переривчастих струмів. Перемикач характеристик ПХ забезпечує незмінну полярність завдання на струм під час реверсу випрямляча (це необхідно внаслідок зміни полярності сигналу датчика струму ДСЯ). Блок логіки БЛ забезпечує роздільне керування групами реверсивного випрямляча. Датчик провідності вентилів ДПВ контролює провідний стан тиристорів та після їх закриття формує сигнал дозволу на реверс комплектів. Сигнал позитивного зворотного зв'язку за швидкістю, що поданий до входу НЛ, призначений для компенсації внутрішнього негативного зворотного зв'язку за ЕРС двигуна.

Таблиця 8.1

Параметри форми

Привід	A	B	C	$\Omega_p, \text{с-1}$
Подач (слідкуючий)	0,823	0,25	0,7	200...250
Подач (позиційний)	1,47	0,528	1,07	200...250
Головного руху (якір)	1,54	0,44	1,1	100...130
Головного руху (збудження)	-	-	-	15...35

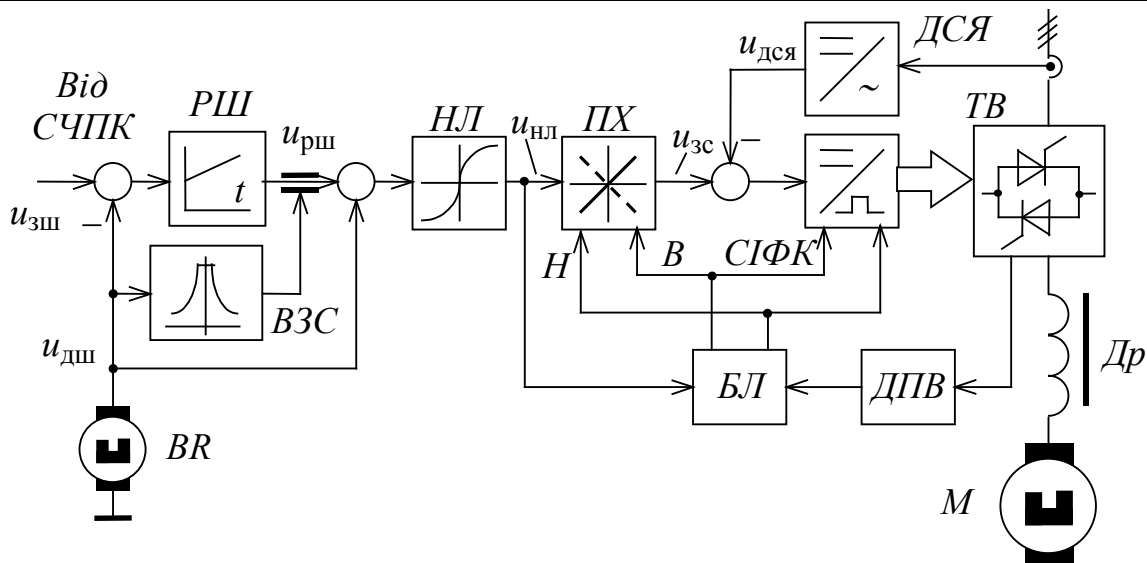


Рис. 8.1. Функціональна схема електропривода з ВМД

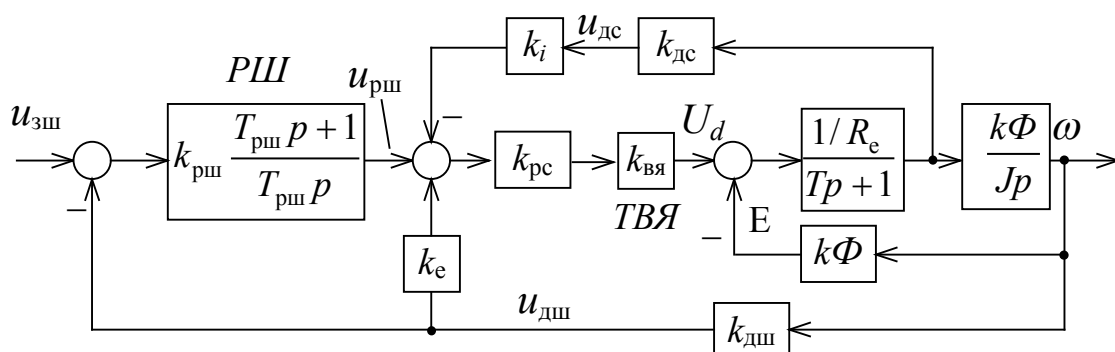


Рис. 8.2. Структурна схема електропривода з ВМД

Бажана стала часу замкненого контуру струму якоря
 $T_c = C/\Omega_p$, с. (8.4)

Інтенсивність зворотного зв'язку за струмом

$$k_i = \frac{R_e}{k_{дся} k_{в\text{я}}} \left(\frac{T}{T_c} - 1 \right). \quad (8.5)$$

Коефіцієнт замкненого контуру струму

$$k_c = \frac{k_{в\text{я}}}{R_e + k_{в\text{я}} k_i k_{дся}}, \quad (8.6)$$

де $k_{дся} = (3...6)/I_{\text{ма\text{х}0}}$ – коефіцієнт передачі датчика струму якоря, В/А.

Передатна функція та параметри регулятора швидкості

$$W_{рш}(p) = k_{рш} \frac{T_{рш} p + 1}{T_{рш} p};$$

$$k_{рш} = \frac{AJ}{k_c T_c k_{дш} k\Phi}; \quad (8.7)$$

$$T_{рш} = AT_c/B, \text{ с.} \quad (8.8)$$

де $k_{дш}$ – коефіцієнт передачі датчика швидкості (табл. 8.2).

Таблиця 8.2

Параметри тахогенераторів

Коефіцієнт позитивного зворотного зв'язку за швидкістю

$$k_e = \frac{k\Phi}{k_{в\text{я}} k_{дш}}.$$

Приклади принципів схем основних вузлів САР наведені на рис. 8.3 та 8.4. Методика розрахунку вузлів, схеми яких відрізняються від наведених, можна знайти в [7].

Тип двигуна	Тахогенератор		
	Тип	$k_{дш}$, В·с	Опір навантаження, Ом, не менше
2ПФ	ТС1	0,315	2
ДР	ТС1-м	0,0955	1,25
ДПУ, 2ПБВ	ТП80	0,191	10
ПБВ	ТС1-1м	0,191	4
ДК1	ТГ1	0,287	1
ДВУ, 2ДВУ	ТС1-71	0,0239	20

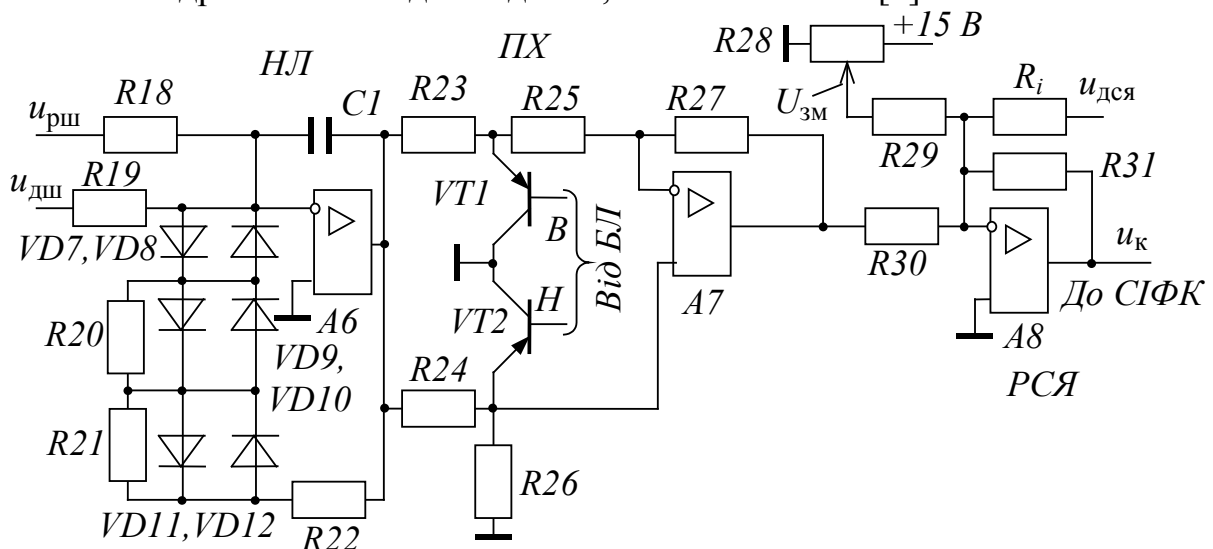


Рис. 8.3. Нелінійна ланка, перемикач характеристик та регулятор струму якоря

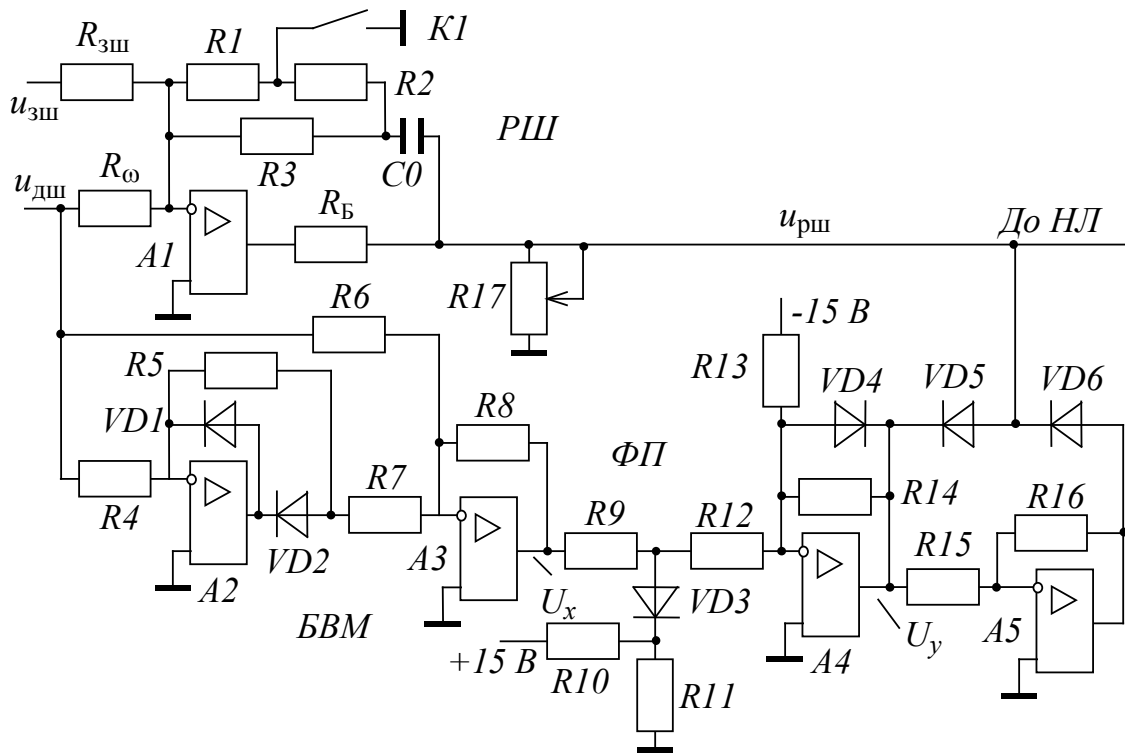


Рис.8.4. Регулятор швидкості та вузол залежного струмообмеження

Роль пропорційного регулятора струму виконує суматор на підсилювачі А8 з одиничним коефіцієнтом передачі. Опорами його зворотного зв'язку та вхідним можна задатися, наприклад:

$$R30=R31=47 \text{ кОм.}$$

Опори у колах зворотного зв'язку за струмом та позитивного зв'язку за швидкістю

$$R_i = R31/k_i ;$$

$$R19 = R31/k_e .$$

Контакт К1 у колі зворотного зв'язку регулятора швидкості (РШ) забезпечує зміну параметрів РШ залежно від рівня швидкості. За швидкості, меншій третини номінальної, К1 увімкнено, що збільшує резонансну частоту контуру швидкості та його швидкодію. Параметри РШ при цьому

$$k_{рш} = R3/R_{3ш} ; \tag{8.9}$$

$$T_{рш} = R2 \cdot C0 . \tag{8.10}$$

За більших швидкостей К1 розімкнений, а параметри РШ дорівнюють

$$k'_{рш} = \frac{R1 + R2}{R1 + R2 + R3} \cdot \frac{R3}{R_{3ш}} = \frac{k_{рш}}{\beta} ; \tag{8.11}$$

$$T'_{рш} = \frac{R1 + R2}{R1 + R2 + R3} \cdot R3 \cdot C0 = \frac{R3 \cdot C}{\beta} , \tag{8.12}$$

де $\beta = \frac{R1 + R2 + R3}{R1 + R2}$.

Зміна лише резонансної частоти контуру Ω_p без зміни коефіцієнтів форми А, В, С означає тільки зміну масштабу часу з тим самим перерегулюванням. Як

витікає з (8.4), (8.7), (8.8), (8.11) та (8.12), це можливо лише за одночасного в β разів зменшення $k_{рш}$ та збільшення $T_{рш}$ таким чином, щоб

$$T'_{рш} = T_{рш} \beta, \quad (8.13)$$

причому величину коефіцієнта β слід брати в межах 2...3. Виходячи з виразів (8.9)–(8.13), номінали елементів зворотного зв'язку РШ дорівнюють

$$R_{\omega} = R_{зш} U_{дшт} / U_{зшт};$$

$$R3 = k_{рш} R_{зш};$$

$$C0 = \beta^2 T_{рш} / R3;$$

$$R2 = T_{рш} / C0 = R3 / \beta^2;$$

$$R1 = \frac{R2(\beta^2 \beta + 1)}{\beta - 1},$$

де $R_{зш}$ задаються; $U_{зшт} = 10$ В, $U_{дшт} = k_{дш} \omega_{дmax}$ – максимальні напруги завдання на швидкість та датчика швидкості.

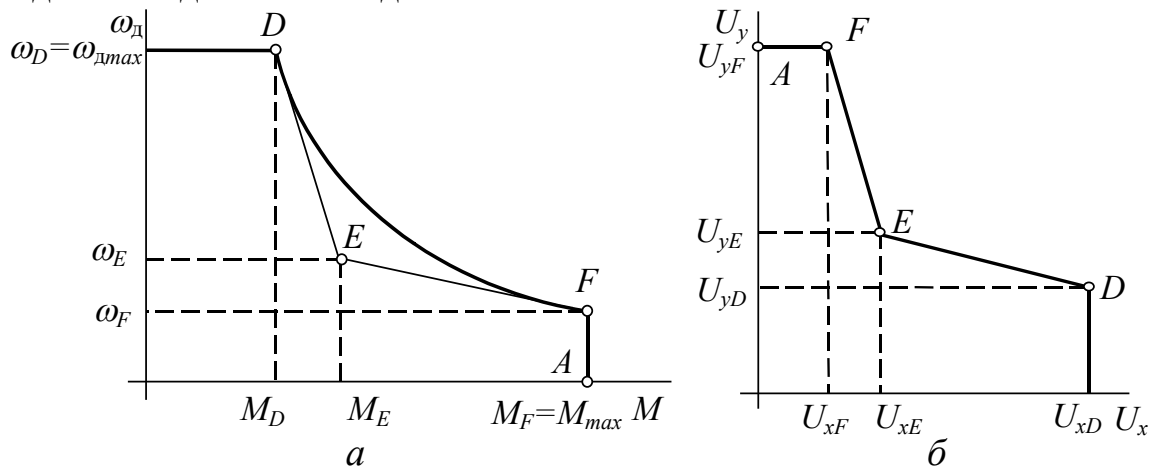


Рис. 8.5. До розрахунку вузла залежного струмообмеження

Для синтезу параметрів вузла залежного струмообмеження за методикою [7] використаємо апроксимацію комутаційної кривої ВМД, зроблену в п. 4.4. Саме цю комутаційну криву (рис. 8.5а) апроксимує статична характеристика (рис. 8.5б) функціонального перетворювача (ФП), який входить до складу вузла залежного струмообмеження (рис. 8.4). Як видно зі схеми, напруги зміщення у ФП дорівнюють $U_{зм} = \pm 15$ В. Опором R14 задається. Вхідні та вихідні напруги ФП для опорних точок D, E, F розраховують за виразами

$$U_x = \omega_d k_{дш} k_{БВМ};$$

$$U_y = \frac{k_{дся} M}{k\Phi}.$$

Тут $k_{БВМ}$ – коефіцієнт передачі блока виділення модуля (БВМ на рис. 8.4). Він повинен бути таким, щоб вихідна напруга БВМ за максимального моменту не перевищувала напруги насичення ($U_{нас} = 8$ В) підсилювача А1 регулятора швидкості, тобто

$$k_{\text{БВМ}} \leq \frac{U_{\text{нас}} k_{\Phi}}{k_{\text{дся}} M_{\text{max}}}.$$

Коефіцієнти передачі ФП на ділянках ED та EF (з урахуванням знаку)

$$k_{ED} = \frac{U_{yE} - U_{yD}}{U_{xE} - U_{xD}};$$

$$k_{FE} = \frac{U_{yF} - U_{yE}}{U_{xF} - U_{xE}}.$$

Сума опорів на вході підсилювача А4

$$R12 + R9 = -R14/k_{FE},$$

звідки, задавшись одним з них (не більшим від суми), знаходять другий.

Опір одного з резисторів подільника

$$R11 = \frac{k_{ED} R12 \cdot R9}{R14 + k_{ED} (R12 + R9)}.$$

Інший з них

$$R10 = \frac{U_{\text{зм}} R11 (R12 + R9)}{U_{xE} R12} - R11.$$

Опір у колі зміщення

$$R13 = \frac{U_{\text{зм}} R14}{U_{yF} - U_{xF} k_{EF}}.$$

Обмеження струму за малих швидкостей здійснюється шляхом насичення підсилювача РШ А1 за допомогою подільника R17. Вихідний сигнал РШ при цьому

$$u_{\text{рш}} = U_{yF} = \frac{U_{\text{нас}} R17}{R_{\text{Б}} + R17}.$$

Прийнявши опір баластного резистора $R_{\text{Б}} = 2,7$ кОм, знайдемо опір змінного резистора

$$R17 \geq \frac{U_{yF} R_{\text{Б}}}{U_{\text{нас}} - U_{yF}}.$$

Опори в колі інвертора А5 повинні бути однаковими ($R15=R16$). Більшість опорів, які входять до складу БВМ, приймаються також одного номіналу ($R4=R5=R7=22$ кОм), тільки $R6=2 \cdot R4=44$ кОм, а $R8 = 2k_{\text{БВМ}} R4$.

8.1.3. Параметри САР двозонного електропривода

Функціональна схема САР двозонного електроприводу наведена на рис. 8.6, структурна – на рис. 8.7. Для електроприводів головного руху характерні наявність задавача інтенсивності на вході РШ, відсутність адаптації контуру швидкості до зміни потоку та контуру напруги якоря – до зміни швидкості. Регулятор ЕРС або напруги якоря – звичайно інтегральний. Компенсацію внутрішнього зворотного зв'язку за проти-ЕРС здійснено за допомогою сигналу датчика напруги.

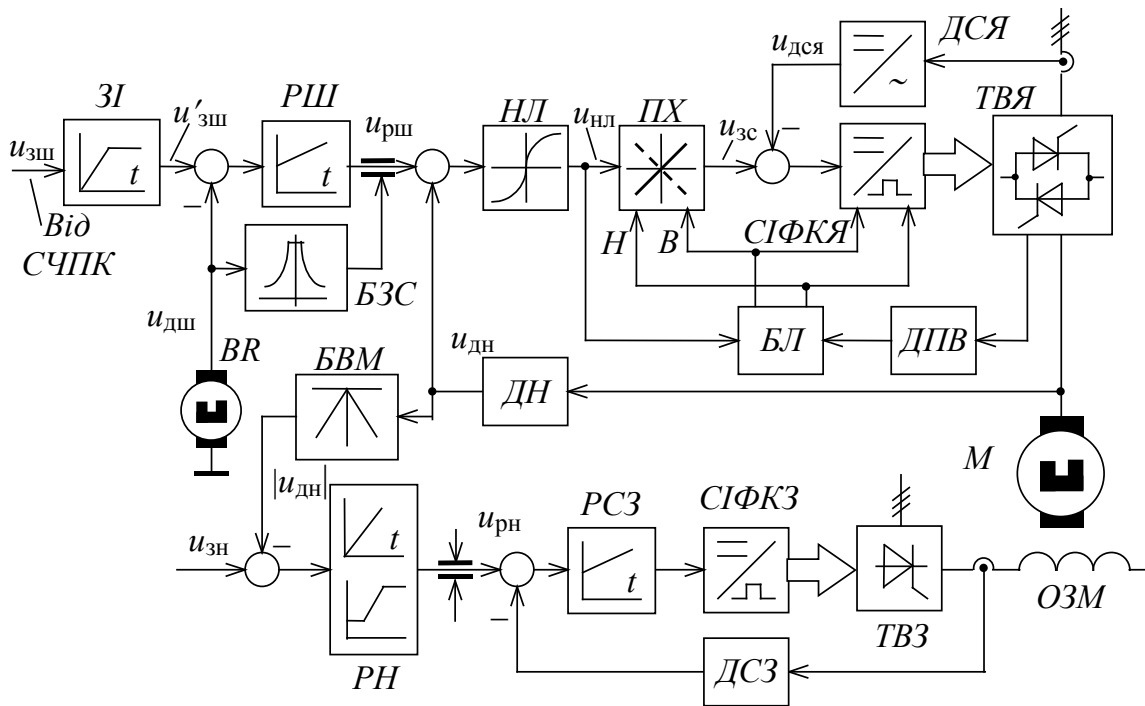


Рис. 8.6. Функціональна схема двозонного електропривода постійного струму механізму головного руху

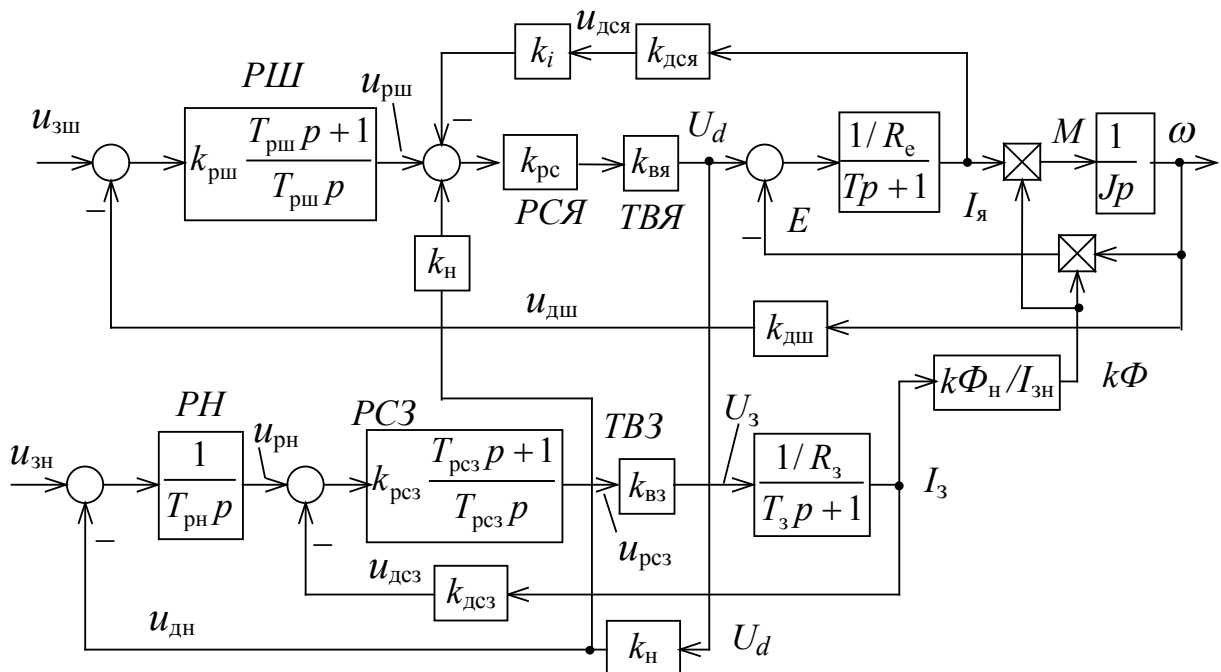


Рис. 8.7. Структурна схема двозонного електропривода постійного струму механізму головного руху

Синтез параметрів регуляторів струму якоря та швидкості здійснюють за методикою п. 8.1.2. Слід лише мати на увазі, що опір у каналі компенсації проти-ЕРС розраховується дещо інакше:

$$R_{19} = R_{31}/k_{н},$$

де $k_{н} = \frac{1}{k_{вд}k_{дн}}$ – коефіцієнт позитивного зворотного зв'язку за напругою;

$k_{дн} = 10/U_{ян}$ – коефіцієнт передачі датчика напруги якоря.

Крім того, у принциповій схемі РШ (рис. 8.4) відсутнє перемикання інтенсивності зворотного зв'язку і резистори R1 та R2, тому

$$C0 = T_{рш} / R_{зш}, \Phi.$$

Оскільки форми кривих допустимого моменту перевантаження двигуна у другій зоні та ВМД подібні, методики розрахунку вузлів залежного струмообмеження також аналогічні. За швидкості, меншій номінальної (лінія AF рис. 8.5a), допустимий момент

$$M_{доп} = M_{max} = 2M_H.$$

У другій зоні допустимий струм лишається незмінним, а момент перевантаження змінюється за законом гіперболи

$$M_{доп} = 2M_H \omega_{дн} / \omega_D.$$

Тому $\omega_F = \omega_{дн}$, $M_F = 2M_H$, $\omega_D = \omega_{дmax}$, $M_D = 2M_H \omega_{дн} / \omega_{дmax}$.

Принципові схеми регуляторів напруги та струму збудження зображені на рис. 8.8.

Передатна функція регулятора струму збудження має вигляд

$$W_{рсз}(p) = k_{рсз} \frac{T_{рсз} p + 1}{T_{рсз} p},$$

параметри якої вибираються, як

$$T_{рсз} = T_3 = L_3 / R_3;$$

$$k_{рсз} = \frac{T_3 R_3 \omega_p}{k_{вз} k_{дсз}},$$

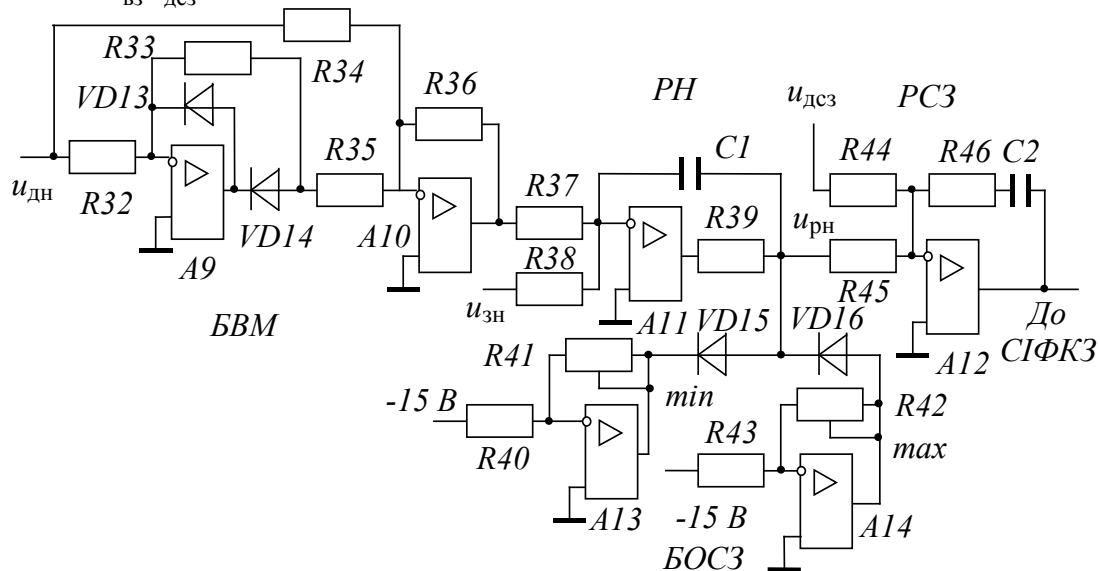


Рис. 8.8. Принципова схема регуляторів напруги та струму збудження

де L_3 , R_3 – індуктивність (Гн) та активний опір (Ом) обмотки збудження; $k_{вз}$ – коефіцієнт передачі тиристорного збудника (розраховується за формулою (8.3) з урахуванням рівня напруги живлення збудника та його схеми випрямлення); ω_p – резонансна частота замкненого контуру струму збудження, c^{-1} (табл. 8.1);

$k_{дсз} = 3/I_{зн}$ – коефіцієнт передачі датчика струму збудження, В/А; $I_{зн}$ – номінальний струм збудження, А.

Тоді стала часу та коефіцієнт передачі замкненого контуру струму збудження будуть

$$T_{сз} = 1/\Omega_p, \text{ с};$$

$$k_{сз} = 1/k_{дсз}.$$

Стала часу інтегрального регулятора напруги

$$T_{рн} = a_n T_{сз} k_{дн} k_3 / k_{сз}, \text{ с},$$

де a_n – коефіцієнт настроювання контуру напруги; $k_3 = \Delta E / \Delta I_3 = k\Phi_n \omega_{д\max} / I_{зн}$ – коефіцієнт передачі каналу збудження за максимальної швидкості; $k\Phi_n = M_n / I_{ян}$.

Величину коефіцієнта настроювання вибирають, виходячи з умови забезпечення заданого перерегулювання за ЕРС під час розгону до другої зони з незмінним прискоренням [9]

$$a_n = \delta \tau_n / D_\Phi,$$

де δ – допустиме відносне перерегулювання за ЕРС (звичайно 0,1); $\tau_n = \frac{J\omega_n}{M_n T_3}$ –

відносна тривалість розгону до номінальної швидкості; $D_\Phi = \omega_{д\max} / \omega_{дн}$ – діапазон регулювання швидкості зміною потоку.

Якщо задатися напругою $u_{зн} = k_{дн} U_{ян} = 10$ В та опорамі у каналах завдання R38=R45, то номінали інших елементів регуляторів будуть

$$R37 = R38 \frac{U_{днт}}{u_{зн}} = R38;$$

$$C1 = T_{рн} / R38;$$

$$R44 = R45 \frac{U_{дсз\max}}{U_{рн\max}} = R45 \frac{U_{дсз\max}}{U_{нас}} = R45 \frac{3}{8};$$

$$R46 = k_{рсз} / R45;$$

$$C2 = T_{рсз} / R46,$$

де $U_{дн\max} = 10$ В, $U_{дсз\max} = 3$ В, $U_{рн\max} = U_{нас} = 8$ В – відповідно максимальні можливі напруги датчика напруги, датчика струму збудження, регулятора напруги (дорівнює напрузі насичення підсилювача А11).

Блок обмеження струму збудження (БОСЗ) не дає можливості завданню на струм збудження бути меншим від мінімального та більшим від номінального. Номінальний і мінімальний струми збудження та вихідні напруги регулятора напруги, які їм відповідають

$$I_{зн} = U_{зн} / R_3;$$

$$I_{з\min} = I_{зн} n_{дн} / n_{д\max};$$

$$U_{рн\max} = k_{дсз} I_{зн};$$

$$U_{рн\min} = k_{дсз} I_{з\min} \cdot$$

Задавшись вхідними опорами інверторів А13 та А14 (рис. 8.8), визначають опори в каналах їх зворотних зв'язків

$$R41 = U_{рн\min} R40/15;$$

$$R42 = U_{рн\max} R43/15.$$

Опори блока виділення модуля розраховуються так само, як і опори БВМ на рис. 8.4 з тією лише різницею, що $k_{БВМ} = 1$.

8.2. Транзисторний електропривід постійного струму

Функціональна схема електропривода наведена на рис.8.9. Особливістю структури є релейний регулятор струму РРС. Оскільки транзистори мають меншу, ніж тиристори, перевантажувальну здатність, то допустимий струм ШПП не перевищує $2I_{бр}$, використати перевантажувальну здатність ВМД практично неможливо, тому вузол залежного струмообмеження в подібних електроприводах відсутній. Між РРС та ШПП увімкнений підсилювач імпульсів керування ПІК, який забезпечує також і потенціальну розв'язку.

Принципова схема РРС зображена на рис. 8.10. Він складається з чотирьох компараторів А6.1, А6.2, А7.1, А7.2 та логічної схеми розподілення імпульсів. А6.1 контролює знак похибки за струмом, А6.2 та А7.1 – вихід похибки за межі струмового коридору $\pm\Delta$, А7.2 – знак завдання на струм. Алгоритм роботи РРС аналогічний алгоритму роботи подібного регулятора електропривода ЕПБ2, який описано в [8]. На виходах елементів D5.2 та D5.3 формуються логічні сигнали напряму моменту, які забезпечують перемикання діагоналей ШПП. Тривалістю заряду конденсаторів С12 та С13 задається тривалість існування режиму Р1.

Опори в каналі завдання на струм

$$R46=R49=R52=R53=47 \text{ кОм.}$$

Опори в колі зворотного зв'язку за струмом

$$R47=R50=R51=47 \text{ кОм.}$$

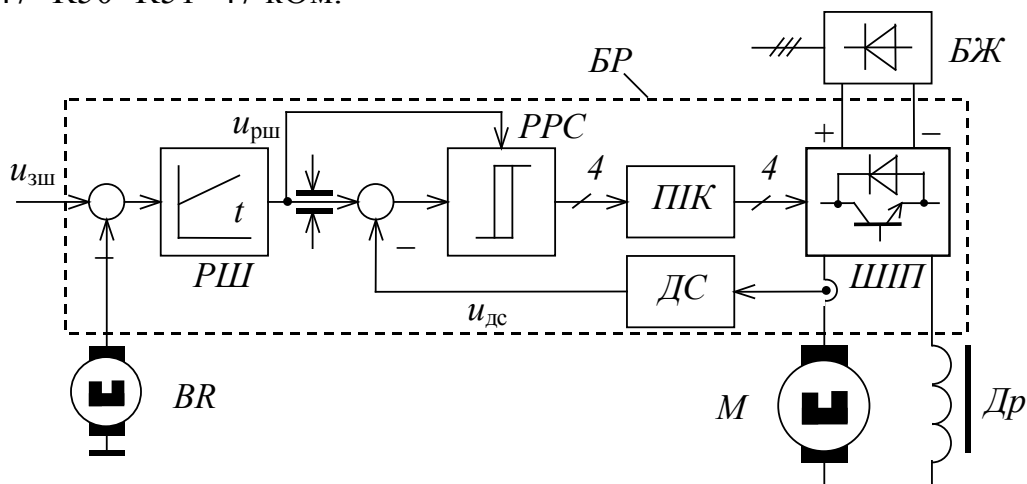


Рис. 8.9. Функціональна схема електропривода ШПП-Д

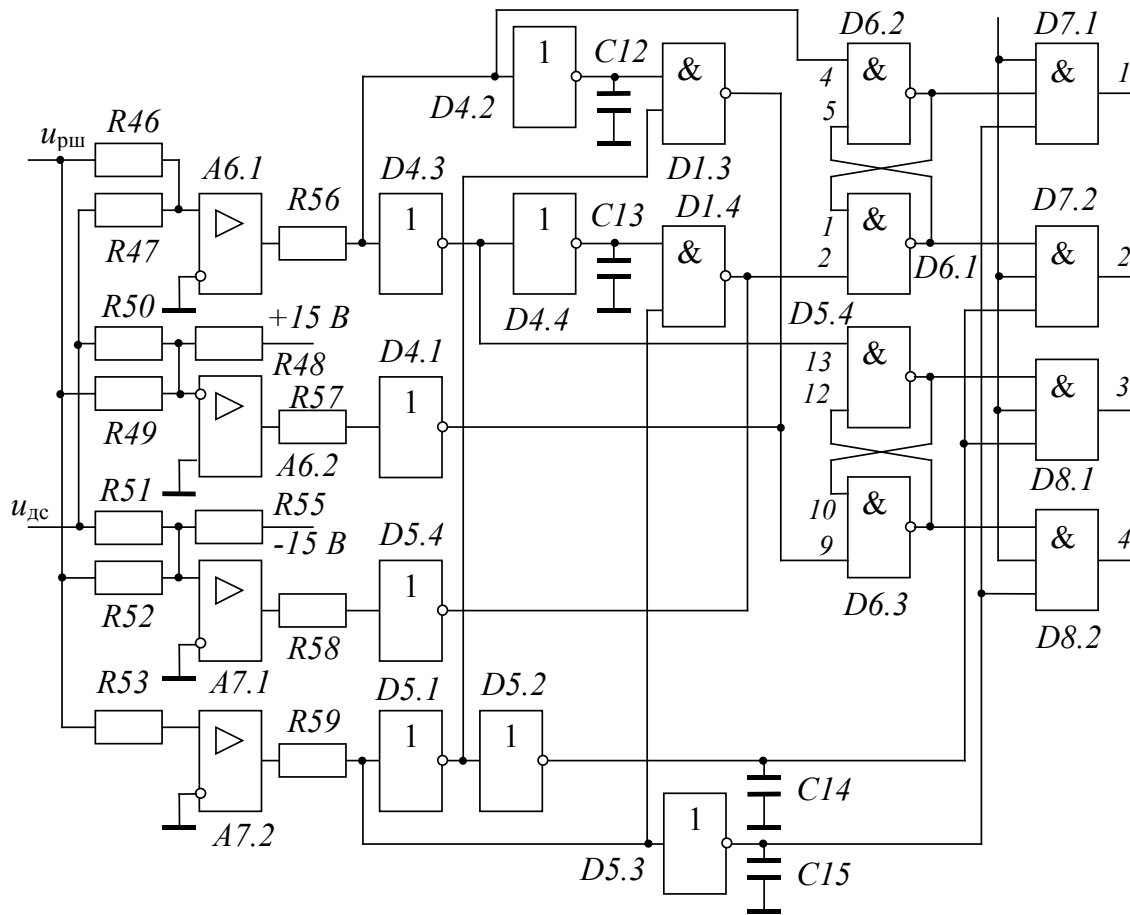


Рис. 8.10. Релейний регулятор струму та розподільник імпульсів

За однакових входних опорів РРС коефіцієнт передачі датчика струму визначають з напруги насичення регулятора швидкості ($U_{\text{нас}} = 8 \text{ В}$) та струму відсічки

$$k_{\text{дс}} = U_{\text{нас}} / I_{\text{відс}}, \quad (8.14)$$

причому рівень відсічки не повинен перевищувати максимальних струмів двигуна та блока регулювання.

Опори в каналі завдання струмового коридору

$$R48 = R55 = \frac{15 \cdot R46}{\Delta k_{\text{дс}}},$$

де Δ – півширина струмового коридору (звичайно 10...20% від номінального струму якоря).

Принципова схема регулятора швидкості подібна до зображеної на рис. 8.4, розрахунок параметрів якої наведений у п. 8.1.2. Вихідні дані для розрахунку номіналів:

$$T_{\text{рш}} = 4\zeta^2 / \Omega_{\text{р}};$$

$$k_{\text{рш}} = \frac{J\Omega_{\text{р}}}{k_{\text{с}}k_{\text{дш}}k_{\Phi}},$$

де $\zeta = \sqrt{2}/2$ – бажаний коефіцієнт затухання замкненого контуру швидкості; $\Omega_{\text{р}} = 430 \dots 1000$ – резонансна частота цього контуру.

Резистор, який забезпечує струмообмеження

$$R17 \geq \frac{U_{ршт} R_B}{U_{нас} - U_{ршт}},$$

де $U_{ршт} = k_{дс} I_{відс}$ – максимально можлива напруга регулятора швидкості.

8.3. Електропривід з вентильним двигуном

Функціональна схема електропривода зображена на рис. 8.11. Особливістю САР є наявність датчика положення ротора ДПР та розподільника імпульсів РІ, який здійснює передачу керуючих імпульсів від релейного регулятора струму РРС до силових ключів чергових фаз статора залежно від положення ротора ВД. Принципові схеми вузлів електропривода наведені у [8].

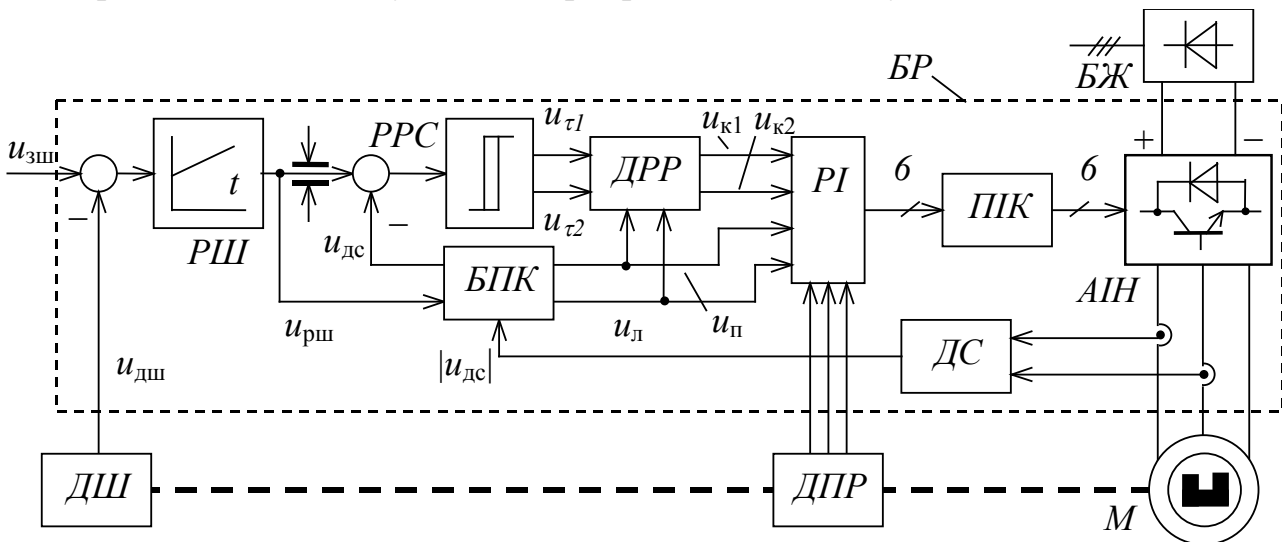


Рис. 8.11. Функціональна схема електропривода з вентильним двигуном

Вхідні опори підсилювача DA5 струмової похибки РРС дорівнюють $R27=R28=27\text{кОм}$.

Опір у колі зворотного зв'язку підсилювача DA5 визначають з умов відкриття діодів VD13 та VD14 у момент входу струму в межі струмового коридору

$$R31 = \frac{15 \cdot R27}{\Delta k_{дс}},$$

де 15 – напруга живлення транзисторів VT1 та VT2; Δ – півширина струмового коридору (п. 8.2); $k_{дс}$ – коефіцієнт передачі датчика струму, що визначається за формулою (8.14).

Схема РШ та послідовність його розрахунку такі самі, як і в електроприводі ШПП–Д (п. 8.2).

Список літератури

1. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. /Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. т.1. – 456 с.; т.2. – 688 с.
2. Справочник по электрическим машинам: В 2-х т./ Под общ. ред. И.П. Копылова и В.К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. т.1. – 655 с.; т.2. – 496 с.
3. Лебедев А.М., Орлова Р.Т., Пальцев А.В. Следящие электроприводы станков с ЧПУ. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 223 с.
4. Михайлов О.П. Электропривод станков и промышленных роботов. – М.: Машиностроение, 1990. – 304 с.
5. Чернов Е.А., Кузьмин В.П. Комплектные электроприводы станков с ЧПУ. – Горький: Волго-Вятск. кн. изд., 1989. – 320 с.
6. Динамика вентильного электропривода постоянного тока / Под. ред. А.Д. Поздеева. – М: - Энергия, 1972. – 136 с.
7. Казачковський М.М. Комплектні електроприводи: Навч. посібник. – Дніпропетровськ: НГУ, 2003. – 226 с.
8. Методические указания к самостоятельной работе по разделу “Электроприводы с бесконтактным вентильным двигателем для механизмов подачи станков с ЧПУ и промышленных роботов”/ Сост. Н.Н. Казачковский, С.Л. Ковалев. – Днепропетровск: ДГИ, 1991. – 63 с.
9. Фишбейн В.Г. Расчет систем подчиненного регулирования вентильного электропривода постоянного тока. – М: Энергия, 1972. – 138 с.
10. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з розділу “Трифазні комплектні електроприводи постійного струму серії ЭПУ1 (ЭТУ2)”/ Уклад. М.М. Казачковський. – Дніпропетровськ: ДГА України, 1996. – 43 с.
11. Методические указания к самостоятельной работе студентов по разделу “Однофазные тиристорные электроприводы для станков с ЧПУ и промышленных роботов”/Сост. Н.Н. Казачковский. – Днепропетровск: ДГИ, 1993. – 35 с.
12. Методические указания к самостоятельной работе студентов по разделу “Транзисторный электропривод подачи ПРВП-02” /Сост. Н.Н. Казачковский, В.Л. Донченко. – Днепропетровск: ДГИ, 1993. – 13 с.
13. Электротехнический справочник: В 3-х т.т./Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г.Герасимова и др. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 712 с.
14. Казачковський М.М. Керовані випрямлячі: Навч. посібник. – Дніпропетровськ: НГА України, 1999. – 228 с.

Варіанти завдань

№ завдання	Різновид верстату	Координата	Система електроприводу	Варіант вихідних даних (див. табл. 2 або 3 Додатку 1)
1.	токарний	Z	КВ-Д	1
2.	токарний	Z	КВ-Д	2
3.	токарний	Z	КВ-Д	3
4.	токарний	Z	КВ-Д	4
5.	токарний	Z	КВ-Д	5
6.	токарний	X	КВ-Д	6
7.	токарний	X	КВ-Д	7
8.	токарний	X	КВ-Д	8
9.	токарний	X	КВ-Д	9
10.	токарний	X	ШПП-Д	10
11.	токарний	X	ШПП-Д	1
12.	токарний	X	ШПП-Д	2
13.	токарний	X	ВД	3
14.	токарний	X	ВД	4
15.	токарний	X	ВД	5
16.	токарний	Y	КВ-Д	6
17.	токарний	Y	КВ-Д	7
18.	токарний	Y	КВ-Д	8
19.	токарний	Y	КВ-Д	9
20.	токарний	Y	ШПП-Д	10
21.	токарний	Y	ШПП-Д	1
22.	токарний	Y	ШПП-Д	2
23.	токарний	Y	ВД	3
24.	токарний	Y	ВД	4
25.	токарний	Y	ВД	5
26.	фрезерний	Z	КВ-Д	6
27.	фрезерний	Z	КВ-Д	7
28.	фрезерний	Z	КВ-Д	8
29.	фрезерний	Z	КВ-Д	9
30.	фрезерний	Z	КВ-Д	10
31.	фрезерний	X	КВ-Д	1
32.	фрезерний	X	КВ-Д	2
33.	фрезерний	X	КВ-Д	3
34.	фрезерний	X	КВ-Д	4
35.	фрезерний	X	ШПП-Д	5
36.	фрезерний	X	ШПП-Д	6
37.	фрезерний	X	ШПП-Д	7
38.	фрезерний	X	ВД	8
39.	фрезерний	X	ВД	9
40.	фрезерний	X	ВД	10
41.	фрезерний	Y	КВ-Д	1
42.	фрезерний	Y	КВ-Д	2

№ завдання	Різновид верстату	Координата	Система електроприводу	Варіант вихідних даних (див. табл. 2 або 3 Додатку 1)
43.	фрезерний	Y	КВ-Д	3
44.	фрезерний	Y	КВ-Д	4
45.	фрезерний	Y	ШП-Д	5
46.	фрезерний	Y	ШП-Д	6
47.	фрезерний	Y	ШП-Д	7
48.	фрезерний	Y	ВД	8
49.	фрезерний	Y	ВД	9
50.	фрезерний	Y	ВД	10

Таблиця 2

Варіанти вихідних даних для приводів токарного верстата

Параметри		Варіанти вихідних даних										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Розміри деталі, мм (рис. 2.1а)	D	86	124	156	188	206	308	510	610	810	1210	
	D_1	80	120	150	180	200	300	500	600	800	1200	
	D_2	68	108	135	166	184	280	476	580	776	1172	
	L_1	20	40	50	300	300	600	800	700	700	800	
	L_2	30	30	50	150	400	400	400	600	600	600	
Режими різання	t , мм	3	3	3,5	4	4	4	5	5	6	6	
	s , мм/об	0,4	0,45	0,45	0,45	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	
	t_0 , с	2	2	2,5	2,5	3	3	3	4	4	4	
Параметри механізмів верстата	Z	$J_{\text{шп}}$, кгм ²	0,015	0,020	0,030	0,040	0,060	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
		$J_{\text{шк}}$, кгм ²	0,003	0,004	0,006	0,008	0,01	0,020	0,050	0,1	0,2	0,4
		$J_{\text{п}}$, кгм ²	0,020	0,030	0,040	0,060	0,080	0,12	0,2	0,3	0,4	0,6
	X	d_{Γ} , мм	40	50	40	50	63	80	80	100	80	100
		t_{Γ} , мм	5	5	10	10	10	10	10	10	20	20
		L_{Γ} , м	0,4	0,6	1	1	1,2	2	3	4	5	6
		m , кг	50	60	80	100	150	250	400	500	600	800
	Y	d_{Γ} , мм	40	50	40	50	63	80	80	100	80	100
		t_{Γ} , мм	5	5	10	10	10	10	10	10	20	20
		L_{Γ} , м	0,4	0,6	1	1	1,2	1,6	2,8	3,5	4,2	6,5
		m , кг	50	60	80	100	150	200	350	450	500	700
	Вимоги до електроприводів	Z	$n_{\text{шmax}}$, об/хв	4000	3500	3000	2500	2000	1200	500	400	300
$n_{\text{шmin}}$, об/хв			1500	1500	1500	1000	1000	500	300	200	100	100
P_Z , кВт			3	5	6	7,5	10	15	22	40	55	100
X		$v_{\text{шк}}$, м/с	0,12	0,1	0,1	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04
		$v_{\text{рmax}}$, мм/хв	2	2	1,5	1,2	1,2	1	0,8	0,6	0,5	0,5
		F_p , кН	3	8	12	20	35	40	50	65	80	100
Y		$v_{\text{шк}}$, м/с	0,1	0,095	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,035
		$v_{\text{рmax}}$, мм/хв	1,8	1,5	1,2	1,2	1	0,8	0,6	0,5	0,5	0,45
		F_p , кН	2	5	8	15	25	35	40	50	65	85

Таблиця 3

Варіанти вихідних даних для приводів фрезерного верстата

Параметри		Варіанти вихідних даних											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Розміри деталі, мм (рис.2.1а)	L	200	250	300	400	450	500	600	650	700	800		
	L_0	60	60	80	90	100	120	140	160	180	200		
	H	300	360	400	450	500	600	700	800	900	1000		
	h_f	60	70	80	100	110	130	150	160	180	200		
Діаметр фрези D , мм		40	40	50	50	63	63	80	80	100	100		
Кількість зубів фрези Z		10	12	12	14	14	16	16	18	18	20		
Подача на зуб s_z , мм/зуб		0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,1	0,1	0,15	0,2		
Глибина різання t , мм		4	5	6	7	8	9	10	12	14	18		
Пауза t_0 , с		2	2	2,5	2,5	3	3	3	4	4	4		
Параметри механізмів верстата	Z	$J_{шп}$, кгМ ²	0,02	0,03	0,04	0,05	0,08	0,1	0,12	0,18	0,25	0,3	
		$J_{шк}$, кгМ ²	0,005	0,006	0,007	0,008	0,01	0,015	0,02	0,05	0,1	0,15	
		$J_{п}$, кгМ ²	0,025	0,030	0,040	0,060	0,080	0,12	0,2	0,3	0,4	0,5	
	X	$d_{Г}$, мм	40	50	40	50	63	80	80	100	80	100	
		$t_{Г}$, мм	5	5	10	10	10	10	10	10	20	20	
		$L_{Г}$, м	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,5	1,8	2	2,5	
	Y	$d_{Г}$, мм	40	50	40	50	63	80	80	80	100	100	
		$t_{Г}$, мм	5	5	10	10	10	10	10	10	20	20	
		$L_{Г}$, м	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1	1,2	
		m , кг	50	75	100	150	200	300	380	450	500	600	
	Вимоги до електроприводів	Z	$n_{шmax}$, об/хв	2000	2000	1750	1600	1500	1500	1200	1200	1000	1000
			$n_{шmin}$, об/хв	1000	800	800	700	700	600	600	500	500	400
P_Z , кВт			2	4	6	10	12	15	18	22	30	40	
X		$v_{шк}$, м/с	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	
		$v_{рmax}$, мм/хв	1	1,2	1	1	1,1	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	
		F_p , кН	3,5	6	8	12	15	25	40	70	100	130	
Y		$v_{шк}$, м/с	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,045	0,045	
		$v_{рmax}$, мм/хв	1,2	1,1	1,1	1	1	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	
		F_p , кН	3	4	5	8	12	15	32	40	60	90	

Параметри двигунів головного руху

Тип	P _н , кВт	Частота обер- тання, об/хв		ККД %	Опори обмоток, Ом (за 15° С)			Індуктивності обмоток		Момент інерції, кгм ²
		ном.	макс.		R _я	R _{дп}	R _з	L _я +L _{дп} , мГн	L _з , Гн	
2ПФ132МГ	2	800	1850	71,5	6,26	3,94	134	132	35	0,038
	3	1080	2500	73	4,06	2,97	134	74	35	
	4	1500	3750	82,5	1,88	1,39	111	38,6	31	
	6	2360	4000	85	0,906	0,692	111	18,5	31	
	7,5	3000	4000	85	0,546	0,336	111	11	31	
2ПФ132ЛГ	2,8	750	1650	69	4,05	2,92	76	86	20,5	0,048
	4,2	1000	2500	73	2,8	1,96	76	55	20,5	
	5,5	1600	3750	80,5	1,08	0,915	76	23	20,5	
	7,5	2200	4000	86	0,87	0,445	76	13,8	20,5	
	11	3150	4000	86,5	0,322	0,27	76	7,1	20,5	
2ПФ160МГ	4,2	750	1850	73	2,06	1,785	53,1	56	19,7	0,083
	6	1000	2500	79	1,304	1,05	53,1	46	19,7	
	7,5	1600	3750	83,5	0,516	0,407	53,1	14	19,7	
	13	2240	4000	87	0,276	0,175	53,1	5,3	19,7	
	16	3160	4000	88	0,145	0,101	53,1	4	19,7	
2ПФ160ЛГ	5,6	800	1850	78,5	1,31	1,45	49,4	42	19,4	0,1
	8	1060	2500	81	0,818	0,6	49,4	25	19,4	
	11	1500	3750	84,5	0,385	0,364	49,4	12,5	19,4	
	16	2360	4000	88,5	0,171	0,131	49,4	5,6	19,4	
	18,5	3150	4000	88,5	0,096	0,073	49,4	3,1	19,4	
2ПФ180МГ	9	750	1850	77,5	1,15	0,72	49,2	37	22,4	0,2
	12	1000	2500	81	0,688	0,482	49,2	22	22,4	
	15	1500	3500	85,5	0,388	0,221	49,2	10,9	22,4	
	26	3150	3500	89,5	0,084	0,056	49,2	2,7	24,4	
2ПФ180ЛГ	10	750	1850	78	0,99	0,644	46,7	32	21,1	0,23
	14	1000	2500	83	0,585	0,462	46,7	20	21,1	
	18,5	1500	3500	87	0,26	0,183	46,7	9	22,1	
	25	2200	3500	89,5	0,138	0,084	46,7	4,4	23,4	
	32	3150	3500	90,5	0,065	0,044	46,7	2,2	25,9	
2ПФ200МГ	22	1600	3500	88	0,188	0,118	46	6,4	19,6	0,25
	30	2200	3500	90	0,108	0,061	46	3,8	19,9	
	40	3000	3500	90,5	0,071	0,041	46	2,5	22,3	
2ПФ200ЛГ	15	800	1850	83,5	0,5	0,264	42	18,6	21,8	0,3
	20	1000	2500	85,5	0,286	0,168	31	10	16,3	
	30	1500	3500	88,5	0,125	0,08	31,7	4,6	16,9	
	42	2300	3500	90,5	0,055	0,037	31,7	2,1	19,8	
	55	3150	3500	91	0,031	0,02	31,7	1,2	23,2	
2ПФ225МГ	22	1000	2500	82,5	0,353	0,111	43	1,2	25	0,47
	37	1500	2700	87	0,148	0,064	43	0,57	29	
2ПФ225ЛГ	18,5	750	1500	83	0,473	0,208	49,1	1,44	31	0,57
	30	1080	2250	85	0,196	0,08	39,8	0,73	40,5	
2ПФ250МГ	22	600	1800	80	0,568	0,252	38	2,36	25,4	1,02
	30	850	2100	81	0,235	0,083	26,8	0,87	21,7	

Тип	P _н , кВт	Частота обертання, об/хв		ККД %	Опори обмоток, Ом (за 15° С)			Індуктивності обмоток		Момент інерції, кгм ²
		ном.	макс.		R _я	R _{дп}	R _з	L _я +L _{дп} , мГн	L _з , Гн	
	37	1080	2500	85	0,152	0,078	28,7	0,69	21,7	
	50	1500	2800	87	0,11	0,054	29,8	0,49	25,7	
	55	1700	2800	87	0,059	0,026	20,2	0,26	25,3	
2ПФ250ЛГ	28,5	600	1800	81,5	0,38	0,195	34,7	1,73	35,6	1,2
	30	750	2000	84,7	0,261	0,115	33,4	1,13	35,6	
	45	1000	1500	86	0,122	0,064	33,4	0,58	35,6	
	75	1500	2800	88,5	0,065	0,031	31,2	0,3	39,4	
2ПФ280МГ	37	600	1500	84,5	0,185	0,82	24	1,68	76	2,13
	45	750	2200	87	0,136	0,062	30	1,2	93	
	75	1180	2250	88,5	0,048	0,022	24,1	0,41	95,1	
	110	1500	2250	89	0,34	0,016	30	0,3	99	
2ПФ280ЛГ	37	500	1250	83,2	0,2	0,092	19,7	1,87	62,2	2,3
	45	600	1200	85,5	0,15	0,08	19,7	1	72,1	
	55	750	1000	87,5	0,099	0,052	19,7	0,99	72,9	
	85	1000	2250	88,7	0,05	0,025	19,7	0,34	81,3	
	132	1500	1900	91	0,025	0,012	25,2	0,24	90,1	
2ПФ315МГ	45	500	1250	86	0,162	0,073	25	2,07	103	4,7
	55	600	1500	87	0,12	0,057	25,6	1,59	116	
	75	750	1800	86,5	0,068	0,028	18,8	0,87	88	
	100	1000	2200	88	0,04	0,024	25,8	0,57	136	
	160	1900	2400	90	0,012	0,007	25,8	0,17	137	
2ПФ315ЛГ	55	500	1250	86	0,128	0,081	21	1,8	97	4,44
	75	630	1500	87,5	0,074	0,032	13,5	0,45	67	
	90	750	1800	88	0,043	0,027	15,5	0,67	76	
	118	1000	2000	89	0,032	0,016	21	0,46	113	
	220	1500	2000	91	0,013	0,008	14,8	0,2	85	

Примітки:

1. Номінальні напруги обмотки якоря – 440 В, обмотки збудження – 220 В.
2. Допустиме перевантаження за струмом тривалістю 10 с – $3I_{ян}$, тривалістю 60 с – $2I_{ян}$.

Таблиця 2

Параметри високомоментних двигунів постійного струму

Тип	M_{d0} , Нм	I_{d0} , А	U_H , В	n_H , об/хв	n_{max} , об/хв	M_{max0} , Нм	J_d , кгм ²	$R_{я}$, Ом	$L_{я}$, мГн
ДПУ 87–75	0,7	4,5	23	1000	2000	3,15	0,00023	0,8	1,9
ДПУ 127–220	2,1	11	30	1000	2000	19	0,0028	0,38	1,6
ДПУ 127–450	4,3	11	57	1000	2000	38,7	0,0049	0,54	2,7
ДК1–1,7	1,7	8	36	1000	2000	11,8	0,0021	0,75	1,88
ДК1–2,3	2,3	7,5	48	1000	2000	14,1	0,0027	0,9	2,7
ДК1–3,5	3,5	7,5	60	1000	2000	24,5	0,0029	1,15	4,02
ДК1–5,2	5,2	6,5	110	1000	2000	38,2	0,0039	2,1	11,2
2ПБВ 100М	7,5	20	37	625	2000	70	0,0094	0,242	1.18
2ПБВ 100L	11	25	30	500	2000	100	0,013	0,139	0,8
2ПБВ 112S	15	28	33	500	2000	130	0,034	0,115	0,732
2ПБВ 112М	18,5	35	42	500	2000	170	0,042	0,134	0,898
2ПБВ 112L	22	32	51	500	2000	210	0,056	0,153	1.1
2ПБВ 132S	37	54	42	500	2000	350	0,174	0,054	0,422
ПБВ 132М	35	50	53	600	2000	350	0,19	0,007	0,269
ПБВ 132L	47,7	50	70	600	2000	470	0,24	0,047	0,366
ПБВ 160М	76,4	78,5	68	500	1000	490	0,246	0,033	0,346
ПБВ 160L	108	90	78,5	500	1000	510	0,302	0,036	0,347
ПФВ 160S	143	182	58	500	1000	490	0,198	0,031	0,286
ПФВ 160М	176	180	82	600	1000	510	0,246	0,033	0,348

Примітки:

1. Номінальна напруга відповідає номінальній частоті обертання.
2. Опори наведені для температури обмотки 20° С.
3. Криві допустимих моментів у статичних та динамічних режимах наведені на рис. 1...12 поточного додатку.
4. Допустимий за умов комутації момент двигуна ДК1–1,7 від швидкості не залежить і дорівнює 11,8 Нм.

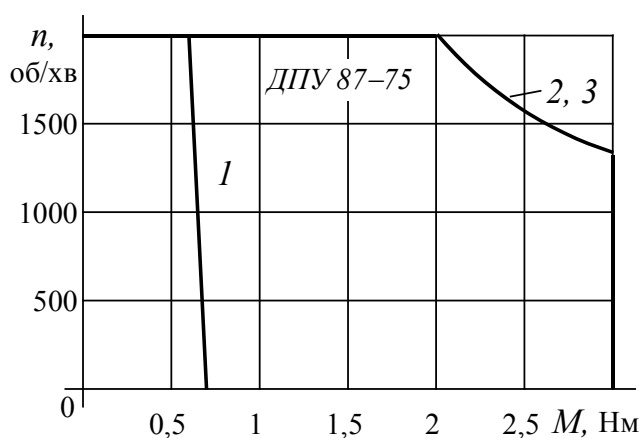


Рис. 1

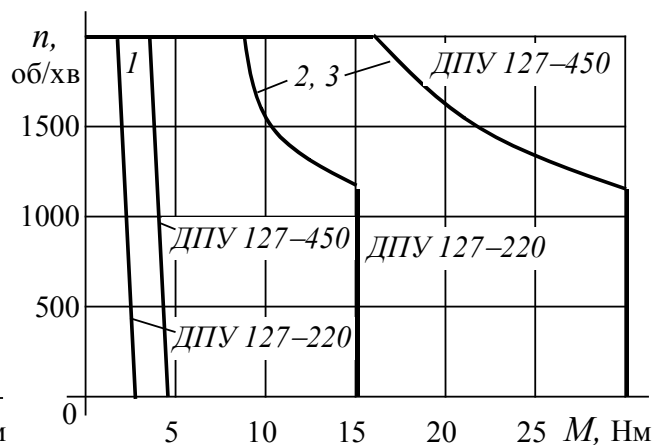


Рис. 2

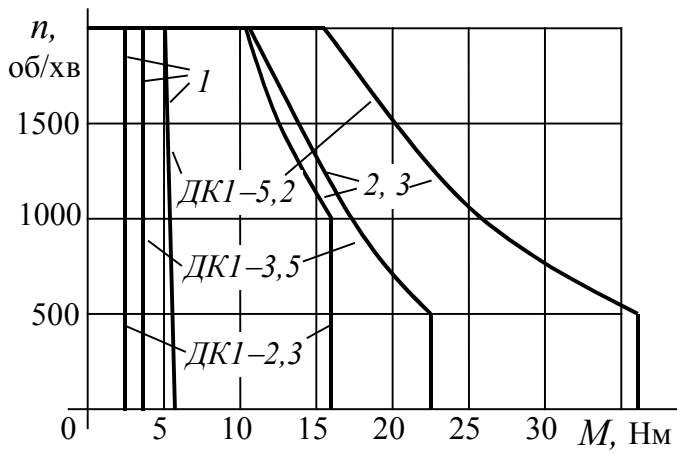


Рис. 3

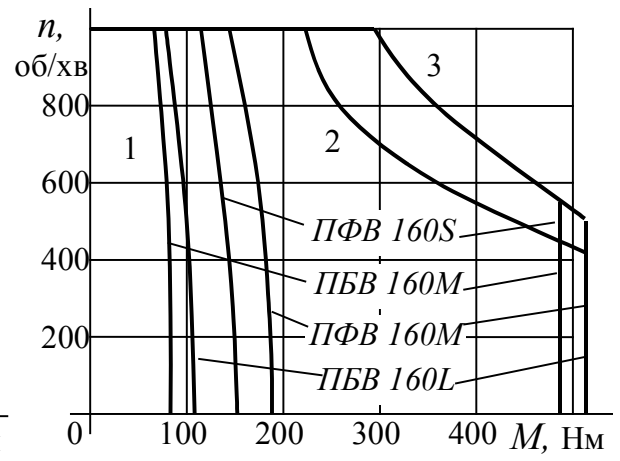


Рис. 4

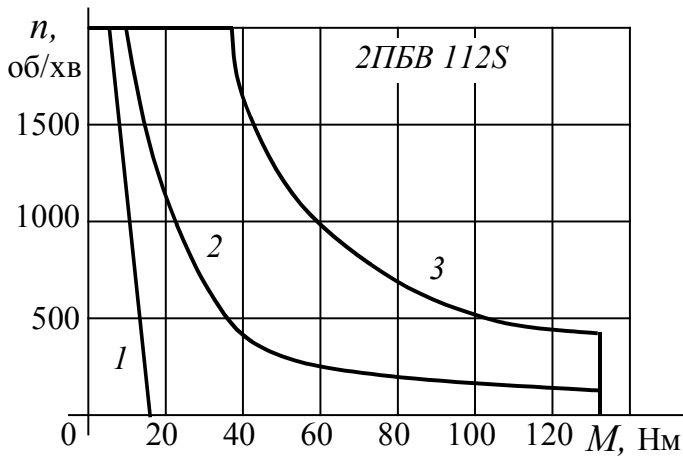


Рис. 5

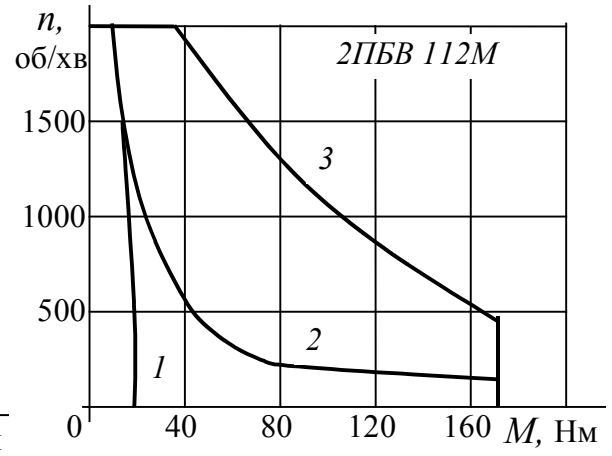


Рис. 6

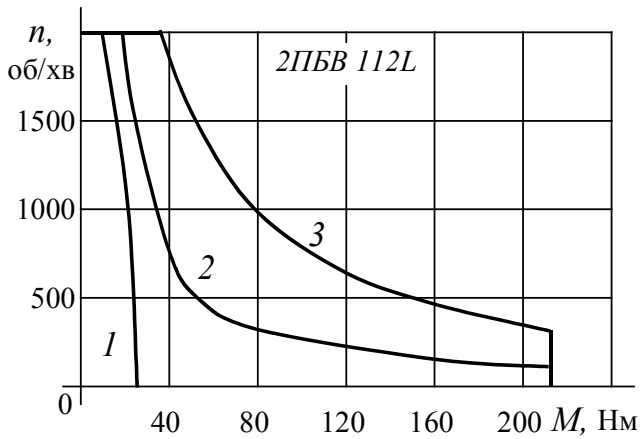


Рис. 7

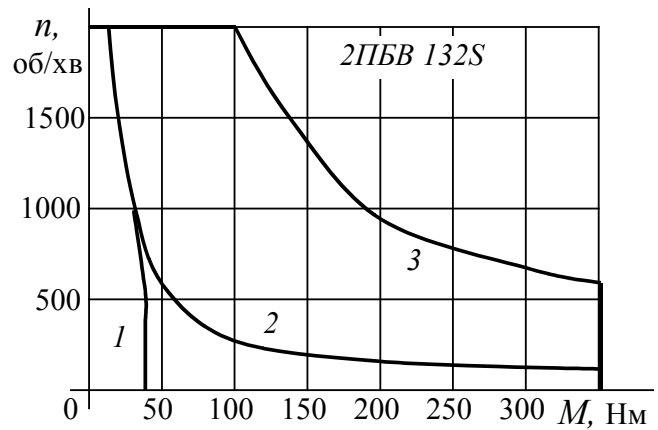


Рис. 8

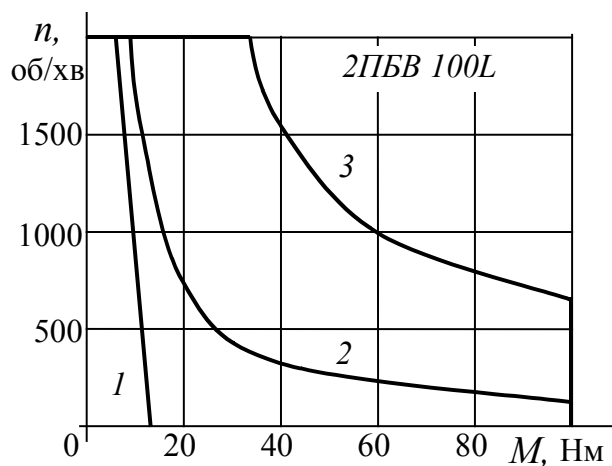


Рис. 9

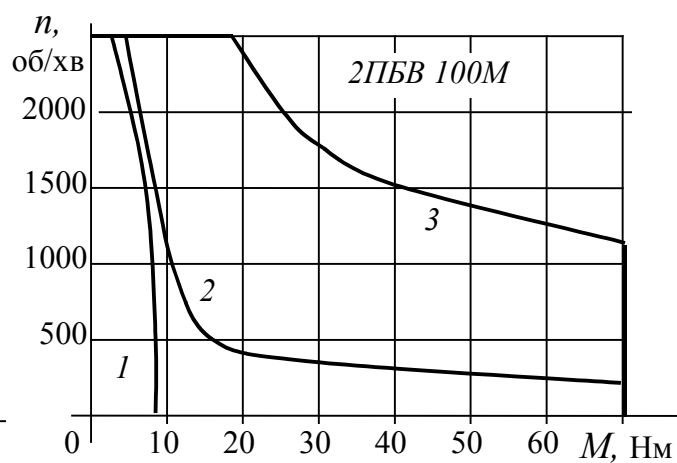


Рис. 10

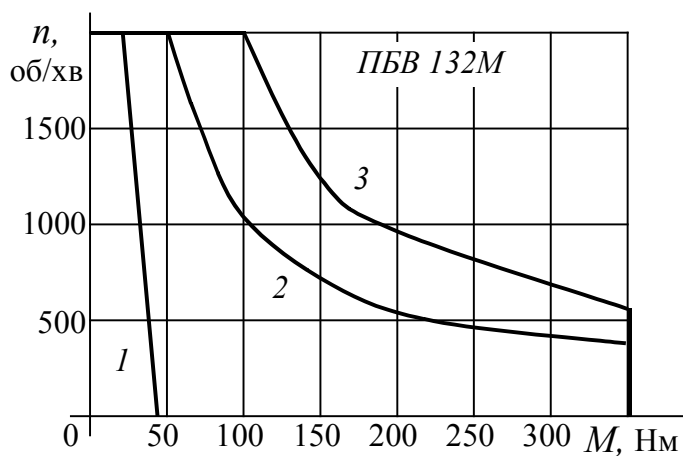


Рис. 11

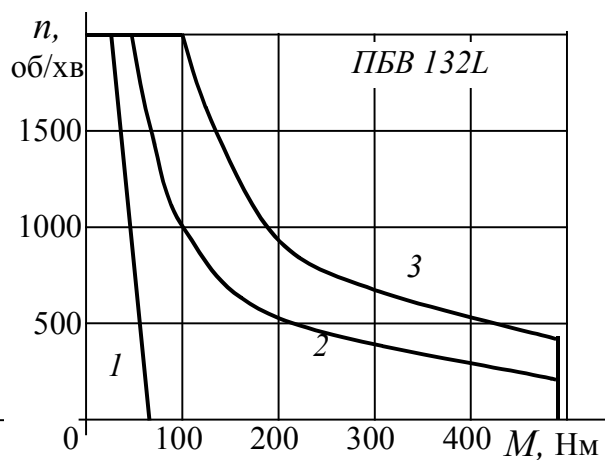


Рис. 12

Таблиця 3

Параметри вентильних двигунів

Тип	$U_{ж}$, В	M_{d0} , Нм	I_{d0} , А	n_{max} , об/хв	M_{max} , Нм	J_d , кгм ²
2ДВУ 55М	60	0,13	2,4	6000	0,73	0,0000149
2ДВУ 55	60	0,23	4,1	6000	1,22	0,0000213
2ДВУ 85М	60	0,47	7,6	6000	2,36	0,000075
2ДВУ 85	60	1,0	3,7	4000	5,13	0,000129
2ДВУ 115А	520	2,3	3,6	4000	10,2	0,000216
2ДВУ 115	520	3,5	3,7	3000	20	0,000426
2ДВУ 115М	520	4,7	4,8	3000	25,5	0,000526
ДВУ2М 165S	520	7	2,7	1000	35	0,0043
ДВУ2М 165S	520	7	4,5	2000	35	0,0043
ДВУ2М 165М	520	10	2,7	1000	50	0,0061
ДВУ2М 165М	520	10	5,4	2000	50	0,0061
ДВУ2М 165L	520	13	3,5	1000	65	0,0078
ДВУ2М 215L	520	13	7	2000	65	0,0078
ДВУ2М 215S	520	17	4,8	1000	85	0,0158
ДВУ2М 215S	520	17	9,6	2000	85	0,0158
ДВУ2М 215М	520	23	6,7	1000	115	0,0225
ДВУ2М 215М	520	23	13,4	2000	115	0,0225
ДВУ2М 215L	520	35	10,9	1000	175	0,0294
ДВУ2М 215L	520	35	21,7	2000	175	0,0294

Додаток 3

Таблиця 1

Коефіцієнти корисної дії передач

Тип передачі	Величина
Зубчаста: конічна	0,96...0,97
циліндрична	0,98...0,99
черв'ячна	0,7...0,8
Ремінна	0,92...0,95
Кулько-гвинтова: без натягу	0,95
з натягом	0,85...0,9

Таблиця 2

Коефіцієнти тертя

Вузол	Величина
Напрямні опори: ковзання	0,1
кочення	0,005...0,01
Підшипники кочення	0,003...0,004

Таблиця 3

Параметри гвинтових передач

Діаметр гвинта, мм	Крок гвинта, мм	Момент холостого ходу, Нм
40	5	0,8
40	10	0,6
50	5	1,3
50	10	1,1
63	10	1,8
80	10	3,1
80	20	2,6
100	10	5,2
100	20	5,2

ЗМІСТ

ВСТУП.	3
1 ВМІСТ ПРОЕКТУ.	3
2 ВИХІДНІ ДАНІ.	4
3 ПОПЕРЕДНІЙ ВИБІР ДВИГУНА ТА ПЕРЕДАТНОГО ЧИСЛА	5
3.1 Двигун шпинделя.	5
3.2 Двигун подачі.	7
4 РОЗРАХУНОК ДІАГРАМ ШВИДКОСТЕЙ І НАВАНТАЖЕНЬ ПРИВОДІВ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА	7
4.1 Швидкості, зусилля та тривалості різання	7
4.2 Навантаження приводу шпинделя	10
4.3 Навантаження приводів подач	11
4.4 Тривалість пуску та пусковий момент високомоментного двигуна	13
5 РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ ПРИВОДІВ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА	15
5.1 Швидкості, зусилля та тривалість різання	15
5.2 Навантаження приводу шпинделя	17
5.3 Навантаження приводів подач	17
6 ПЕРЕВІРКА ПОПЕРЕДНЬО ВИБРАНОГО ДВИГУНА	19
6.1 Двигун шпинделя.	19
6.2 Двигун подачі.	20
7 ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВОГО КОЛА	20
7.1 Електропривід за системою “керований випрямляч –двигун”	20
7.2 Електропривід ШП–Д	23
7.3 Електропривід із вентильним двигуном	26
8 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ САР	27
8.1 Тиристорний привід постійного струму	27
8.1.1 Параметри об’єкта керування	27
8.1.2 Параметри САР однозонного електропривода з ВМД	28
8.1.3 Параметри САР двозонного електропривода	33
8.2 Транзисторний електропривід постійного струму	37
8.3 Електропривід із вентильним двигуном	39
Список літератури	40
ДОДАТКИ.	41