

**Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія**

А. А. Шульга, І. І. Полупан, А. А. Ткаченко

**АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД
МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ**

Навчальний посібник

затверджено
на засіданні вченої ради
Протокол № від

Краматорськ 2010

УДК 621.9.06-83
ББК 31.291
Ш-95

рецензенти:

Гусєв В.В., д-р техн. наук, професор, ДонНТУ
Ягупов В.Г., д-р техн. наук, професор, Харківська національна академія міського господарства.

Містить короткі теоретичні відомості та опис основних типів електроприводів металорізальних верстатів, їх розрахунок та вибір. Надані сучасні системи автоматизованого електропривода постійного струму з широтно-імпульсними перетворювачами та системи транзисторного електроприводом змінного струму.

Для виконання контрольних робіт, підготовки до заліку и самостійного вивчення розділів курсу.

Шульга, А.А.

Ш-95 Автоматизований електропривод металорізальних верстатів: навчальний посібник: для студентів спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» / А. А. Шульга, І. І. Полупан, А.А. Ткаченко. - Краматорськ: ДДМА 2010. - 124 с.

ISBN

Містить короткі теоретичні відомості та опис основних типів електроприводів металорізальних верстатів, їх розрахунок і вибір. Представлені сучасні системи автоматизованого електроприводу постійного струму з широтно-імпульсними перетворювачами і системи транзисторного електроприводу змінного струму.

Для виконання контрольних робіт, підготовки до заліку та самостійного вивчення розділів курсу.

УДК 621.9.06
ББК 31.291

ISBN

© А. А. Шульга, І. І. Полупан,
А. А. Ткаченко 2010
© ДДМА 2010

ЗМІСТ

Вступ	5
1 Загальні відомості про металорізальних верстатах	7
1.1 Класифікація металорізальних верстатів	7
1.2 Основні та допоміжні руху в верстатах	8
2 Загальні питання електроприводу верстатів	11
3 Регулювання швидкості приводів верстатів	14
4 Режими роботи електродвигунів верстатів	18
5 Електрообладнання токарних верстатів	19
5.1 Призначення і пристрій токарних верстатів	19
5.2 Типи електроприводів токарних верстатів	22
5.3 Розрахунок потужності двигунів токарних верстатів	24
6 Електрообладнання свердлильних і розточувальних верстатів	28
6.1 Призначення і пристрій свердлильних і розточувальних верстатів	28
6.2 Особливості та типи електроприводів свердлильних і розточувальних верстатів	31
6.3 Розрахунок потужності двигунів свердлильних і розточувальних верстатів	32
7. Електрообладнання поздовжньо-стругальних верстатів	34
7.1 Призначення і пристрій поздовжньо-стругальних верстатів	34
7.2 Особливості роботи і типи головних електроприводів поздовжньо-стругальних верстатів	35
7.3 Розрахунок потужності двигуна столу продольно-стругального верстата	39
7.4 Електропривод подачі супортів продольно-стругальних верстатів	42
8 Електрообладнання фрезерних верстатів	43
8.1 Призначення і пристрій фрезерних верстатів	43
8.2 Типи електроприводів фрезерних верстатів	47
8.3 Розрахунок потужності електродвигунів фрезерних верстатів	47
9 Електрообладнання шліфувальних верстатів	50
9.1 Призначення і пристрій шліфувальних верстатів	50
9.2 Типи електроприводів шліфувальних верстатів	54
9.3 Розрахунок потужності двигуна головного приводу шліфувальних верстатів	55

10	Автоматизований електропривод постійного струму	57
10.1	Елементи автоматизованого електроприводу постійного струму	57
10.2	Особливості двозонних електроприводів	58
10.3	Обмеження струму (моменту) в електроприводах постійного струму	62
10.4	Трифазні комплектні електроприводи ЕТУ2 (ЕПУ2)	67
10.5	Перетворювачі постійного струму SIMOREG DC MASTER.....	69
11	Автоматизований електропривод змінного струму	76
11.1	Статичні перетворювачі частоти	76
11.2	Принципи побудови систем управління двигуном змінного струму	81
11.3	Скалярні системи частотного управління	83
11.4	Система векторного керування	90
11.5	комплектні електроприводи ЕКТ2	109
11.6	Частотно-регульовані перетворювачі Micromaster440	112
11.7	Цифрові перетворювачі частоти Sinus K	115
12	Системи числового програмного керування металообробними верстатами ..	117
	Список рекомендованої літератури	124

ВСТУП

Сучасні металорізальні верстати - це високорозвинені машини, що включають велике число механізмів і використовують механічні, електронні, гідравлічні, пневматичні та інші методи здійснення рухів і управління циклом. За конструкцією і призначенням важко знайти більш різноманітні машини, ніж металорізальні верстати. На них обробляють всілякі деталі - від найдрібніших елементів годинників і приладів до деталей, розміри яких сягають багатьох метрів, - турбін, прокатних станів, теплоходів.

На верстатах обробляють і прості циліндричні поверхні, і поверхні, що описуються складними математичними рівняннями або задані графічно, наприклад, для криволінійних кулачків, турбінних лопаток, штампів, лопатей гвинтів. При цьому досягається висока точність обробки, яка вимірюється нерідко частками мікрометра. На верстатах обробляються деталі з сталей і чавунів, з кольорових, спеціальних жароміцних, легких, твердих і інших сплавів, з пластмас, дерева, кварцу, феромагнітних сплавів і інших матеріалів. Обробляють деталі з радіоактивних матеріалів, коли верстатом доводиться управляти з віддаленого від місця обробки пульта, а за процесом спостерігати на екрані панелі оператора.

Дедалі більшого розвитку отримують верстати з програмним управлінням, в тому числі багатоцільові, що забезпечують високу мобільність виробництва, точність і продуктивність обробки. Автоматика все ширше застосовується не тільки для підвищення продуктивності процесу обробки, але і для отримання його високих якісних показників. Управління від ЕОМ групою верстатів, можливість оптимізувати процес обробки і автоматично встановлювати необхідні режими обробки з урахуванням мінливих умов також характерно для автоматичних систем сучасних верстатів.

При створенні нових верстатів використовуються досягнення верстатобудівної промисловості і науки. Наприклад, на конструкцію верстата впливає створення нових типів електродвигунів (високомоментних, лінійних), поява нових датчиків (перетворювачів) положення, вдосконалення електрогідравлічної і оптичної апаратури, створення нових методів управління від спеціалізованих ЕОМ і т. Д. Мікропроцесорні пристрої керування перетворюють верстат в верстатний модуль, що поєднує гнучкість і універсальність з високим рівнем автоматизації.

Застосування верстатних модулів можливо тільки при повній автоматизації всіх допоміжних операцій за рахунок широкого використання маніпуляторів і промислових роботів. Це відноситься до операцій, пов'язаних зі зміною заготовки, ріжучих інструментів, технологічної оснастки, з операціями вимірювання заготовки, інструменту, з операціями дроблення і видалення стружки.

Удосконалення сучасних верстатів повинно забезпечувати підвищення швидкостей робочих і допоміжних рухів при відповідному підвищенні потужності приводу головного руху.

Виключне значення набуває підвищення надійності верстатів за рахунок насичення їх засобами контролю і вимірювання, а також введення в верстати систем діагностування.

У сучасних верстатах використовують широкий набір засобів вимірювання, іноді дуже точних, таких, наприклад, як лазерні інтерферометри, для збору поточної інформації про стан верстата, інструменту, допоміжних пристроїв і для отримання достовірних даних про справній роботі.

Сучасні металорізальні верстати забезпечують виключно високу точність оброблених деталей. Відповідальні поверхні найбільш важливих деталей машин і приладів обробляють на верстатах з похибкою в частках мікрометра, а шорсткість поверхні при алмазному точінні не перевищує сотих часток мікрометра. Вимоги до точності постійно ростуть, і це, в свою чергу, ставить нові завдання перед інженерами-конструкторами.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МЕТАЛОРІЗАЛЬНІ ВЕРСТАТИ

1.1 Класифікація металорізальних верстатів

Металорізальні верстати є поширеними виробничими машинами, призначеними для механічної обробки заготовок з металу металорізальними інструментами. Шляхом зняття стружки заготівлі надаються необхідна форма, розміри і чистота поверхні. На електромашинобудівних заводах механічна обробка займає значне місце в загальному процесі виготовлення в умовах великосерійного і масового виробництва. Крім металевих заготовок на верстатах обробляють також деталі з інших матеріалів. До верстатів відноситься і технологічне обладнання, що використовує для обробки електрофізичні і електрохімічні методи, сфокусований електронний або лазерний промінь і деякі інші види обробки.

Залежно від характеру виконуваних робіт, виду застосовуваних інструментів і форми утвореною поверхні металорізальні верстати поділяються на наступні дев'ять груп: 1) токарні; 2) свердлильні й розточувальні; 3) шліфувальні; 4) комбіновані; 5) зубо- та різбленняобробні; 6) фрезерні; 7) стругальне і довбальні; 8) відрізні; 9) різні. Всередині груп верстати поділяються на типи (моделі).

Залежно від технологічних можливостей обробки деталей різних розмірів, форм і характеру організації виробництва розрізняють верстати:

1) *універсальні і широкого призначення*, Службовці для виконання різних операцій (наприклад, точіння, свердління, нарізування різьблення і ін.) І способів обробки (наприклад, фрезерування і розточування отворів), при обробці виробів багатьох найменувань і типорозмірів; такі верстати застосовуються при штучному і дрібносерійного виробництва в ремонтних цехах, майстерень і т. д;

2) *спеціалізовані*, Призначені для обробки деталей, подібних за формою, але мають різні розміри; такі верстати використовуються в серійному виробництві;

3) *спеціальні*, Службовці для обробки деталей одного типорозміру; верстати такого виду застосовуються у великосерійному і масовому виробництвах;

4) *гнучкі виробничі модулі (ГПМ)* представляють собою автоматизовану універсальну технологічну осередок, основою якої є верстат з повним набором маніпуляторів, контрольних і вимірювальних приладів.

За масою і розмірами розрізняють верстати: нормальні, мають масу до $10 \cdot 10^3$ кг; великі - масою від 10 до $30 \cdot 10^3$ кг; важкі - від 30 до $100 \cdot 10^3$ кг і унікальні - понад $100 \cdot 10^3$ кг, По точності обробки розрізняють верстати нормальної, підвищеної, високої і особливо високої точності (прецизійні).

1.2 Основні та допоміжні руху в верстатах

Процес отримання на верстатах деталей певної форми поверхні і розмірів складається в знятті з заготовки зайвого металу інструментом, ріжуча кромка якого переміщається щодо заготовки. Необхідна відносна переміщення створюється в результаті поєднання рухів інструменту і заготовки. Вони називаються основними, або робочими рухами. Їх поділяють на головне (ріжуче) рух (за рахунок нього інструмент виробляє різання металу) і рух подачі, яке служить для переміщення інструменту або оброблюваної заготовки (в залежності від типу верстата) для зняття шару металу з метою надання деталі певної форми.

Залежно від виду обробки основні рухи можуть мати різний характер. Так, при струганні поєднуються поступальний рух деталі або інструменту (рух різання) і перпендикулярний до нього поступальний рух інструмента (подачі); при токарній обробці відбувається обертання заготовки і поступальний рух інструмента (рис. 5); фрезерування здійснюється шляхом поєднання обертального руху інструменту і поступального руху заготовки; при свердлінні обидва основні рухи робить інструмент (рис. 7), і т. д.

Головні руху в верстатах здійснюються зазвичай за допомогою електроприводів (іноді застосовуються і гідроприводи), руху подачі - або через механічну передачу від головного приводу, або від окремих електро- або гідроприводів.

Крім основних рухів, в верстатах є допоміжні руху. Вони безпосередньо не беруть участь в процесі різання, але необхідні для обробки виробів, наприклад: для установки інструменту, автоматичного підведення його до заготівлі і зворотного відводу, контролю розмірів в процесі обробки, подачі мастила і охолоджуючої рідини і т. Д.

У зв'язку з великою різноманітністю функцій, які виконуються на верстатах, їх доцільно розглядати як систему, що складається з декількох підсистем (рис. 1), де І0, І1 - вхідна і вихідна інформація, М0, М1 - заготовки і вироби; Е - енергія; 1 - підсистема управління; 2 - підсистема контролю; 3 - підсистема маніпулювання; 4 - підсистема обробки.

Підсистема маніпулювання забезпечує доставку заготовок до місця обробки, їх затиск в заданій позиції, переміщення до місця контролю і виміру і, нарешті, висновок готових виробів з робочої зони верстата. Таким чином, підсистема маніпулювання забезпечує потік матеріалу, що проходить через робочу зону верстата в процесі його обробки.

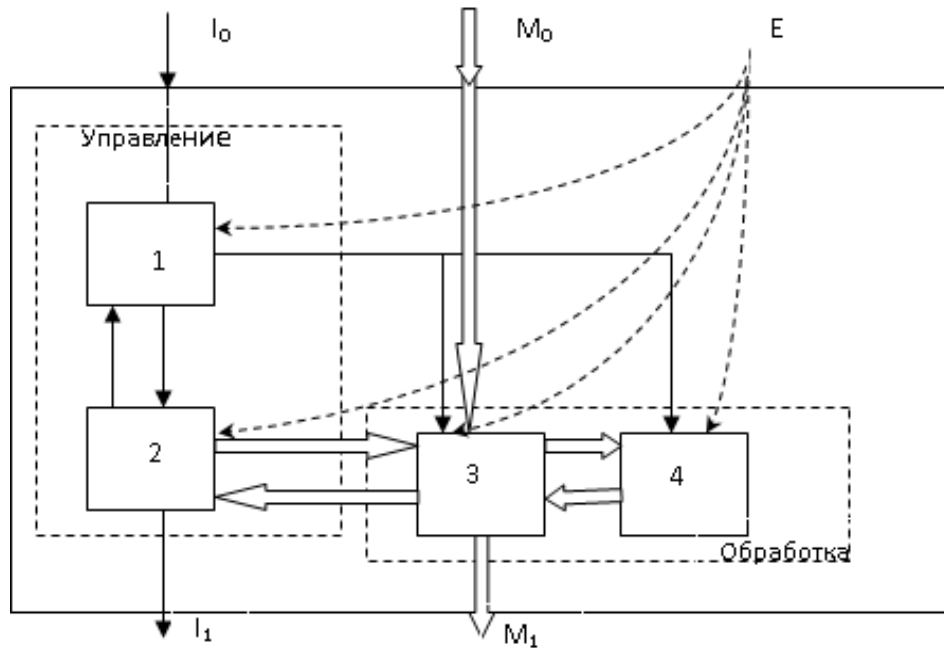


Рисунок 1 - Структурна схема верстата

Додаткові функції підсистеми маніпулювання необхідні також для зміни ріжучих інструментів і додаткових пристосувань. Підсистема управління на основі вхідних зовнішньої інформації і додаткової внутрішньої поточної інформації від контрольних і вимірювальних приладів забезпечує правильне функціонування всіх інших підсистем відповідно до поставленим завданням. Вхідна інформація надходить у вигляді креслення, маршрутної технології або заздалегідь підготовленої керуючої програми.

Поточна інформація про правильність стану і поведінки всієї технологічної системи (верстата, інструменту, маніпуляторів, допоміжних пристроїв) надходить в підсистему управління при ручному управлінні від органів почуттів оператора, а при автоматизації контрольних функцій - від відповідних перетворювачів (датчиків) підсистеми контролю. Вихідна інформація дає відомості про фактичні розміри обробленої на верстаті деталі за результатами її вимірювання.

Власне верстат підрозділяється на кілька найважливіших частин, зазвичай званих вузлами. Головний привід верстата повідомляє рух інструменту або заготівлі для здійснення процесу різання з відповідною швидкістю. У переважній більшості верстатів головний привід повідомляє обертальний рух шпинделя, в якому закріплено різальний інструмент або заготовка.

привід подачі необхідний для переміщення інструмента щодо заготовки для формування оброблюваної поверхні. У переважній більшості верстатів привід подачі повідомляє вузлу верстата прямолінійний рух. Поєднанням декількох прямолінійних, а інколи і обертальних рухів можна реалізувати будь-яку просторову траєкторію.

привід позиціонування необхідний в багатьох верстатах для переміщення того чи іншого вузла верстата з деякою вихідної позиції в іншу задану позицію, наприклад, при послідовній обробці декількох отворів або декількох паралельних площин на одній і тій же заготовці. У багатьох сучасних верстатах з числовим програмним управлінням (ЧПУ) функції приводів подачі і позиціонування виконує один загальний привід.

несуча система верстата складається з послідовного набору з'єднаних між собою базових деталей. З'єднання можуть бути нерухомими (стики) або рухливими (напрямні). Несуча система забезпечує правильність взаємного розташування різального інструменту і заготовки під впливом силових і температурних факторів.

маніпулюють пристрої необхідні для автоматизації різних допоміжних рухів в верстаті: для зміни заготовок, їх затиску, переміщень або повороту, зміни ріжучих інструментів, видалення стружки і т. п. Сучасний багатоопераційний верстат має набір маніпуляторів, транспортерів, поворотних пристроїв, а в деяких випадках обслуговується універсальним маніпулятором з програмним керуванням (промисловим роботом).

Контрольні та вимірювальні пристрої необхідні в верстаті для автоматизації спостереження за правильністю його роботи. За допомогою них контролюють стан найбільш відповідальних частин верстата, працездатність ріжучого інструменту, вимірюють заготовки і вироби. При досить високому рівні автоматизації результати вимірювання надходять в керуюче пристрою, а звідти у вигляді керуючих сигналів коректують положення вузлів верстата.

Пристрій керування може бути з ручним обслуговуванням оператором, з механічною системою управління або з ЧПУ. В даний час відбувається широке впровадження мікропроцесорних пристроїв ЧПУ для управління всіма видами верстатного обладнання.

Передача рухів в верстатах від двигунів до робочих органів здійснюється кінематичними ланцюгами механізмів верстата. Структуру цих ланцюгів, їх взаємні зв'язки та особливості можна простежити по кінематичній схемі верстата. За такою схемою легко розраховуються швидкості руху робочих органів верстата або, навпаки, за заданими швидкостями руху робочих органів знаходяться необхідні значення кутової швидкості двигунів. Кінематична схема потрібна також для визначення моментів, що діють на валу двигуна, ККД і т. П.

2 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ВЕРСТАТІВ

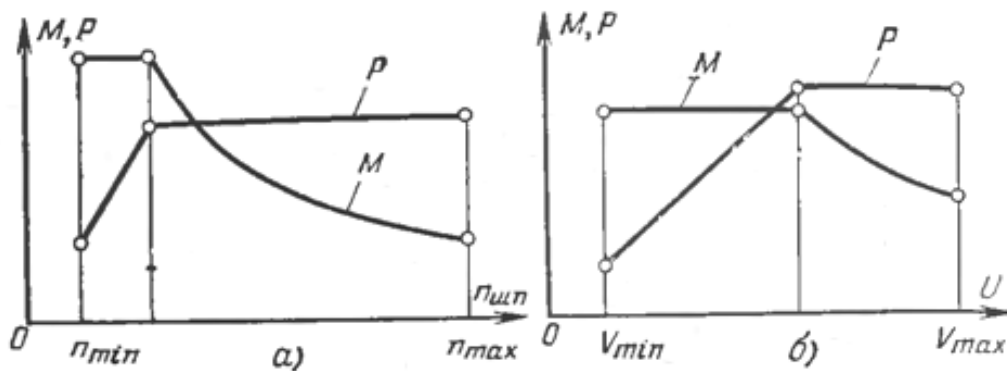
Вимоги до електроприводів основних і допоміжних рухів. Одним з найважливіших питань електроустаткування металорізальних верстатів є вибір типу електроприводу для основних русі. На цей вибір впливає ряд факторів: 1) діапазон і плавність регулювання швидкості робочого ме-

ханізму; 2) характер навантаження приводу; 3) частота включень приводу; 4) співвідношення періодів машинного і допоміжного часу роботи верстата; 5) енергетичні показники роботи приводу - ККД і коефіцієнт потужності; 6) надійність приводу, простота його обслуговування і налагодження.

Регулювання швидкості приводів головного руху верстатів проводиться в діапазоні від (3 ... 6) до (100 ... 120): 1 і може бути здійснено одним із таких способів: 1) механічним - зміною передавального відношення від двигуна до робочого органу верстата; 2) електричним - зміною частоти обертання двигуна; 3) електромеханічним - комбінуванням двох перших способів. При цьому механічне регулювання, як правило, є ступінчастим, а електричне може бути ступінчастим і безступінчастим.

Слід зазначити, що механічні характеристики електродвигунів головних приводів повинні бути жорсткими. Перепад кутової швидкості при зміні навантаження на валу двигуна від холостого ходу до номінальної не повинен перевищувати 5 ... 10%.

Навантаження двигуна головного приводу при регулюванні швидкості змінюється по-різному для різних верстатів. Так, для верстатів з обертальним головним рухом (токарних, карусельних, фрезерних і т. Д.) Потужність P , що підводиться до шпинделя верстата, на значній частині діапазону регулювання частоти обертання $D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}$ повинна бути постійною (рис. 2, а).



Малюнок 2 - Залежності потужності і моменту від частоти обертання і від швидкості для головних приводів верстатів з обертальним (а) і зворотно-поступальним (б) рухами

У верстатів з зворотно-поступальним головним рухом, наприклад поздовжньо-стругальних, навпаки, на більшій частині діапазону регулювання при робочому ході зберігається сталість моменту навантаження M (рис. 2, б).

Приводи подачі сучасних верстатів характеризуються значним діапазоном зміни швидкості (до 1000: 1 і більше) при сталості моменту наван-

таження, що визначається найбільшим зусиллям подачі. Механічна характеристика приводу подачі $\omega = F(M)$ повинна бути жорсткою.

Застосовуються наступні типи приводів подачі: 1) від головного приводу через механічну передачу; 2) від окремого електродвигуна; 3) від гідроприводу.

Вибір типу електроприводу металорізальних верстатів. Для головних приводів токарних, фрезерних, розточувальних та інших верстатів з рідкісними включеннями, з невеликим діапазоном регулювання швидкості при постійній потужності застосовують трифазні короткозамкнені асинхронні двигуни, прості в управлінні, надійні і зручні в експлуатації. До недавнього часу, в основному, застосовувалося регулювання швидкості робочих органів перемиканням шестерень в коробці швидкостей верстата. На сучасному етапі розвитку верстатобудування для регулювання швидкості все частіше застосовуються перетворювачі частоти, які використовуються для вирішення завдань, що вимагають застосування приводів з великим діапазоном регулювання. Застосовують також багатошвидкісні асинхронні двигуни з перемиканням числа пар полюсів, що забезпечує ступінчасте регулювання швидкості і дозволяє зменшити розміри коробки передач.

На поздовжньо-стругальних, кругло і плоскошліфувальних і інших верстатах, що працюють з високим діапазоном регулювання швидкості при $M = \text{const}$ або в режимі частих реверсів, застосовують системи електроприводу з регулюванням кутової швидкості двигунів постійного струму зміною напруги на якорі, а саме Г-Д з магнітним підсилювачем в якості збудника, ТП-Д (тиристорний перетворювач - двигун).

Привід подачі важких токарних, карусельних, фрезерних, розточувальних та деяких інших верстатів часто виконується від окремого електродвигуна. Це спрощує кінематику верстата і полегшує його автоматизацію.

Момент опору M_c на валу двигуна подачі створюється, в основному, силами тертя, що виникають при переміщенні елементів верстата. При пуску двигуна значення M_c буде більше, ніж під час роботи, так як коефіцієнт тертя спокою $\mu_0 > \mu_{\text{двіж}}$. Цю обставину слід враховувати при виборі типу двигуна.

Для окремих електроприводів подачі невеликих верстатів слід застосовувати асинхронні двигуни з підвищеним пусковим моментом. Регулювання швидкості подачі в цьому випадку проводиться зміною передавального числа коробки швидкостей, перемиканням числа пар полюсів двигуна, зміною частоти мережі живлення. У тих випадках, коли потрібно плавну зміну подачі (наприклад, в важких карусельних, фрезерних і шліфувальних верстатах), застосовують двигуни постійного струму з живленням їх по системі Г-Д або ТП-Д.

Останнім часом в електроприводах верстатів отримали широке застосування:

1) синхронні двигуни, так як вони можуть використовуватися без зворотного зв'язку за швидкістю і підтримують постійний момент в певному діапазоні частоти;

2) лінійні, так як ротор рухається прямолінійно. Істотною перевагою лінійної техніки прямих приводів є практична відсутність ефектів еластичності, люфту і тертя, а також власної вібрації в трансмісії. Наслідком цього є висока динаміка і висока точність.

Вибір типу двигунів для верстатів. Для сучасного верстатобудування характерно прагнення наблизити двигун до робочого органу верстата, це дозволяє спростити кінематичні ланцюги, знизити втрати в передачах і зробити привід більш компактним, що, в свою чергу, веде до органічного злиття електричної і механічної частин верстата. Ця обставина привела до застосування на верстатах, крім двигунів нормального виконання зі станиною на лапах, двигунів спеціального виконання зі станиною без лап, що мають фланець на підшипниковому щиті. Застосування фланцевих двигунів, які можуть встановлюватися безпосередньо на підставу верстата, як горизонтально, так і вертикально, дозволяє в ряді випадків спростити конструкцію верстата, наприклад, за рахунок вилучення конічних шестерень, службовців для зчленування взаємно перпендикулярних валів,

Приводні двигуни верстатів повинні бути захищені від шкідливого впливу навколишнього середовища (попадання в них машинного масла, емульсії, металевої і абразивного пилу та ін.). Якщо при роботі верстата не утворюється металевого пилу і виключено попадання в двигун крапель олії (емульсії), то можуть бути використані незахищені двигуни. У всіх інших випадках слід застосовувати для приводу верстатів закриті двигуни із зовнішнім обдуванням або з природним охолодженням.

Двигуни змінного струму вибирають з короткозамкненим ротором одно- і багатошвидкісні, що вбудовуються і підвищеної точності, переважно на синхронну частоту обертання 3000 і 1500 об / хв. Двигуни постійного струму використовуються в електроприводі механізмів, що вимагають за технологічними умовами регулювання швидкості. При цьому двигуни зі змішаним і послідовним збудженням, як правило, застосовуються в розімкнутих системах електроприводу. Двигуни з незалежним збудженням в даний час є основою замкнених систем регульованого електроприводу і найбільш широко використовуються в масових тиристорних електроприводах постійного струму. Для стежать використовують малоінерційні двигуни з гладким якорем, що допускають короткочасне перевантаження по струму до $I_{\text{кратк}} \leq 8I_{\text{ном}}$ при номінальному магнітному потоці.

Для систем програмного управління застосовують крокові двигуни і двигуни з друкованими обмотками якоря, а також спеціальні малоінерційні високомоментні ($M_{\text{кратк}} \geq 7M_{\text{ном}}$) двигуни постійного струму зі збудженням від постійних магнітів.

3 РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ПРИВОДІВ ВЕРСТАТІВ

Для найбільш повного використання ріжучого інструменту і верстата обробка виробів повинна проводитися при так званій економічно вигідною (оптимальною) швидкості різання, яка при роботі верстата з відповідною подачею і глибиною різання повинна забезпечити обробку деталі з необхідною точністю і чистотою поверхні при мінімальних приведених питомих витратах на обробку. Продуктивність при цьому буде трохи нижче найбільшою можливою.

Оптимальна швидкість різання залежить від твердості оброблюваного матеріалу, властивостей матеріалу і геометрії ріжучого інструменту, а також від характеру обробки. На одному і тому ж верстаті можуть оброблятися деталі різних розмірів, з різних матеріалів і різними інструментами, що є причиною зміни режимів різання. Наприклад, на токарних верстатах при постійній частоті обертання шпинделя $n_{\text{шп}}$ зі зміною діаметра обробки $D_{\text{обр}}$ буде змінюватися швидкість різання, v_z / хв:

$$v_z = \frac{\pi d_{\text{обр}} n_{\text{шп}}}{1000} \cdot (3.1)$$

Отже, частота обертання шпинделя верстата визначається двома факторами - діаметром $D_{\text{обр}}$ і швидкістю різання v_z . Рациональне використання верстата вимагає зміни частоти обертання шпинделя при зміні технологічних факторів.

Регульовальні властивості механізмів верстатів характеризуються такими показниками:

1) діапазоном регулювання D , який при обертальному русі робочої частини верстата дорівнює відношенню максимальної кутової швидкості (або частоти обертання) до мінімальної:

$$D = \frac{\omega_{\phi_i, \text{max}}}{\omega_{\phi_i, \text{min}}} = \frac{n_{\phi_i, \text{max}}}{n_{\phi_i, \text{min}}} \cdot (3.2)$$

і для верстатів з поступальним рухом визначається відношенням лінійних швидкостей: максимальної v_{max} до мінімальної v_{min} , Т. Е.

$$D = \frac{v_{\text{max}}}{v_{\text{min}}} \cdot (3.3)$$

Зразкові значення діапазону регулювання швидкості для приводів головних рухів ДГ і приводів подач ДП деяких типів верстатів дані в таблиці 1;

Таблиця 1 - Значення діапазонів регулювання швидкості приводів головних рухів і подач

Тип верстатів	Діапазон регулювання для приводів	
	Головного руху ДГ	Рухи подач ДП
Токарні (середні і великі)	40 ... 125	50 ... 300
Карусельні (важкі)	40 ... 100	100 ... 7 000
Ковальсько-пресове	20 ... 100	5 ... 40
Горизонтально-розточувальні (середні)	25 ... 100	30 ... 150
Фрезерні (універсальні)	20 ... 40	100 ... 600
Поздовжньо-стругальні середніх і великих розмірів	10 ... 30	50 ... 100

2) плавністю регулювання, яка визначається відношенням швидкостей на двох сусідніх щаблях регулювання i і $(i + 1)$, т. е.

$$\varphi = \frac{n_{i+1}}{n_i} \cdot (3.4)$$

Це відношення називається коефіцієнтом регулювання.

Зі зменшенням коефіцієнта φ зростає щільність регульовального процесу, яка в значній мірі впливає на продуктивність верстата. У практиці верстатобудування найчастіше застосовуються значення $\varphi = 1,12; 1,26; 1,41; 1,58$;

3) економічністю регулювання, що характеризується витратами на виробництво цієї системи приводу і вартістю втрат енергії при регулюванні швидкості;

4) стабільністю роботи приводу, яка характеризується перепадом швидкості зі зміною навантаження на робочому органі верстата.

Регулювання швидкості головних приводів. На деяких верстатах і до теперішнього часу застосовують трифазні одношвидкісні асинхронні двигуни з чисто механічною системою регулювання швидкості, здійснюваної шляхом перемикання шестерень коробки швидкостей. Одним з головних переваг механічного приводу є збереження постійної потужності на всьому діапазоні регулювання.

Ступеневу механічне регулювання кутової швидкості, здійснюване перемиканням шестерень коробки швидкостей, не забезпечує для різних діаметрів обробки найвигіднішу швидкість різання. Отже, верстат при зміні Добр не може забезпечити високу продуктивність. Крім того, коробка передач являє собою досить складну і громіздку конструкцію, вартість якої зростає зі збільшенням числа ступенів.

Для спрощення кінематичних схем верстатів невеликих і середніх розмірів при ступінчастому регулюванні кутової швидкості застосовують багатошвидкісні асинхронні двигуни (двох-, трьох- і чотиришвидкісні), а також асинхронні двигуни з фазним ротором.

Для регулювання швидкості в діапазоні $D \leq (8 \dots 12): 1$ і до $40: 1$ при збереженні $\dot{I}_n \approx const$ в значній частині діапазону застосовується електричне безступінчасте регулювання швидкості головних приводів. В цьому випадку коробка швидкостей з переключаючими блоками замінюється редуктором, який має більш просту кінематичну схему.

У практиці верстатобудування для регульованих приводів до теперішнього часу широке застосування мають приводи постійного струму по системі Г-Д з ЕМУ в якості збудника, що забезпечують плавне регулювання швидкості і досить хороші динамічні характеристики. Для збереження стабільності швидкості при зміні навантаження застосовують різні системи автоматичного регулювання, в яких використовуються магнітні й напівпровідникові підсилювачі.

В останні роки для таких приводів замість електромашинних перетворювачів, що мають значні габарити, невисокий ККД і великі експлуатаційні витрати, все більше застосування отримують статичні перетворювачі на керованих напівпровідникових вентилях - тиристорах, що володіють наступними перевагами: меншою вартістю силових елементів; більш високим ККД; експлуатація вентиляного перетворювача простіше, а надійність вище в порівнянні з електромашинним перетворювачем.

Регулювання швидкості приводів подач. Потужність, необхідна для здійснення подачі, значно менше потужності головного приводу, так як $v_{\text{під}} \ll v_{\text{головний}}$.

Спочатку в приводах подач використовувалося механічне та електромеханічне ступеневе регулювання швидкості. У верстатах невеликих і середніх розмірів (токарно-гвинторізних, свердлильних, зубофрезерних і ін.) Подача вироблялася від головного приводу через окрему коробку передач, що дозволяло зберегти постійним встановлене співвідношення

$\frac{v_{\text{під}}}{n_{\text{під}}}$, Але в цьому випадку не можна змінювати швидкість $v_{\text{під}}$ в процесі різання, і ускладнюється кінематична схема верстата.

В даний час в приводах подач при діапазоні понад $10: 1$ застосування електричного бесступенчатого регулювання швидкості є більш актуальним. Для подачі застосовують двигуни постійного струму, частота обертання яких управляється зміною підводиться до якоря напруги, одержуваного від окремого керованого перетворювача у вигляді ему, ПМУ або ТП.

Також для регулювання швидкості приводів подач (іноді головних приводів) застосовуються синхронні двигуни. Необхідно відзначити, що гілка синхронних електричних машин найбільш перспективна і найближчим часом обіцяє істотний технологічний стрибок. Вже сьогодні є розробки безконтактних синхронних машин, які мають поліпшені на порядок ма-

согабаритними показниками. Ці машини мають абсолютно нову, нетрадиційну конструкцію і дуже широкі можливості. Основною відмінною рисою цих машин є те, що поле статора в них обертається синхронно з полем ротора. Синхронні двигуни, в яких регулювання відбувається частотним перетворювачем, підтримують незмінною частоту обертання при будь-якому навантаженні.

Важливою особливістю СД є можливість фіксації положення його ротора шляхом підключення обмоток фаз статора до джерела постійної напруги. Шляхом перемикання обмоток можна з високою точністю задавати дискретні переміщення ротора, що відповідають певному числу кроків. Таким чином, в крокової режимі СД здатний відпрацьовувати переміщення, що задаються числом електричних імпульсів, комутировать переміщення, що задаються числом електричних імпульсів комутатора, шляхом підключення обмоток фаз статора до джерела постійної напруги. Шляхом перемикання обмоток можна з високою точністю задавати дискретні переміщення ротора, що відповідають певному числу кроків. Таким чином, в крокової режимі СД здатний відпрацьовувати переміщення, що задаються числом електричних імпульсів, комутуючих струми статора в необхідній послідовності.

4 РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ВЕРСТАТІВ

Необхідна для роботи верстата потужність, a , отже, і потужність, що розвивається приводним двигуном, в загальному випадку змінюються в процесі обробки деталі. При виготовленні однотипних деталей з закінченням обробки однієї з них верстат зупиняється, проводиться вимір і зміна заготовки, причому на цей час (t_0) двигун зазвичай відключається. Для забезпечення нормальної роботи верстата при подібній змінному навантаженні двигун повинен задовольняти двом умовам: розвивати найбільшу потужність, необхідну в процесі обробки, і не перегріватися понад норми при роботі зі змінним навантаженням.

У тривалому режимі з постійним навантаженням (S1) працюють головні приводи великих токарних, карусельних, шліфувальних, зубофрезерних і інших верстатів. Номінальна потужність двигуна в цьому випадку повинна бути обрано рівної або трохи більшою номінальною потужністю верстата, яка визначається за найбільшою потужності різання.

Перемежується режим роботи з частими реверсами (S7) характерний, наприклад, для головного приводу поздовжньо-стругальних верстатів. Потужність двигуна тут вибирається по навантажувальній діаграмі методом середніх втрат або еквівалентних величин.

У повторно-короткочасному режимі (S3 або S4) працюють електроприводи багатьох металорізальних верстатів (наприклад, свердлильних, за-

точувальних, автоматів і ін.). Потужність двигуна в цьому випадку визначається також методом середніх втрат або еквівалентних величин.

У короткочасному режимі (S2) працюють допоміжні приводи верстатів (наприклад, приводи швидких переміщень супортів і поперечок, приводи затискних пристроїв і ін.). Час роботи допоміжних приводів зазвичай незначно і становить 5 ... 15 с для невеликих верстатів та 1 ... 1,5 хв - для великих верстатів. Номінальна потужність двигуна допоміжних приводів визначається умовами перевантаження.

Машинобудівні підприємства мають великий парк металорізальних верстатів з асинхронними двигунами. Недовантаження цих двигунів призводить до збільшення непродуктивної витрати електроенергії через зниження ККД двигунів і до зменшення загального $\cos \varphi$ підприємства, так як в його електричній навантаженні зростає частка реактивної потужності. В результаті погіршується використання потужності живлять підприємство трансформаторів і ліній електропередачі, збільшуються втрати енергії в системі електропостачання. Тому доводиться встановлювати пристрої, що компенсують, що підвищують коефіцієнт потужності до норми. З цією ж метою слід прагнути до більш повному завантаженні двигунів і до скорочення або виключення холостого ходу.

5 ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ

5.1 Призначення і пристрій токарних верстатів

Верстати токарної групи відносяться до найбільш поширеним металорізальних верстатів і широко застосовуються на промислових підприємствах, в ремонтних майстернях і т. П. У цю групу входять: універсальні токарні і токарно-гвинторізні, револьверні, токарно-лобові, карусельні, токарно-копіювальні верстати, токарні автомати і напівавтомати.

На токарних верстатах проводиться обробка зовнішніх, внутрішніх і торцевих поверхонь тіл обертання циліндричної, конічної і фасонної форми, а також прорезка канавок, нарізка зовнішньої і внутрішньої різьби і т. Д. Різальний інструмент на токарних верстатах служать, в основному, різці, але застосовуються також і свердла, розгортки, мітчики, плашки і ін.

Характерною особливістю верстатів токарної групи є здійснення головного руху за рахунок обертання оброблюваної деталі. Подача ріжучого інструменту проводиться шляхом поступального переміщення супортів.

Найбільше застосування отримали універсальні токарно-гвинторізні верстати, на яких виконуються різноманітні токарні роботи. У електрома-

шинобудуванні на токарних верстатах виробляється обточування валів, підшипникових щитів і інших деталей електричних машин.

На рис. 3 показаний загальний вид універсального токарно-гвинторізного верстата.

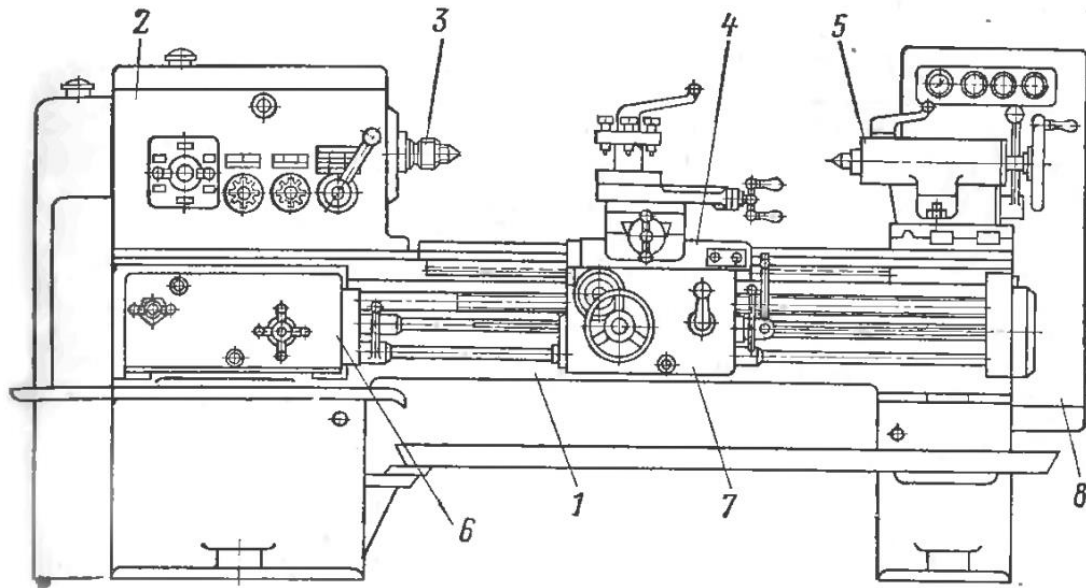


Рисунок 3 - Загальний вигляд токарно-гвинторізного верстата моделі 1К62Б

Основні вузли верстата: станина 1, передня (шпиндельная) бабка 2 з коробкою швидкостей і шпинделем 3, супорт 4, задня бабка 5, коробка подач 6, фартух 7 і шафа з електрообладнанням 8.

Станина є основною несучою конструкцією верстата. По напрямних станини переміщається нижня каретка супорта, а також задня бабка. Шпиндель являє собою порожнистий вал, через який можна пропускати прутковий матеріал при обробці його на верстаті. На шпиндель навітається патрон або планшайба для закріплення оброблюваного виробу, а також може встановлюватися передній центр при обробці виробу в центрах.

Супорт служить для закріплення різального інструменту (різця) і повідомлення йому рухів подачі - поздовжньої і поперечної. Фартух з'єднаний з нижньою кареткою супорта і переміщається разом з нею вздовж станини. Рух супорта передається через механізм фартуха від ходового вала або від ходового гвинта, які отримують обертання від коробки подач. Ходовий гвинт використовується при нарізанні різьби, ходової вал - при всіх інших видах обробки. Задня бабка використовується як друга опора при обробці в центрах порівняно довгих виробів. Вона має висувну піноль, в якій закріплюється задній центр або ріжучий інструмент для обробки отворів - свердла, мітчики, розгортки та ін.

Токарно-револьверні верстати призначені для обробки в серійному виробництві деталей складної форми, в тому числі болтів, гайок і ін. Про-

цес обробки на цих верстатах складається з декількох послідовних операцій, під час яких використовуються різні інструменти: різці, свердла, мітчики і ін., закріплені в так званій револьверній голівці, яка встановлюється на супорті. У електромашинобудуванні токарно-револьверні верстати застосовуються для обробки підшипникових щитів, втулок і натискних конусів колекторів електричних машин. Застосування цих верстатів підвищує продуктивність праці в 2 ... 3 рази в порівнянні з обробкою на токарно-гвинторізних верстатах.

На рис. 4 показаний загальний вигляд токарно-револьверного верстата, основними вузлами якого є: станина 1, фартухи 2 поперечного супорта 5 і супорта 6 револьверної головки, коробка подач 3, шпиндельная бабка 4, револьверна головка 7. При обробці заготовки інструменти по черзі вводяться в роботу шляхом повороту револьверної головки навколо своєї осі. Супорт з головою може здійснювати швидкі поздовжні переміщення по напрямних станини. Револьверні головки зазвичай мають шестигранну форму, ріжучі інструменти закріплюються в радіальних отворах (гніздах) головки.

карусельні верстати є різновидом токарних верстатів. Їх застосовують для зовнішньої обточування і внутрішнього розточення циліндричних поверхонь, обточування торців на великих деталях великого діаметра (до 13 м і більше), але порівняно невеликої довжини, наприклад: заготовок зубчастих коліс, дисків парових турбін і ін.

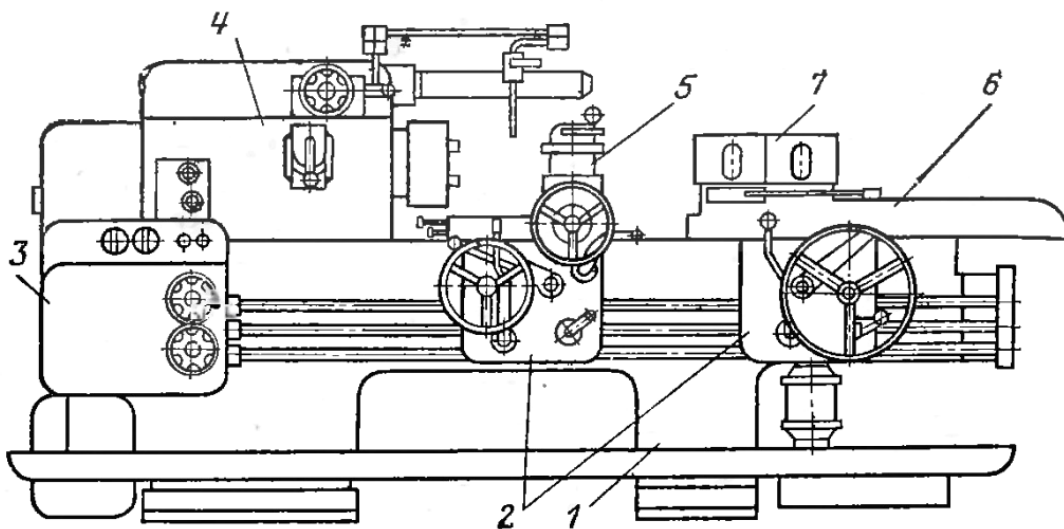


Рисунок 4 - Загальний вигляд токарно-револьверного верстата моделі 1П365

На рисунку 5 показаний загальний вигляд важкого двостійкового карусельного верстата.

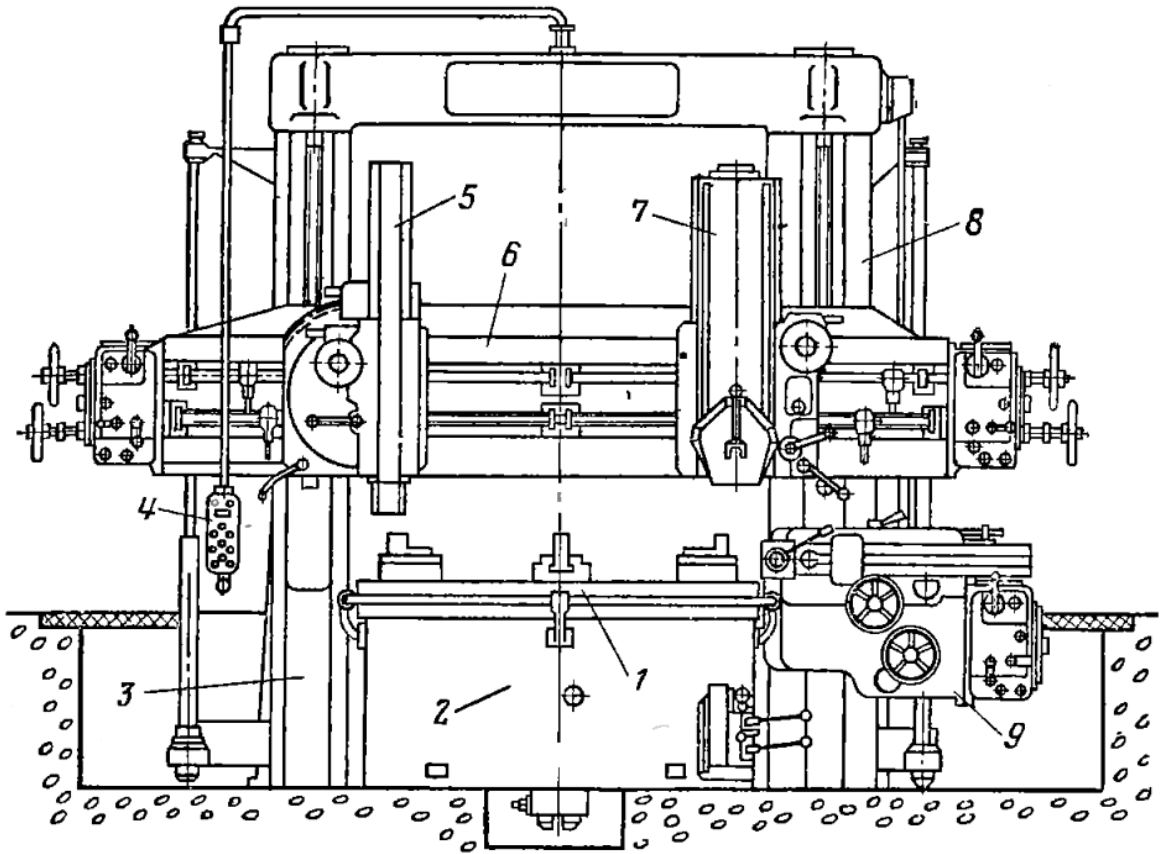


Рисунок 5 - Загальний вигляд важкого карусельного верстата моделі 1553

Оброблювана деталь закріплюється на горизонтальній планшайбе 1, розміщеної на станині 2, і обточується різцями, встановленими на лівому 5 і правому 7 верхніх супортах, а також на бічному супорті 9. Верхні супорти розташовані на поперечині (траверсі) 6, яка переміщається по двох стійках 3 і 8. Бічний супорт може переміщатися уздовж стійки 8. Управління електроприводами верстата може здійснюватися за допомогою підвісної кнопкової станції 4.

Як вже зазначалося вище, верстати токарної групи дуже різні за призначенням, яке і визначає їх конструктивні особливості.

5.2 Типи електроприводів токарних верстатів

Діапазон регулювання частоти обертання шпинделя токарних верстатів досягає (80 ... 100): 1. При цьому бажано мати по можливості плавне її зміна, з тим, щоб у всіх випадках забезпечити найвигіднішу швидкість різання.

Для верстатів токарної групи, в яких головний рух є обертальним, потрібно зазвичай сталість потужності в більшій частині діапазону зміни швидкостей і тільки в області малих швидкостей - сталість моменту, рівного найбільшому допустимому за умовою міцності механізму головного ру-

ху. Малі частоти обертання призначаються для специфічних видів обробки: нарізування різьблення мітчиками, обточування зварних швів і ін.

У головних приводах токарних і карусельних верстатів широкого призначення малих і середніх розмірів іноді застосовується привід від асинхронного короткозамкнутого двигуна. Асинхронний двигун конструктивно добре поєднується з коробкою швидкостей верстата, надійний в експлуатації і не вимагає спеціального догляду. Регулювання частоти обертання шпинделя верстата в такому приводі здійснюється шляхом перемикань шестерень коробки швидкостей.

У токарних верстатах малих розмірів пуск, зупинка і зміна напрямку обертання шпинделя часто проводяться за допомогою фрикційних муфт. Двигун при цьому залишається підключеним до мережі і обертається в одному напрямку.

Для головного приводу деяких верстатів застосовуються багатошвидкісні асинхронні двигуни. Використання такого приводу доцільно, якщо воно призводить до спрощення коробки швидкостей або коли потрібно перемикання швидкості шпинделя на ходу.

Важкі токарні та креслень верстати, як правило, мають електромеханічне східчасто-плавне регулювання швидкості головного приводу з використанням двигуна постійного струму. Порівняно проста коробка швидкостей таких верстатів дає дві-три ступені кутової швидкості, а в інтервалі між двома ступенями здійснюється в діапазоні (3 ... 5): 1 плавне регулювання кутової швидкості двигуна зміною його магнітного потоку. Це, зокрема, забезпечує можливість підтримувати сталість швидкості різання при точінні торцевих і конусних поверхонь. При наявності в заданому діапазоні частоти обертання шпинделя ділянки з постійністю моменту навантаження доцільно застосувати двозонне електричне регулювання кутової швидкості двигуна. Це дозволяє спростити коробку швидкостей (зменшити число ступенів швидкості), підвищити ефективність використання двигуна в зоні сталості моменту навантаження. Особливістю головного приводу карусельних верстатів є великий момент сил тертя на початку пуску (до 0,8 Мном) і значний момент інерції планшайби з деталлю, що перевищує на високих механічних швидкостях в 8 ... 9 раз момент інерції ротора електродвигуна. Застосування в цьому випадку електроприводу постійного струму забезпечує плавний пуск з постійним прискоренням.

У цехах машинобудівних заводів зазвичай немає мережі постійного струму, тому для живлення двигунів важких верстатів встановлюють окремі перетворюючі пристрої - електромашинні (система Г-Д) або статичні (система ТП-Д).

Безступінчасте електричне регулювання швидкості (двозонне) застосовують при автоматизації верстатів зі складним циклом роботи, що дозволяє легко переналагоджувати їх на будь-які швидкості різання (наприклад, деякі токарно-револьверні автомати). Безступінчасте електричне регулювання швидкості головного приводу використовується також для де-

яких прецизійних токарних верстатів. Але у всіх цих випадках діапазон регулювання швидкості при сталості потужності навантаження не перевищує (4 ... 5): 1, в решті частини діапазону регулювання ведеться при сталості моменту навантаження. Привід подачі невеликих і середніх токарних верстатів найчастіше здійснюється від головного двигуна, що забезпечує можливість нарізування різьблення. Для регулювання швидкості подачі застосовуються багатоступінчасті коробки подач.

У сучасних важких токарних і карусельних верстатах для приводу подачі використовується окремий широко регульований електропривод постійного струму. Кутова швидкість двигуна змінюється в діапазоні до (100 ... 200): 1 і більше; привід виконується за системою ЕМУ-Д, ПМУ-Д або ТП-Д.

Для допоміжних приводів токарних верстатів (прискорене переміщення каретки супорта, затиску виробу, насоса охолоджуючої рідини і ін.) Застосовуються окремі короткозамкнені асинхронні двигуни.

5.3 Розрахунок потужності двигунів токарних верстатів

Основні характеристики режиму токарного оброблення. Процес обробки деталей на токарних верстатах відбувається при певних значеннях величин, що характеризують режим різання. До них відносяться (рис. 6): глибина різання t , подача S (переміщення різця на один оборот шпинделя), швидкість різання v , т. Е. Лінійна швидкість, з якою переміщається знімається шар металу (стружка) щодо різця.

Призначувана швидкість різання залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, матеріалу різця, виду обробки, умов охолодження різця і деталі. Необхідне значення швидкості різання, м / хв, може бути визначено за такою формулою:

$$v_z = \frac{c_v}{T m_t^x v_s^y v}, \quad (5.1)$$

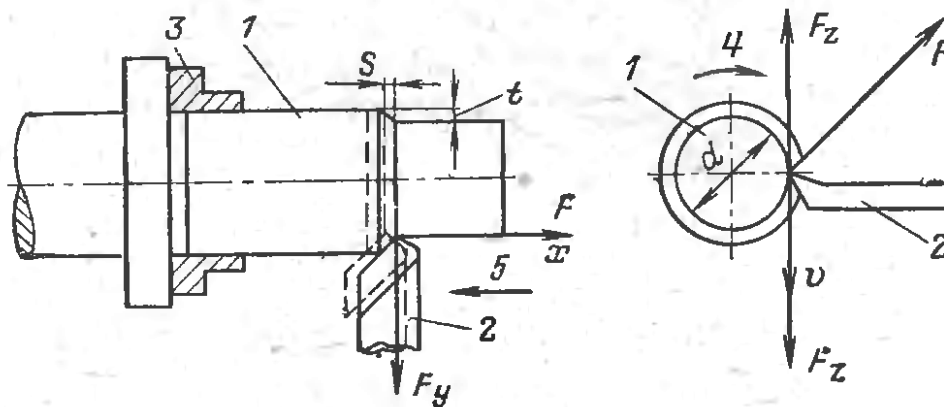
де T - стійкість різця (тривалість роботи різця до затуплення), хв;

c_v - коефіцієнт, що характеризує властивості оброблюваного матеріалу, різця, а також вид токарного оброблення (зовнішнє точіння, обрізка, нарізування різьблення і ін.);

t - глибина різання, мм;

S - подача, мм / об;

m, x_v, y_v - показники ступеня, що залежать від властивостей оброблюваного матеріалу, різця і виду обробки.



1 - деталь; 2 - різець; 3 - шпиндель верстата; 4 - головний рух;
5 - рух подачі

Рисунок 6 - Схема токарного оброблення

Глибину різання встановлюють, виходячи з припуску на обробку. Для чорнових (обдирні) робіт $t = 3 \dots 30$ мм, для чистових робіт $t = 0,1 \dots 2$ мм. Подача вибирається за умовами забезпечення максимальної продуктивності і необхідної чистоти обробленої поверхні. Для чорнових робіт $S = 0,4 \dots 3$ мм / об і більш, для чистових робіт $S = 0,1 \dots 0,4$ мм / об. Швидкість різання при обробці деталей з вуглецевої сталі різцями зі швидкорізальної сталі $v_z = 30 \dots 60$ м / хв.

В процесі токарної обробки на різець під деяким кутом до його ріжучої кромці впливає зусилля F , обумовлене опором металу різання. Це зусилля зазвичай прийнято розкласти на три складові (див. Рис. 6): F_y - радіальне зусилля, що передається через резцедержатель на супорт верстата; F_x - осьове зусилля, яку долає механізмом подачі; F_z - зусилля різання, яку долає шпинделем верстата.

Зусилля різання, H , може бути підраховано по формулі

$$F_z = 9,81 C_{Fz} t^{X_{Fz}} S^{Y_{Fz}} v_z^n, \quad (5.2)$$

де C_{Fz} - коефіцієнт, що характеризує опрацьований матеріал, матеріал різця і вид токарного оброблення;

X_{Fz}, Y_{Fz}, n - показники ступеня, що залежать від властивостей оброблюваного матеріалу, різця і виду обробки.

Значення коефіцієнтів і показників ступеня в формулах (5.1) і (5.2) знаходяться з довідника по режимам різання. між зусиллями F_y, F_x, F_z існують такі співвідношення (встановлені дослідним шляхом):

$$F_y = (0,3...0,5)F_z \text{ і } F_x = (0,2...0,3)F_z. \quad (5.3)$$

При відомих значеннях швидкості і зусилля різання можна визначити потужність різання, кВт:

$$P_z = \frac{F_z v_z}{60} 10^{-3}. \quad (5.4)$$

Потужність, що витрачається на здійснення подачі супорта, кВт, підраховується за формулою

$$P_f = \frac{F_f v_f}{60} 10^{-3}, \quad (5.5)$$

де $F_f = F_x + (F_z + F_y)\mu$ - сумарне зусилля подачі, необхідне для переміщення супорта з різцем у напрямку подачі, Н;

$\mu = 0,05...0,08$ - коефіцієнт тертя в напрямних супорта;

v_f - швидкість подачі, м / хв.

Слід зазначити, що потужність подачі значно менше потужності різання: $P_f \approx (0,001...0,01)P_z$, так як швидкість v_f у багато разів менше швидкості v_z .

Важливим фактором, що визначає продуктивність верстата, є машинне, або технологічний час обробки, хв:

$$t_M = \frac{l}{n_{\phi i} S}, \quad (5.6)$$

де l - довжина обробки (проходу різця), мм;

$n_{\phi i}$ - частота обертання шпинделя, об / хв;

S - подача, мм / об.

Як впливає з рівняння (5.6), машинний час можна скоротити, збільшивши або подачу, або частоту обертання шпинделя, т. Е. Швидкість різання, бо $v_z = \pi d n_{\phi i} / 1000$. Обробка металу з великими швидкостями різання (до 300 ... 400 м / хв) і відповідними подачами отримала найменування швидкісного точіння, яке можливо при використанні різців, оснащених пластинками з твердих сплавів або металокераміки.

Визначення потужності двигунів приводів токарних верстатів. Потужність на валу двигуна головного приводу в сталому режимі складається з потужності різання, залежить від зусиль і швидкості різання,

і потужності втрат в механізмах передач, яка залежить від навантаження, кількості ланок кінематичного ланцюга і частоти обертання приводу. При розрахунках зазвичай користуються коефіцієнтом корисної дії верстата, який визначається як добуток ККД окремих ланок кінематичного ланцюга при роботі на даній швидкості:

$$\eta_{ст} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \dots \eta_i. \quad (5.7)$$

При збільшенні частоти обертання робочих органів верстата втрати в передачах збільшуються, тому ККД верстата зменшується. Для верстатів токарної групи ККД кінематичного ланцюга головного приводу при повному навантаженні, в середньому, становить 0,7 ... 0,8. Для ланцюга подачі зазвичай $\eta = 0,1 \dots 0,2$, так як тут застосовуються уповільнюють передачі, які мають низький ККД.

Потужність, кВт, на валу головного двигуна в усталеному режимі з урахуванням втрат в передачах визначається за формулою

$$P_{дв} = \frac{P_Z}{\eta_{ст}}, \quad (5.8)$$

де $\eta_{н\delta}$ - ККД верстата при даній потужності різання.

Токарні верстати загального призначення (універсальні) можуть працювати в тривалому режимі з номінальним навантаженням. У цьому випадку потужність на валу двигуна, кВт,

$$P_{ном} = \frac{P_{Z.ном}}{\eta_{ст.ном}}, \quad (5.9)$$

де $P_{Z.ном}$, $\eta_{н\delta.ном}$ - відповідно, номінальні потужність різання і ККД верстата.

З виразу (5.9) можна визначити втрати в верстаті при номінальному навантаженні

$$P_{ст.ном} = \frac{P_{Z.ном}}{\eta_{ст.ном}} - P_{Z.ном}. \quad (5.10)$$

Якщо двигун під час допоміжних операцій не відключається, то його навантаження P_0 буде дорівнює потужності втрат холостого ходу верстата $P_{н\delta 0}$. Для практичних розрахунків втрати холостого ходу верстата приблизно приймаються рівними

$$\Delta P_{ст0} \approx 0,6 P_{ст.ном}. \quad (5.11)$$

При роботі верстатів, в тому числі і токарних, в тривалому режимі зі змінним навантаженням і в повторно-короткочасному режимі розрахунок потужності двигуна проводиться, як правило, методом середніх втрат або еквівалентних величин з використанням навантажувальних діаграм приводу. Побудова навантажувальної діаграми проводиться з урахуванням конкретних технологічних умов роботи того чи іншого верстата при виготовленні найбільш часто оброблюваних на ньому деталей найбільших розмірів.

Головний електропривод і приводи подачі більшості малих і середніх токарних верстатів здійснюють від одношвидкісного асинхронного двигуна в поєднанні з коробками швидкостей. У тих випадках, де необхідно електромеханічне регулювання швидкості, застосовують двигун постійного струму, асинхронний двигун з фазним ротором або синхронний.

На сучасних токарних верстатах широко застосовується автоматизація допоміжних рухів, а також дистанційне керування механізмами верстата.

При виборі потужності і способу регулювання кутової швидкості головного двигуна важких токарних верстатів враховується, що потужність, споживана механізмом планшайби, не залишається постійною у всьому діапазоні.

В даний час для регулювання швидкості головного приводу і приводів подачі застосовуються двигуни постійного струму, керовані по системі Г-Д, ТП-Д - для головних приводів, ТП-Д - для приводів подачі.

6 ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ. СВЕРДЛИЛЬНІ ТА РОЗТОЧУВАЛЬНІ ВЕРСТАТИ

6.1 Призначення і пристрій свердлильних і розточувальних верстатів

Свердлильні верстати служать для отримання наскрізних і глухих отворів в деталях за допомогою свердел, для розгортання і чистової обробки отворів, попередньо отриманих литтям або штампуванням, і для виконання інших операцій. У свердлильних верстатах головний рух і рух подачі повідомляються інструменту. До верстатів загального призначення належать вертикально-свердлильні і радіально-свердлильні верстати.

На рис. 7 показаний загальний вид радіально-свердлильного верстата.

Верстат складається з фундаментної плити 1 з встановленою на ній нерухомою колоною, на яку надіта пустотіла гільза 2. Гільза може повертатися навколо колони на 360° . На гільзу надітий горизонтальний рукав

(траверса) 4, який можна піднімати і опускати уздовж колони за допомогою вертикального гвинта механізму переміщення 3. Закріплення гільзи з рукавом на колоні (зажим колони) проводиться розрізним кільцем, яке стягується за допомогою диференціального гвинта, що обертається вручну або окремим електродвигуном. По горизонтальних напрямках рукав може переміщатися в радіальному напрямку шпіндельна бабка (свердлильна головка) 5. Оброблювана деталь встановлюється на столі 8. Від головного електродвигуна 6 повідомляється обертання шпинделя 7 і проводиться подача інструменту (свердла).

У електромашинобудуванні на свердлильних верстатах виробляють свердління отворів в торцях станин електричних машин, в підшипникових щитах, лапах і ін.

Розточувальні верстати застосовуються головним чином для обробки великих деталей різними інструментами.

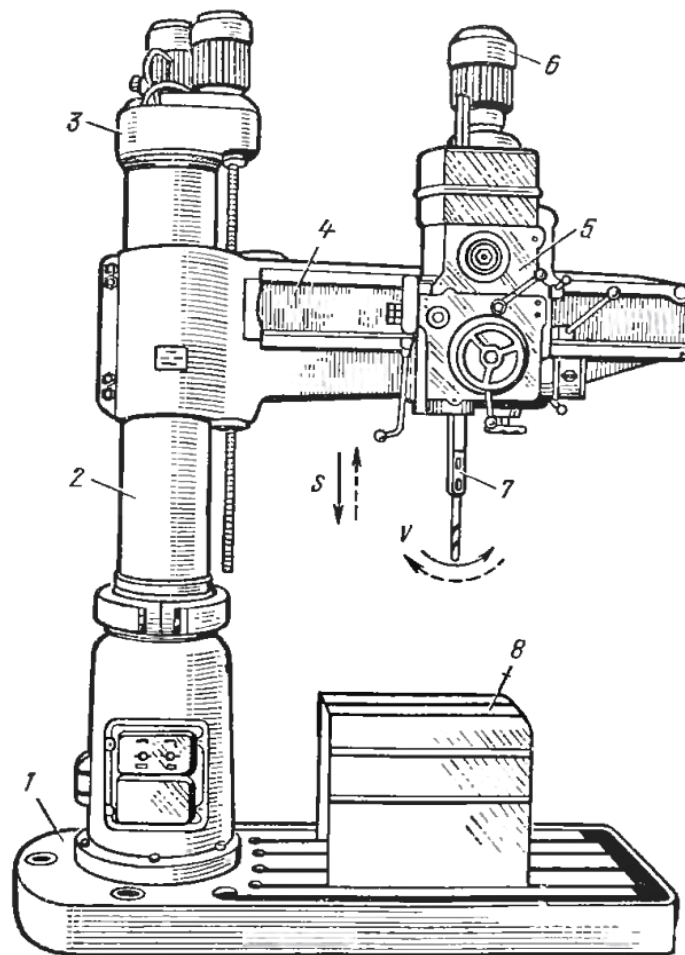


Рисунок 7 - Загальний вид радіально-свердлильного верстата

При цьому можна виконувати різноманітні роботи: растачивание циліндричних і конічних поверхонь різцями на борштанг, свердління отворів свердлами, циліндричний і торцеве фрезерування; нарізування зовнішньої і внутрішньої різьби; обточування циліндричних поверхонь і

торців. Особливістю розточувальних верстатів є можливість з однієї установки деталі обробляти в ній різні отвори з взаємно паралельними і перпендикулярними осями.

На рис. 8 показаний загальний вигляд горизонтально-розточувального верстата загального призначення.

Верстат складається з декількох основних вузлів. На його станини 3 праворуч закріплена передня нерухома стійка 5. По вертикальних напрямних стійки переміщається шпиндельна бабка 6 з коробкою швидкостей і коробкою подач. З лівого боку станини встановлена задня стійка 1, яку можна переміщати по напрямних станини. На задній стійці є люнет 2 з опорним підшипником для підтримки Борштанги і забезпечення їй необхідної жорсткості в процесі різання. Між стійками на напрямних станини розташований поворотний стіл 4, який може здійснювати рухи подачі в поздовжньому і поперечному напрямках.

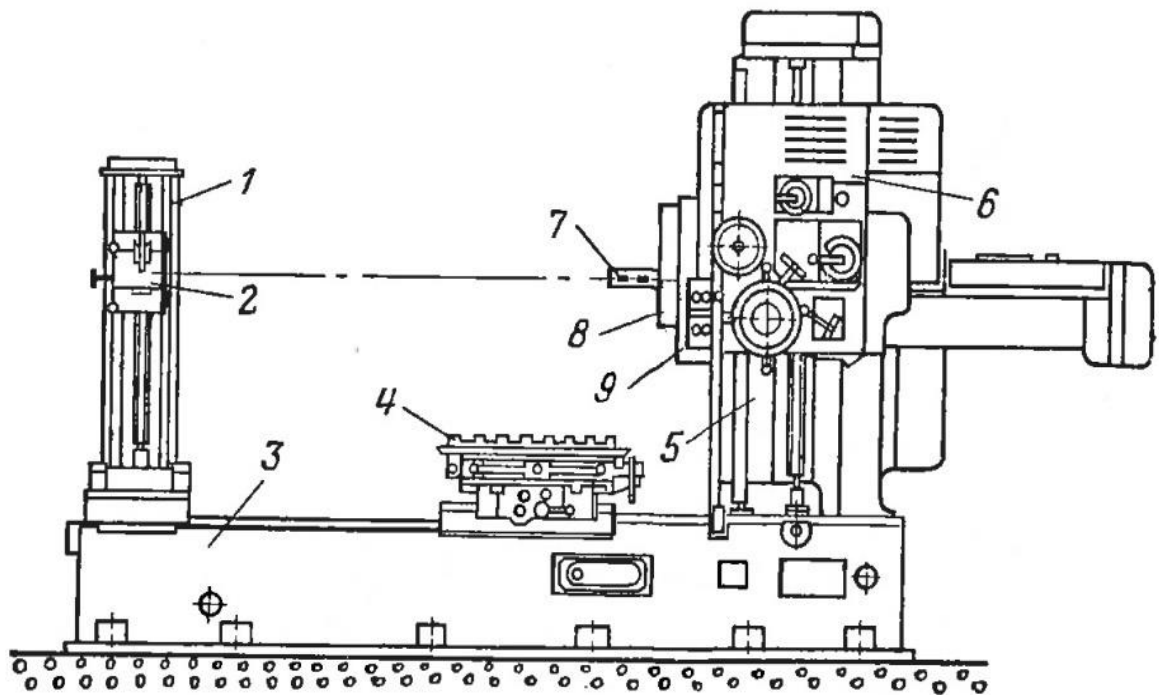


Рисунок 8 - Загальний вигляд горизонтально-розточувального верстата

Головним рухом верстата є обертання розточувального шпинделя 7 або планшайби 9, яке здійснюється від електродвигуна, встановленого у верхній частині шпиндельної бабки. Рух подачі повідомляється інструменту (осьове переміщення шпинделя або вертикальне переміщення шпиндельної бабки по напрямних стійки), або оброблюваної заготівлі, що розташовується на столі.

Оброблювана заготовка закріплюється на столі верстата. Ріжучі інструменти встановлюються в шпинделі або в радіальному супорті 8 планшайби. При расточке коротких отворів подача повідомляється шпинделя. При обробці довгих і співвісних отворів з використанням Борштанги подача повідомляється столу в подовжньому напрямі.

У електромашинобудуванні на розточувальних верстатах виробляють обробку внутрішньої циліндричної поверхні корпусів електричних машин.

Координатно-розточувальні верстати застосовуються для обробки отворів з високою точністю (в межах 0,005 ... 0,01 мм) Без попередньої розмітки поверхні деталі і без застосування кондуктора. Установка координат центрів отворів по двох осях прямокутної системи координат проводиться шляхом переміщення столу з виробом в одностоякових верстатах або шпindelної бабки з інструментом в двостоякових верстатах.

Для вимірювання настановних переміщень рухомих вузлів верстата застосовують дзеркальні лінійки або валики. На координатно-розточувальних верстатах можна робити свердління, розмітку, а також всілякі розточувальні роботи і фрезерування торцевими фрезами.

6.2 Особливості та типи електроприводів свердлильних і розточувальних верстатів

До електроприводів свердлильних верстатів ставляться такі вимоги: 1) якщо на верстаті відбувається нарізування різблення, то привід шпинделя повинен бути реверсивним; 2) схема управління повинна обмежувати переміщення траверси; 3) слід передбачати блокування, що не допускає включення двигуна переміщення траверси, коли вона затиснута; 4) не допускається робота верстата з не затиснутою колоною.

Діапазон регулювання швидкості головного руху становить (2 ... 10): 1 для вертикально-свердлильних, (20 ... 70): 1 - для радіально-свердлильних і (100 ... 120): 1 - для розточувальних верстатів при приблизно постійної потужності у всьому діапазоні.

Головний привід свердлильних верстатів здійснюється від асинхронних короткозамкнених двигунів. Регулювання частоти обертання шпинделя виробляється перемиканням шестерень коробки швидкостей. Для зменшення числа проміжних передач в окремих випадках можна застосовувати багатошвидкісні асинхронні двигуни. Для приводу переміщення рукава (траверси) і затиску колони застосовують окремі асинхронні електродвигуни.

Вимоги до головного приводу розточувальних і координатно-розточувальних верстатів збігаються, в основному, з розглянутими раніше для верстатів токарної групи, але слід враховувати особливості розточувальних верстатів: 1) при обробці деталей відбувається висування розточувального шпинделя, змінюється жорсткість системи верстат - інструмент - деталь, що робить доцільним зміна на ходу верстата швидкості різання і подачі; 2) для отримання високої якості оброблюваної поверхні бажано мати безступінчасте зміна частоти обертання шпинделя; 3) необхідний вели-

кий діапазон регулювання частоти обертання шпинделя, що досягає в сучасних верстатах 250: 1 і більше.

У розточувальних верстатах загального призначення з діаметром розточувального шпинделя до 150 ... 175 мм застосовується головний привід від одно- або багатошвидкісних асинхронних двигунів з багатоступеневою коробкою швидкостей.

У важких горизонтально-розточувальних верстатах застосовується привід від двигунів постійного струму з дво- або триступеневою коробкою швидкостей. Для отримання постійного струму зазвичай використовують напівпровідникові перетворювачі. Кутова швидкість двигуна регулюється за малих частот обертання шпинделя (від 5 до 60 об / хв) зміною напруги на якорі, подальше підвищення кутової швидкості виробляється ослабленням потоку збудження в діапазоні (3 ... 6): 1.

У координатно-розточувальних верстатах навіть при невеликій потужності головного приводу знаходять все більше застосування приводи від двигуна постійного струму з безступінчатим регулюванням швидкості. В цьому випадку для живлення двигуна використовується система ТП-Д.

Привід подачі свердлильних верстатів зазвичай виконується від головного двигуна, для чого коробка подач розташовується на шпиндельній бабці. Загальний діапазон регулювання швидкості подачі для вертикально-свердлильних верстатів (2 ... 24): 1, для радіально-свердлильних - (3 ... 40): 1.

До приводам подач розточувальних верстатів пред'являються більш жорсткі вимоги: 1) забезпечити діапазон регулювання швидкості до (1 500, ... 2 000): 1, так як необхідно забезпечити робочі подачі і швидкі настановні переміщення; 2) відхилення швидкості подачі не повинна перевищувати 10% початкового значення при зміні моменту від нуля до $M_c \cdot \text{НОМ}$; привід повинен володіти високою швидкодією і забезпечувати точну зупинку.

Для виконання зазначених вимог і з метою спрощення кінематичного ланцюга в універсальних і важких розточувальних верстатах застосовується привід подачі від двигуна постійного струму по системі Г-Д або ТП-Д (для нових верстатів) або синхронні двигуни, керовані перетворювачем частоти.

6.3 Розрахунок потужності двигунів свердлильних і розточувальних верстатів

При свердлінні нормативна швидкість різання може бути визначена за формулою, м / хв,

$$v = \frac{C_v d^{Z_v}}{T^{m_s} Y_v}, \quad (6.1)$$

де \tilde{N}_v - коефіцієнт, що залежить від матеріалу виробу і свердла;

d - діаметр свердла, мм;

T - стійкість свердла, хв;

m, Z_v, Y_v - показники ступеня, що залежать від матеріалу виробу і

діаметра свердла.

По знайденому значенню швидкості різання розраховується частота обертання шпинделя, об / хв:

$$n_{\phi i} = \frac{10^3 v}{\pi d}. \quad (6.2)$$

Момент, що обертає на шпинделі при свердлінні визначається за формулою, Н · м,

$$M = 9,81 C_M d^{1,9} s^{Y_v} 10^{-3}. \quad (6.3)$$

Коефіцієнти і показники ступеня у виразах (6.2) і (6.3) знаходять в довіднику по режимам різання, там же даються пояснення до формули (6.3).

Знаючи момент і частоту обертання шпинделя, можна знайти потужність різання під час свердління, кВт:

$$P_z = \frac{M n_{un}}{9550} \quad (6.4)$$

При расточке різцями швидкість різання визначається за формулою (5.1), потужність різання - по формулі (5.2).

Розрахувавши потужність різання для кожної операції, машинне допоміжний час, можна побудувати навантажувальну діаграму верстата і, використовуючи її, визначити потужність двигуна.

Потужність двигуна подачі, кутова швидкість якого регулюється зміною тільки напруги на якорі, в разі природного охолодження або примусової вентиляції двигуна визначається за формулою, кВт,

$$P_{\phi v.n} = \frac{F_{n.max} v_{\phi.n}}{60 \eta_n} 10^{-3} \quad (6.5)$$

де $F_{n, \max}$ - найбільше зусилля подачі, що діє на робочій частині діапазону, Н;

$v_{d,i}$ - максимальна швидкість швидкого переміщення, м / хв;

$\eta_{п}$ - ККД передачі.

Якщо врахувати, що при швидких переміщеннях потрібно зусилля подачі в 6 ... 8 разів менше в порівнянні з найбільшим робочим зусиллям, то регулювання швидкості електроприводу в цьому випадку можна виробляти ослабленням потоку двигуна. Це дає можливість зменшити номінальну потужність двигуна подачі в $\frac{n_{\max}}{n_{\text{н}}}$ раз і легше здійснити автоматичне регулювання частоти обертання.

7 ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ. ПОВЗДОВЖНО-СТРУГАЛЬНІ ВЕРСТАТИ

7.1 Призначення і пристрій поздовжньо-стругальних верстатів

Дані верстати призначаються, в основному, для обробки різцями плоских горизонтальних і вертикальних поверхонь у великих деталей великої довжини. На цих верстатах можна також виробляти прорізання прямолінійних канавок різного профілю, Т-образних пазів і т. Д. Деталі середніх розмірів встановлюються рядами на столі верстата і обробляються одночасно.

Поздовжньо-стругальні верстати поділяються на одностоечні (з консольної поперечиною) і двостоякові (портального типу). На рис. 9 показаний загальний вигляд двостійкового поздовжньо-стругального верстата.

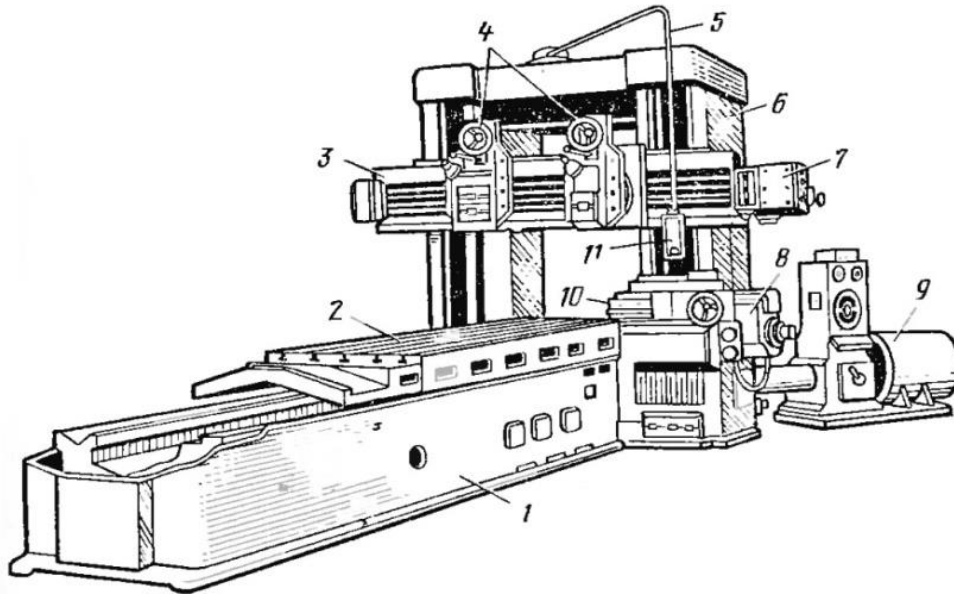


Рисунок 9 - Загальний вигляд важкого поздовжньо-стругального верстата

Його станина 1 має поздовжні напрямні (плоскі і V-подібні). За ним зворотно-поступально рухається стіл 2, на якому закріплюють оброблювану деталь. Переміщення столу - головний рух - здійснюється від електродвигуна 9 через редуктор і рейкову передачу, яка складається з рейки (прямозубой, косозубой або черв'ячної), прикрутити знизу до столу по всій його довжині, і рейкового колеса або розташованого під кутом черв'яка. Зняття стружки з оброблюваної деталі (стругання) відбувається при ході столу вперед (прямий, або робочий хід). Хід столу назад (зворотний хід) відбувається зазвичай з підвищеною швидкістю, і зняття стружки не проводиться (холостий хід), а різці в цей час автоматично відводяться від обробленої поверхні (піднімаються). Зміна напрямку руху стола проводиться або за допомогою електромагнітної реверсивної муфти (на малих верстатах), або за допомогою реверсування головного двигуна. Портал верстата 6 утворений двома вертикальними стійками і верхньою балкою. До цієї балці прикріплена підвіска 5 пульта управління 11. По вертикальних напрямних стійок за допомогою ходових гвинтів переміщуються поперечина (траверса) 3 і бічний супорт 10 (деякі верстати мають два бічних супорти). Поперечина має горизонтальні напрямні, по яких можуть переміщатися вертикальні супорти 4. Супорти верстата з закріпленими в них різцями здійснюють переривчасту періодичну подачу за час реверсу столу з зворотного ходу на прямий і швидкі настановні переміщення. Рух супортам передається через коробки подач 7 і 8 від окремих електродвигунів, або за допомогою реверсування головного двигуна. Портал верстата 6 утворений двома вертикальними стійками і верхньою балкою. До цієї балці прикріплена підвіска 5 пульта управління 11. По вертикальних напрямних стійок за допомогою ходових гвинтів переміщуються поперечина (траверса) 3 і бічний супорт 10 (деякі верстати мають два бічних су-

порти). Поперечина має горизонтальні напрямні, по яких можуть переміщатися вертикальні супорти 4. Супорти верстата з закріпленими в них різцями здійснюють переривчасту періодичну подачу за час реверсу столу з зворотного ходу на прямий і швидкі настановні переміщення. Рух супортам передається через коробки подач 7 і 8 від окремих електродвигунів, або за допомогою реверсування головного двигуна. Портал верстата б утворений двома вертикальними стійками і верхньою балкою. До цієї балці прикріплена підвіска 5 пульта управління 11. По вертикальних напрямних стійок за допомогою ходових гвинтів переміщаються поперечина (траверса) 3 і бічний супорт 10 (деякі верстати мають два бічних супорти). Поперечина має горизонтальні напрямні, по яких можуть переміщатися вертикальні супорти 4. Супорти верстата з закріпленими в них різцями здійснюють переривчасту періодичну подачу за час реверсу столу з зворотного ходу на прямий і швидкі настановні переміщення. Рух супортам передається через коробки подач 7 і 8 від окремих електродвигунів. До цієї балці прикріплена підвіска 5 пульта управління 11. По вертикальних напрямних стійок за допомогою ходових гвинтів переміщаються поперечина (траверса) 3 і бічний супорт 10 (деякі верстати мають два бічних супорти). Поперечина має горизонтальні напрямні, по яких можуть переміщатися вертикальні супорти 4. Супорти верстата з закріпленими в них різцями здійснюють переривчасту періодичну подачу за час реверсу столу з зворотного ходу на прямий і швидкі настановні переміщення. Рух супортам передається через коробки подач 7 і 8 від окремих електродвигунів. До цієї балці прикріплена підвіска 5 пульта управління 11. По вертикальних напрямних стійок за допомогою ходових гвинтів переміщаються поперечина (траверса) 3 і бічний супорт 10 (деякі верстати мають два бічних супорти). Поперечина має горизонтальні напрямні, по яких можуть переміщатися вертикальні супорти 4. Супорти верстата з закріпленими в них різцями здійснюють переривчасту періодичну подачу за час реверсу столу з зворотного ходу на прямий і швидкі настановні переміщення. Рух супортам передається через коробки подач 7 і 8 від окремих електродвигунів. за якими можуть переміщатися вертикальні супорти 4. Супорти верстата з закріпленими в них різцями здійснюють переривчасту періодичну подачу за час реверсу столу з зворотного ходу на прямий і швидкі настановні переміщення. Рух супортам передається через коробки подач 7 і 8 від окремих електродвигунів. за якими можуть переміщатися вертикальні супорти 4. Супорти верстата з закріпленими в них різцями здійснюють переривчасту періодичну подачу за час реверсу столу з зворотного ходу на прямий і швидкі настановні переміщення. Рух супортам передається через коробки подач 7 і 8 від окремих електродвигунів.

Основними величинами, що характеризують розміри і технологічні можливості різних поздовжньо-стругальних верстатів, є найбільша довжина стругання (хід столу) L (від 1,5 до 12 м), Найбільша ширина

обробки (від 0,7 до 4 м) і найбільше тягове посилення на рейці столу F_m (До 30 ... 70 кН і більше).

7.2 Особливості роботи і типи головних електроприводів поздовжньо-стругальних верстатів

Процес обробки виробів на таких верстатах складається з послідовно повторюваних циклів, кожен з них включає робочий або прямий хід столу, під час якого відбувається обробка, і зворотний хід, коли стіл повертається у вихідне положення і здійснюється подача різців (під час реверсу столу з зворотного ходу на прямий).

Нормативна швидкість прямого ходу (швидкість різання) визначається твердістю оброблюваного матеріалу, властивостями ріжучого інструменту і видом обробки (Чистова, чорнова). Для збільшення продуктивності верстата швидкість зворотного ходу зазвичай встановлюють більше швидкості різання. На рис. 10 показані графіки шляху l і швидкості v столу в залежності від часу для одного циклу. Час циклу складається з

$$T_{ц} = t_{n,np} + t_{np} + t_{m,np} + t_{n,обр} + t_{обр} + t_{m,обр}, \quad (7.1)$$

де $t_{n,i\ddot{o}}$, $t_{n,i\ddot{a}\ddot{o}}$ - час пуску при прямому і зворотному ходах;

$t_{i\ddot{o}}$, $t_{i\ddot{a}\ddot{o}}$ - час прямого і зворотного сталих рухів;

$t_{m,i\ddot{o}}$, $t_{m,i\ddot{a}\ddot{o}}$ - час гальмування при прямому і зворотному ходах.

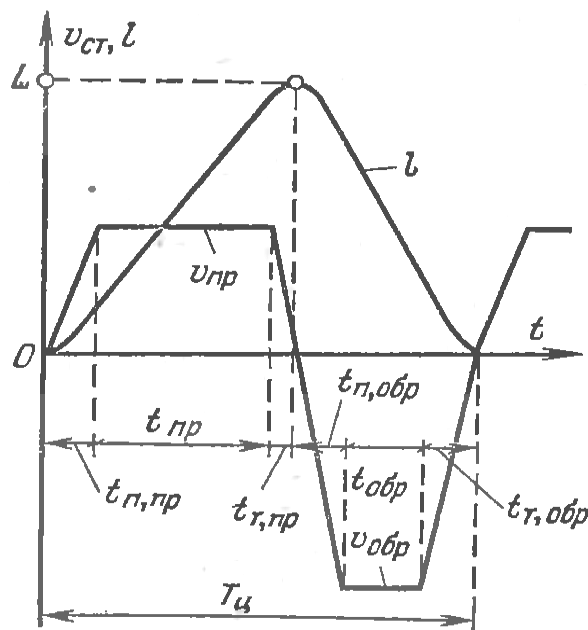


Рисунок 10 - Графіки швидкості і шляху столу поздовжньо-стругального верстата

Продуктивність поздовжньо-стругального верстата характеризується числом подвійних ходів в хвилину $N_{\dot{a}\dot{a}\dot{o}}$, яке залежить від довжини ходу столу, співвідношення швидкостей прямого і зворотного ходів, часу реверсування і може бути підраховано по формулі

$$N_{\dot{a}\dot{a}\dot{o}} = \frac{60k v_{np}}{60L(1+k) + t_{rev} v_{np}}, \quad (7.2)$$

де $k = \frac{v_{обр}}{v_{np}}$; $v_{обр}$ і v_{np} - швидкості прямого і зворотного ходів столу, м / хв;
 L - довжина ходу столу, м;
 t_{rev} - час реверсування столу з прямого ходу на зворотний або навпаки, с.

З рівняння (7.2) видно, що число подвійних ходів і, отже, продуктивність верстата зростають зі збільшенням $v_{\dot{a}\dot{a}\dot{o}}$ (До певної межі) при заданій швидкості різання $v_{\dot{i}\dot{o}}$ і зі зменшенням часу $t_{\dot{o}\dot{a}\dot{a}}$. При малих довжинах стругання найбільш ефективним засобом підвищення продуктивності є зменшення часу реверсу за рахунок підвищення швидкодії приводу і встановлення деякої оптимальної (по продуктивності) швидкості зворотного ходу. При великих довжинах стругання найбільший ефект дає збільшення швидкості зворотного ходу. надмірне збільшення $v_{\dot{a}\dot{a}\dot{o}}$ (При малих і середніх довжинах стругання) може привести до такого зростання $t_{\dot{o}\dot{a}\dot{a}}$, при якому підвищення продуктивності не відбудеться.

Скорочення часу реверсу має свою межу, так як за час реверсу у поздовжньо-стругальних верстатів здійснюється підйом і опускання різців, а також проводиться поперечна подача супортів. Крім того, зі зменшенням $t_{\dot{o}\dot{a}\dot{a}}$ зростають динамічні навантаження в передачах верстата.

Час перехідного процесу пуску або гальмування залежить, як відомо, від сумарного моменту інерції електроприводу. Наприклад, час пуску (гальмування)

$$t_{n,m} = \frac{J_{\Sigma} \omega_c}{M_{n,cp} \pm M_c}, \quad (7.3)$$

де $M_{n,cp}$ - середнє значення моменту двигуна при пуску, Н · м;
 M_c - момент статичного опору, Н · м;
 $\omega_{\dot{n}}$ - кутова швидкість двигуна, відповідна моменту $M_{\dot{n}}$, рад / с;

J_{Σ} - сумарний момент інерції електроприводу, кг · м².

Практика показує, що в поздовжньо-стругальних верстатах момент інерції двигуна $J_{\text{дв}}$ складає до 80 ... 85% загального приведеного моменту інерції J_{Σ} рухомих поступально і обертових елементів приводу. Тому намагаються взагалі виключити реверсування двигуна і виробляти зміна напрямку ходу стола за допомогою реверсивної електромагнітної муфти, або встановлюють двигуни з подовженим якорем (ротором), що мають менший момент інерції, або встановлюють замість одного два двигуна половинній потужності.

В сучасних поздовжньо-стругальних верстатах регулювання швидкості руху стола, а також його реверсування здійснюється, як правило, електричним шляхом, тому продуктивність верстата і якість оброблюваних виробів в значній мірі визначає робочий приводу стола.

Найменша швидкість різання при чорновій обробці приймається рівною 4 ... 6 м / хв. При чистовій обробки швидкість різання на стругальних верстатах досягає 75 ... 100 м / хв, отже, діапазон регулювання швидкості стола дорівнює (15 ... 25): 1. При зміні швидкості різання приблизно від 5 до 25 м / хв тягове зусилля на рейці стола залишається постійним і найбільшим (рис. 11, зона I).

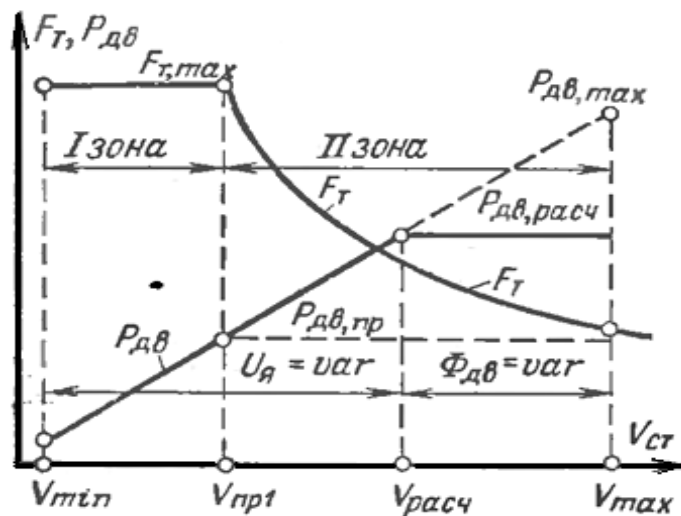


Рисунок 11 - Залежність тягового зусилля F_m і потужності двигуна $P_{дв}$ від швидкості переміщення стола $V_{пд}$

При подальшому збільшенні швидкості різання тягове зусилля F_m зменшується (див. рис.11, зона II). Отже, в зоні невеликих швидкостей момент, що розвивається двигуном, повинен залишатися приблизно постійним, а при швидкостях вище 25 м / хв залишається незмінною потужність. Задана кутова швидкість двигуна повинна підтримуватися у всьому діапазоні з точністю до \pm (5 ... 10%) при зміні навантаження від 0,1 до 1,2 номінального моменту. Динамічний перепад швидкості, викликаний

різким додатком навантаження (при вході різця в метал), повинен бути не більше 10 ... 20%, а що виникає при цьому перехідний процес повинен закінчуватися протягом 0,1 ... 0,2 с. Для головного приводу поздовжньо-стругальних верстатів доцільно застосовувати двигуни, що володіють підвищеною перевантажувальною здатністю і зниженим моментом інерції, так як такі двигуни забезпечують менший час пуску і гальмування.

Для невеликих верстатів при $L \leq 3 \dots 4$ м, $F_m \leq 30 \dots 50$ кН і діапазоні регулювання швидкості столу $D = (3..4) : 1$ застосовується привід від асинхронного короткозамкнутого двигуна в поєднанні з перетворювачем частоти.

В якості головного приводу середніх [$L \leq 5$ м, $F_m \leq 50 \dots 70$ кН і $D = (6..8) : 1$] і важких [$L > 5$ м; $F_m > 70$ кН і $D = (15..25) : 1$] Поздовжньо-стругальних верстатів в даний час використовується двигун постійного струму, керований по системі Г-Д або ТП-Д. Ця система дозволяє отримати потрібну форму характеристик двигуна, необхідний діапазон і плавність регулювання швидкості руху столу, невелике $t_{пер}$.

Недоліком системи Г-Д є необхідність вибору потужності джерела постійного струму генератора і приводного асинхронного двигуна за встановленою потужністю двигуна столу, яка визначається найбільшим тяговим зусиллям або моментом, відповідним мінімальній швидкості, і номінальною напругою при номінальній кутовій швидкості двигуна. Особливо значне завищення $R_{уст.дв}$ і, відповідно, $R_{г.ном}$ в порівнянні з віддається ними потужністю має місце при регулюванні кутової швидкості двигуна тільки зміною ЕРС генератора.

З метою зменшення встановленої потужності електричних машин, підвищення завантаження двигуна і ККД головного приводу важких поздовжньо-стругальних верстатів по системі Г-Д доцільно застосовувати двозонне регулювання кутової швидкості двигуна. На що випускаються в даний час верстатах впроваджуються приводи з тиристорними перетворювачами для харчування ланцюга якоря і вводяться системи автоматичного управління із застосуванням уніфікованої блокової системи регуляторів, які дозволяють порівняно просто реалізувати високу швидкодію приводу за системою ТП-Д при хорошій якості перехідних процесів.

7.3 Розрахунок потужності двигуна столу поздовжньо-стругального верстата

Зняття стружки при струганні проводиться тільки при робочому ході столу. При зворотному ж ході різець піднімається, і потужність, що розвивається приводом, витрачається лише на подолання втрат у верстаті. Швидкість, з якою деталь переміщається щодо різця при робочому ході,

називається швидкістю різання. Переміщення різця на один подвійний хід столу перпендикулярно деталі становить подачу s . Величина, на яку заглиблюється різець в виріб при одному проході, визначає глибину різання t . При струганні подача і глибина різання приймаються: для чорнової обробки $s = 1 \dots 7$ мм / дв.хід, $t = 6 \dots 30$ мм; для чистової обробки широкими різцями $s = 10 \dots 30$ мм / дв.хід і вище, $t = 0,05 \dots 0,3$ мм.

Швидкість, зусилля і потужність різання визначаються за формулами (5.1), (5.2) і (5.4) для токарного оброблення. Значення коефіцієнтів і показників в формулах знаходяться з довідників по режимам різання. Машинне час при струганні, що витрачається для обробки одного виробу, можна знайти за формулою, хв,

$$t_M = \frac{B}{N_{\text{дв.ход}} \cdot s} \quad (7.4)$$

де B - ширина виробу, мм;

$N_{\text{дв.ход}}$ - число подвійних ходів в хвилину, дв.хід / хв;

s - подача на один подвійний хід, мм / дв.хід.

Навантаження двигуна головного приводу поздовжньо-стругального верстата складається з потужності різання, втрат в передачах і потужності, що розвивається двигуном в процесах пуску і гальмування столу, які відбуваються з моментами і струмами, що перевищують номінальні (двічі за один подвійний хід столу і багаторазово протягом часу роботи верстата). Отже, привід таких верстатів працює в переміжному режимі з частими реверсами (S7), тому вибір потужності двигуна проводиться по навантажувальній діаграмі з урахуванням завантаження в перехідних режимах.

Для попереднього визначення потужності двигуна головного приводу і побудови навантажувальної діаграми приймають в якості вихідних наступні технічні дані:

- 1) найбільше зусилля різання $F_{Z.\text{max}}$, Н, і відповідна цьому зусиллю найбільша швидкість прямого ходу столу $v_{i\delta 1}$, М / хв;
- 2) найбільша швидкість столу v_{max} , М / хв;
- 3) найбільшу вагу оброблюваної деталі $G_{\text{дет}}$ і стола $G_{\text{ст}}$, Н;
- 4) ККД передачі (до рейки столу) при повному навантаженні η_i ;
- 5) Хід столу L , м, і коефіцієнт тертя столу про напрямні μ (приймається рівним 0,05 ... 0,08);
- 6) сумарний момент інерції обертових частин механізму приводу і рухомих поступально деталі і стола.

Переймаючись найбільш важким режимом, визначають потужність різання, кВт:

$$P_Z = F_{Z.\text{max}} v_{\text{нрл}} / (60 \cdot 1000) \quad (7.5)$$

Потужність втрат на тертя столу про напрямні при прямому ході, кВт,

$$\Delta P_{\text{напр}} = \frac{(G_{\text{дем}} + G_{\text{см}})}{60 \cdot 10^3} \cdot (7.6)$$

Потужність на валу двигуна, кВт,

$$P_{\text{дв.пр}} = \frac{P_Z + \Delta P_{\text{напр}}}{\eta_n} = \frac{F_{m.\text{max}} v_{\text{нр1}}}{60 \eta_n} 10^{-3}, (7.7)$$

де $F_{m.\text{max}} = F_{Z.\text{max}} + (G_{\text{аа}} + G_{\text{н}} + F_X + F_Y) \mu$ - тягове зусилля на рейці столу, Н;

$F_X, F_Y, F_{Z.\text{max}}$ - складові зусилля різання.

залежність $F_m = f(v_{\text{н}})$ для певного типу поздовжньо-стругальних верстатів зазвичай задається графічно (див. рис. 11) і складається з двох ділянок: на першому з них тягове зусилля залишається приблизно постійним від v_{min} до $v_{\text{н1}}$, а на другій ділянці з ростом швидкості зусилля F_m зменшується; отже, регулювання швидкості приводу столу на першій ділянці повинно проводитися при постійному моменті (потужність при цьому буде змінюватися), а на другому з приблизно постійною потужністю (при зменшуючомуся моменті).

Попередній вибір потужності виробляється з урахуванням способу регулювання швидкості приводу (або швидкості столу):

1) якщо передбачається застосувати асинхронний привід ($n = \text{const}$), то вибирається короткозамкнений двигун з номінальною потужністю

$P_{\text{н}} \geq D_{\text{аа.н}} \cdot n_{\text{н}} = \frac{v_{\text{н1}}}{\rho}, \rho = \frac{v_{\text{н}}}{n_{\text{аа}}}$ - радіус приведення столу до валу двигуна, м / об;

2) якщо головний привід повинен бути виконаний за системою Г-Д або ТП-Д, а регулювання кутової швидкості двигуна у всьому діапазоні проводитиметься зміною ЕРС перетворювача, то попередньо по каталогу вибирається двигун постійного струму на номінальну потужність і частоту

обертання $P_{\text{н}} \geq D_{\text{аа.н}} \frac{v_{\text{max}}}{v_{\text{н1}}} \cdot n_{\text{н}} \approx \frac{v_{\text{max}}}{\rho};$

3) якщо буде використано двозонне регулювання швидкості приводу, то попередньо задаються можливим діапазоном зміни потоку двигуна

$D_{\text{д.д.н}} = \frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{min}}} \leq D_{\text{д.д.н}}$, визначають $v_{\text{д.д.н}} = \frac{v_{\text{max}}}{D_{\text{д.д.н}}}$ і підраховують

$$P_{\text{дв.расч}} = \frac{P_{\text{дв.пр}} v_{\text{расч}}}{v_{\text{нр1}}} \quad (7.8)$$

і далі по каталогу на двигуни, що допускають регулювання частоти обертання ослабленням поля в потрібному діапазоні, підбирають двигун найближчої більшої потужності при $n_{\text{ном}} \approx v_{\text{расч}} / \rho$, так як швидкість столу v_{max} забезпечуються зміною ФДВ в діапазоні $D_{\phi} = v_{\text{max}} / v_{\text{расч}}$, де $P_{\text{дв}} = \text{const}$.

За номінальними даними обраного двигуна постійного струму $P_{\text{ном}}$, $U_{\text{н}}^{\text{н}}$ і $I_{\text{н}}^{\text{н}}$ вибирають преобразовательную установку.

Далі попередньо обраний двигун слід перевірити по нагріванню з урахуванням спільної роботи двигуна і верстата в сталих і перехідних режимах. Для цього будується навантажувальна діаграма електроприводу $M = f(t)$ для одного циклу роботи верстата. За вихідними даними, наведеними раніше, визначають навантаження приводу в різних режимах.

7.4 Електропривод подачі супортів поздовжньо-стругальних верстатів

Подача супортів поздовжньо-стругальних верстатів проводиться періодично, зазвичай під час реверсування з зворотного ходу на прямий, і повинна закінчитися до початку різання. Подача здійснюється механічними, електромеханічними, електричними або гідравлічними пристроями. Привід подачі повинен забезпечувати регулювання подачі в діапазоні (40 ... 80): 1, при цьому час найбільшої подачі не повинна перевищувати часу реверсу столу верстата (десяті частки секунди).

У сучасних верстатах для періодичної подачі супортів знаходять широке застосування електромеханічні пристрої з приводом від окремого асинхронного двигуна, який автоматично включається у відповідний момент циклу, виробляє переміщення супорта і потім також автоматично вимикається.

Приклад такого пристрою показаний на рис. 12.

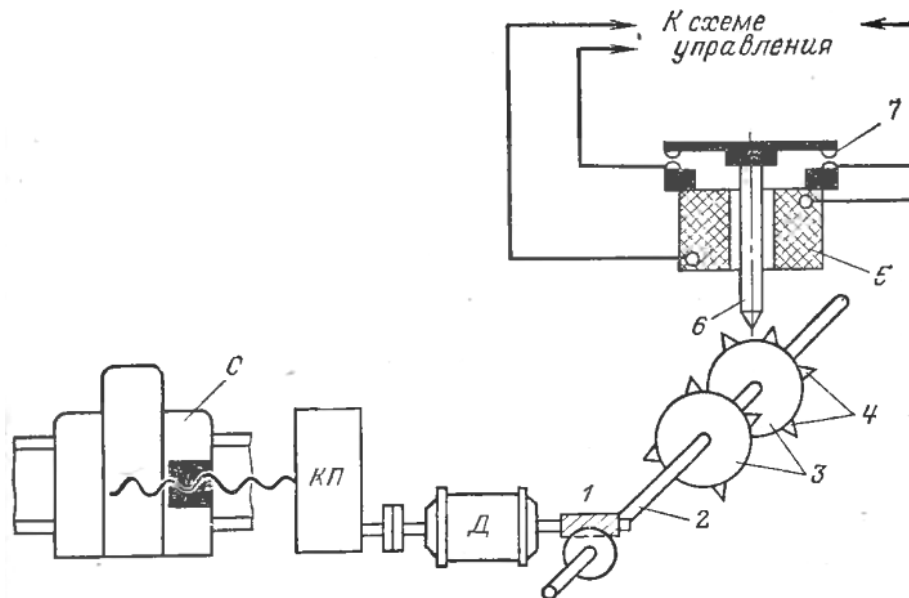


Рисунок 12 - Електромеханічна система подачі супорта поздовжньо-стругального верстата

Двигун Д через коробку передач КП приводить в рух супорт верстата С, а через черв'ячну передачу 1 обертає валик 2, який несе кілька дисків 3 одного діаметра, але мають різне число виступів (шипів) 4. Відстань між сусідніми виступами кожного диска відповідає певній подачі супорта. Над дисками встановлено електромагнітне реле 5, яке може переміщатися уздовж осі валика 2 за допомогою каретки і рейкової передачі (на схемі не показані). Нижня частина якоря реле має наконечник 6, а верхня - прикінцеві контакти 7.

В кінці зворотного ходу столу верстата одночасно отримують харчування двигун подачі супортів Д і реле 5, якор якого опускається. Починається подача супорта, одночасно обертається валик 2 з дисками 3. Коли виступ диска, що знаходиться під якорем, піднімає останній, контакти реле розмикаються, двигун подачі відключається від мережі і швидко зупиняється. Механізм подачі готовий до наступного циклу.

8 ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТІВ

8.1 Призначення і пристрій фрезерних верстатів

Фрезерні верстати призначені для обробки зовнішніх і внутрішніх плоских і фасонних поверхонь, прорезки прямих і гвинтових канавок, нарізки різьблення зовнішніх і внутрішніх, зубчастих коліс і т. П. Характерна особливість фрезерних верстатів - робота обертовими багатолезовий ріжучими інструментами - фрезами. На рис. 13 показана схема фрезе-

рування. головним рухом v_z є обертання фрези 2, рухом подачі v_f - переміщення виробу 1. Кожна з лез фрези знімає стружку протягом лише частки обороту фрези, причому перетин стружки s безперервно змінюється від нуля до максимальної величини.

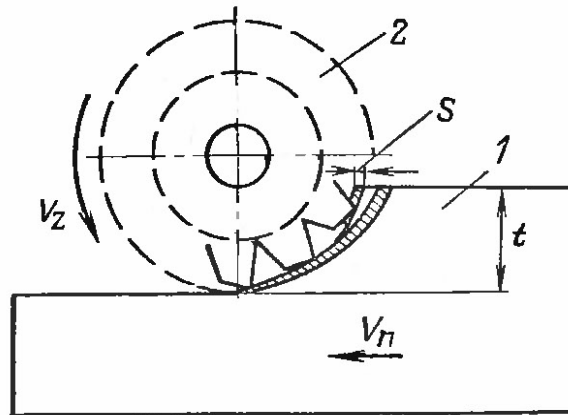


Рисунок 13 - Схема фрезерування

Фрезерні верстати діляться на дві основні групи: 1) верстати загального призначення, до яких відносяться горизонтальні, вертикальні і поздовжньо-фрезерні верстати; 2) спеціалізовані верстати - зубофрезерні, копіювально-фрезерні та ін.

Вертикально-фрезерний верстат показаний на рис. 14.

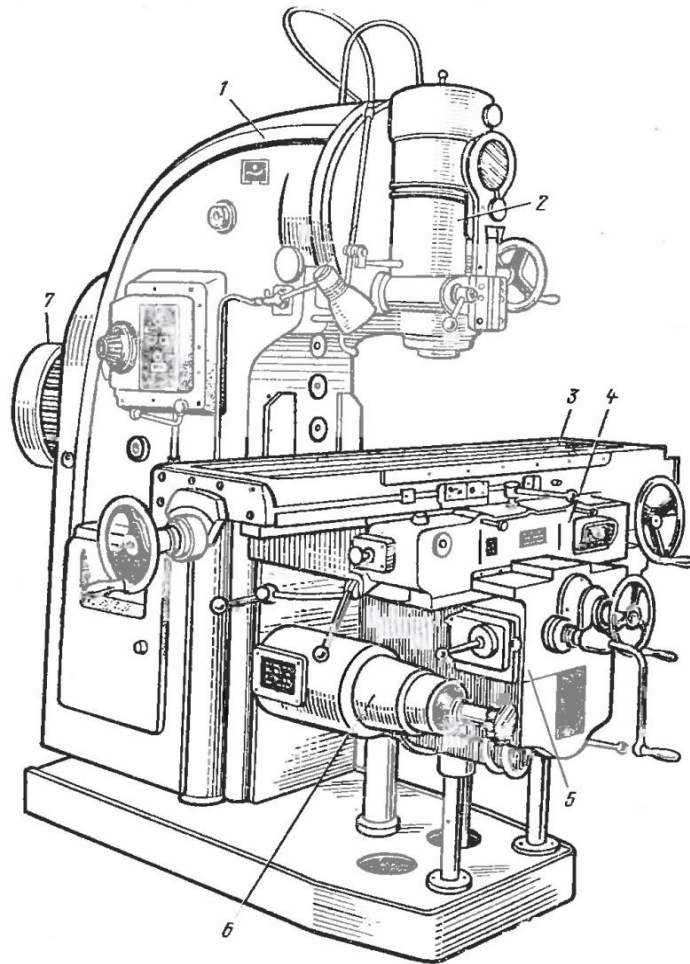


Рисунок 14 - Вертикально-фрезерний верстат моделі 6Н13

Основні вузли верстата: станина 1, у верхній частині якої розташована поворотна фрезерна головка 2, консоль 5, несуча санчата 4, робочий стіл 3. Консоль може пересуватися вгору і вниз по вертикальних напрямних станини. По горизонтальних напрямних консолі переміщуються санчата 4, а по напрямних санчат - робочий стіл. Таким чином, верстат має три взаємно перпендикулярних руху подачі, здійснюваних через коробку подач 6 від вбудованого всередині неї асинхронного двигуна. Обертання фрези повідомляється від двигуна 7 через коробку швидкостей, розташовану всередині станини. Вертикально-фрезерні верстати застосовуються головним чином для обробки площин торцевими фрезами, а також для фрезерування пазів, шпонкових канавок і т. П.

Горизонтально-фрезерні верстати відрізняються від вертикально-фрезерних розташуванням шпинделя, вісь якого встановлюється горизонтально. Ці верстати застосовуються для обробки площин циліндричними фрезами, для прорізання канавок дисковими фрезами, для обробки лінійних поверхонь фасонними фрезами і т. П.

Обробка фрезеруванням горизонтальних, вертикальних і похилих поверхонь великогабаритних важких деталей проводиться на поздовжньо-

фрезерних верстатах (рис. 15), за зовнішнім виглядом нагадують поздовжньо-стругальні. На траверсі і стійках розташовуються шпindelьні бабки з циліндричними або торцевими фрезами, які здійснюють головне (обертальний) рух в цих верстатах. Поздовжня подача повідомляється столу з деталлю, вертикальна і поперечна - інструменту. На поздовжньо-фрезерних верстатах в електромашинобудуванні обробляють опорні поверхні лап і коробок висновків станин електричних машин.

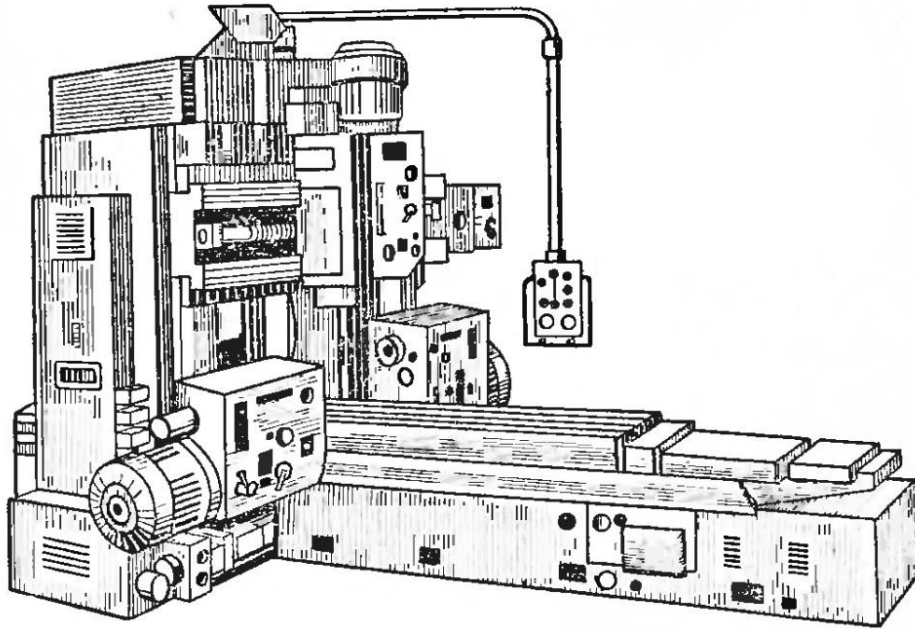


Рисунок 15 - Двостійковий поздовжньо-фрезерний верстат

Копіювально-фрезерні верстати призначені для обробки просторово складних поверхонь методом копіювання за моделями. На цих верстатах виготовляються робочі колеса гідротурбін, кувальні та вирубні штампи, лінійні і пресові форми і ін. Обробка подібних виробів на універсальних верстатах практично неможлива.

Найбільшого поширення набули копіювально-фрезерні верстати з електричним стежить управлінням - електрокопіювальні фрезерні верстати. Прикладом може служити верстат моделі 644Б (рис. 16). По напрямних станини 1 пересувається стіл 2, на якому встановлена стійка 3. На її передній площині 4 закріплюються модель і заготівля. По нерухомій стійці 7 в вертикальному напрямку може рухатися траверса 8, несуча шпindelьну бабку 9, в корпусі якої знаходяться двигун шпинделя, коробка передач і шпindelь 11 з фрезой. Шпindelьна бабка переміщається уздовж осі шпинделя по напрямних траверси. На кронштейні 6 шпindelьної бабки встановлена копіювальна головка 5 - копіювально-вимірювальний прилад.

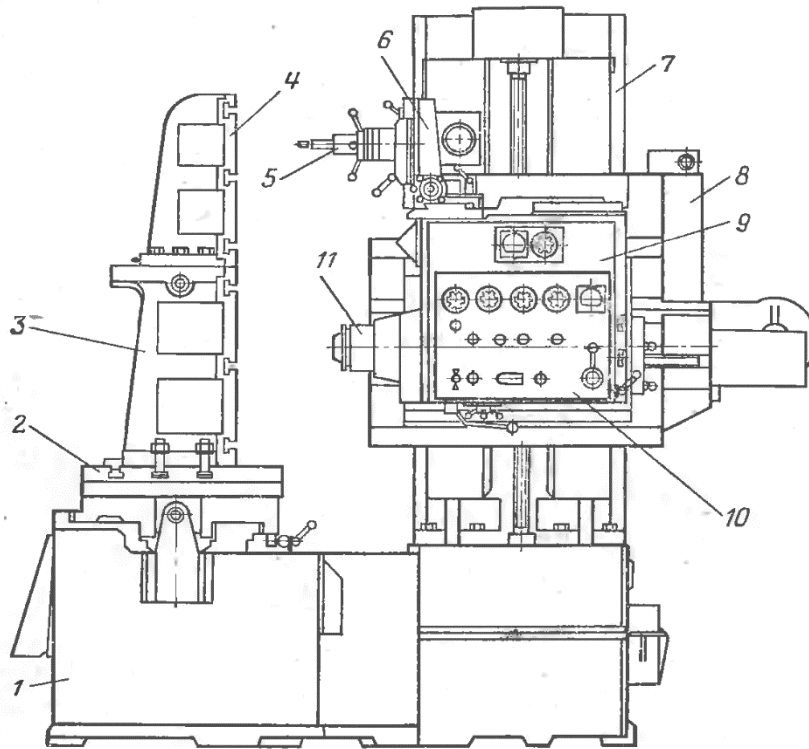


Рисунок 16 - Копіювально-фрезерний верстат моделі 644Б

У передню стінку шпindelної бабки вбудований пульт управління 10. Верстат має три руху подачі: горизонтальне переміщення стола, вертикальне переміщення шпindelної бабки, поперечне переміщення шпindelної бабки уздовж осі шпинделя. Обробка деталей проводиться пальцевими циліндричними або конусними фрезами, торцевими фрезами та ін. Обробка об'ємних деталей на копіювально-фрезерному верстаті відбувається рядками - горизонтальними або вертикальними (рис. 17).

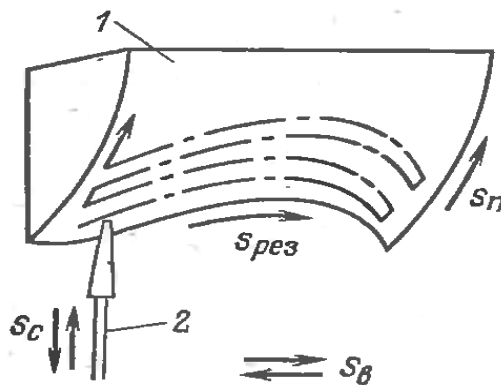


Рисунок 17 - Схема об'ємного копіювання

Модель 1 хіба що розбивається на ряд плоских профілів. Рух копіювального пальця 2 уздовж такого профілю виходить як сума рухів провідною подачі s_a і стежить поперечної подачі s_n , Т. Е. Здійснюється

двовимірне копіювання. Після проходу рядки відбувається періодична подача s_f . Далі слід зміна напрямку провідної подачі, утворення нової рядки і т. Д.

8.2 Типи електроприводів верстатів

Фрезерні верстати відносяться до групи верстатів з головним обертальним рухом. Діапазон регулювання кутових швидкостей шпинделя становить від 20: 1 до 60: 1 при збереженні сталості віддається електродвигуном потужністю. Зміни кутової швидкості шпинделя в процесі обробки, як правило, не потрібно, тому для фрезерних верстатів зазвичай застосовується ступінчасте регулювання швидкості головного приводу. Особливих вимог щодо пускового моменту, а також тривалості пуску і гальмування приводу не пред'являється.

Для приводів головного руху фрезерних верстатів малих і середніх розмірів використовуються одно- або багатшвидкісні асинхронні двигуни в поєднанні з коробкою швидкостей. Виконання двигунів зазвичай фланцеве. Привід подачі таких верстатів в більшості випадків здійснюється від головного двигуна через багатоступеневу коробку подач. Загальний діапазон регулювання подачі до (20 ... 30): 1. У верстатах, на яких не виробляються зуборізні роботи, для приводу подачі доцільно застосовувати окремі електродвигуни, що значно спрощує конструкцію верстата.

Головний привід важких поздовжньо-фрезерних верстатів також виконується від асинхронних двигунів з механічним ступінчастим зміною кутової швидкості шпинделя. Для приводів подачі столу і фрезерних головок таких верстатів, діапазон регулювання швидкості яких досягає значень (40 ... 60): 1, застосовуються синхронні двигуни, керовані частотним перетворювачем, і двигуни постійного струму, що включаються по системі ТПД.

Допоміжні приводи фрезерних верстатів: приводи насосів охолодження, змащення і гідросистем, швидкого переміщення фрезерних головок і поперечок у поздовжньо-фрезерних верстатів і інших - здійснюються від окремих асинхронних електродвигунів.

8.3 Розрахунок потужності двигунів фрезерних верстатів

Фрезерні верстати загального призначення та зубофрезерні верстати здебільшого працюють в тривалому режимі з постійним навантаженням. У цьому випадку потужність двигуна визначається по розрахованій, виходячи з технічних показників, найбільшому навантаженню, можливої для даного верстата.

Нормативна швидкість різання, м / хв, при фрезеруванні визначається за формулою

$$v_Z = \frac{C_v d^q}{T^m s^{Y_v} t^{X_v} B^k z^n}, \quad (8.1)$$

де C_v - коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу, типу фрези (циліндрична, торцева і т. Д.) І виду обробки (чорнова або чистова);

d - діаметр фрези, мм;

z - число зубів фрези;

s - подача на зуб фрези, мм;

t - глибина фрезерування (товщина шару металу, що знімається за один прохід), мм;

B - ширина фрезерування, мм;

T - стійкість фрези, яка приймається зазвичай для циліндричних, торцевих, дискових і фасонних фрез при обробці сталі і ковкого чавуну рівній 180 хв, при обробці сірого чавуну - 240 хв.

Зусилля різання або окружне зусилля при фрезеруванні розраховується за формулою, Н,

$$F_Z = 9,81 C_F t^{X_F} s^{Y_F} z d^i. \quad (8.2)$$

Значення показників ступеня і коефіцієнтів в рівняннях (8.1) і (8.2) беруться з довідника по режимам різання. Подача для циліндричних фрез при чорновому (грубе) фрезеруванні на потужних верстатах становить $s = 0,02 \dots 0,6$ мм на зуб. При чистовому фрезеруванні подача знижується до $s = 0,02 \dots 0,08$ мм на зуб. глибина фрезерування t може доходити до 15 мм.

При відомих значеннях зусилля і швидкості різання потужність різання можна визначити за формулою, кВт,

$$P_Z = \frac{F_Z v_Z}{60 \cdot 10^{-3}}. \quad (8.3)$$

Потужність на валу головного електродвигуна, відповідна потужності різання, визначається з урахуванням втрат в механічних передачах верстата по формулі

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_{Z, \text{ном}}}{\eta_{\text{ст. ном}}}, \quad (8.4)$$

де $P_{Z, \text{ном}}$ - найбільша можлива (номінальна) потужність різання;

$\eta_{ст.ном}$ - ККД верстата при номінальному навантаженні (зазвичай становить 0,75 ... 0,8).

По знайденому значенням $P_{об}$ вибирається двигун рівній або кілька більшої потужності на відповідну номінальну частоту обертання.

При механічному приводі подачі від головного двигуна через коробку подач потужність цього двигуна повинна бути приблизно на 5% більше потужності, необхідної для ланцюга головного руху.

Машинне час за один прохід фрези при циклічному фрезеруванні визначається за формулою, хв,

$$t_M = \frac{(l + l_0 + y)}{s_M}, \quad (8.5)$$

де l - довжина фрезерування, мм;

l_0 - довжина врізання, мм;

y - перебігаючи фрези, мм;

s_M - хвилинна подача (швидкість подачі), мм / хв.

Довжина врізання визначається за формулою

$$l_0 = \sqrt{t - (d - t)}, \quad (8.6)$$

де t - глибина різання, мм;

d - діаметр фрези, мм.

Цікавим є розрахунок потужності двигуна подачі столу важких поздовжньо-фрезерних верстатів, діапазон регулювання швидкості робочих подач яких дорівнює $D_{\delta\delta\delta} = (30...200) : 1$, А швидкі переміщення в 1,5 ...

4,2 рази більше $V_{\delta\delta\delta}$. Кінематична схема приводу столу виявляється найбільш простий за умови, що весь діапазон подач (від мінімальної робочої до прискореного переміщення) забезпечується за рахунок регулювання кутової швидкості двигуна. При цьому потужність двигуна, кВт, в разі регулювання кутової швидкості тільки зміною U_y визначається: найбільшим тяговим зусиллям на столі $F_{\delta\max}$, Найбільшою швидкістю швидкого переміщення $v_{\delta\delta\delta}$ і втратами в передачі (η_i). Розрахункова формула має вигляд:

$$P_{\delta\delta, расч} = \frac{F_{T, \max} v_{\delta, пер}}{60\eta_{II}} 10^{-3}. \quad (8.7)$$

Технічні дані основних моделей поздовжньо-фрезерних верстатів показують, що в діапазоні робочих подач потрібне регулювання швидкості

при $F_{T.\max}$, А при швидких переміщеннях столу необхідний тягове зусилля зменшується в 1,5 ... 2 рази. Двигун, обраний за виразом (8.7), не використовується за потужністю в усьому діапазоні регулювання.

Для найбільш повного використання електроприводу кутову швидкість двигуна постійного струму незалежного збудження в зоні робочих подач слід регулювати зміною U_y , А при швидких переміщеннях - зміною $\hat{O}_{\text{аісá}}$, Т. Е. Слід застосовувати двозонне регулювання швидкості приводу.

Практично не завжди вдається забезпечити збіг необхідних діапазонів регулювання швидкості подачі столу з регульовальними можливостями двигунів, так як зазвичай $D_{\hat{O}.\text{аіі}}$ < $D_{\text{аіаđ}}$ столу, і доводиться застосовувати регулювання кутової швидкості двигуна зміною напруги на якорі на тій ділянці діапазону регулювання, де $F_T < F_{T.\max}$, Т. Е. Кілька завищувати встановлену потужність двигуна.

9 ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

9.1 Призначення і пристрій шліфувальних верстатів

Шліфувальні верстати застосовуються для чистової обробки деталей шліфувальними абразивним кругом, що знімають з поверхні деталі тонкий шар металу. На шліфувальних верстатах можна обробляти плоскі, циліндричні зовнішні і внутрішні поверхні, шліфувати зуби шестерень, заточувати різні інструменти і т. Д. Шліфувальні верстати набули широкого поширення у всіх галузях промисловості в якості верстатів загального і спеціального призначення.

Верстати загального призначення поділяються на такі основні типи: а) круглошліфувальні; б) внутрішшліфувальні; в) плоско; г) без центрів кругло- і внутрішшліфувальні. Спеціалізовані шліфувальні верстати призначаються для отримання досить чистих (гладких) поверхонь - доводочніе, оздоблювальні верстати і інші, або для виконання певних операцій над різними деталями - різьбошлифувальні, шліцешліфувальні і ін.

З впровадженням в практику нових методів отримання заготовок з малими припусками (кування в штампах, лиття в форми під тиском і ін.) З'явилася можливість обробляти такі заготовки відразу шліфуванням, минаючи обробку на інших металорізальних верстатах. Тому шліфувальні верстати з часом можуть опинитися переважаючими серед інших металорізальних верстатів.

Круглошліфувальні напівавтомати призначені для шліфування циліндричних поверхонь тіл обертання, пологих конічних і торцевих поверхонь. У електромашинобудуванні на таких верстатах шліфують вали електродвигунів. На рис. 18 зображений круглошліфувальний верстат, ос-

новними вузлами якого є: станина 1; робочий стіл 2 з розміщеними на ньому передньої 3 і задньої 5 бабками; шліфувальна бабка 4, на шпинделі якої закріплюється шліфувальний круг 6. Оброблювана деталь встановлюється в центрах задньої і передньої бабки і закріплюється в патроні передньої бабки. Патрон отримує обертання від електродвигуна через плоскопасової передачу. Шліфувальний коло приводиться в обертання від головного двигуна 7 через клиноременну передачу.

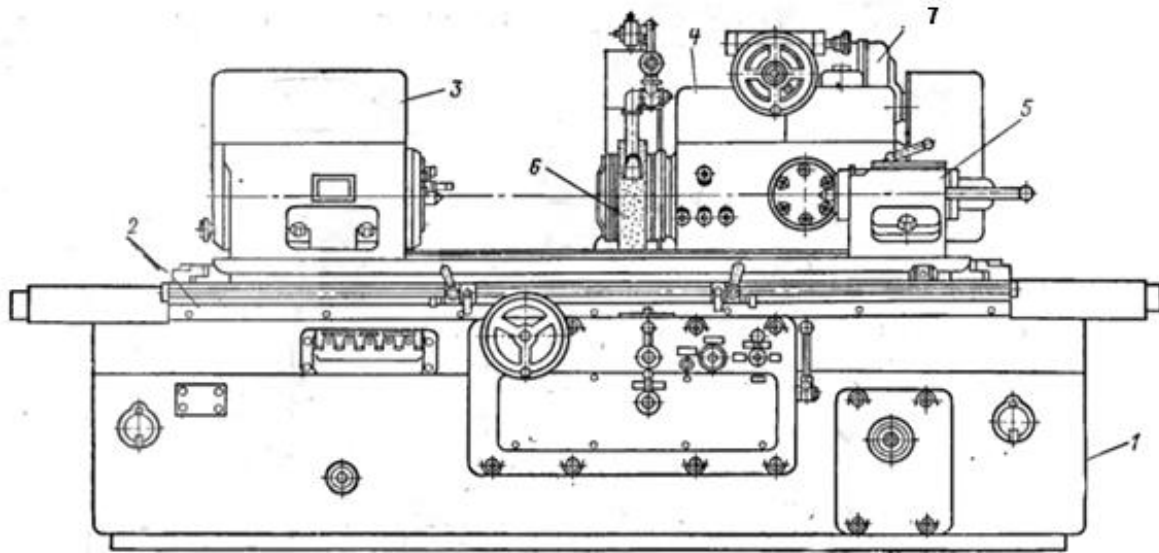


Рисунок 18 - Загальний вигляд круглошліфувального верстата моделі 3151

На рис. 19, а зображена схема процесу зовнішнього шліфування на круглошліфувальні верстатах. Шліфувальний круг 2 і обробляється деталь 1 обертаються в різні боки. Обертання деталі створює кругову подачу v_i , Обертання шліфувального круга - головний рух - швидкість різання v_e . Для обробки деталі по довжині, якщо вона перевищує ширину кола, стіл верстата з встановленою на ньому деталлю здійснює зворотно-поступальний рух (створює поздовжню подачу s_1). Шліфувальний круг здійснює поперечне періодичне переміщення щодо деталі - поперечну подачу s_2 (Подачу на глибину різання).

У важких круглошліфувальних верстатах при великих розмірах оброблюваних деталей поздовжнє переміщення здійснює шліфувальна бабка з колом, а стіл з деталлю, закріпленої в передній і задній бабках, залишається нерухомим.

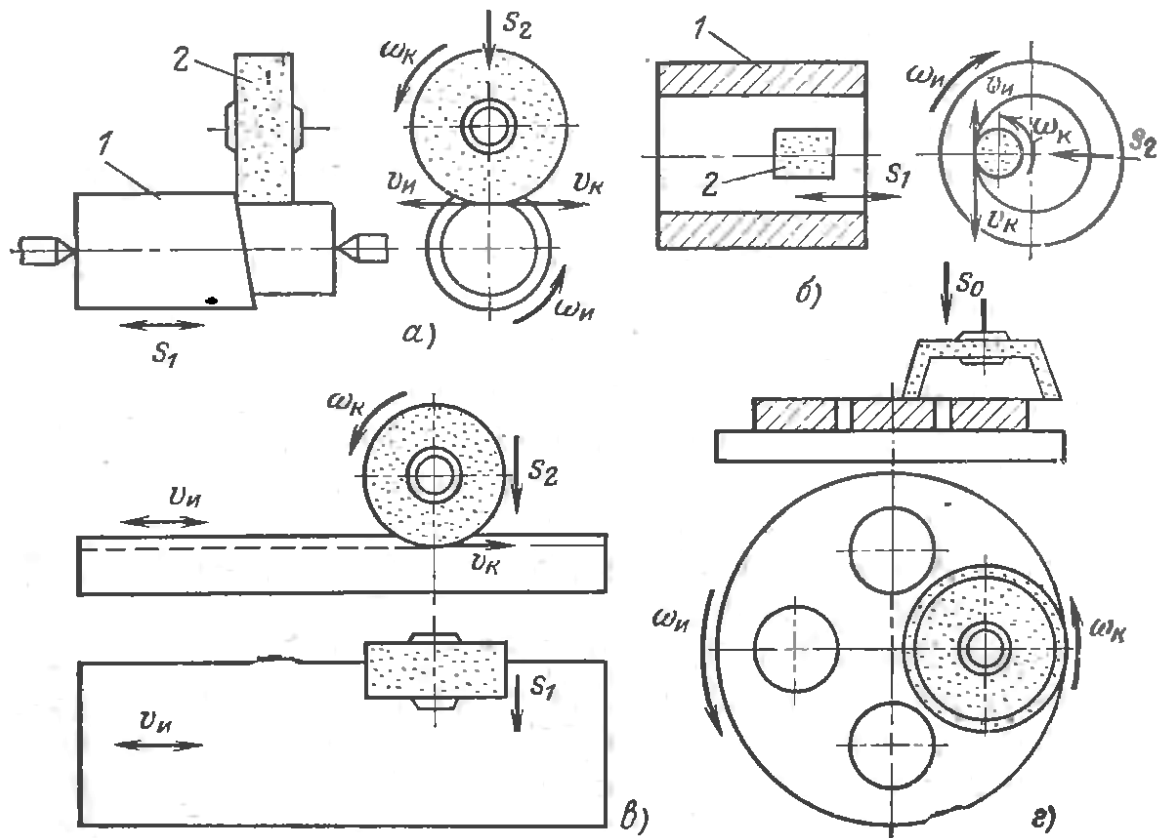


Рисунок 19 - Схеми рухів в шліфувальних верстатах

Внутрішньошліфувальних верстатів призначені для шліфування внутрішніх циліндричних, конічних і інших поверхонь тіл обертання (рис. 19, б). Зазвичай у таких верстатів обробляється деталь обертається навколо осі отвору, що шліфується, здійснюючи кругову подачу v_i . Шліфувальний круг обертається навколо своєї осі, створюючи швидкість різання v_e . позовжня подача s_1 виходить за рахунок зворотно-поступального руху шліфувального круга або деталі. поперечна подача s_2 проводиться шляхом періодичного поперечного переміщення шліфувальної бабки в кінці кожного проходу поверхні оброблюваної деталі.

Плоскошліфувальні верстатів призначаються для обробки зовнішніх поверхонь плоских деталей. За формою столу, на якому закріплюються шліфовані вироби, ці верстатів поділяються на верстатів з прямокутним і круглим столами, а по розташуванню шліфувального круга - на верстатів з горизонтальним і вертикальним шпинделем.

На рис. 20 показаний загальний вигляд плоскошліфувального верстатів з прямокутним столом. Його основні вузли: станина 1, стійка 2, шліфувальна бабка 3, робочий стіл 4. Дисковий абразивний круг 5 зміцнюється на кінці шпинделя шліфувальної бабки.

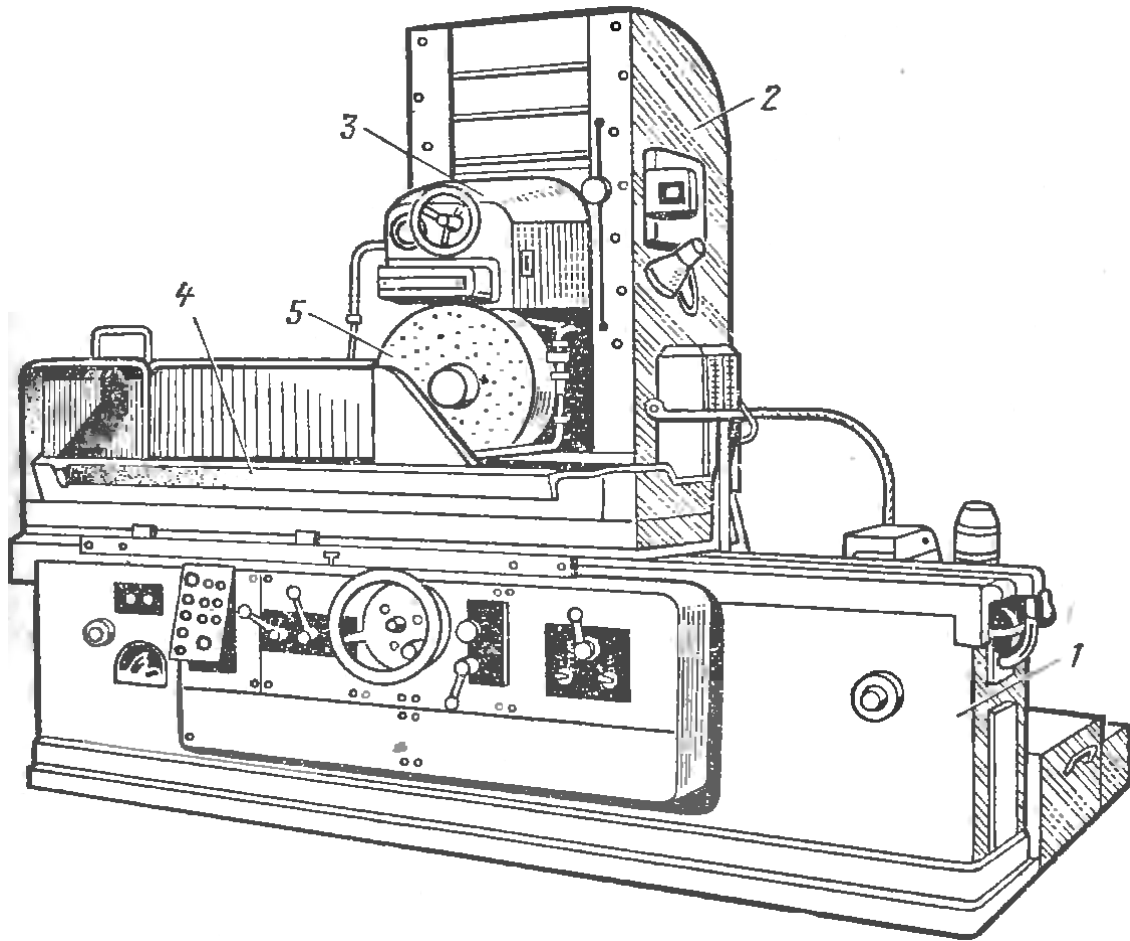


Рисунок 20 - Загальний вигляд плоскошліфовального верстата з прямокутним столом

Шліфована деталь в залежності від її форми, розміру і матеріалу закріплюється безпосередньо на столі верстата або на спеціальній магнітній плиті, яка встановлюється на столі.

У плоскошліфовальних верстатах, крім головного руху обертання кола, розрізняють наступні види рухів:

1 У верстатах з прямокутним столом і при обробці деталей периферією круга (див. Рис. 19, в) стіл з деталлю здійснює зворотно-поступальний рух подачі v_f , Шліфувальна бабка (або стіл) - періодичне переміщення s_1 на величину, дещо меншу ширини кола, після кожного ходу столу, а коло отримує вертикальне переміщення - подачу s_2 на глибину різання - після чергової обробки всієї площини шліфування.

2 В верстатах з круглим столом при обробці деталей торцем круга (див. Рис. 19, г) столу повідомляється рух кругової подачі ω_f , А колі - вертикальне періодичне переміщення s_0 .

9.2 Типи електроприводів шліфувальних верстатів

Шліфувальні верстати відносяться до точних верстатів, тому конструкції їх окремих вузлів і кінематичні передачі повинні бути максимально прості, що досягається широким застосуванням індивідуального приводу. В шліфувальних верстатах розрізняють наступні види електроприводів: головний привід (обертання шліфувального круга), привід обертання виробу, привід подачі, допоміжні приводи і спеціальні електромеханічні пристрої.

В шліфувальних верстатах малих і середніх розмірів при потужності головного приводу до 10 кВт обертання кола зазвичай здійснюється від одношвидкісних асинхронних короткозамкнених двигунів. На круглошліфувальних верстатах при значних розмірах шліфувальних кругів (діаметр до 1 000 мм, Ширина до 700 мм), Застосовують знижувальні ремінні передачі від двигуна до шпинделя і електричне гальмування приводу для зменшення часу зупинки.

На внутрішньошліфувальних верстатах обробка ведеться колами невеликих розмірів, тому в них застосовують прискорюють передачі від двигуна до шпинделя або використовують спеціальні високошвидкісні асинхронні двигуни, що вбудовуються в корпус шліфувальної бабки. Пристрій, в якому короткозамкнений двигун і шліфувальний шпиндель конструктивно об'єднані в один вузол, називають Електрошпинделі. Частоти обертання таких двигунів 24 000, ... 48 000 об / хв, а при малих діаметрах шліфувальних кругів (до 5 ... 7 мм) доходять до 150 000, ... 250 000 об / хв.

Статор двигуна електрошпинделя (рис. 21) набирається з листів електротехнічної сталі, в його пазах розташовується двополюсна обмотка, а ротор виконується типу білячої клітини або у вигляді масивного сталевого циліндра. Двигуни Електрошпинделі харчуються від спеціальних індукційних генераторів підвищеної частоти ($f_A = 300..2000$ Гц) або від статичних перетворювачів частоти на тиристорах.

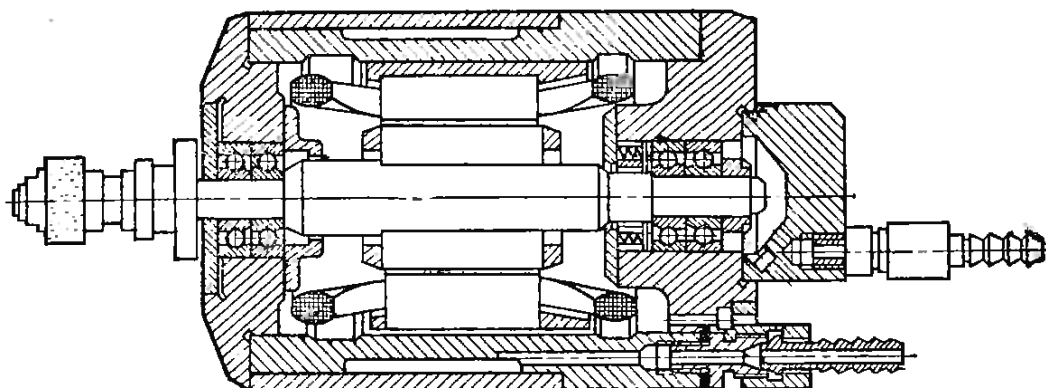


Рисунок 21 - Електрошпинделі типу Ш-24 / 2,2 горизонтального виконання

При роботі шліфувальний круг поступово зношується і його діаметр D_e зменшується, що викликає зменшення швидкості різання, так як

$$v_e = \frac{\pi D_e n_e}{60 \cdot 1000}, \text{ м / с.}$$

Для отримання хорошої якості поверхні, що шліфується і підвищення продуктивності верстата необхідно підтримувати швидкість різання при зносі кола постійної. З цією метою в великих шліфувальних верстатах встановлюють двигуни постійного струму з незалежним збудженням, кутова швидкість яких регулюється зміною потоку збудження в діапазоні (2 ... 3): 1. Харчування таких двигунів здійснюється від напівпровідникових випрямлячів.

Для обертання виробу на внутрішньошліфувальних верстатах застосовують асинхронні двигуни одно- або багатшвидкісні. На важких круглошліфувальних верстатах привід обертання виробу виконується за системою Г-Д з діапазоном регулювання швидкості від (8 ... 10): 1 до (20 ... 25): 1 і більше. Набули поширення приводи з тиристорними перетворювачами змінного струму в постійний, а також приводи з магнітними підсилювачами типу ПМУ на потужності 0,1 ... 8 кВт. Особливістю навантаження приводу обертання виробу таких верстатів є великий момент опору при пуску (до $2M_{in}$).

Подача (зворотно-поступальний рух столу, поздовжнє і поперечне переміщення шліфувальної бабки) на шліфувальних верстатах невеликі розміри виробляється від гідроприводу. Приводи подач важких плоско і круглошліфувальних верстатів виконуються від двигуна постійного струму по системі ЕМУ-Д, ТП-Д з діапазоном регулювання до (40 ... 50): 1. Іноді для приводів поздовжніх подач використовують багатшвидкісні асинхронні двигуни з багатоступеневою коробкою подач. Однак такий привід застосовують рідко, так як він не дає можливості плавного регулювання і не забезпечує сталості заданої швидкості (допустима похибка - до 5%). Для обертання круглого столу плоскошліфувальних верстатів часто застосовують асинхронні двигуни.

Для допоміжних приводів шліфувальних верстатів (приводи насосів змащення і охолодження, насосів гідроприводу, швидкого переміщення шліфувальної бабки і ін.) Також застосовуються асинхронні двигуни.

9.3 Розрахунок потужності двигуна головного приводу шліфувальних верстатів

У всіх шліфувальних верстатах головним рухом є обертання шліфувального круга. швидкість різання v_e визначається окружною швидкістю кола і зазвичай лежить в межах від 30 до 50 м / с, але в деяких випадках досягає 75 м / с. Товщина шару, що знімається металу при таких швидкостях різання незначна.

Потужність різання, кВт, визначається за формулами: при шліфуванні периферією круга:

$$P_Z = C_p v_H^r s_1^y d^q, \quad (9.1)$$

при шліфуванні торцем кола

$$P_Z = C_p v_H^r t^x B^z \quad (9.2)$$

де C_p - коефіцієнт, що характеризує матеріал виробу і твердість круга;

$v_{\dot{E}}$ - окружна швидкість деталі або швидкість руху столу, м / хв;

t - глибина шліфування, мм;

s_1 - подача в напрямку осі шліфувального круга (подовжня або поперечна) в міліметрах на один оборот деталі або в частках ширини кола на один подвійний хід столу (див. Рис. 19);

d - діаметр шліфування, мм;

B - ширина шліфування, мм.

Значення коефіцієнтів і показників ступеня у формулі (9.1) наводяться в технологічних довідниках. швидкість $v_{\dot{E}}$, глибину шліфування t і подовжню подачу s_1 вибирають в залежності від виду шліфування.

Після визначення потужності різання при чорновому D_{Z1} і чистовому D_{Z2} шліфуванні і розрахунку відповідного машинного часу t_{M1} і t_{M2} для обох видів обробки підраховують допоміжний час $\sum t_0$ і з урахуванням втрат в передачах будують навантажувальну діаграму шліфувального верстата. Потім визначають еквівалентну потужність двигуна за формулою, кВт,

$$P_{\text{Э.С}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_{M1} + P_2^2 t_{M2} + P_0^2 \sum t_0}{t_{M1} + t_{M2} + \sum t_0}}. \quad (9.3)$$

Номінальну потужність двигуна, що працює в тривалому режимі, вибирають по каталогу із умови $P_{\dot{m}} \geq D_{\dot{Y}, \dot{N}}$ на частоту обертання

$$n_{\text{ном}} \approx \frac{60 v_k i_n}{\pi D_k}.$$

10 АВТОМАТИЗОВАНЕ ЕЛЕКТРОПРИВІД ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

10.1 Структура автоматизованого електроприводу постійного струму

До складу комплектного електроприводу постійного струму (рис. 22) входять керовані випрямлячі, що забезпечують регулювання напружень якоря і струму обмотки збудження. У такому варіанті забезпечується двозонне регулювання швидкістю електродвигуна.

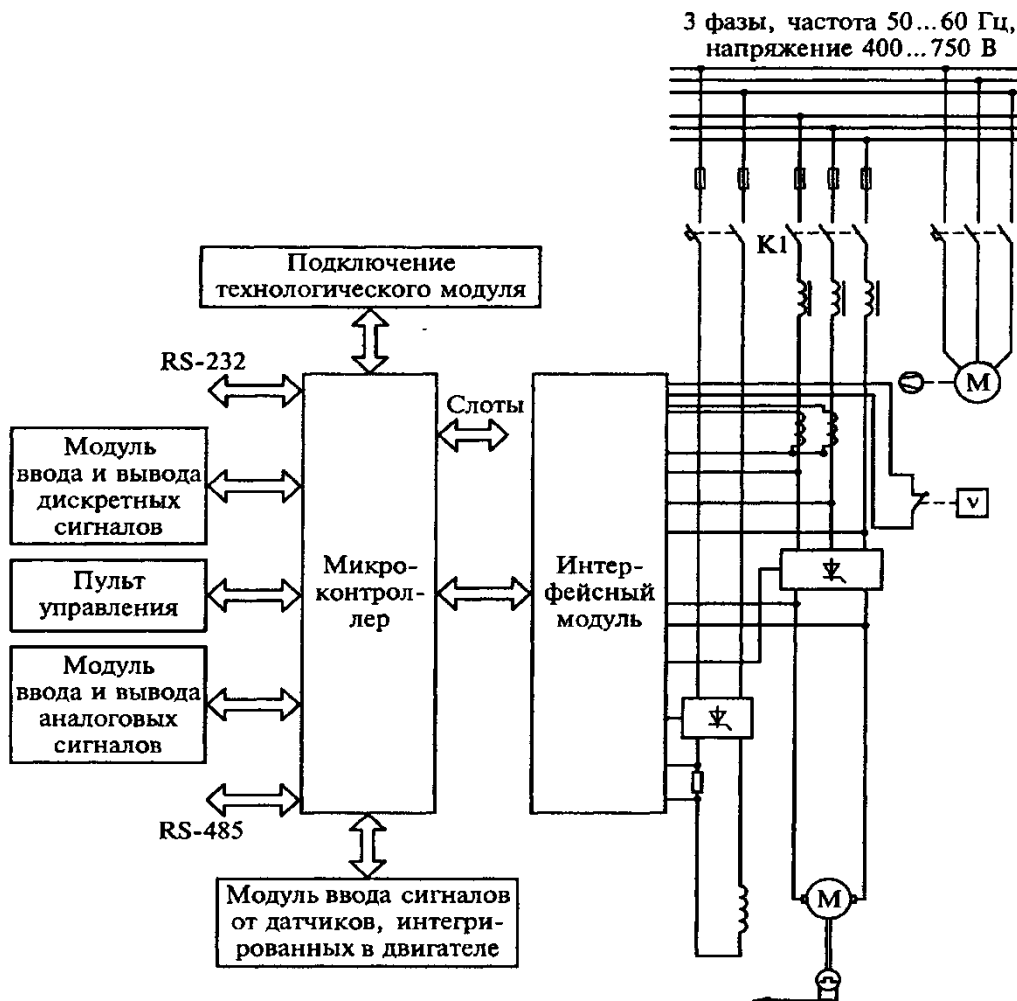


Рисунок 22 - Схема електроприводу постійного струму

Силові випрямлячі мають різні електричні схеми, що складаються з однієї, двох або чотирьох керованих трифазних груп, і виконуються з електрично ізольованих тиристорних модулів.

Блоки мають природне повітряне охолодження, а блоки, розраховані на великі потужності, - примусове повітряне охолодження (вентилятор або збірку з кількох вентиляторів).

Контролер обробляє інформацію, що надходить від зовнішніх датчиків, реалізує функції управління і діагностування. Фактичні параметри можуть бути визначені в аналоговій і цифровій формі.

Шафа електроніки містить апаратуру електроніки і додаткові плати. Зовнішні сигнали (бінарні, аналогові, імпульсні та ін.) Передаються на модулі введення і виведення по кабелях. Екрановані кабелі дозволяють встановлювати датчики на деякій відстані від силового блоку електроприводу.

Пульт управління складається з блоку індикації, світлодіодів для індикації стану, кнопок для введення керуючих команд. До складу електроприводу також входить виносний пульт управління.

До електроприводу через послідовний інтерфейс може бути підключений персональний комп'ютер, який виконує наступні функції: доступ до параметрів електроприводу; запис і зберігання параметрів; копіювання існуючих параметрів на інші перетворювачі; контроль через словосостояння і зчитування фактичних величин; читання сигналів несправності і системи індикації аварії.

Датчики, інтегровані в електроприводі, дозволяють контролювати температуру двигуна, повітряний потік, що проходить через вентилятор, стан підшипників.

Якщо до цього перетворювача необхідно підключити електродвигун більшої потужності, до силовій схемі підключаються додаткові тиристорні модулі.

10.2 Особливості двозонних електроприводів

Двозонні електроприводи використовують, перш за все, в тих механізмах, статичний момент яких зі збільшенням швидкості зменшується, оскільки допустимий момент електричного двигуна з ослабленням поля також знижуються. Це дає можливість порівняно з Однозонна приводами повніше використовувати потужність двигуна.

В сучасних електроприводах використовують тільки системи залежного (від напруги якоря і його ЕРС) ослаблення поля. Вони зазвичай побудовані як двоконтурні або одноконтурні з перемиканнями зворотних зв'язків. Для забезпечення незмінної якості перехідних процесів в процесі ослаблення поля діє адаптація регуляторів швидкості та ЕРС.

Двоконтурна система має найкращі динамічні характеристики (рис. 23). Вона складається з двох взаємопов'язаних контурів - контуру регулювання якоря (регулятори швидкості РС і струму якоря РТЯ з функцією передачі ланцюга якоря ПФЯ) і контуру регулювання ланцюга збудження (регулятори ЕРС РЕ і потоку РФ з функцією передачі ланцюга збудження ПФВ).

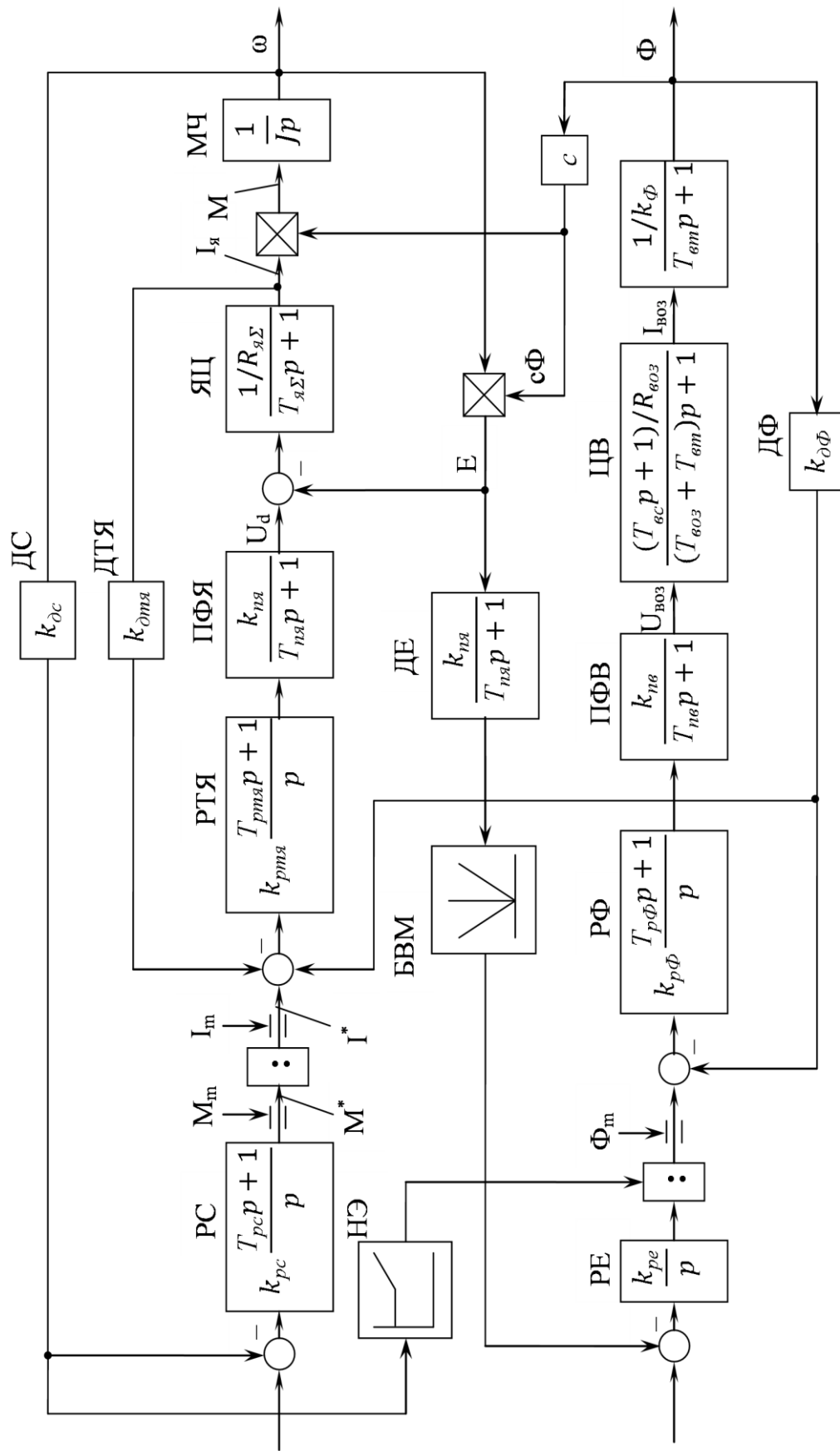


Рисунок 23 - Функціональна схема реверсивного двухзонного электроприводу

Дільник (ділильний пристрій) в контурі швидкості перетворює вихідний сигнал РС (завдання на момент M^*) на завдання на струм якоря $I^* = M^* / \hat{n} \hat{\Omega}$. Необхідність операції ділення в регуляторі обумовлена наявністю операції множення в його об'єкті управління ($\dot{I} = \hat{n} \hat{\Omega} I_\beta$). Відповідно, дільник (Ділильний пристрій) на виході регулятора ЕРС компенсує нелінійність в об'єкті його управління ($E = c\Phi\omega$). Обмеження максимального моменту в двозонних САР з адаптацією відбувається шляхом обмеження вихідного сигналу РС, максимального струму і потоку - на входах відповідних регуляторів. Нелінійний елемент НЕ забезпечує коректність роботи дільника (Ділильний пристрій) на малих швидкостях.

У першій зоні сигнал датчика ЕРС менше від завдання, і регулятор ЕРС насичений (рівень насичення відповідає номінальному потоку). Це завдання на номінальний потік і відпрацьовується регулятором потоку. Регулювання швидкості здійснюється зміною напруги на якорі при незмінному потоці за допомогою регуляторів швидкості якоря і регулятора струму якоря.

Якщо задана швидкість перевищує номінальну, на вході регулятора швидкості є позитивна помилка регулювання, що викликає підвищення завдання на струм, вихідного сигналу РТЯ і вихідної напруги U_d передавальної функції ланцюга якоря (т. Е. Канал регулювання ланцюга якоря намагається підняти швидкість збільшенням напруги на якорі вище номінального). Як тільки швидкість перевищить номінальну, а ЕРС якоря - задану (ЕРС при номінальній швидкості і номінальному потоці), регулятор ЕРС вийде з насичення, і завдання на потік почне зменшуватися. Темп збільшення напруги якоря і ЕРС зменшиться, оскільки швидкість буде зростати вже й через ослаблення поля. Внаслідок великої інерційності контуру збудження деякий час після досягнення номінальної швидкості контур якоря підвищує напругу на якорі. Тому в момент переходу в другу зону завжди спостерігається перерегулювання по напрузі і ЕРС. Регулятор ЕРС, зменшуючи завдання на потік, поступово бере на себе функцію регулювання швидкості, і після досягнення заданої швидкості зникає помилка її регулювання, регулятор швидкості перестає збільшувати завдання на струм і напруга якоря. Так як цей момент ЕРС поки трохи перевищує номінальний, деякий час потік зменшується, що призводить до перерегулювання по швидкості, зміни знака помилки її регулювання і поверненню напруги на якорі до номінального значення. далі усталене регулятор швидкості перестає збільшувати завдання на струм і напруга якоря. Так як цей момент ЕРС поки трохи перевищує номінальний, деякий час потік зменшується, що призводить до перерегу-

лювання по швидкості, зміни знака помилки її регулювання і поверненню напруги на якорі до номінального значення. далі усталене значення потоку визначається завданням на швидкість. У процесі пуску і гальмування з незмінним завданням на струм якоря в другій зоні пропорційність між цим струмом і моментом порушується через зміни потоку.

Управління регулятора потоку за структурою нічим не відрізняється від подібного в контурі струму якоря. Тому РФ завжди пропорційно-інтегральний, синтезований за модульним оптимуму. Під час синтезу РФ необхідно мати на увазі, що завдяки насиченню муздраттеатру коефіцієнт передачі каналу $I_{\text{воз}} \rightarrow \Phi$, а також постійні часу ланцюга збудження $T_{\text{воз}}$, $T_{\text{ВЗ}}$ з ослабленням поля зростають. При цьому перехідний процес в контурі стає більш коливальним. Тому постійну часу регулятора потоку необхідно вибрати відповідно постійної часу об'єкта

$$T_{p\Phi} = T_{\text{возб}} + T_{\text{ст}}, \quad (10.1)$$

яка відповідає мінімальному потоку. Коли зі збільшенням потоку зменшуються постійні часу $T_{\text{возб}}$, $T_{\text{вт}}$, стійкість замкнутого контуру збільшується.

Крім того, коефіцієнт передачі регулятора, хоча і вибирається за параметрами при номінальному потоці, налаштовується на апериодический характер перехідного процесу:

$$k_{p\Phi} = \frac{k_{\Phi} R_{\text{воз}}}{a_{\Phi} T_{\text{не}} k_{\text{нф}} k_{\text{дф}}} \quad (10.2)$$

де k_{Φ} - коефіцієнт пропорційності струму збудження і потоку при $\Phi = \Phi_{\text{н}}$;

a_{Φ} - настроювальний коефіцієнт.

Швидкодія при цьому погіршується.

Якщо коефіцієнт k_{Φ} спочатку ніхто не знає, можна розрахувати співвідношення для номінального струму збудження:

$$\frac{k_{\text{дф}}}{k_{\Phi}} = \frac{U_{\text{дфн}}}{I_{\text{возб}}}, \quad (10.3)$$

де $U_{\text{дфн}}$ - напруга датчика потоку при $\Phi = \Phi_{\text{н}}$ (близько 10 В).

Завдяки тому, що нелінійність і основна інертність залишилися в середині замкнутого контуру потоку, регулятор ЕРС

$$W_{0E} = \frac{k_{\Phi}}{U_{\text{дсн}}} \frac{c\omega/k_{\text{дф}}}{T_{\text{кф}}p + 1} \frac{k_{\text{де}}}{T_{\text{де}}p + 1}, \quad (10.4)$$

де $T_{\text{кф}} = a_{\Phi} T_{\text{пв}}$ - постійна часу замкнутого контуру потоку;

$U_{дсн}$ - вихідна напруга ДС при номінальній швидкості;
 k_d - коефіцієнт передачі подільника.
 Коефіцієнт підсилення регулятора ЕРС:

$$k_{pe} = \frac{U_{дсн} k_{\Delta\Phi}}{a_E T_{\mu e} k_{\Delta e} c \omega_n k_{\Delta}} = \frac{U_{дсн} U_{\Delta\Phi_n}}{a_E T_{\mu e} U_{\Delta e_n} k_{\Delta}}, \quad (10.5)$$

де $AE = 2 \dots 3$;

$U_{ден}$ - вихідна напруга датчика ЕРС при номінальній швидкості.

Коли постійна часу датчика ЕРС близька до постійної часу контура потоку, їх відносять до некомпенсованим ($T_{\mu e} = TK\Phi + t_{де}$), а регулятор ЕРС виконують інтегрованим. Якщо одна з них набагато менше (досить рідкісний випадок), її приймають некомпенсованою, а регулятор повинен бути пропорційно-інтегральним.

У деяких електроприводах замість контуру ЕРС використовують контур напруги якоря (т. Е. Ослаблення поля здійснюється в функції напруги). Це дає можливість відмовитися від датчика ЕРС, але погіршується динаміка.

Обмотка збудження має дуже велику інерцію. Тому для забезпечення необхідного темпу зростання потоку при гальмуванні із заданою похідною швидкості перетворювач обмотки збудження повинен мати можливість збільшення вихідної напруги вище номінального (форсировка напруги). Необхідність форсування слід враховувати при виборі силового перетворювача.

10.3 Обмеження струму (моменту) в електроприводах постійного струму

Цілий ряд верстатних механізмів може вимагати від системи керування електроприводом обмеження моменту (або струму) двигуна при виникненні навантажень. Іноді виникають вимоги обмеження швидкості, напруги і т. Д. У таких випадках для отримання бажаних механічних характеристик можуть додатково застосовуватися негативні зворотні зв'язки з відсічення. Найбільшого поширення знаходить негативний зворотний зв'язок по току з відсіченням (струмовий відсічення).

Системи струмообмеження використовують для обмеження струму в пускотормозних режимах і при зміні навантаження, щоб випередити аварійне відключення електроприводу системою захисту.

В електроприводах використовують три способи обмеження моменти:

- струмовий відсічення (найчастіше в одноконтурних САР швидкості),
- обмеження завдання на струм (в двоконтурних САР),

- випереджаюче струмообмеження (в одноконтурних САР).

Принцип струмового відсічення ґрунтується на різкому зниженні вхідного регулюючого напруги перетворювача після перевищення струмом допустимого значення.

Схема з струмового відсіченням приведена на малюнку 24. Прийнято, що інші зворотні зв'язки, що забезпечують необхідну жорсткість механічних характеристик, відсутні.

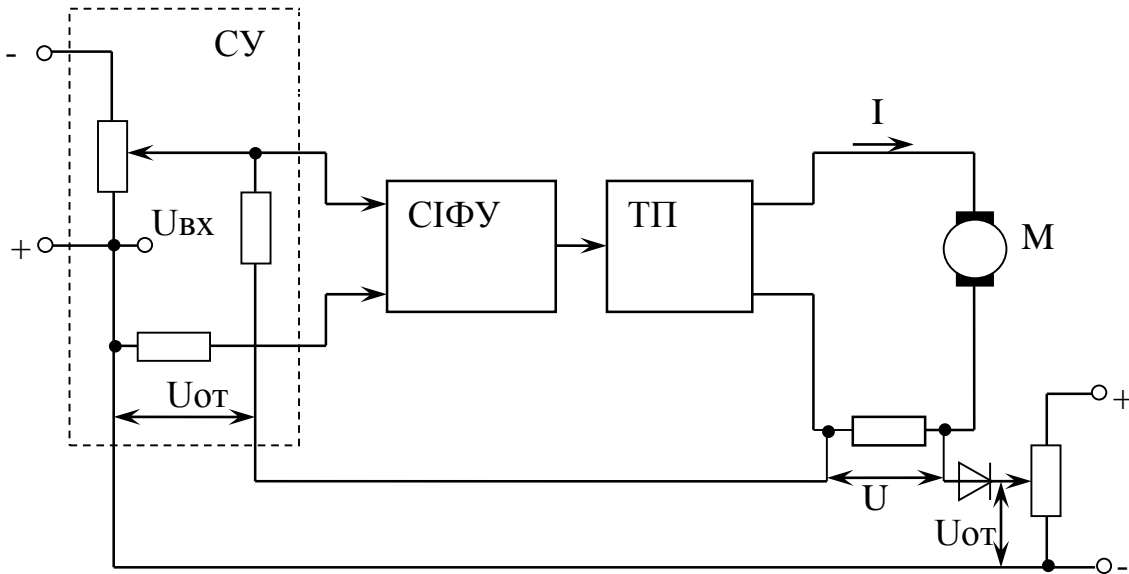


Рисунок 24 - Схема з струмового відсіченням

У цій схемі при токах, менших певного значення (поки $U_t < U_{отс}$, де $U_{отс}$ - напруга відсічення), на вузол порівняння СУ надходить тільки вхідна напруга $U_{вх}$, і система являє собою звичайну разомкнуту систему. Із зростанням струму двигуна при збільшенні навантаження на його валу зростає напруга $U_t = IR_{доб}$. При $U_t > U_{отс}$ різниця напруги, т. Е. Сигнал зворотного зв'язку по струму $U_{i.д} = U_{д} - U_{i.дN}$, подаватиметься на вузол порівняння (різниця зворотного знака подаватися не може через вентиля Д). Поява напруги $U_{от}$ зменшить при незмінному $U_{вх}$ напруга $U_{д} = U_{аδ} - U_{i.д}$, що призведе до зниження напруги на тиристорному перетворювачі і швидкості двигуна.

Рівняння електричної рівноваги якірного ланцюга при роботі струмового зворотного зв'язку буде мати вигляд:

$$(U_{аδ} - U_{i.д})k_i = k\hat{O}_i\omega + IR_0. \quad (10.6)$$

Підставивши в це рівняння $U_{от}$ і $U_t = IR_{доб}$, після перетворень знайдемо рівняння електромеханічної характеристики двигуна в системі з струмового відсіченням при $I > I_{отс}$:

$$\omega = \frac{(U_{ex} + U_{omc})k_n}{k\Phi_n} - \frac{IR_0}{k\Phi_n} = (1 + \frac{R_{доб}}{R_0} k_n), \quad (10.7)$$

де $I_{отс} = U_{отс} / R_{доб}$ - струм відсічення.

Як видно, характеристика являє собою ділянку прямої лінії, що проходить через фіктивну точку, що лежить на осі швидкості:

$$\omega'_0 = (U_{ex} + U_{omc})k_n / (k\Phi_n), \quad (10.8)$$

і точку

$$I_{стоп} = \frac{(U_{ex} + U_{omc})k_n}{R_0(1 + \frac{R_{доб}}{R_0} k_n)}, \quad (10.9)$$

що лежить на осі струмів. $I_{стоп}$ - струм при швидкості, що дорівнює нулю, називається струмом стопорення.

Характеристика показана на малюнку 25.

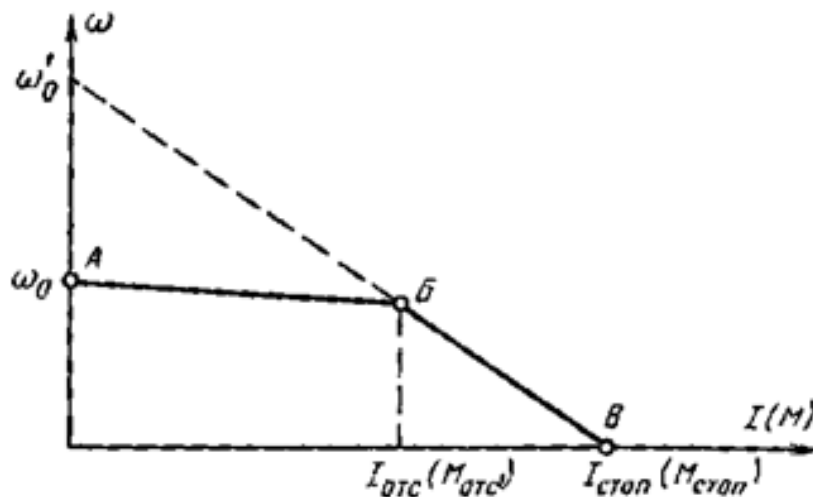


Рисунок 25 - Електромеханічна характеристика двигуна в системі з струмового відсіченням

На ділянці АБ струмовий відсічення не діє. На ділянці БВ діє струмове відсічення, і характеристика задовольняє рівняння (10.8). Зазвичай ток стопорення $I_{стоп}$ вибирають, виходячи з максимально допустимого значення струму якоря двигуна. Струм $I_{отс}$ вибирається залежно від бажаного нахилу характеристики. При відомих значеннях $I_{стоп}$ і $I_{отс}$ розраховується $R_{доб}$ для даної схеми. З виразу (10.9) після підстановки $U_{omc} = I_{отс} R_{доб}$ отримуємо:

$$R_{\text{дон}} = \frac{U_{\text{ex}} k_n - I_{\text{стоп}} R_0}{(I_{\text{стоп}} - I_{\text{омс}}) k_n}. \quad (10.10)$$

Потім визначається необхідну напругу порівняння:

$$U_{\text{омс}} = I_{\text{омс}} R_{\text{дон}}. \quad (10.11)$$

За допомогою струмового відсічення забезпечується надійне обмеження струму, якщо перетворювач може відразу зменшити вихідну напругу. Однак в випрямлячах з природною комутацією ток в проміжку між комутаційним інтервалом продовжує зростати. Внаслідок чого на початку струмообмеження завжди виникає стрибок струму. Тому в тиристорних електроприводах відсічення використовується тільки в таких випадках:

- невелика потужність;
- невисокі вимоги до якості регулювання;
- достатня індуктивність ланцюга якоря (сприяє обмеженню похідною струму і амплітуди його першого стрибка).

Обмеження завдання на струм - найбільш поширений спосіб струмообмеження, як з-за поширеності двоконтурних САР швидкості, так і з-за обмеження (хоча б в пускотормозних режимах) самої причини збільшення струму, тобто завдання на струм.

Допустимий момент двигуна зі зростанням швидкості зменшується, що характерно для високомоментних колекторних двигунів з постійними магнітами або для двигунів постійного струму. Вузол струмообмеження повинен забезпечити зміну рівня струмообмеження в функції швидкості. Для цього використовують схеми з опорною напругою (рис. 26).

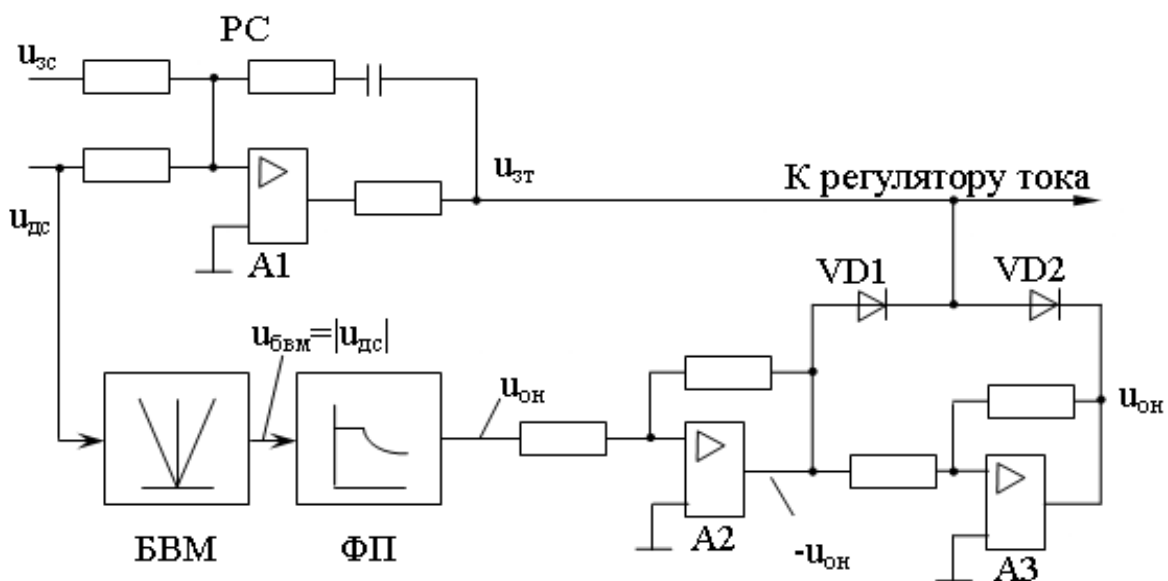


Рисунок 26 - Схема обмеження завдання на струм з опорною напругою

Функціональний перетворювач ФП формує опорна напруга u_{on} , яке залежить від швидкості, забезпечуючи моделювання залежності допустимого моменту від швидкості (рис. 27). Блок виділення модуля БВМ забезпечує можливість роботи схеми при будь-якому напрямку обертання.

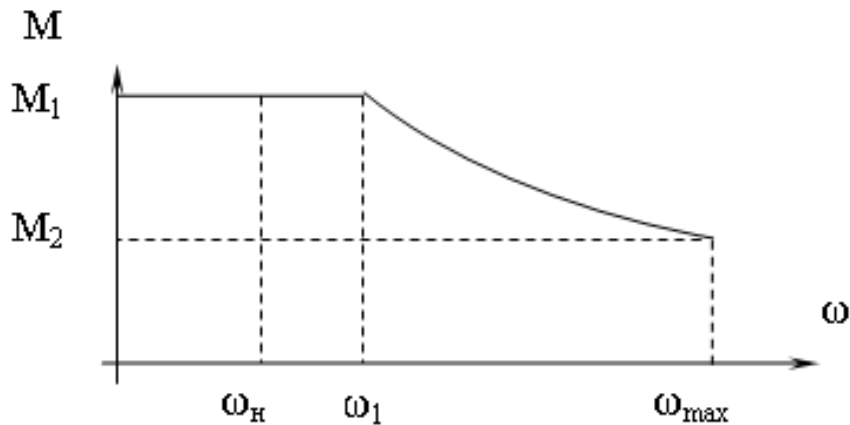


Рисунок 27 - Залежність допустимого моменту від швидкості

При використанні принципу випереджаючого струмообмеження вихідна напруга регулятора швидкості (РС) також обмежується, тільки в одноконтурних САР воно стає завданням не на ток, а на напругу перетворювача. Для забезпечення постійного струму в режимі струмообмеження напруга на якорі повинно залежати від швидкості:

$$U_{я} = E \pm I_m R_{я} = c\Phi\omega \pm I_m R_{я} . \quad (10.12)$$

Знак «+» відповідає режиму двигуна, а «-»- гальмівним режимам.

У вузлі струмообмеження опорна напруга повинне мати дві складові - незмінне U_0 (пропорційне $I_m R_{я}$) і змінне $U\omega$ (пропорційне швидкості $U\omega = E / k_p$):

$$u_{on} = u_{pcmax} = (c\Phi\omega \pm I_m R_{я}) / k_n , \quad (10.13)$$

де k_p - коефіцієнт передачі перетворювача енергії.

Найпростіша схема випереджаючого струмообмеження зображена на малюнку 28.

У процесі пуску якраз змінна складова опорного напруги забезпечує лінійне зростання якорного напруги в функції швидкості і часу. Покращені схеми струмообмеження можна отримати шляхом використання операційного підсилувача як джерела опорного напруги.

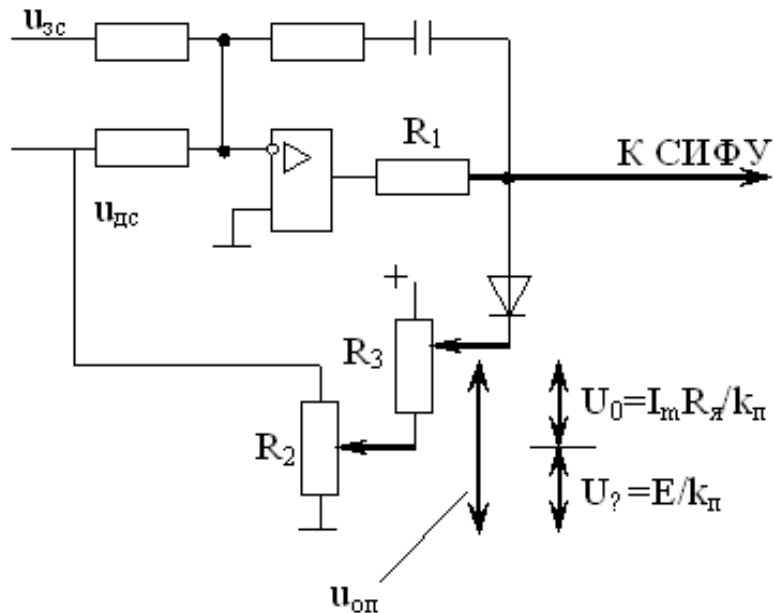


Рисунок 28 - Схема випереджального струмообмеження

Іноді для зменшення перегріву двигуна при тривалих перевантаженнях тривалість перебування схеми струмообмеження в режимі обмеження контролюють, а після, якщо причина перевантаження не зникла, рівень обмеження автоматично знижують.

10.4 Трифазні комплектні електроприводи ЕТУ2 (ЕПУ2)

Комплектні тиристорні електроприводи постійного струму ЕТУ2 (ЕПУ2) призначені для верстатів з ЧПУ. Ці серії - найбільш популярні у вітчизняній машинобудівній галузі. Електропривод ЕТУ2 (ТОВ «ЕТАЛ», м.Олександрія) - фактично аналог ЕПУ2 (м Чебоксари). Обидві серії мають практично ідентичні принципові схеми і відрізняються тільки деякими конструктивними особливостями. Електроприводи випускаються на струми від 25 до 630 А (ЕТУ2 - до 100 А). Харчуються вони від мережі змінного струму 380 В через трансформатор (для номінальних вихідних напруг 115, 230 В) або комутуючий дросель (для напруги 460 В).

Класифікація серій по критеріям:

1 Наявність реверсу:

- а) нереверсивні;
- б) реверсивні (по якоря).

2 За призначенням:

- а) для механізмів головного приводу верстатів з ЧПУ;
- б) для механізмів подач верстатів з ЧПУ;
- в) для допоміжних приводів.

3 За структурою САР:

а) Однозонна системи автоматичного регулювання швидкості для високомоментних двигунів з постійними магнітами (діапазон регулювання швидкості 10 000);

б) Однозонна системи автоматичного регулювання швидкості для двигунів з електромагнітним збудженням (діапазон регулювання швидкості 1 000);

в) Однозонна системи автоматичного регулювання ЕРС або напруги якоря (діапазон регулювання швидкості 20);

г) двозонні системи автоматичного регулювання швидкості (діапазон регулювання швидкості 1 000).

Силова частина якірних випрямлячів виконана за трифазною мостовою схемою, збудження - однофазної мостової. Реалізована на тиристорних модулях МТТ, МТТ2, оптронні тиристорних модулях МТО або тиристорах серії Т. Охолодження - природне повітряне або примусове (для струмів від 100 А).

Управління реверсивними випрямлячами роздільне. СІФУ вертикального типу з пилкоподібним опорною напругою. Структурні модифікації максимально уніфіковані за структурою і елементній базі.

На малюнку 29 зображено функціональна схема двухзонной системи автоматичного регулювання швидкості, яка використовується в механізмах головного руху верстатів з ЧПУ. Логічне Плазуни пристрій ЛПУ забезпечує роздільне регулювання випрямлячем за інформацією про знак заданого струму і положенню тиристорів (від датчика положення тиристорів). Він перемикає в міру необхідності канали СІФУ і змінює знак коефіцієнта передачі перемикача характеристик ПХ.

Контур регулювання струму якоря створюється подачею сигналів від датчика струму якоря до входу СІФУ. Вхідний підсилювач СІФУ виконує роль пропорційного регулятора струму, коефіцієнт передачі якого регулюється зміною інтенсивності зворотного зв'язку по струму. Для забезпечення якості регулювання використана позитивний зворотний зв'язок по напрузі якоря (через функціональний перетворювач ЕРС ФПЕ), який компенсує негативний зворотний зв'язок по ЕРС в двигуні (в однозонних електроприводах замість напруги якоря використовують сигнал тахогенератора).

Нелінійне ланка НЗ компенсує негативний вплив переривчастих струмів, т. К. Має статичну характеристику, зворотну характеристиці замкнутого контуру струму в цьому режимі. Нелінійна характеристика ФПЕ компенсує нелінійний косинусоїдальної характер регулювальної характеристики випрямляча (через пилкоподібної форми опорного напруги). Вузол залежного струмообмеження призначений для зменшення рівня струмообмеження в другій зоні регулювання за швидкостями, близькими до максимальних.

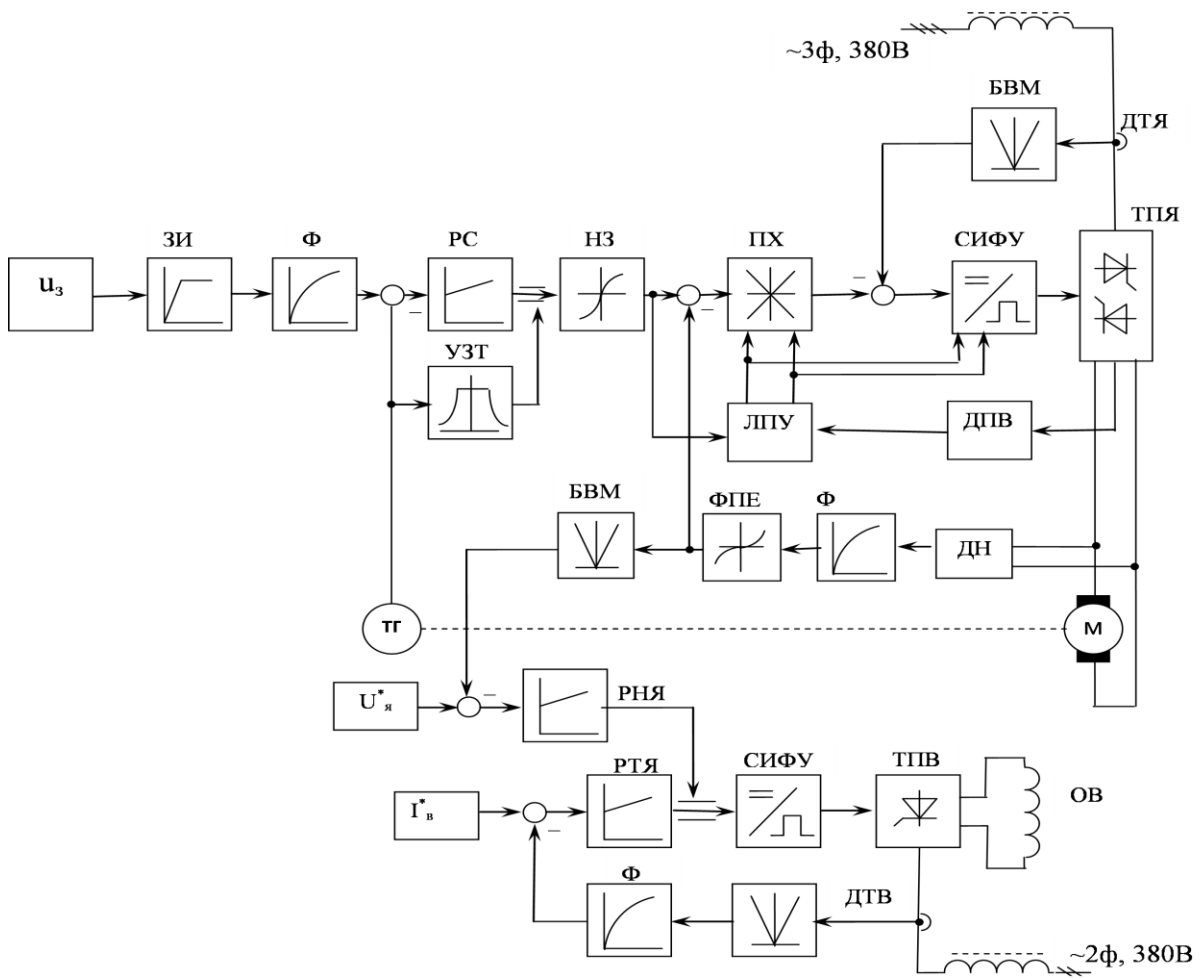


Рисунок 29 - Функціональна схема реверсивного двухзонного электроприводу ЦЮ-2 (ЕПП-2)

Схема регулювання потоку - одноконтурна, з насиченням регулятора струму збудження РТВ. У другій зоні регулятор напруги рня, виходячи з насичення, обмежує сигнал РТВ, знижуючи струм збудження.

10.5 Перетворювачі постійного струму SIMOREG DC MASTER

Сімейство SIMOREG DC MASTER (фірма SIEMENS) включає в себе всі можливі варіанти: від 6,3 до 2 000 кВт, для живлення якоря і обмотки збудження і для одно / двох або чотирьоквadrантний роботи. Дані приводи мають високі динамічні характеристики: час наростання струму або моменту значно менше 10 мс.

Перетворювачі SIMOREG є повністю цифровими компактними модулями з трифазним живленням, призначеними для харчування якоря і обмотки збудження двигунів постійного струму з регульованою швидкістю і

з номінальним струмом якоря в діапазоні від 15 А до 2000 А. Максимальне значення струму для живлення кіл збудження дорівнює 40 А.

Всі функції регулювання з замкнутої і розімкнутої зворотним зв'язком, а також функції зв'язку виконуються за допомогою двох потужних мікропроцесорів. Функції управління двигуном застосовані в програмі як програмні модулі, яким можна задавати параметри.

Найбільш важливі характеристики:

- повна інтеграція в будь-яку систему автоматизації;
- можливість модульного розширення;
- відмовостійкі конфігурації до 15 000 А завдяки інтелектуальному паралельному підключенню;
- діапазон живлячих напруг від 400 В до 950 В;
- швидкий і легкий запуск системи завдяки електронній налаштуванню всіх параметрів;
- єдина філософія управління.

На малюнку 30 зображено розташування необхідних компонентів для правильної роботи перетворювача:

1 - комутаційний дросель в ланцюзі збудження (вибирається виходячи з номінального струму збудження двигуна);

2 - комутаційний дросель в ланцюзі якоря (вибирається виходячи з номінального струму якоря двигуна (мережевий струм дорівнює DC току $\times 0,82$);

3 - фільтр для ланцюга збудження і джерела живлення електроніки (вибирається виходячи з номінального струму збудження двигуна плюс 1,1 А);

4 - фільтр для ланцюга якоря (вибирається виходячи з номінального струму якоря двигуна, мережевий струм дорівнює DC току $\times 0,82$);

5 - фільтр для джерела живлення електроніки вибирається на 2А.

Залежно від використання перетворювачі можуть працювати в нереверсивного або в реверсивному режимі. Перетворювачі автономні завдяки інтегрованій системі настройки параметрів і не вимагають додаткових пристроїв для параметрування. Всі функції управління і регулювання, а також контрольні та допоміжні функції виконуються під управлінням однієї мікропроцесорної системи. Введення заданого і поточного значення може проводитися за вибором в цифровому або в аналоговому вигляді.

Процедура параметрування. Параметрування - це процес зміни установок значень (параметрів) за допомогою панелі оператора, активування функцій перетворювача або відтворення виміряних значень.

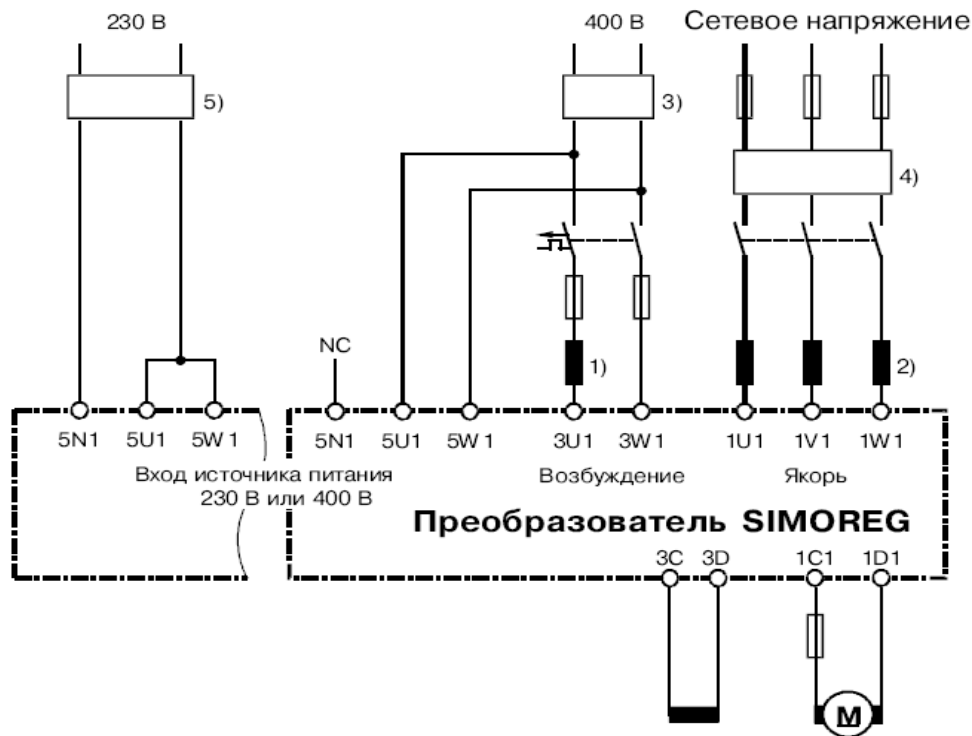


Рисунок 30 - Розташування компонентів для перетворювачів SIMOREG

Параметри для основного перетворювача називаються P-, r-, U- або n-параметрами.

Параметри для опціональної додаткової плати називаються H-, d-, L- або c-параметрами.

Параметри основного блоку відображаються на PMU першими, потім - параметри технологічної плати (якщо така встановлена). Важливо не плутати параметри опціональною технологічної програми S00 основного модуля з параметрами опціональною додаткової плати (T100, T300 або T400).

Типи параметрів:

1 Параметри відображення використовуються для відображення поточних величин, таких як основне завдання, напруга якоря, різниця між заданим / дійсним значенням регулятора швидкості і т. д. Значення параметрів відображення призначені тільки для читання і не можуть бути змінені.

2 параметри настройки використовуються як для відображення, так і для зміни величин, таких як номінальний струм двигуна, тепла стала часу двигуна, коефіцієнт передачі P регулятора швидкості і т. д.

3 індексовані параметри використовуються як для відображення, так і для зміни значень параметрів, які цілком присвоєні одному номеру параметра.

Функціональні блоки нафункціональних схемах виконані в цифровому вигляді, але можуть «читатися» як схеми з аналоговими елементами.

Всі вихідні змінні і важливі обчислені величини в межах функціональних блоків доступні у вигляді конекторів (наприклад, для подальшої обробки як вхідні сигнали для інших функціональних блоків). Величини, доступні через коннектори, відповідають вихідним сигналам або точкам вимірів в аналоговій схемі і ідентифікуються їх номерами конекторів (наприклад, K0003 = коннектор 3).

Всі вихідні цифрові величини і важливі вихідні виконавчі сигнали функціональних блоків доступні як бінектори (коннектори для бінарних сигналів). Бінектори можуть приймати значення лог. "0" і лог. "1". Величини, доступні через бінектори, відповідають вихідним сигналам або точкам вимірів в цифровій схемі і ідентифіковані їх номерами бінекторів (наприклад, B0003 = бінектор 3).

На малюнку 31 зображено функціональна схема управління перетворювачем Simoreg.

Система управління по каналу якорного ланцюга являє собою замкнуту двоконтурну систему регулювання. Перший контур - контур регулювання струму якоря зі зворотним зв'язком по струму якоря. Зворотній зв'язок по току здійснюється шляхом з'єднання конектора K117 з негативним входом регулятора струму P602. Сигнал завдання на регулятор струму приходить через коннектор K120 з блоку обмеження завдання на регулятор струму. Постійна часу РТ задається в параметрі P156 (ТРП = 0,05 с), коефіцієнт пропорційної частини задається в параметрі P155 (Крт = 0,03). Другий контур - контур регулювання швидкості. Вихідний сигнал з регулятора швидкості є завданням регулятора струму і подається на блок обмеження струму якоря за допомогою з'єднання конектора K160 з P601.03, K160 - вихід РС. У блоці обмеження струму якоря реалізується обмеження завдання на РТ за допомогою параметрів P603.07 = 100% (обмеження max), P604.07 = - 100% (обмеження min). Як РС використовується регулятор швидкості з заданим статизмом, завдання статичної помилки здійснюється в параметрі P227 = 3%, постійна часу РС задається в параметрі P226 (ТРС = 0,6 с), коефіцієнт пропорційної частини задається в параметрі P225 (ВРХ = 4,0). Завдання на РС задається за допомогою бездротової технології конектора K165 з параметром P620. На вході РС встановлений суммируючий елемент для підсумовування сигналу завдання швидкості P622, сигналу негативного зворотного зв'язку по швидкості P623, сигналу статичної помилки P621. завдання статичної помилки здійснюється в параметрі P227 = 3%, постійна часу РС задається в параметрі P226 (ТРС = 0,6 с), коефіцієнт про-

порційної частини задається в параметрі P225 ($BPX = 4,0$). Завдання на РС задається за допомогою бездротової технології коннектора K165 з параметром P620. На вході РС встановлений суммируючий елемент для підсумовування сигналу завдання швидкості P622, сигналу негативного зворотного зв'язку по швидкості P623, сигналу статичної помилки P621.

Завдання швидкості здійснюється в параметрі $P402 = 25\%$ (установче значення), потім сигнал завдання швидкості подається на задатчик інтенсивності, в якому встановлюється час розгону T_r P303, час гальмування T_t P304, а також обмеження сигналу завдання швидкості P300 (обмеження \min значення), P301 (обмеження \max значення).

Вихід ЗІ (коннектор К170) з'єднується з Р625 входом фільтра прямого каналу, в блоці Р228 встановлюється постійна часу фільтра Т ф. Вихід фільтра (коннектор К174) заводиться на Р622 підсумовує елемента РС.

Сигнал зворотного зв'язку по швидкості розраховується програмно, т. К. Виключається датчик швидкості. Для отримання значення швидкості математичним шляхом використовується співвідношення, де ЕДВ - ЕРС двигуна (коннектор К287):

$$\omega = \frac{E_{ДВ}}{k\Phi}, \quad (10.14)$$

де Φ - потік двигуна (коннектор К9121);

k - конструктивна стала двигуна (при розрахунку не використовується).

Значення швидкості обчислюється в результаті поділу в блоці U145 (.03, .04) значення ЕРС на потік. Отримане значення швидкості через коннектор К9142 заводиться на блок обчислення середнього значення U172.01, де в параметрі U173.01 задається число циклів усереднення N. Обчислення середнього значення швидкості дозволяє знизити розраховані коливання швидкості, викликані при розподілі на потік в зоні навантаження, т. К. в цьому режимі робоча точка потоку знаходиться внизу кривої намагнічування і наближається до залишковим потоку, а також стає дуже чутливою до зміни струму збудження. У параметрі P083 = 4 встановлюється внутрішній зворотний зв'язок по швидкості без датчика швидкості. Через з'єднання коннектора К167 з Р626 сигнал зворотного зв'язку подається на вхід фільтра зворотного каналу, в параметрі Р200 встановлюється постійна часу фільтра,

Ослаблення потоку двигуна здійснюється двухконтурной замкнутою системою. Внутрішній контур - контур регулювання струму збудження. Контур регулювання струму збудження має ПІ-регулятор струму збудження з негативним зворотним зв'язком по струму збудження (К266 - зворотний зв'язок по току збудження). Завдання на РТВ подається через коннектор К275 від блоку обмеження сигналу завдання на струм збудження. Постійна часу РТВ задається в параметрі Р256 (Тртв = 1,0 с), коефіцієнт пропорційної частини задається в параметрі Р255 (Кртв = 3,0). У блоці обмеження встановлене максимальне значення струму збудження Р102 = 1 А і мінімальне значення Р103 = 0 А. Завдання на БО РТВ надходить із зовнішнього контуру - контуру регулювання потоку через з'єднання коннектора К9304 і Р611.01.

Регулятор потоку являє собою І-регулятор, постійна часу інтегрування задається в блоці U539 Ти = 5,0 с, в блоці U540 = 0 задається заборона на роботу пропорційної частини, в U541 = 1 задається дозвіл на роботу інтегральної частини. Завдання потоку встановлюється в блоці Р403 =

100%. Завдання 100% потоку забезпечує безпечний пуск двигуна при повному потоці. Ослаблення потоку здійснюється задатчиком інтенсивності потоку, на вхід якого через з'єднання коннектора K2002 і P461.01 подається необхідна величина ослаблення потоку в відносних одиницях, де K2002 - величина ослаблення потоку в відносних одиницях. У блоці P471, шляхом підключення на нього логічної 1 (B0001), встановлюється автоматичний режим роботи ЗІ. У P467 = 0% встановлюється початкове значення. У блоці P462 - час розгону Трп, P463 - гальмування ТТП. Після цього в U135 сигнал завдання на ослаблення інвертується і в суммируючому елементі U122 складається із завданням потоку. На негативний вхід U122 подається сигнал зворотного зв'язку по потоку. При оптимізації контура регулювання струму збудження перетворювач розраховує залежність $\Phi = f(I_b)$ (крива намагнічування двигуна) по 20 точкам в параметрах P120-P139. Значення потоку збудження береться з розрахункової кривої намагнічування і використовується як сигнал зворотного зв'язку по потоку.

Слабким місцем даної системи є те, що крім основних параметрів двигуна необхідно знати величину залишкового потоку двигуна $\Phi_{ост}$.

11 АВТОМАТИЗОВАНЕ ЕЛЕКТРОПРИВІД змінного струму

11.1 Статичні перетворювачі частоти

Базовими елементами асинхронного частотно-регульованого електроприводу є керований перетворювач частоти ПЧ, який живиться від промислової мережі напругою U_c і частотою f_c , і асинхронний двигун АД, який живиться від ПЧ (рисунок 32).

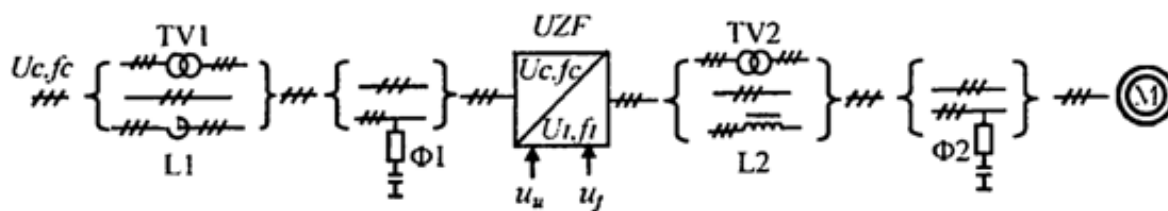


Рисунок 32 - Склад силової частини системи ПЧ-АД

При необхідності узгодження потужності і вхідних напруг харчування власне ПЧ з мережею, між ними може встановлюватися узгоджувальний трансформатор $TV1$. Для обмеження струмів короткого замикання і перенапруги на вході ПЧ можуть встановлюватися токоограничуючі реактори $L1$ і додаткові RC - фільтри $\Phi1$. При необхідності узгодження вихідної напруги ПЧ і ланцюги харчування M (наприклад, для високовольтих електричних машин) між ними можуть встановлюватися погоджують

трансформатори TV2. При значній відстані двигуна від перетворювача (при довжині кабельного зв'язку між ними більш 50 м, А для ряду перетворювачів допускається і більш 200 м) На виході ПЧ для обмеження від перенапруг на його силових напівпровідникових елементах встановлюються фільтруючі дроселі L2, а також помехоподавляючі RC - фільтри Ф2.

Вихідні частота f_1 і фазну напругу U_1 (або струм I_1) ПЧ визначаються, відповідно, сигналами управління u_i і u_f . Регулювання частоти f_1 і напруги U_1 (або струму I_1) забезпечує регулювання основних координат АД (струму, електромагнітного моменту M , кутової швидкості ω).

Найбільшого поширення набули дві групи керованих напівпровідникових ПЧ:

1 Перетворювачі з ланкою постійного струму і автономним інвертором АІ (інвертором напруги АІН або струму RТА)

2 Перетворювачі з безпосереднім зв'язком мережі живлення і навантаження (без широтно-імпульсної модуляції вихідного напруги)

Перетворювач по системі ПЧ-АІ складається з трьох силових блоків: керованого або некерованого випрямляча UZ1, силового фільтра Ф (С- або LC-типу) в ланці постійного струму і автономного інвертора UZ2.

АІ може бути виконаний або на основі одноопераційних тиристорів зі штучною їх комутацією, або замикаються (GTO) тиристорах, або на повністю керованих силових транзисторах (найчастіше на базі IGBT-модулів, що містять транзистор з ізольованим затвором і шунтуючий його силовий діод).

АІН є джерелом напруги. Завдяки ємності С фільтра Ф і зворотним діодам VT1-VT6, при роботі АІН на активно-індуктивне навантаження, до числа якої належить АТ, забезпечується обмін реактивною енергією між АТ і ланкою постійного струму. Вони забезпечують безперервність ланцюга струму в обмотках М при відключенні їх від джерела живлення в процесі комутації та повернення запасеної магнітної енергії в конденсатор фільтра.

Вихідна напруга АІН може регулюватися двома способами:

1) при керованому випрямлячі UZ1 - зміною напруги в ланці постійного струму, коли інвертору відводиться роль лише комутатора фаз, що формує необхідну частоту (АІН з амплітудно-імпульсною модуляцією АІМ);

2) при некерованому випрямлячі - широтно-імпульсним регулюванням напруги в інвертор за рахунок модуляції напруги несучої частоти (частоти комутації силових ключів) сигналом необхідної частоти (АІН з широтно-імпульсною модуляцією ШІМ).

У ПЧ з АІН відсутня рекуперація енергії в живильну мережу. При необхідності повернення енергії в мережу живлення випрямляч повинен бути реверсивним і керованим (на рис. 33 зображено пунктиром). При відсутності подібного випрямляча для забезпечення режиму динамічного гальмування АД паралельно фільтру Ф встановлюється вузол скидання енергії на основі ключа VT7 і силового резистора R. При перевищенні до-

пустимого напруги на виході фільтра ключ відкривається і забезпечує розряд конденсатора на резистор R.

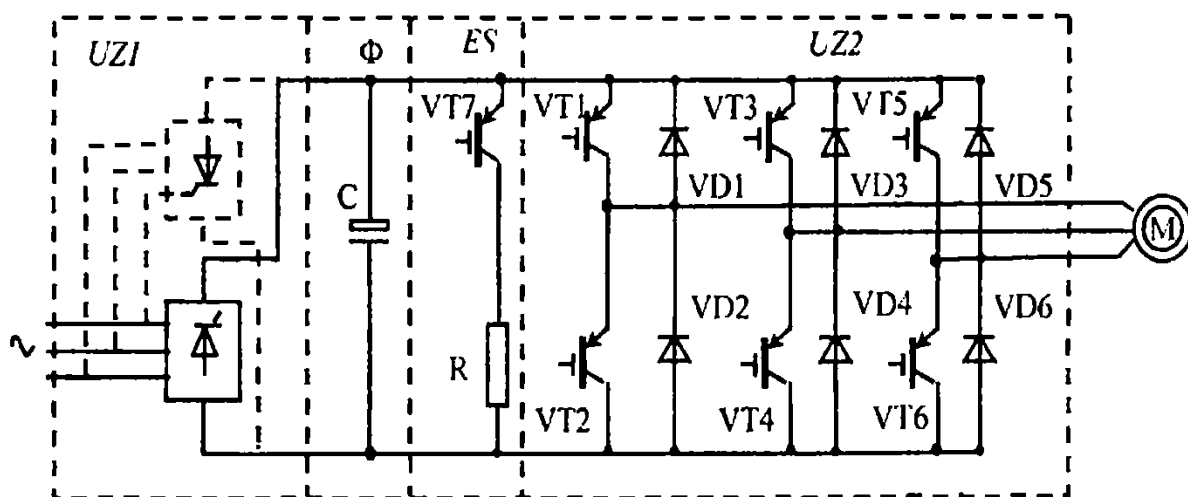


Рисунок 33 - Склад силової частини системи ПЧ-АІ

У ПЧ з АІТ (рисунок 34) керований перетворювач UZ1 працює в режимі джерела струму, інвертор UZ2 забезпечує комутацію обмоток статора АД силовими ключами VT1-VT6. Головна технічна відмінність ПЧ з АІТ від ПЧ з АІН в наявності індуктивного L-фільтра і відсутності ємнісного фільтра на виході випрямляча, відсутності зворотних діодів, шунтуючих силові ключі, і наявності конденсаторів C1, C2, C3 на виході інвертора, що є джерелом реактивної енергії для навантаження перетворювача частоти.

При переході АТ в генераторний режим змінюється напрямок його ЕРС, і інвертор, який переходить в режим випрямляча, прагне збільшити струм I_d в ланці постійного струму. Однак за рахунок негативного зворотного зв'язку по струму I_d перетворювач UZ1 переводиться в режим інвертора, веденого мережею, зберігаючи колишній напрям і значення I_d і забезпечуючи тим самим режим рекуперативного гальмування АД.

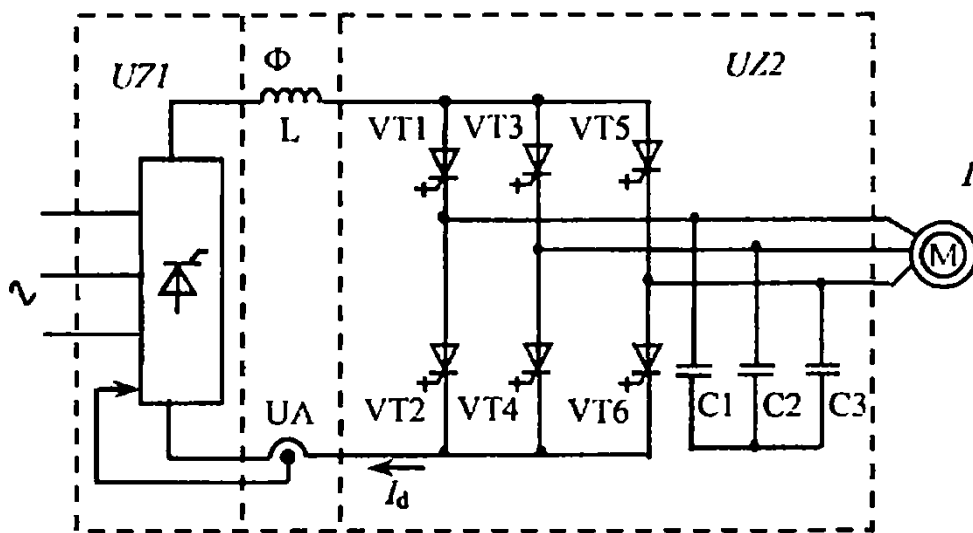


Рисунок 34 - Схема силової частини АИТ

До переваг перетворювачів по системі ПЧ-АІ відносяться:

- високий діапазон частот вихідної напруги АІН (практично від 0 до 1 500 Гц), що обмежується лише частотою комутації і комутаційними втратами в силових ключах автономного інвертора (для АІТ максимальна вихідна частота 100 ... 125 Гц);
- низький рівень гармонійних складових напруги або струму статора двигуна і струму, споживаного з мережі живлення;
- високий коефіцієнт потужності (до 0,95 ... 0,98) в перетворювачах з некерованим випрямлячем. У разі застосування керованого випрямляча коефіцієнт потужності менше і близький коефіцієнту в системах «тиристорний перетворювач - двигун постійного струму»;
- відносно невелике число силових ключів перетворювача і простіша схема їх управління, яка не потребує синхронізації з мережею живлення;
- для АІТ можливість рекуперації енергії в мережу і безаварійність режиму короткого замикання по виходу.

До недоліків подібних перетворювачів слід віднести:

- дворазове перетворення енергії (з змінної напруги мережі живлення на постійне випрямляча, а потім з постійного - на змінне вихідна напруга інвертора), що знижує результуючий ККД перетворювача частоти (до 0,94 ... 0,96);
- залежність (для тиристорних ключів АІ) умов їх штучної комутації від $\cos\phi$ і рівня навантаження двигуна;
- для АІН відсутність повернення енергії в живильну мережу перетворювача, що обмежує швидкодію регулювання швидкості АД в гальмівних режимах; високі необхідні значення ємності фільтра Φ і, відповідно, великі габарити конденсаторної батареї;
- для АІТ неможливість роботи на групову навантаження, суттєві маса і габарити реактора фільтра Φ , наявність комутаційних перенапруг на

силових ключах, нижчий $\cos\phi$ в порівнянні з АІН з ШІМ і некерованим вхідним випрямлячем.

Основу ПЧНС (рисунок 35) складають керовані реверсивні випрямлячі в кожній з фаз АД. Силowymi ключами випрямлячів $K_{1.1} \dots K_{3.3}$ можуть бути зустрічно включені тиристори VS , замикаються (GTO) тиристори або повністю керовані силові транзистори VT (IGBT-модулі).

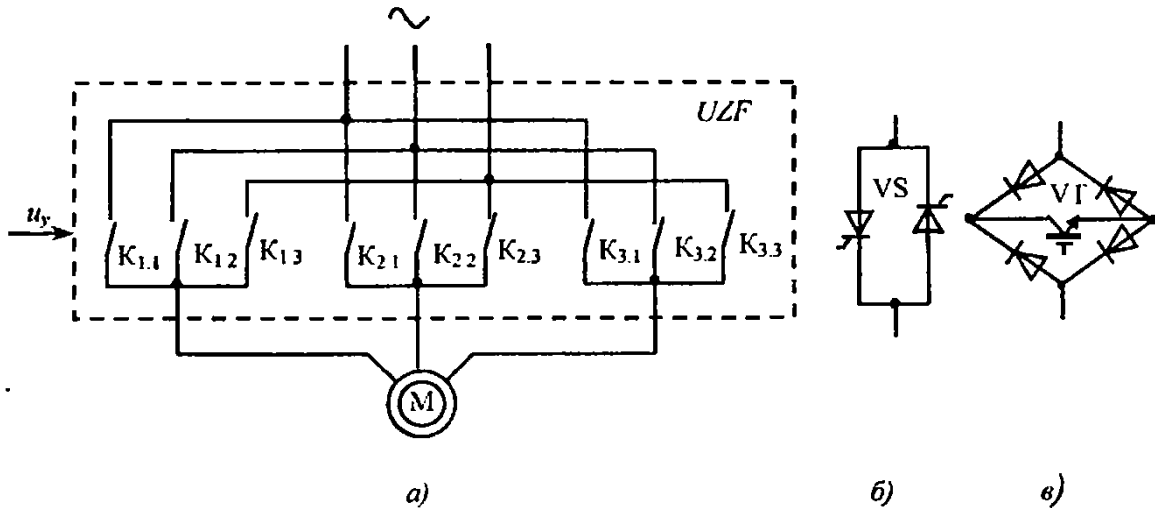


Рисунок 35 - Схема силової частини ПЧНС (а), варіанти його силових ключів (б, в)

Формування вихідної напруги або струму ПЧНС проводиться з відрізків кривих напруги живильної мережі за рахунок циклічного підключення навантаження на певні інтервали часу до різних фаз мережі живлення.

Для тиристорних ключів ПЧНС, впливаючи сигналами управління u_y на рівень і частоту зміни кутів управління випрямлячів так, щоб середні за напівперіод живлячої мережі значення напруг випрямлячів U змінювалися протягом напівперіоду вихідної напруги за синусоїдальним законом, можна регулювати амплітуду і частоту їх середніх вихідних напруг. При повністю керованих ключах можлива широтно-імпульсна модуляція вихідної напруги або струму (при наявності зворотного зв'язку по струму) кожного з випрямлячів.

До переваг ПЧНС відносяться:

- одноразове перетворення енергії і, отже, високий ККД ($\approx 0,95 \dots 0,97$);
- реверсивний режим роботи випрямлячів і, відповідно, вільний обмін реактивною і активною енергією з мережі до електричної машини і назад;
- для одноопераційних тиристорів природний режим комутації за рахунок напруги мережі живлення, що підвищує надійність роботи;
- стійкий режим роботи на навантаження з будь-яким $\cos\phi$;
- можливість реалізації досить низьких частот вихідної напруги.

До недоліків слід віднести:

- погіршення форми вихідної напруги при збільшенні частоти, обмеження верхнього діапазону частоти вихідної напруги;
- порівняно велика кількість силових напівпровідникових елементів і для одноопераційних тиристорів необхідність жорсткої синхронізації схеми управління ними з мережею живлення;
- низький (порівняно з АІН) коефіцієнт потужності, і особливо при зменшенні амплітуди вихідної напруги перетворювача в області малих частот.

11.2 Принципи побудови систем управління двигуном змінного струму

Відповідно до векторними діаграмами і співвідношеннями між основними змінними АТ [2] його електромеханічні властивості при фіксованій частоті харчування однозначно визначаються як абсолютними значеннями магнітних потоків, поточкозчеплення і струмів ланцюгів машини, так і їх векторними взаємозв'язками в функції абсолютного ковзання АД. Звідси і різні принципи управління АТ: скалярний, при якому здійснюється регулювання лише абсолютних значень змінних АТ, і векторний, при якому одночасно здійснюється примусова взаємна орієнтація векторів змінних АТ відповідно до прийнятого закону управління. При цьому керованість АТ може забезпечуватися спільним регулюванням або частоти f_1 і напруги U_1 , або частоти f_1 і струму I_1 обмотки статора. Перший спосіб управління прийнято трактувати як частотне управління,

Скалярний принцип частотного управління є найбільш поширеним в електроприводі. Йому властива технічна простота вимірювання і регулювання абсолютних значень змінних АТ. Однак реалізація бажаних законів регулювання швидкості і моменту АД, їх стабілізація і обмеження, при яких забезпечувалося б сталість або обмеження в допустимих межах внутрішніх змінних АТ (струмів статора, їх поточкозчеплення, основного магнітного потоку), через складні функціональні залежності між ними вельми обмежена. І якщо в статичних режимах за рахунок комбінацій зворотних зв'язків по змінним АТ в замкнених системах частотного регулювання і можна добитися бажаних або близьких до них властивостей електроприводу, то в динамічних режимах ця задача важко здійсненна. Пов'язано це з дуже складними електромагнітними процесами.

При будь-яких динамічних збуреннях в АТ відбувається взаємне зміна струмів і пов'язаних з ними магнітних потоків машини. При цьому швидкість зміни магнітних потоків помітно відстає від темпу зміни струмів АД. В результаті в перехідному процесі не тільки порушується взаємозв'язок абсолютних значень струмів і потоків, а й виникає фазовий зсув між їх векторами. Оскільки і абсолютні і взаємні фазові зрушення век-

торів струмів і потоків ланцюгів статора і ротора змінюються одночасно, то при наявності взаємопов'язані ланки, що містять електромагнітні постійні часу ланцюгів статора, контуру намагнічування, ротора і механічну постійну часу ротора, зміна змінних АТ в часі буде носити загасяючий коливальний характер. Період коливань і коефіцієнт їх демпфірування залежить від співвідношень постійних часу і абсолютного ковзання АД. Після закінчення перехідного процесу абсолютні значення струмів і потоків і фазові зрушення між їх векторами взаємно визначаються в просторі і визначаються вже відповідно до заданого сталим режимом роботи АТ.

Скалярний частотно-струмове управління АТ характеризується малим критичним ковзанням і постійністю критичного моменту при сталості АТ струму і зміні його частоти. Однак в розімкнутих системах подібне управління практично виключено, оскільки зі збільшенням навантаження (ковзання) різко падає магнітний потік АД і для забезпечення бажаних перевантажувальних здібностей АТ по моменту потрібно помітне перевищення номінальних значень напруг живлення і струму статора.

Векторний принцип управління базується на примусовій взаємній орієнтації векторів потокозчеплення і струмів АД в полярній або декартовій системах координат відповідно до заданого законом регулювання. У замкнених системах векторного регулювання по ланцюгах зворотних зв'язків поряд з абсолютними значеннями регульованих змінних надходить інформація про поточний просторовому положенні їх векторів. За рахунок регулювання модулів змінних і кутів між їх векторами забезпечується повне управління АТ, як в статиці, так і динаміці, забезпечуючи тим самим помітне поліпшення якості перехідних процесів в порівнянні зі скалярним керуванням.

Інформація про поточні значення модуля і просторового положення векторів змінних АТ може бути отримана як прямим їх виміром, за допомогою відповідних датчиків, так і побічно, на основі математичної моделі АД.

При векторному керуванні регулювання електромагнітного моменту АД може здійснюватися формуванням миттєвих значень, як напружений, так і струмів в обмотках статора. Варіант частотно-струмового векторного управління є найбільш поширеним, оскільки при регулюванні струму забезпечується регулювання моменту незалежного від частоти харчування АД, що спрощує схему управління, а також одночасно досить просто забезпечується обмеження перегріву двигуна. При цьому напруга на обмотках статора АД утворюється автоматично в залежності від його режиму роботи.

Діапазон регулювання розімкнутих систем частотного управління обмежений неточністю реалізації ФП, а також зростанням головного потоку зі зменшенням навантаження і частоти. Тому такі системи працездатні тільки в обмеженому діапазоні регулювання швидкістю і при практично незмінному навантаженні. Таким чином, при скалярному управлінні для

регулювання швидкості АД з високою точністю при помітній зміні моменту навантаження на його валу необхідно застосовувати замкнуту систему управління.

В асинхронних частотно-регульованих електроприводах застосовуються як аналогові, так і цифрові системи управління. Їх вибір обґрунтовується техніко-економічними показниками та експлуатаційними міркуваннями. У найбільш досконалих електроприводах, які вирізняються високими показниками регулювання, системи управління виконуються на основі пристроїв мікропроцесорної техніки, де алгоритми управління реалізуються програмним шляхом. При цьому функції регуляторів і для цифрових, і для аналогових систем управління аналогічні.

11.3 Скалярні системи частотного управління

При скалярному управлінні за певним законом змінюють амплітуду і частоту прикладеної до двигуна напруги. Зміна частоти напруги живлення призводить до відхилення від розрахункових значень максимального і пускового моментів двигуна, ККД, коефіцієнта потужності. Тому для підтримки необхідних робочих характеристик двигуна необхідно зі зміною частоти одночасно відповідно змінювати і амплітуду напруги.

Скалярний управління знаходить застосування в приводах з неглибоким регулюванням швидкості і невисокими вимогами до динамічними показниками. Це, перш за все, механізми, які працюють в тривалому режимі S1 (конвеєри, транспортери, вентилятори), і різноманітні допоміжні механізми (рольганги прокатних станів, підйомні крани, лебідки). У таких системах зазвичай використовують автономні інвертори з амплітудною модуляцією.

Розірвані системи частотного управління. Найпростіші системи частотного управління - розімкнуті. На малюнку 36 зображено функціо-

нальна схема, яка реалізує закон управління $\frac{U_1}{f_1} = const$. З рівняння видно,

що для забезпечення незмінного критичного моменту одночасно зі зміною частоти необхідно змінювати і напруга.

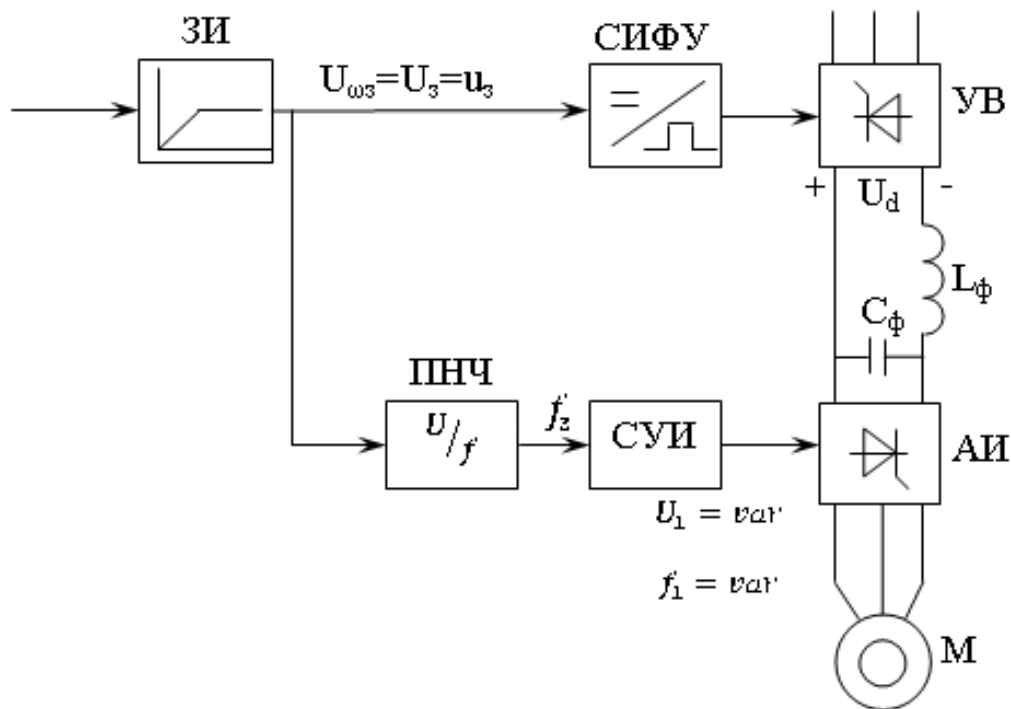


Рисунок 36 -Розімкнута система частотного управління

співвідношення $\frac{U_1}{f_1}$ стабілізується завдяки тому, що канал регулювання амплітуди напруги (керований випрямляч УВ) і канал регулювання частоти (автономний інвертор АІ) отримують однакове завдання (перший - у вигляді аналогового сигналу задається напруги U_3 , другий - серією імпульсів, частота яких f_c пропорційна напрузі). Перетворення аналогового сигналу на послідовність імпульсів здійснюється перетворювачем «напруга - частота» ПНЧ. Задатчик інтенсивності ЗІ забезпечує плавний пуск і гальмування.

Коефіцієнт пропорційності між напругою і частотою (т. Е. Коефіцієнт передачі ПНЧ)

$$k_{uf} = \frac{f_{1f}}{U_{1f}} \cdot (11.1)$$

Для реверсу електроприводу необхідне введення спеціального вузла, який в залежності від знака завдання на швидкість змінює порядок перемикання ключів АІ.

При вентиляторної навантаженні, а також для механізмів з важким пуском необхідно забезпечення закону управління близькому до сталості $\frac{U_1}{f_1^2}$. У розімкнутій системі закон може бути реалізований додаванням в канал регулювання амплітуди функціонального перетворювача ФП (рису-

нок 37), який відображає певні залежності між напругою живлення і частотою. У подібних системах закон частотного регулювання реалізується параметрично, без безпосереднього контролю ЕРС або потоку.

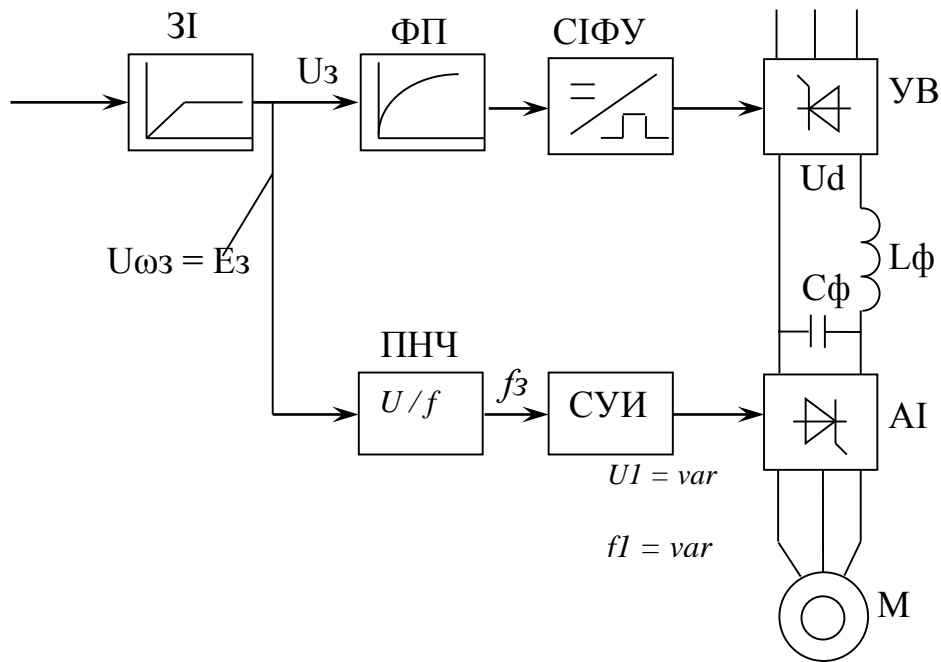


Рисунок 37 -Разомкнута система частотного регулювання з функціональним перетворювачем

Статичну характеристику ФП для закону залежності напруги живлення від відповідної ЕРС або пропорційної їй частоти можна отримати двома методами: 1) числовим розрахунком такого напруження, яке забезпечує незмінне співвідношення ЕРС до частоти при будь-якій частоті, і 2) аналітично.

На малюнку 38 представлена система скалярного керування зі зворотним зв'язком по струму статора. Тут сигнали i_{zA} і i_{zC} , пропорційні миттєвому значенню струмів обмоток статора фаз А і С, з виходу датчиків струму u_{aA} і u_{aC} надходять на функціональний перетворювач $U1$, де формуються вихідні сигнали $I1$ і $I1a$, пропорційні відповідно модулю абсолютного значення струму статора і активною складовою цього струму. Виділення активної складової струму статора пов'язано або з векторним перетворенням струмових сигналів в $U1$, або зі зміною струму випрямляча в перетворювачах частоти з проміжною ланкою постійного струму. Найбільш часто в скалярних системах частотного управління для простоти технічних рішень замість активної складової струму статора на функціональні пристрої А1 і А2 подається сигнал діючого значення струму статора $I1$.

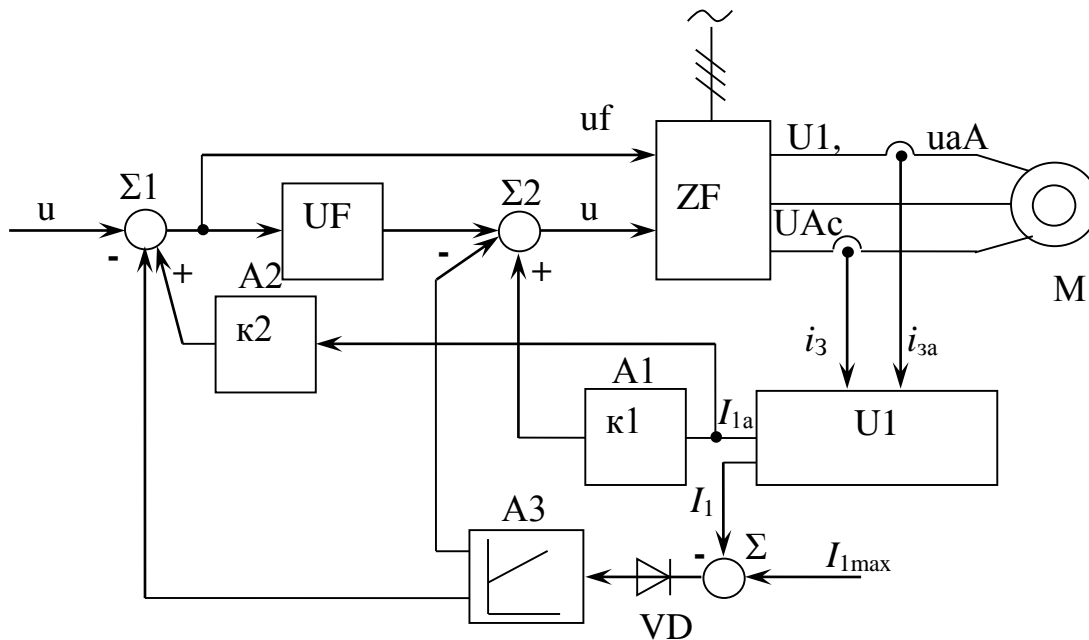


Рисунок 38- Система скалярного керування зі зворотним зв'язком по току статора АД

У вузлах $\Sigma 1$, $\Sigma 2$, $\Sigma 3$ функціональної схеми виконується підсумовування сигналів управління і сигналів зворотних зв'язків, що надходять з функціональних пристроїв $A 1$, $A 2$, $A 3$. Вентиль VD умовно відображає проходження сигналу $| I 1 |$ на вхід $A 3$ лише при перевищенні сигналу $| I 1_{max} |$, відповідного модулю максимально допустимого струму статора АД.

Позитивний зворотний зв'язок з коефіцієнтом посилення $\kappa 1$ пристрої $A 1$ за діючим значенням струму статора впливає на змінні і механічну характеристику АД. При швидкості ідеального холостого ходу $\omega 0.0$, частоті $f 10$ і напрузі $U 10$ харчування АД його магнітний потік намагнічування $\Phi \mu 0$. У розімкнутій системі управління при сталості частоти і напрузі живлення в міру збільшення навантаження на валу АД швидкість ω і потік намагнічування $\Phi \mu$ двигуна зменшуються. У замкнутій системі зі збільшенням моментів статичного навантаження АД і відповідного збільшення струму статора на вході суматора $\Sigma 2$ з боку $A 1$ надходить додатковий сигнал - що збільшує сигнал $u u$. У підсумку, у міру збільшення струму статора збільшується і вихідна напруга перетворювача частоти. При цьому вихідна частота, яка визначається сигналом $u f$, залишається постійною. Збільшення напруги на обмотках статора АД сприяє компенсації падіння напруги на повному їх опорі i , в результаті, збільшення потоку намагнічування АД.

Ступінь компенсації визначається коефіцієнтом посилення $\kappa 1$ ланцюга позитивного зворотного зв'язку за струмом. Чим більше $\kappa 1$, тим більше буде потік при тому ж абсолютному ковзанні. Отже, у міру збільшення $\kappa 1$ збільшується як абсолютне критичне ковзання, так і максимальний момент АД. Межа збільшення $\kappa 1$ обмежений умовами стійкості замкненої системи управління і допустимими значеннями потоку намагнічу-

вання і напруги живлення АД. У міру зниження частоти харчування повний опір ланцюга намагнічування і, відповідно, падіння напруги на статорі АД зменшується. Тому для стабілізації і обмеження потоку намагнічування в замкнутій по току системі ступінь компенсації падіння напруги і звідси коефіцієнт k_1 необхідно зменшувати відповідно до зменшення повного опору обмотки ланцюга АД. Якщо це не передбачено, то максимально допустимий k_1 повинен вибиратися для режиму роботи АД при мінімальній частоті, яка визначається діапазоном регулювання швидкості в замкнутій системі. При цьому слід врахувати, що навіть при ідеальному холостому ході АД за рахунок помітних струмів намагнічування в обмотки ланцюга зворотний зв'язок по повному струму вже діє.

Подібний недолік відсутній при використанні зворотного зв'язку по активній складовій струму статора. Її можна виділити як при векторному перетворенні струмів статора, так і зміною струму випрямляча в перетворювачах частоти з проміжною ланкою постійного струму. Якщо в якості сигналу зворотного зв'язку прийняти активну складову струму статора, то регулювання швидкості буде виконуватися при сталості потокозчеплення статора. При цьому забезпечення тієї ж перевантажувальної здатності АД за моментом, що при зворотного зв'язку по повному струму, потребуватиме меншої частки компенсації падіння напруги в обмотки ланцюга і, відповідно, меншого запасу по вихідній напрузі перетворювача частоти.

В системі з подібними зворотними зв'язками по току можлива реалізація механічних характеристик АД з підвищеною перевантажувальною здатністю по моменту і жорсткістю, близькою до природної, в діапазоні регулювання швидкості вниз від номінальної при постійній статичному навантаженні від 7: 1.

Вплив позитивного зворотного зв'язку по струму з пропорційним коефіцієнтом посилення k_2 пристрою А2 пов'язано з одночасним впливом на вихідну частоту і напруга перетворювача. За рахунок збільшення частоти харчування АД при збільшенні навантаження на його валу (M_1 , M_2) відповідно збільшуються і швидкості ідеального холостого ходу АТ, забезпечуючи тим самим лише стабілізацію швидкості за рахунок одночасного і пропорційного частоті збільшення напруги живлення АД при $M_c = \text{const}$, зберігається сталість і перевантажувальної здатності АД за моментом. При цьому потік намагнічування АД залишається постійним лише на ідеальному холостому ході і знижується в міру збільшення навантаження. Збільшенням коефіцієнта K_2 можна досягти помітного збільшення жорсткості механічної характеристики АД, аж до абсолютного її значення.

Для захисту перетворювача частоти і двигуна від перевантажень по струму використовується режим його обмеження за допомогою пристрою струмового відсічення. Цей пристрій включає в себе вузол підсумовування Σ_3 поточного значення $|I_1|$ і максимально допустимого $|I_{1\text{max}}|$ модулів струму статора з різними знаками (вузол порівняння), вентиль VD і пропорційно-інтегральний регулятор струму А3. При $|I_1| > |I_{1\text{max}}|$ вентиль

VD пропускає сигнал перевищення струму статора вище допустимого на вхід А3, вихідний сигнал якого може впливати як одночасно на частоту і вихідна напруги перетворювача (вузол $\Sigma 1$), так і на напругу перетворювача (вузол $\Sigma 2$).

Системи скалярного керування зі зворотним зв'язком за швидкістю двигуна. Збільшення діапазону регулювання по швидкості АД можливо за рахунок застосування в системах управління електроприводом негативного зворотного зв'язку по швидкості. Функціональна схема подібної системи показана на малюнку 39. Тут, додатково до раніше розглянутим каналах зворотного зв'язку по струму АД, використовується канал негативного зворотного зв'язку по швидкості. Він включає в себе тахогенератор BV, як датчик зворотного зв'язку, вузол підсумовування $\Sigma 5$ сигналів управління швидкістю АД u_y і зворотного негативного зв'язку за швидкістю U_{oc} , регулятор абсолютного ковзання А4, блок обмеження АQ його вихідного сигналу u_{pc} , а також вузол підсумовування $\Sigma 4$ сигналу u_{pc} і результуючого сигналу u_{y1} з виходу суматора $\Sigma 1$.

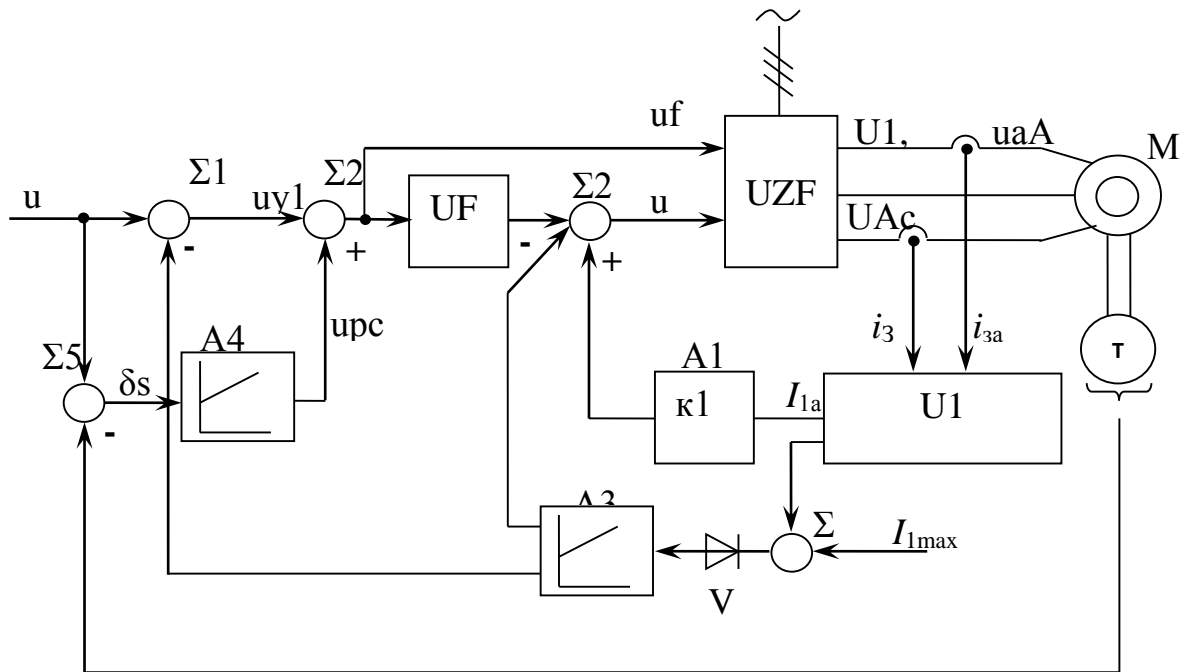


Рисунок 39 - Система скалярного частотного управління зі зворотним зв'язком за швидкістю

У міру збільшення навантаження на валу АД, за рахунок зменшення швидкості АД і, відповідно, сигналу U_{oc} , збільшується сигнал неузгодженості $\delta_s = u_y \cdot u_{in} \equiv \omega_{in} \cdot \omega \equiv s_a$, пропорційний абсолютній ковзанню двигуна. Тут ω_{00} - задана швидкість ідеального холостого ходу АТ, відповідна вихідного сигналу управління u_y ; ω - реальна швидкість АД при заданому навантаженні на його валу. При $\delta_s \neq 0$ сигнал u_{pc} на виході регулятора ковзання, підсумовуючись з сигналом $u_{y1} = u_y$ (при $I_1 < I_{1max}$), за рахунок інтегральної складової передавальної функції регулятора А4 за-

безпечує таке збільшення сигналу управління u_f перетворювача частоти, при якому частота його вихідної напруги стає рівною $f_{10}(1 + sa)$. Одночасно зі зміною частоти за рахунок функціонального перетворювача UF змінюється, в порівнянні з початковим U_{10} , і вихідна напруга перетворювача U_1 . При цьому швидкість двигуна відновлюється до заданого значення ω_{00} , т. Е. Забезпечується абсолютна жорсткість механічної характеристики АД.

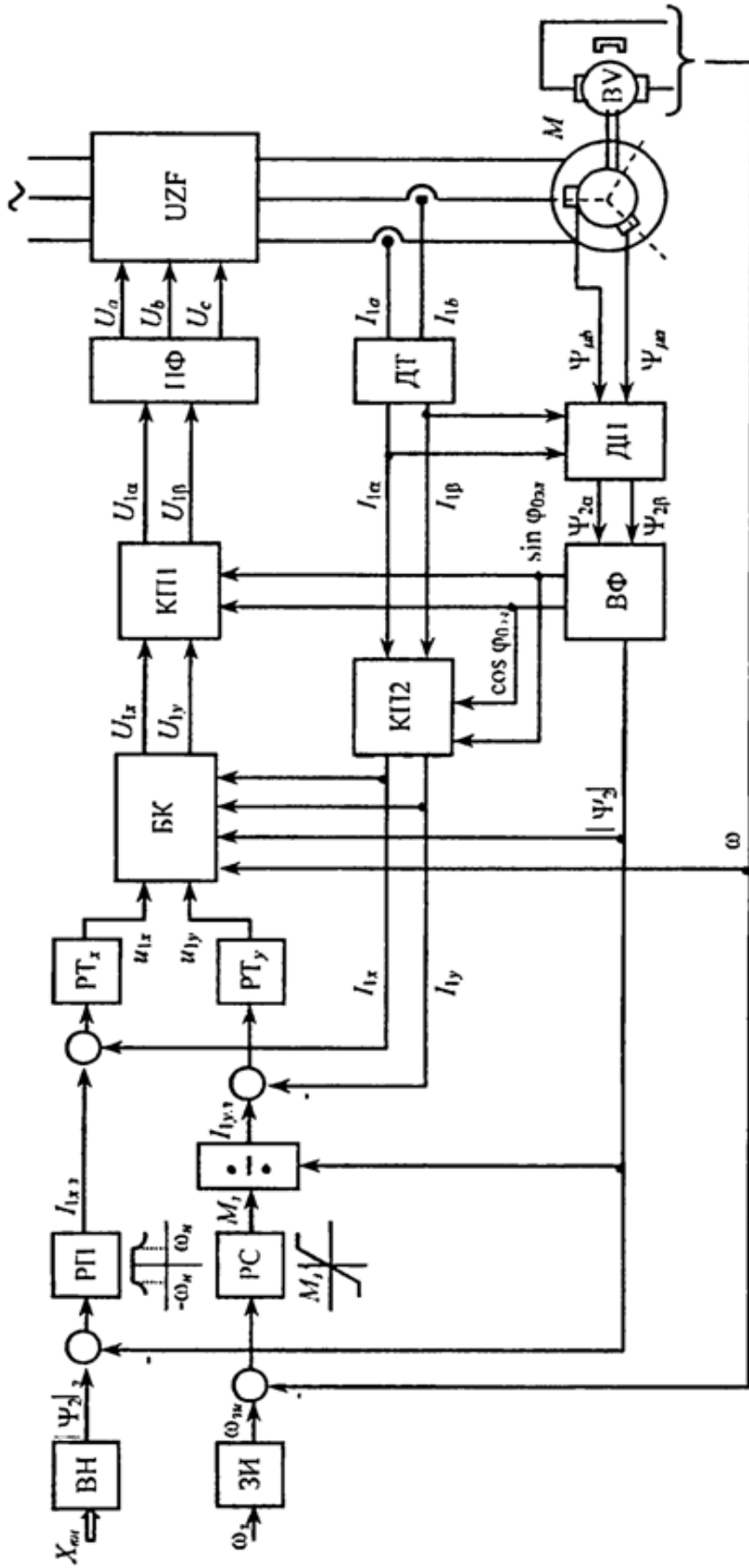
При перевищенні максимально допустимого струму статора АД (при $|I_1| \geq |I_{1\max}|$, відповідно, $M \geq M_{\max}$), регулятор ковзання повинен бути виключений з роботи, наприклад обмеженням його вихідного сигналу $u_{рс}$ на рівні $u_{рс\max}$. При цьому вступають в роботу негативні зворотні зв'язки по току статора з регулятором АЗ, забезпечуючи за рахунок одночасного зменшення частоти і напруги статора АД до їх мінімальних значень $f_{1\min}$ і $U_{1\min}$ обмеження моменту АД при $\omega = 0$ на рівні M_{\max} .

Стійкість і динамічні показники якості регулювання швидкості АД визначаються вибором коефіцієнта пропорційної і постійної часу інтегральної складових передавальних функцій регуляторів А4 і А3.

11.4 Система векторного керування

Система управління з прямою орієнтацією за вектором потокозчеплення ротора АД. Функціональна схема системи регулювання швидкості асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором M під час роботи від перетворювача частоти UZF з керуванням по вектору потокозчеплення ротора двигуна представлена на малюнку 40.

Подібна система векторного керування (система Transvektor) вперше запропонована фірмою Siemens (ФРН). Система має два зовнішніх контуру регулювання - модулем вектора потокозчеплення ротора $|\psi_2|$ і кутової швидкості ω ротора, а також два підлеглих їм внутрішніх контуру регулювання складових струму статора I_{1x} і I_{1y} в осях x і y ортогональної системи координат, що обертається із синхронною швидкістю $\omega_{0y\bar{z}}$ поля двигуна.



Малюнок 40 - Функціональна схема системи управління з прямою орієнтацією за вектором потокозчеплення ротора

Система здійснює незалежне регулювання модуля вектора потокозчеплення ротора і швидкості ротора при збереженні прямої пропорційності між моментом двигуна і складовою сили, що намагнічує статора, що знаходиться в квадратурі з хвилею потокозчеплення ротора. Сигнал завдання потокозчеплення ротора $|\psi_2|$ формується в спеціальному обчислювальному пристрої ВУ, що використовує математичну модель АД і вводяться в неї реальні параметри двигуна: активні і реактивні опору ланцюгів статора і ротора, число пар полюсів, номінальні значення потужності, швидкості, напруги і струму статора, їх частоту, коефіцієнти корисної дії і потужності. На рис. 40 вводяться параметри двигуна умовно зображені сукупністю зовнішніх сигналів Хв1 на вході ВУ. Зовнішній сигнал завдання швидкості двигуна ω подається на вхід задатчика інтенсивності ЗІ, формує темп зміни швидкості двигуна відповідно до необхідних технологічними обмеженнями.

Вимірювання поточних значень швидкості, потокозчеплення ротора і струмів статора АД проводиться за допомогою датчиків швидкості (тахогенератор ВУ), потокозчеплення (ДП) і струму (ДТ).

ДП перетворює виміряні за допомогою датчиків Холла трифазні миттєві значення потокозчеплення в повітряному зазорі ($\psi_{\mu a}, \psi_{\mu b}$), складові потоку ($\psi_{\mu \alpha}, \psi_{\mu \beta}$) осях α, β ортогональної системи координат, жорстко пов'язаної з нерухомим статором двигуна, причому вісь α поєднується з магнітною віссю обмотки статора фази А:

$$\psi_{\mu \alpha} = \sqrt{\frac{3}{2}} \psi_{\mu a}; \psi_{\mu \beta} = \sqrt{2} \left(\frac{1}{2} \psi_{\mu a} + \psi_{\mu b} \right). \quad (11.2)$$

Крім того, в ДП здійснюється обчислення складових потокозчеплення ротора згідно співвідношенням

$$\psi_{2\alpha} = \frac{L_2}{L_\mu} \psi_{\mu \alpha} - (L_2 - L_\mu) I_{1\alpha}; \psi_{2\beta} = \frac{L_2}{L_\mu} \psi_{\mu \beta} - (L_2 - L_\mu) I_{1\beta}, \quad (11.3)$$

де L_2 і L_μ - відповідно, власна індуктивність обмотки ротора і взаємна індуктивність між обмотками статора і ротора, наведені до ланцюга статора.

ДТ вимірює миттєві значення фазних струмів статора I_{1a}, I_{1b} і аналогічно виразами (11.2) перетворює їх в двофазну систему змінних $I_{1\alpha}, I_{1\beta}$.

Перетворення змінних з нерухомої системи координат α, β в систему координат x, y , пов'язану з потокозчеплення ротора і обертається зі швидкістю $\omega_{0y\bar{e}}$, Здійснюється вектор-фільтром (ВФ) і координатним перетворювачем КП1. Вектор-фільтр виділяє модуль вектора потокозчеплення ротора

$$|\psi_2| = \sqrt{\psi_{2\alpha}^2 + \psi_{2\beta}^2} \quad (11.4)$$

і тригонометричні функції

$$\cos \varphi_{0\alpha t} = \psi_{2\alpha} / |\psi_2|, \sin \varphi_{0\alpha t} = \psi_{2\beta} / |\psi_2|, \quad (11.5)$$

де $\varphi_{0\alpha t} = \omega_{0\alpha t}$ - електричний кут повороту ротора щодо статора в осях x, y .

Перетворювач КП2 здійснює поворот вектора сили, що намагнічує статора на кут $\varphi_{0\alpha t}$, певну через складові струму статора по осях x, y що обертається системи координат.

Нагадаємо, що вектор потокозчеплення ротора в системі координат x, y суміщений з віссю x , т. Е. $|\psi_2| = \psi_{2x}, \psi_{2y} = 0$, і складова струму I_{1x} визначає магнітний потік двигуна. При цьому складова струму I_{1y} подібна току в якійного ланцюга двигуна постійного струму, визначає електромагнітний момент двигуна.

Завдання на електромагнітний момент двигуна формується вихідним сигналом регулятора швидкості РС, на вході якого порівнюються сигнал завдання швидкості $\omega_{c\dot{e}}$ з виходу ЗІ і сигнал, пропорційний реальної швидкості ω двигуна. Для підтримання сталості електромагнітного моменту при змінах модуля потокозчеплення ротора введений блок ділення БД сигналу з виходу регулятора швидкості на $|\psi_2|$. На виході блоку поділу формується сигнал завдання $I_{1y\dot{c}}$ складової струму статора I_{1y} по осі y .

сигнал завдання $I_{1x\dot{c}}$ складової струму статора I_{1x} по осі x формується на виході регулятора потоку РП, на вході якого порівнюються сигнали завдання і реального значення модуля потокозчеплення ротора.

сигнали завдання $I_{1x\dot{c}}$ і $I_{1y\dot{c}}$ порівнюються з поточними складовими струмів статора I_{1x} і I_{1y} на входах відповідних регуляторів струмів РТХ і РТУ, вихідні сигнали яких визначають завдання складових напруг статора u_{1x} і u_{1y} в системі координат x, y .

Система диференціальних рівнянь, що характеризують динамічні процеси в асинхронному двигуні при його векторному керуванні в системі координат x, y , має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d|\psi_2|}{dt} + \frac{R_2'}{L_2} |\psi_2| = k_r R_2' I_{1X}; \\ (\omega_{0\text{эл}} - p\omega) |\psi_2| = k_r R_2' I_{1Y}; \\ \frac{dI_{1X}}{dt} + \frac{R_1 + k_r^2 R_2'}{\sigma L_1} I_{1X} = \omega_{0\text{эл}} I_{1Y} + \frac{k_r R_2'}{\sigma L_1 L_2} |\psi_2| + \frac{1}{\sigma L_1} u_{1X}; \\ \frac{dI_{1Y}}{dt} + \frac{R_1 + k_r^2 R_2'}{\sigma L_2} I_{1Y} = -\omega_{0\text{эл}} I_{1X} + p\omega \frac{k_r}{\sigma L_1} |\psi_2| + \frac{1}{\sigma L_1} u_{1Y}; \\ J_\Sigma \frac{d\omega}{dt} = \frac{3}{2} p k_r |\psi_2| I_{1Y} - M_c, \end{array} \right. \quad (11.6)$$

де R_1, L_1 - активний опір і власна індуктивність фази обмотки статора;

R_2' - активний опір фази обмотки ротора, приведений до обмотки ланцюга;

$$k_s = L_\mu / L_1; \sigma = 1 - k_r k_s.$$

При компенсації наступних складових в правих частинах рівнянь за рахунок їх множення на σL_1 :

$$\sigma L_1 \omega_{0\text{эл}} I_{1Y}; \quad \frac{k_r R_2'}{L_2} |\psi_2|; \quad -\sigma L_1 \omega_{0\text{эл}} I_{1X} \quad (11.7)$$

і без урахування внутрішнього зворотного зв'язку по ЕРС двигуна (складової $p\omega k_r |\psi_2|$), подібно електроприводів постійного струму, рівняння (11.6) може бути перетворено до виду:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d|\psi_2|}{dt} + \frac{R_2'}{L_2} |\psi_2| = k_r R_2' I_{1X}; \\ \frac{dI_{1X}}{dt} + \frac{R_1 + k_r^2 R_2'}{\sigma L_1} I_{1X} = \frac{1}{\sigma L_1} u_{1X}; \\ \frac{dI_{1Y}}{dt} + \frac{R_1 + k_r^2 R_2'}{\sigma L_1} I_{1Y} = \frac{1}{\sigma L_1} u_{1Y}. \end{array} \right. \quad (11.8)$$

На малюнку 40 роль подібної компенсації виконує блок БК, в який вводяться змінні $I_{1X}, I_{1Y}, |\psi_2|, \omega$ і де проводяться відповідні функціональні перетворення.

Перетворення складових напруги статора u_{1X}, u_{1Y} з виходу БК в складові $u_{1\alpha}, u_{1\beta}$ в осях α, β здійснюється блоком координатних перетворень КП1 відповідно до співвідношеннями:

$$u_{1\alpha} = u_{1X} \cos \varphi_{0y\ddot{z}} - u_{1Y} \sin \varphi_{0y\ddot{z}}; u_{1\beta} = u_{1X} \sin \varphi_{0y\ddot{z}} - u_{1Y} \cos \varphi_{0y\ddot{z}}. \quad (11.9)$$

В перетворювачі фаз ПФ по співвідношенням

$$u_{1a} = \sqrt{\frac{3}{2}} u_{1\alpha}; u_{1b} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(-\frac{1}{\sqrt{3}} u_{1\alpha} + u_{1\beta} \right); u_{1c} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(-\frac{1}{\sqrt{3}} u_{1\alpha} - u_{1\beta} \right) \quad (11.10)$$

формується трифазні синусоїдальні сигнали u_{1a}, u_{1b}, u_{1c} , визначають на виході перетворювача частоти UZF амплітуду і частоту напруг U_A, U_B, U_C харчування обмоток статора двигуна.

Представивши передавальну функцію перетворювача частоти по напрузі спільно з блоками перетворення координат у вигляді інерційної ланки

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{U_{1X}(p)}{u_{1X}(p)} = \frac{U_{1Y}(p)}{u_{1Y}(p)} = \frac{k_n}{T_n(p) + 1}, \quad (11.11)$$

де k_n - еквівалентний статичний коефіцієнт передачі між складовими напружень u_{1X}, u_{1Y} управління перетворювачем і складовими в осях x, y вихідних напруг перетворювача U_{1X}, U_{1Y} ;

T_n - еквівалентна постійна часу ланцюга управління перетворювачем, рівняння (11.8) можемо привести до виду:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{|\psi_2|(p)}{I_{1X}(p)} = \frac{k_r L_2}{T_{2\sigma} p + 1}, \\ \frac{I_{1X}(p)}{u_{1X}(p)} = \frac{k_n}{T_n p + 1} \frac{1}{R_\Sigma (T_{1\sigma} p + 1)}, \\ \frac{I_{1Y}(p)}{u_{1Y}(p)} = \frac{k_n}{T_n p + 1} \frac{1}{R_\Sigma (T_{1\sigma} p + 1)}, \\ M(p) = \frac{3}{2} p k_r |\psi_2|(p) I_{1Y}(p), \\ \frac{\omega(p)}{M(p) - M_c(p)} = \frac{1}{J_\Sigma p} \end{array} \right. \quad (11.12)$$

де $R_{\Sigma} = R_1 + k_r^2 R_2'$ - результируючий опір обмотки статора двигуна;

$T_{1y} = \sigma L_1 / R_{\Sigma}$ - електромагнітна постійна обмотки ланцюга двигуна;

$T_{2y} = L_2 / R_2$ - електромагнітна постійна роторному ланцюзі двигуна.

Спрощена структурна схема системи векторного керування частотно-регульованого асинхронного електроприводу відповідно до формулами (11.12) приведена на малюнку 41.

Схема містить два однакових за параметрами внутрішніх контуру регулювання складових I_{1x}, I_{1y} струму статора з коефіцієнтом зворотного зв'язку по струму $K_{i,\delta}$, зовнішній контур регулювання потокозчеплення ротора з коефіцієнтом зворотного зв'язку по потокозчеплення $K_{i,i}$ і зовнішній контур регулювання швидкості двигуна з коефіцієнтом зворотного зв'язку по швидкості $K_{i,N}$. Структурна схема подібна структурній системі двухзонного регулювання швидкості двигуна постійного струму.

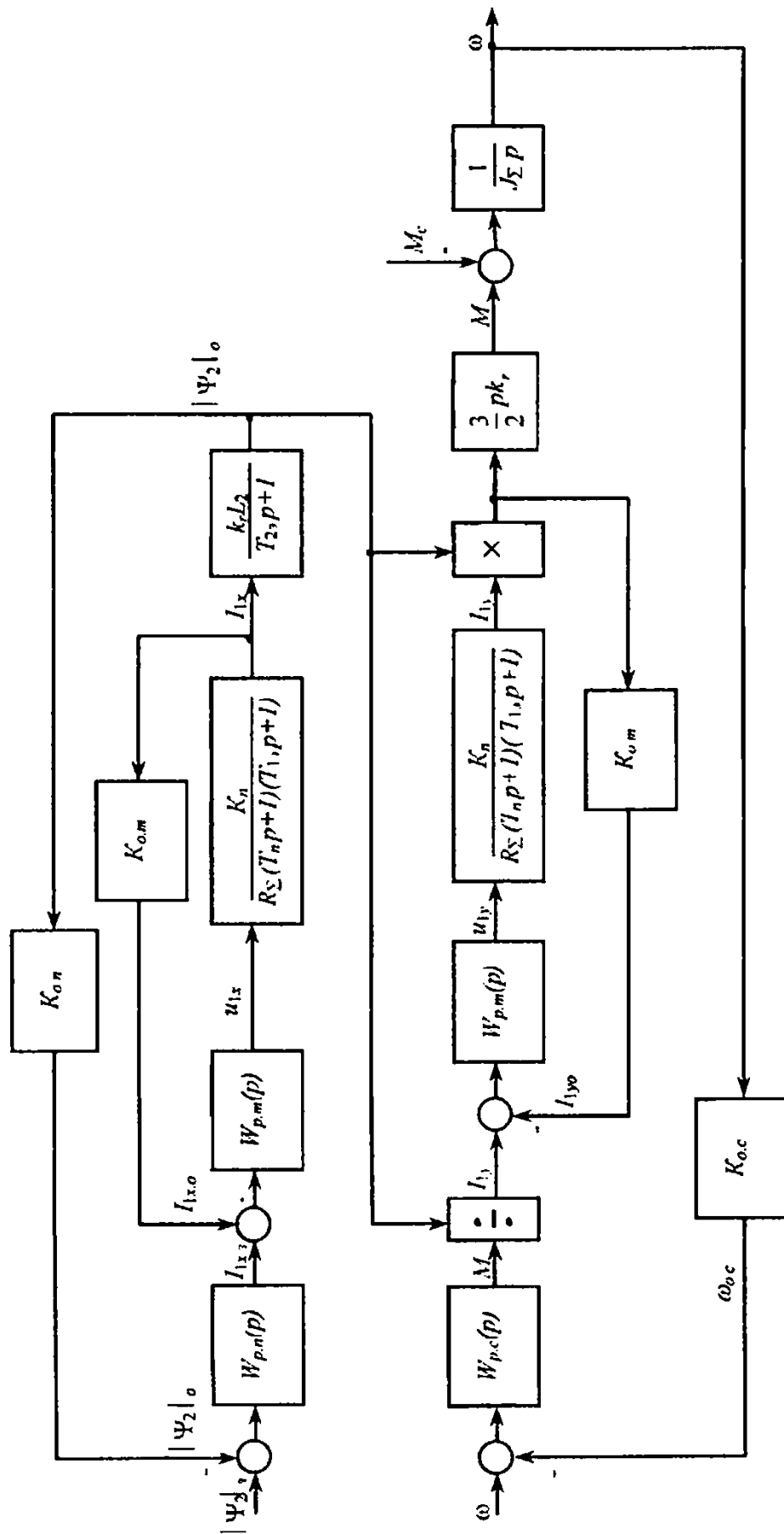


Рисунок 41 - Структурна схема системи управління з прямою орієнтацією за вектором потокозчеплення ротора АД

Тому при налаштуванні контурів регулювання на модульний оптимум визначення параметрів передавальних функцій регуляторів струму $W_{p.T}(p)$, потокозчеплення $W_{p.i}(p)$ і швидкості $W_{p.N}(p)$ виконується аналогічно:

$$W_{p.T}(p) = K_{p.T} + \frac{1}{T_{u1}p}, W_{p.П}(p) = K_{p.П} + \frac{1}{T_{u.П}p}, W_{p.C}(p) = K_{p.C}, \quad (11.13)$$

де $T_{u1} = \frac{K_{o.m}k_n}{R_\Sigma} \alpha_1 T_n$ - постійна часу інтегрування ПІ-регулятора стру-

му;

$K_{p.T} = \frac{T_{1\beta}}{T_{u.П}}$ - коефіцієнт передачі пропорційної частини регулятора струму; $\alpha_1 = 2..4$;

$T_{u.П} = \frac{K_{o.П}k_r L_2}{K_{o.T}} \alpha_n \alpha_1 T_n$ - постійна часу інтегрування ПІ-регулятора потокозчеплення ротора;

$K_{p.i} = \frac{T_{2\gamma}}{\dot{O}_{u.i}}$ - коефіцієнт передачі пропорційної частини регулятора потокозчеплення ротора; $\alpha_n = 2..4$;

$K_{p.C} = \frac{2J_\Sigma K_{o.T}}{3p_i k_r K_{o.C} \alpha_\omega \alpha_1 T_n}$ - коефіцієнт передачі пропорційного регулятора швидкості; $\alpha_n = 2..4$.

Системи управління з непрямою орієнтацією за вектором потокозчеплення ротора АД. Установка датчиків магнітного поля в повітряному зазорі АД в системах прямого управління векторами його потокозчеплення вимагає додаткових змін в конструктивних рішеннях серійно випускаються АД і супроводжується зниженням надійності електроприводу. Тому в сучасних і найбільш досконалих частотно-регульованих електроприводах, де системи програмного управління реалізовані на основі мікропроцесорної техніки, інформація про вектори потокозчеплення електричної машини виходить непрямим шляхом на основі її математичних моделей.

Так, в електроприводах серії Simovert Masterdrives VC фірми Siemens найбільш розвинені системи управління швидкістю АД з непрямою орієнтацією за вектором потокозчеплення його ротора [4]. Модульний принцип побудови їх систем управління створює можливість комбінацій різних структур управління моментом і швидкістю АД, включаючи як пряме (за допомогою тахогенератора), так і непряме (по моделі) визначення реальної швидкості двигуна. Вибір структур управління визначається технологічними вимогами до електроприводу і його експлуатаційними особливостями.

Системи управління швидкістю АД. На малюнку 42 представлена функціональна схема системи керування електроприводом серії Simovert Masterdrives VC з негативним зворотним зв'язком по реальній швидкості АД. Система має два основні канали управління - кутовий швидкістю і модулем потокозчеплення ротора $|\psi_2|$ АТ, а також два підлеглих їм внутрішніх контуру регулювання складових струму статора I_{1x} і I_{1y} в осях x та y ортогональної системи координат, що обертається із синхронною швидкістю $\omega_{0,yz}$ магнітного поля двигуна.

Сигнал завдання швидкості АД u_ζ попередньо надходить на вхід датчика інтенсивності ЗІ, що формує на виході два сигнали управління. основний сигнал ω_ζ визначає завдання швидкості АД з темпом, що забезпечує обмеження ривків і прискорень відповідно до технологічних вимог до електроприводу і максимально допустимими динамічними перевантаженнями за струмом і електромагнітного моменту АД. додатковий сигнал $d\omega/dt$ визначає, з урахуванням коефіцієнта передачі K_I , пропорційного наведеним до валу АД результуючому його моменту інерції, завдання динамічної складової електромагнітного моменту $M_{дин}$. Результат його підсумовування на Σ_3 з сигналом M_c , пропорційним статичному моменту сил опору на валу АД, формує завдання електромагнітного моменту АД $\dot{I}_{\zeta d}$. При цьому визначення реального сигналу M_c і, відповідно, практична реалізація завдання електромагнітного моменту вимагають наявності датчика статичного моменту на валу АД. Однак технічна складність, помітні метрологічні похибки існуючих датчиків статичного моменту на обертових валах електричних машин і відсутність серійного їх випуску, як правило, обмежують їх застосування в системах електроприводу.

сигнал неузгодженості s_a на вихід суматора Σ_1 основного сигналу управління ω_ζ і сигналу ω реальної швидкості АД з виходу тахогенератора ВV, пропорційний абсолютній ковзанню АТ, надходить на вхід пропорційно-інтегрального регулятора швидкості РС. Його вихідний сигнал u_{pc} формує сигнал завдання M_ζ електромагнітного моменту, необхідного для повної компенсації ковзання АД. На виході суматора Σ_2 результуючий сигнал $M_{\zeta\Sigma}$ визначає повне завдання електромагнітного моменту з урахуванням можливих змін статичної та динамічної складових навантажень на валу АД.

підвищені динамічні показники якості регулювання. У найбільш поширених електроприводах канал управління з обуренню, як правило, використовується рідко, оскільки вимагає додаткової і не завжди точно відомої інформації про реальних значеннях статичного навантаження і моментів інерції на валу двигуна. До того ж, два паралельно діючих каналу управління - по відхиленню і обуренню - вимагають більш ретельної їх налаштування і взаємного узгодження. З урахуванням цього в структурі управління електроприводом серії Simovert Masterdrives VC передбачена можливість або відключення всього додаткового каналу по обуренню, або зберегти станцію корекції лише за динамічної складової моменту.

результуючий сигнал M_{Σ} обмежується блоком БО1 на рівні завдання, відповідного обраному максимального значення електромагнітного моменту АД. Завдання цього значення визначається зовнішніми сигналами управління $M_{\max 1}$ і $M_{\max 2}$. В залежно від енергетичних режимів роботи електроприводу передбачена корекція по обмеженню максимально допустимих моментів АД (блоки MIN і MAX).

Так, при відсутності додаткового блоку рекуперативного гальмування в силовому ланцюзі випрямляча на вході автономного інвертора напруги UZF для обмеження максимально допустимої рекуперіруемой активної потужності P_{ad} і, відповідно, обмеження перенапруги на ємнісному фільтрі випрямляча в режимі рекуперативного гальмування АД в блоці А2 в функції від швидкості АД або частоти його харчування f_1 формуються сигнали M_{o1} і M_{o2} , зменшують рівень завдання електромагнітного моменту АД. Функціональний зв'язок між P_{ad} і частотою f_1 з урахуванням її максимального значення $f_{1\max}$, якісно відображена в блоці А2, в електроприводах серії Simovert Masterdrives VC визначена їх математичною моделлю і коригується при автоматичної ідентифікації параметрів електропривода.

Обмеження електромагнітного моменту АД пов'язано і з вибором максимально допустимого струму статора $I_{1\max}$. Зцією метою в блоці А3 з урахуванням максимального значення напруги живлення АД $U_{1\max}$ і реального значення складової струму статора I_{1x} по осі x визначається вектор максимально допустимої складової струму статора $I_{1y\max}$. Вихідний сигнал блоку твори $I_{1y\max}$ на потягосцепление ротора ψ_2 , пропорційний реальному максимально допустимому електромагнітного моменту АД, контролює обмеження вихідного сигналу M_{Σ} .

Для сталості завдання електромагнітного моменту при зміні потягосцепления ротора відповідно до визначення моменту використовується блок ділення БД сигналу M_{Σ}^* на виході БО1 на сигнал, пропорційний ψ_2 . Вихід БД формує сигнал завдання I_{1y} складової струму статора по осі y.

Для корекції по динамічної складової моменту на валу АД в структурі управління електроприводом передбачена можливість підключення на

вхід суматора Σ_4 сигналу негативного зворотного зв'язку, пропорційного похідною по швидкості АД (пристрій А1). Обмеження ривків по моменту АД за рахунок обмеження темпу зміни складової струму статора I_{1Y} забезпечується задатчиком інтенсивності ЗИТ. Його вихідний сигнал, що підсумовує на Σ_6 з сигналом негативного зворотного зв'язку з виходу пропорційно-інтегрально-дифференціруючого регулятора PID, визначає завдання на складову струму статора I_{1Y} .

Входом PID є вихідний сигнал суматора Σ_5 , де порівнюються сигнали, пропорційні поточному $U_{d.ist}$ і встановленим максимально допустимому $U_{d.max}$ напруженням на виході випрямляча UZF. Розглянутий вузол сприяє управлінню моментом АТ під час короткочасних відключень або можливих зменшень напруги мережі живлення перетворювача частоти. При короткочасних відключеннях мережі управління може бути продовжено за рахунок рекуперації кінетичної енергії обертового вала АД в ланцюг випрямляча UZF. При навантаженнях з великим моментом інерції і високою робочою швидкістю можуть бути вельми помітні періоди підтримки робочого стану перетворювача.

Сигнал завдання потокозчеплення ротора $\psi_{2\zeta}$ формується в блоці А5. Функціональний зв'язок між реальною частотою f_1 вихідної напруги перетворювача і потокозчеплення ротора АД визначає сталість $\psi_{2\zeta}$ на рівні завдання номінального потокозчеплення ротора $\psi_{2\tilde{m}}$ при $f_1 \leq f_{1max} \cong f_{1.\tilde{m}}$ і зменшення ψ_2 при $f_1 > f_{1max}$. Останній варіант забезпечує роботу АД в зоні регулювання швидкості вище номінальної при сталості номінального напруги живлення статора.

сигнал f_{1max} , коригувальний допустиму максимальну частоту вихідного напруги перетворювача UZF, формується розрахунковим шляхом по моделі АД в блоці А4 в залежності від заданого максимально допустимого напруги живлення статора U_{1max} . значення U_{1max} визначається напругою U_{dc} на виході силового фільтра випрямляча UZF з корекцією по сигналу u_d , пропорційного максимально можливій глибині модуляції вихідного напруги UZF.

сигнал $\psi_{2\zeta}$ завдання потокозчеплення ротора з виходу блоку А5 в результаті перемноження на вихідний сигнал блоку А7 перетворюється в сигнал $\psi_{2\zeta}$, змінюється в часі з темпом, що визначає час збудження АТ. Лише після закінчення цього часу, коли збудження АТ досягне сталого значення, в системі управління перетворювачем частоти з'являється логічний сигнал на дозвіл управління перетворювачем з боку сигналу $u_{\zeta\omega}$ керування електроприводом. Відзначимо тут повна подібність умові підключення до живлячої напруги якірного ланцюга двигуна постійного струму незалежного збудження лише при наявності його магнітного пото-

ку. Значення часу збудження АТ може бути як задано зовнішнім сигналом t_a блоку А7, так і визначено при автоматичної ідентифікації параметрів АД.

У структурі управління передбачена можливість адаптації потоку ротора до навантаження АД, що сприяє зниженню сумарних магнітних втрат в машині при зменшенні навантаження. З цією метою сигнал $I_{1Y\zeta}$ завдання складової струму статора по осі у надходить на блок А8, де при заданому мінімально допустимому значенні потоку ротора $\psi_{2\min}$ і заданому коефіцієнті адаптації k_a формується сигнал, що визначає потік ротора в залежності від навантаження АД. При включеному контурі адаптації потоку ротора блок А9 виділяє мінімальне значення сигналу завдання ψ_{2Y}

Відповідно до завдання потокозчеплення ротора в блоці А6 по математичної моделі АД визначається сигнал завдання складової струму статора I_{1X} . Кожна зі складових I_{1X} і I_{1Y} струму статора порівнюється на Σ_7 і Σ_8 зі своїми поточними значеннями $I_{1Y.ist}$ і $I_{1X.ist}$, які виділяються в блоці UVF векторного перетворення струмів I_{1A} і I_{1C} в ланцюзі обмоток фаз А і С статора АД. кут $\varphi_{0,y\ddot{e}}$ повороту осей координат x і y , що обертаються зі швидкістю електромагнітного поля АД, формується в блоці А11 відповідно до частоти f_1 .

Сигнали неузгодженості задають і реальних значень складових струму статора надходять на входи їх відповідних регуляторів РТх і роті. Вихідні сигнали регуляторів після підсумовування на Σ_9 і Σ_{10} з сигналами компенсації складових по (11.6) і обліку внутрішнього зворотного зв'язку по ЕРС двигуна, сформованими в блоці А12, надходять на координатний перетворювач К / Р. Залежно від його вхідних сигналів, пропорційних завданням складових вихідної напруги перетворювача в осях x , y , на виході К / Р формуються сигнали $u_{1\zeta}$ і φ , що визначають, відповідно, амплітуду і фазу вектора напруги в двофазної системі координат α , β , нерухомою щодо статора АД. Регулятор напруги РН, на вході якого порівнюються сигнали завдання $u_{1\zeta}$ і реального значення напруги $u_{1.ist}$ на виході випрямляча UZF, забезпечує стабілізацію його вихідних напруг. Сигнали завдання вихідної напруги перетворювача u_1 і φ спільно з сигналом f_1 , визначальним частоту вихідної напруги перетворювача частоти, трансформуються в перетворювачі координат ПК в еквівалентні сигнали u_{1a} , u_{1b} , u_{1c} трифазної системи координат, що визначають вихідні напруги UZF.

Формування сигналу f_1 завдання частоти вихідної напруги UZF забезпечується підсумовуванням на Σ_{11} і Σ_{12} сигналу ω реального значення швидкості АД, що надходить з тахогенератора ВВ, і сигналів $fs1$, fsE , Що визначають частоту ковзання АД, відповідно, в функції струму і ЕРС двигуна. Обчислення $fs1$ здійснюється в блоці 1М математичної моделі

двигуна по струму, на вхід якого спільно з поточними значеннями $I_{1Y.ist}$ і $I_{1X.ist}$ складових струму статора в осях x , y подається сигнал R_2 , пропорційний опорі ротора АД.

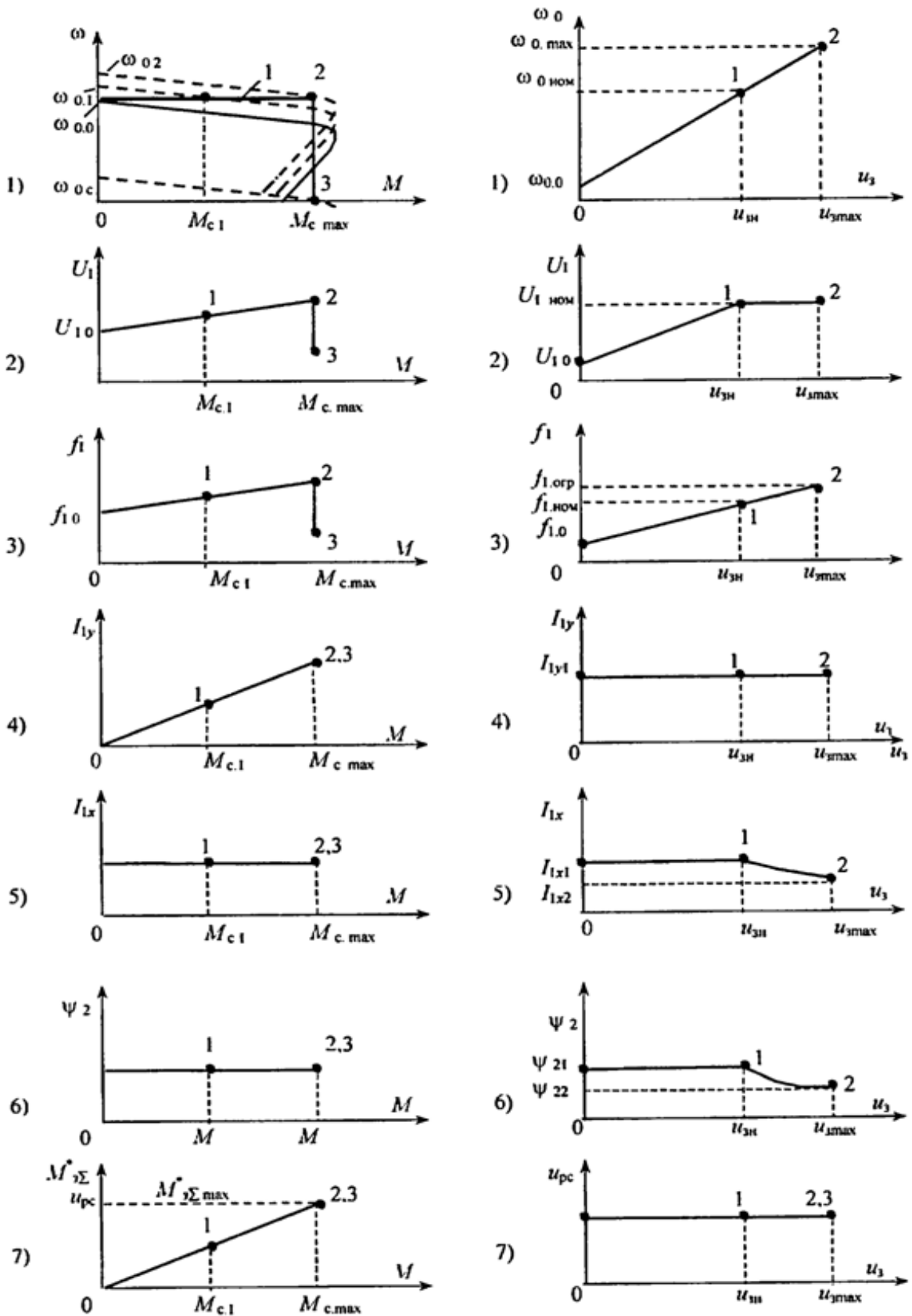
У блоці ЕФМ математичної моделі АД, на вхід якого, крім поточних значень $I_{1Y.ist}$ і $I_{1X.ist}$ складових струму статора, надходить сигнал R_1 , пропорційний результуючому опорі ланцюга статора, формуються два вихідних сигнали: ψ_2 - визначальний потокосцеплення ротора і E_1 - пропорційний ЕРС двигуна.

У серії Simovert Masterdrives VC реалізована логіка управління, що забезпечує роздільне підключення сигналів f_{s1} і f_{sE} на вхід Σ_{11} і Σ_{12} в залежності від заданої частоти вихідної напруги UZF. При малих частотах діє контур корекції по току, забезпечуючи компенсацію падіння напруги на опорі статора; при великих частотах - по ЕРС двигуна, забезпечуючи корекцію швидкості АД. Вибір частоти, при якій перемикаються контури корекції, визначається експериментально за аналогією з налаштуванням

співвідношень $\frac{U_1}{f_1}$ в розімкнутих структурах скалярного управління АТ.

Максимально допустима частота вихідної напруги UZF обмежується сигналом $f_{i\ddot{a}\ddot{o}}$ блоку B02. значення сигналів R_1 і R_2 формуються в блоці A10 теплової моделі АД, куди надходить сукупність сигналів δ_Σ , включають в себе інформацію про опорах ланцюга статора і ротора, визначених при автоматичної ідентифікації параметрів двигуна, ступеня впливу на них температури власне двигуна і навколишнього середовища, умов охолодження двигуна, наявності вихідних фільтрів перетворювача.

Відповідно до принципу роботи даної системи управління на малюнку 43 наведено якісні залежності її основних змінних у функції від моменту АД при постійному сигналі завдання швидкості (рис. 43, а) і в функції від сигналу керування швидкістю при постійному статичному моменті $\dot{I}_c \neq 0$ (Рис. 43, б).



а б

Рисунок 43 - Залежності змінних системи електроприводу при $U_3 = const, M = var$ (а) і при $U_3 = var, M_c \leq M_{c.max} \neq 0 = const$ (б)

Як результат дії ПІ-регулятора швидкості механічна характеристика АД має в області навантажень $\dot{I}_c < M_{c,max}$ абсолютну статичну жорсткість (лінія 1 на рис. 43, а, 1), а при $\dot{I}_c \geq M_{c,max}$ механічна характеристика за рахунок обмеження вихідного сигналу регулятора швидкості і ПІ-регуляторів складових струму статора в осях x, y абсолютно м'яка (лінія 2-3 на рис. 43, а, 1). Стабілізація швидкості пов'язана зі збільшенням вихідного сигналу регулятора швидкості $u_{\delta n}$ і відповідним збільшенням сигналу завдання $\dot{I}_{\zeta\Sigma}^*$ електромагнітного моменту АД (рис. 43, а, 7). Останнє призводить до збільшення напруги U_1 і частоти f_1 на виході UZF в міру збільшення статичного навантаження \dot{I}_{c1} (Рис. 43. а, 2, 3) і, відповідно, збільшення в порівнянні з вихідною ω_{00} швидкості ідеального холостого ходу ω_{01} (При M_{c1}) двигуна. Штрихові лінії механічних характеристик АД на рис. 43, а, 1 відображають переміщення вихідної характеристики \dot{I}_0 при збільшенні навантаження.

при $\dot{I}_c = M_{c,max}$, коли відбудеться обмеження вихідного сигналу $u_{\delta n}$ на рівні максимального значення $\dot{I}_{\zeta\Sigma}^*$ блоку БО1, і при абсолютній швидкості АД, що дорівнює нулю, напруга U_1 і частота f_1 будуть відповідати значенням (точки 3 на рис.43, а, 2, 3), при яких швидкість ідеального холостого ходу АД буде рівною ω_{0N} (Рис. 43, а, 1).

У міру збільшення навантаження складова I_{1Y} струму статора, що визначає момент АД, також збільшується (рис. 43, а, 4), а складова I_{1X} , як і визначається нею потягосцепление ротора ψ_2 , зберігаються постійними (рис. 43. а, 5, 6).

При відсутності сигналу завдання швидкості АД ($u_{\zeta} = 0$) і наявності на його валу постійного реактивного моменту сил опору $\dot{I}_c \neq 0$ початкові вихідна напруга U_{10} і частота f_{10} перетворювача дорівнюють нулю. Якщо ж момент сил опору активний, то вихідна напруга $U_{1,0}$ і частота $f_{1,0}$ перетворювача відповідають значенням, при яких початкова швидкість ідеального ходу АД $\omega_{00} \neq 0$ і механічна характеристика двигуна забезпечує при $\omega = 0$ момент M_c (рис. 43, б, 2, 3). Відповідно до цього моменту визначаються і початкові сигнали $u_{\delta m}, M_{\zeta\Sigma 1}^*, I_{1Y,1}$ (Рис. 43, б, 6, 7). При цьому сигнали $I_{1X,1}$ і $\varphi_{2,1}$ визначають номінальний потягосцепление ротора (рис. 43, б, 5, 6).

У міру збільшення сигналу u_{ζ} напруга U_1 і частота f_1 на виході перетворювача UZF також збільшуються. при $u_{\zeta} = u_{\zeta i}$ вихідна напруга UZF і його частота досягають номінальних значень $U_{1\hat{m}}$ і $f_{1\hat{m}}$. Відповідно до них встановлюється номінальне значення швидкості ідеального холостого ходу АД $\omega_{0\hat{m}}$. подальше збільшення u_{ζ} і частоти f_1 супроводжується сталістю

напруги $U_1 = U_{1\dot{m}}$ на виході UZF і переходом роботи АТ в зону зменшення поточкозчеплення ротора за рахунок зниження складової I_{1x} струму статора (рис. 43, б, 5, 6). Максимальний момент АД при цьому також зменшується.

при $u_\zeta = u_{\zeta\max}$ швидкість ідеального холостого ходу АТ встановлюється на максимально заданому рівні $\omega_{0\max}$ відповідному $f_{1\dot{a}\delta}$ (Точка 2 на рис. 43,3, б). Складова струму статора і відповідне їй поточкозчеплення ротора встановлюються при цьому на мінімальному рівні I_{1x2} і ψ_{22} (Рис. 43, б, 5, 6).

У наведеній системі управління діапазон регулювання швидкості АД при номінальному навантаженні і точності регулювання швидкості на рівні 5% з урахуванням двухзонного регулювання практично досягає 1:50 при використанні аналогового тахогенератора і 1: 200 - при застосуванні цифрового датчика швидкості.

Можливість уникнути застосування тахогенератора як елемента, що вимагає додаткової, точної і надійної його установки на валу АД, реалізується в системах, де зворотний зв'язок по швидкості замінюється зворотним зв'язком по ЕРС двигуна. У серії Simovert Masterdrives VC сигнал зворотного зв'язку по ЕРС двигуна ω_0 надходить на суматор Σ_1 з виходу блоку ЕФМ математичної моделі АД, а формування частоти f_1 вихідної напруги UZF здійснюється підсумовуванням на Σ_{11} і Σ_{12} сигналу завдання швидкості ω_ζ і сигналів f_{s1} і $f_{s\dot{y}}$ з виходу блоку ІМ математичної моделі двигуна по струму і регулятора ЕРС двигуна (рис. 44). Всі інші блоки схеми управління електроприводом (згруповані в блоці Суе) і функціональні зв'язки між ними залишаються при цьому без зміни.

Якість регулювання швидкості в подібних системах управління залежить від ступеня відповідності математичної моделі ЕФМ і встановлених в ній параметрів реальної електричної машини і, як правило, помітно поступається системам з датчиками швидкості.

Система управління моментом АТ.Ряд технологічних об'єктів (натяжні, намотувально-розмотувальні механізми і т. П.) Вимагають регулювання і стабілізації моменту на валу двигуна при сталості його заданої швидкості. В електроприводах серії Simovert Masterdrive VC рішення такого завдання реалізується в структурі управління з датчиком швидкості на валу АД за рахунок включення між сигналом управління швидкістю u_ζ і сигналом управління моментом $u_{\zeta i}$ блоку РБ з релейного характеристикою (рис. 45). Решта блоки і їх функціональні зв'язки залишаються в структурі управління електроприводом Суе незмінними.

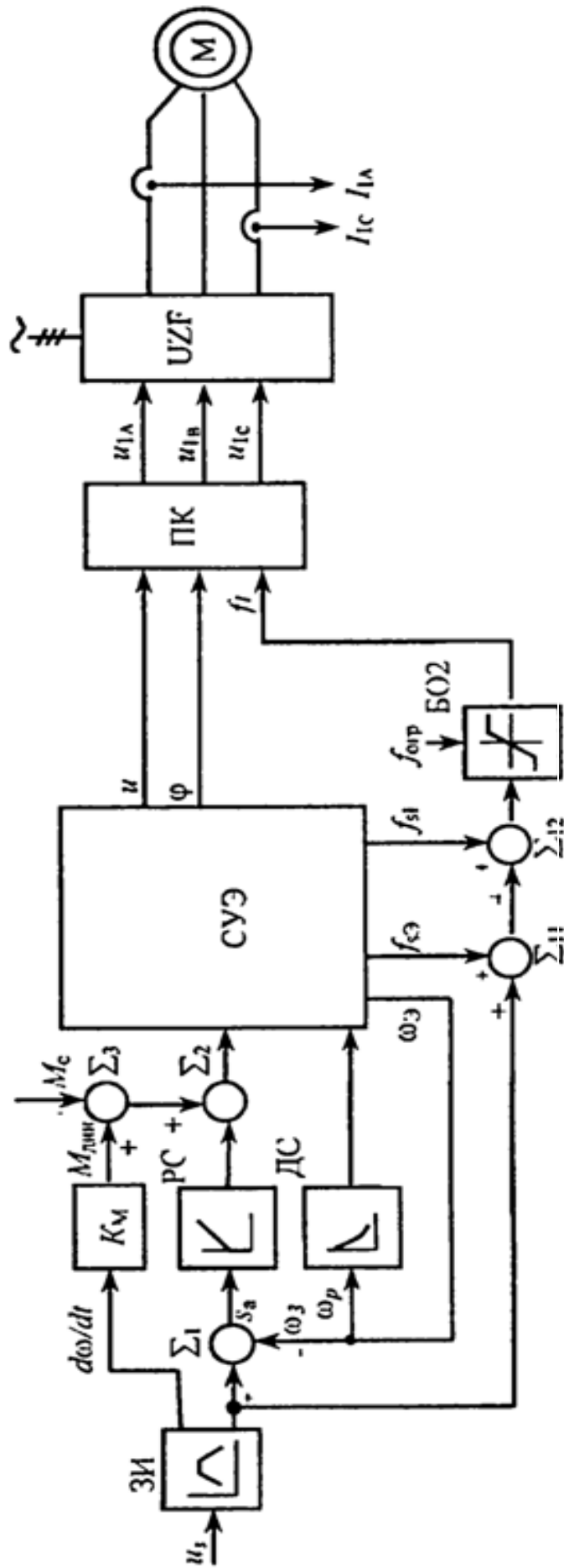


Рисунок 44 - Система керування електроприводом без датчика швидкості

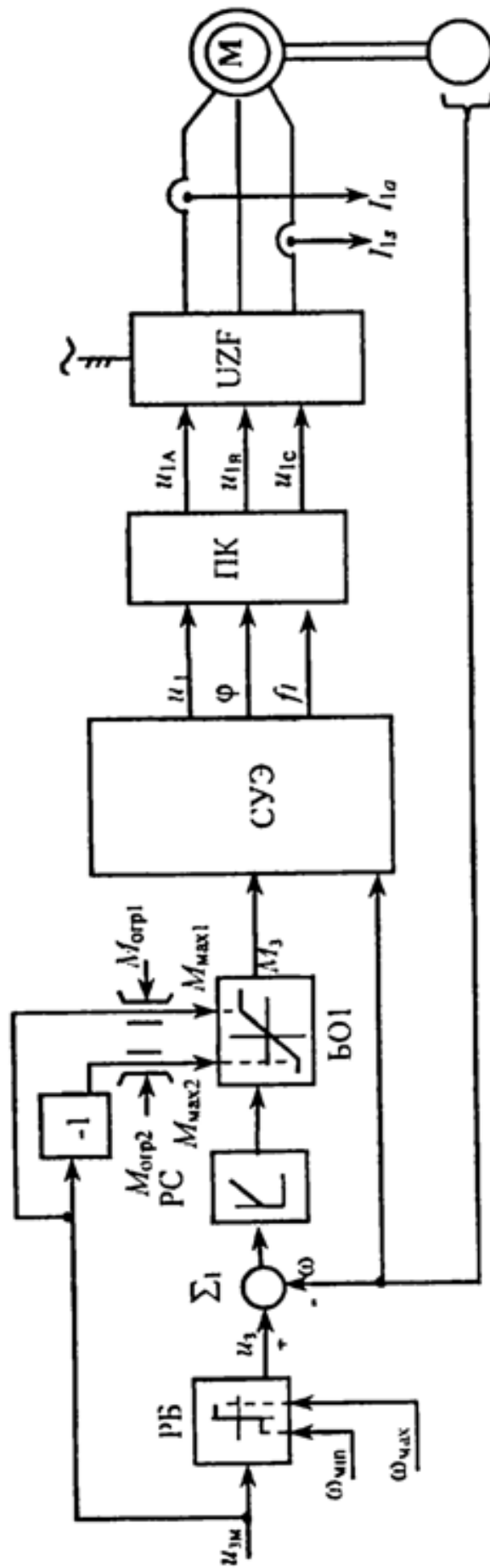


Рисунок 45 - Система управління моментом АТ

Завдання постійної максимальної або мінімальної швидкості АД забезпечується зовнішніми сигналами ω_{\max} і ω_{\min} , обмежують рівень сигналу u_{ζ} , на вході регулятора швидкості. Сигнал $u_{\zeta i}$ визначає напрямок швидкості і обмеження сигналу завдання моменту $M_{y\Sigma}^*$ на рівні $M_{\max 1}$ і $M_{\max 2}$. Гранично допустимі моменти АД обмежуються при цьому сигналами $M_{id\bar{a}1}$ і $M_{id\bar{a}2}$.

Механічна характеристика електроприводу в подібній системі при $\dot{I}_c < M_{\max}$ має абсолютну статичну жорсткість при швидкості, відповідної завданням сигналами ω_{\max} або ω_{\min} . При $\dot{I}_c = M_{\max}$ механічна характеристика має абсолютно м'який характер, стабілізуючи заданий сигналом $u_{\zeta i}$ електромагнітний момент АД.

11.5 комплектні електроприводи ЕКТ2

Електроприводи ЕКТ2 призначені для керування трифазними електродвигунами змінного струму потужністю від 16,5 до 263 кВт і забезпечують:

- регулювання вихідної частоти від 5 Гц до номінальної (50 або 200 Гц);
- точність підтримки частоти $\pm 0,5\%$;
- регулювання вихідної напруги в діапазоні 38 ... 380 В;
- точність підтримки напруги $\pm 2,5\%$;
- стабілізацію співвідношення U/f в діапазоні 1,7 ... 7,6;
- плавний пуск, гальмування і реверс двигуна.

Електропривод побудований на базі двоступеневого перетворювача частоти з ланкою постійного струму (рис. 46). Перетворювач складається з керованого випрямляча КВ і автономного інвертора напруги АІН на одноопераційних тиристорах з примусовою фазной комутацією і тривалістю відкритого стану ключів 180° . Харчування від мережі 0,4 кВ бестрансформаторних, через комутаційні реактори КР.

Промисловість випускає дві модифікації електроприводу: з рекуперацією енергії гальмування в мережу (ЕКТ2-Р) і динамічним гальмуванням (ЕКТ2-Д). В електроприводі ЕКТ2-Р для забезпечення рекуперації зустрічно-паралельнодокерованого випрямляча підключений інвертор. В електроприводі ЕКТ2-Д замість нього використовуються розрядні ключі, за допомогою яких накопичена на конденсаторі фільтра енергія гальмування розсіюється в гальмівних резисторах.

Системою автоматичного регулювання забезпечується двозонне регулювання вихідної частоти. У першій зоні вона змінюється пропорційно

ЕРС статора (тобто реалізується закон частотного регулювання), а в другій - зростає при незмінній ЕРС.

Структура САР подібна до структури двухзонного електроприводу постійного струму. ЕРС регулюється ПІ-регулятором (РЕ) з підлеглим контуром випрямленого струму (ПІ-регулятор струму РТ і датчик струму ДТ), які керують випрямлячем УВ. Інформацію про ЕРС отримує датчик ЕРС ДЕ за вимірюванням напруги (ДН) і струму (ДТ). Завдяки задатчику інтенсивності ЗІ відбувається плавний пуск і гальмування.

У канал управління АІН входять ПІ-регулятор напруги РН, що задає генератор ЗГ і розподільник імпульсів РІ. До задаючому входу РН подається напруга, пропорційне номінальній напрузі двигуна. Генератор, що задає є перетворювачем «напруга-частота» з двома керованими входами. Його вихідна частота збільшується зі зростанням напруги, що управляє $u_{\text{эсд}}$ і зі зменшенням опорного напруги $u_{\text{н}}$. Розподільник імпульсів розподіляє вихідні імпульси ЗГ між тиристорами АІН, формуючи на виході АІН зна-козмінні напруження.

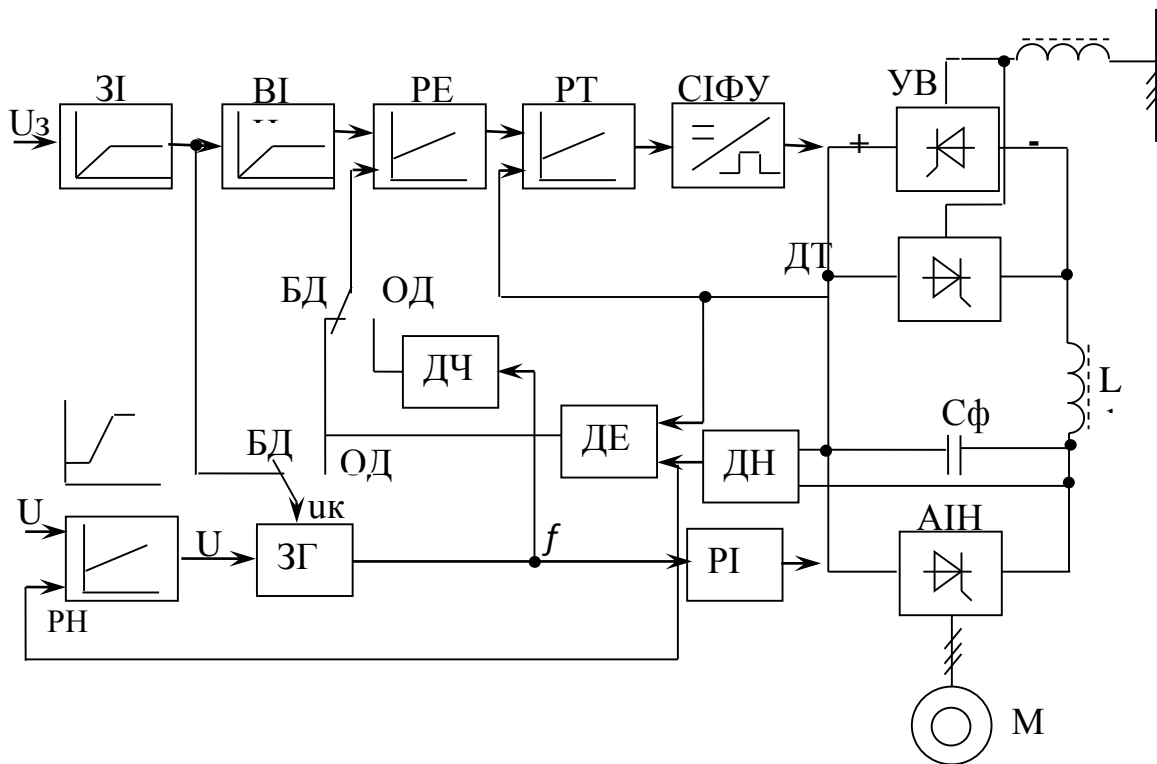


Рисунок 46 - Функціональна схема комплектного електроприводу ЕКТ2

За допомогою двох перемикачів можна змінювати структуру САР для роботи з одним двигуном (положення перемикача ОД) або для одночасного живлення від АІН декількох двигунів (положення БД).

Для варіанту з одним двигуном до керуючого входу ЗГ подають напругу датчика ЕРС, а до входу регулятора ЕРС - напруга, пропорційне заданій частоті (за допомогою датчика частоти ДЧ, т. Е. Перетворювачем

«частота-напруга»). Обмежувач напруги ОН в цьому режимі передає сигнал завдання до входу РЕ без змін.

У першій зоні, коли задається напруга u_{ζ} невисоко, сигнал датчика напруги менше, ніж сигнал на задається вході. Опорна напруга на його виході постійна, і частота імпульсів на виході ЗГ задається вихідним сигналом ДЕ, тому частота і ЕРС змінюються пропорційно.

При переході в іншу зону напруга статора завдяки регулятору ЕРС спочатку трохи перевищує номінальне, регулятор напруги виходить з режиму насичення, зменшуючи опорна напруга і збільшуючи задану частоту. Це призводить до збільшення вихідної напруги ДЧ, зменшення помилки РЕ і поверненню напруги статора до номінального рівня. Подальше збільшення задається напруги u_{ζ} спричинює відповідне зменшення опорного напруги і частоти при незмінній ЕРС. Таким чином, забезпечується залежне від ЕРС ослаблення потоку.

При груповому живленні декількох двигунів до входу регулятора ЕРС (РЕ) приходять сигнал від датчика ЕРС, а до керуючого входу ЗГ - напруга від задатчика інтенсивності. Крім того, обмежувач напруги ОН розблокований і здатний обмежувати максимальну напругу на заданому вході РЕ на рівні номінального.

У першій зоні регулятор РН насичений, а задана частота пропорційна вихідному сигналу ЗІ і завданням на ЕРС статора.

При переході в другу зону обмежувач напруги підтримує завдання на ЕРС на номінальному рівні, РН працює на межі насичення, формуючи незмінне опорна напруга, а задана частота змінюється пропорційно вихідній напрузі задатчика інтенсивності. Таким чином, регулятор напруги в цій структурі практично не використовують.

Комплектні електроприводи ЕКТ2 знайшли широке застосування у вітчизняній промисловості для механізмів з невисокими вимогами до діапазону регулювання швидкості, точності і швидкодії (допоміжні механізми). Розпочато випуск нового покоління електроприводів (ЕКТ3) з подібною структурою, але на двухопераційних тиристорах.

11.6 Частотно-регульовані перетворювачі Micromaster440

Перетворювачі MICROMASTER 440 є серійними перетворювачами для регулювання трифазних електродвигунів. Окремі поставляються моделі мають діапазон потужностей 120 Вт при однофазному вході і до 75 кВт при трифазному вході і забезпечують:

- векторне регулювання без датчика швидкості;
- регулювання потоку (FCC) для поліпшення динамічних характеристик і підвищення якості регулювання електродвигуна;
- миттєве обмеження струму (FCL) для роботи без відключення двигуна;

- вбудоване динамічне гальмування постійним струмом;
- комбіноване гальмування для поліпшення можливостей гальмування;
- час прискорення і гальмування з програмованим згладжуванням;
- використання замкнутого PID-регулятора з автопідстроюванням.

Електропривод побудований на базі двоступеневого перетворювача частоти з ланкою постійного струму. Перетворювачі оснащені мікропроцесорною системою управління та використовують найсучасніші технології з IGBT-модулями - транзисторами (Insulated Gate Bipolar Transistor - біполярний транзистор з ізольованим затвором). Внаслідок цього перетворювачі надійні і різноманітні. Оригінальний спосіб широтно-імпульсної модуляції з вибором частоти комутації дає можливість безшумної роботи електродвигуна. Великі функції захисту забезпечують ефективний захист перетворювача та електродвигуна. Схема підключень представлена на малюнку 47.

З попередньо встановленими заводськими настройками перетворювачі можуть використовуватися в широкому спектрі областей застосування для найпростішого управління швидкістю двигунів. Завдяки розширеній функціональності перетворювачі додатково можуть використовуватися для приводів, де потрібно керувати моментом двигуна.

Перетворювачі частоти мають складну мікропроцесорну систему управління, що забезпечує оптимальну роботу електроприводу в технологічному процесі, а також багатофункціональний зв'язок із зовнішніми елементами і системами управління. Система управління перетворювачем включає кілька контурів регулювання параметрів приводу, які пов'язані між собою. Така побудова системи призводить до необхідності точного налаштування внутрішніх параметрів цих контурів регулювання, і будь-які їх відхилення параметрів від оптимальних значень може привести до нестійкої або некоректної роботи приводу в технологічному процесі.

У перетворювачах частоти Micromaster 440 з векторним керуванням без датчика швидкості програмно реалізовані задатчик інтенсивності ЗІ, регулятор швидкості РС зі зворотним зв'язком по обчислюється кутової швидкості обертання двигуна; також обчислюється завдання динамічної складової моменту, крім того, можливе введення завдання моменту холостого ходу приводу.

Передбачено обмеження завдання повного моменту двигуна $M_{\text{дв}}^*$, Відповідне максимально допустимому за механооборудованію.

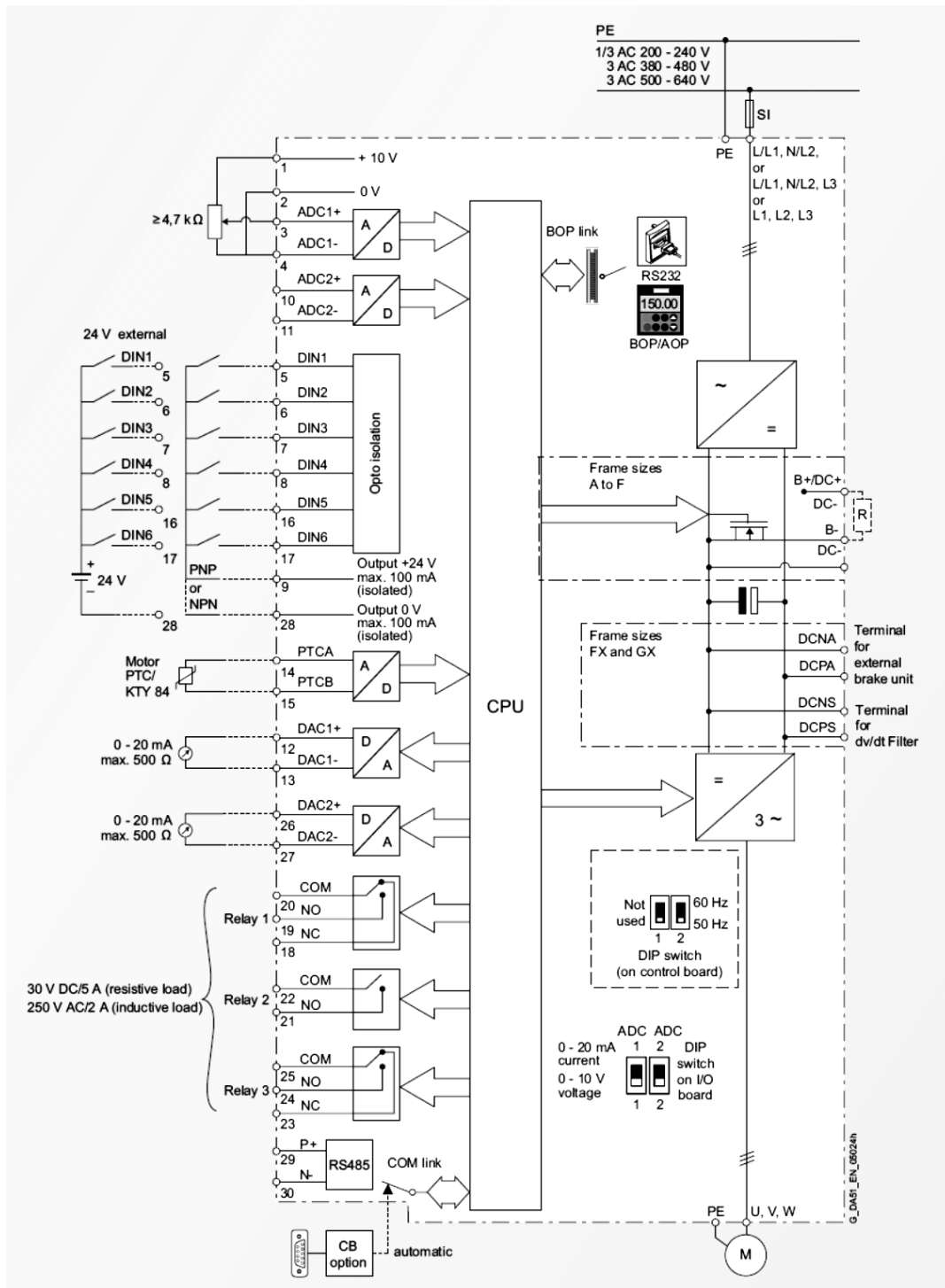


Рисунок 47 - Схема підключення перетворювача Micromaster 440

При векторному керуванні формуються компоненти струму статора: струм намагнічування I_d , що визначає потік двигуна, і активний струм I_q для необхідного моменту. Ковзання і кутова швидкість обертання двигуна обчислюються з використанням моделі спостерігача та інших адаптаційних механізмів. На рис. 48 змінні з індексом «*» означають завдання відповідного параметра.

Необхідна для роботи обладнання значення будь-якого з безлічі програмованих параметрів, зібраних в логічну структуру меню і підміну, може бути легко введено в пам'ять приладу за допомогою клавіатури і алфавітно-цифрового дисплея.

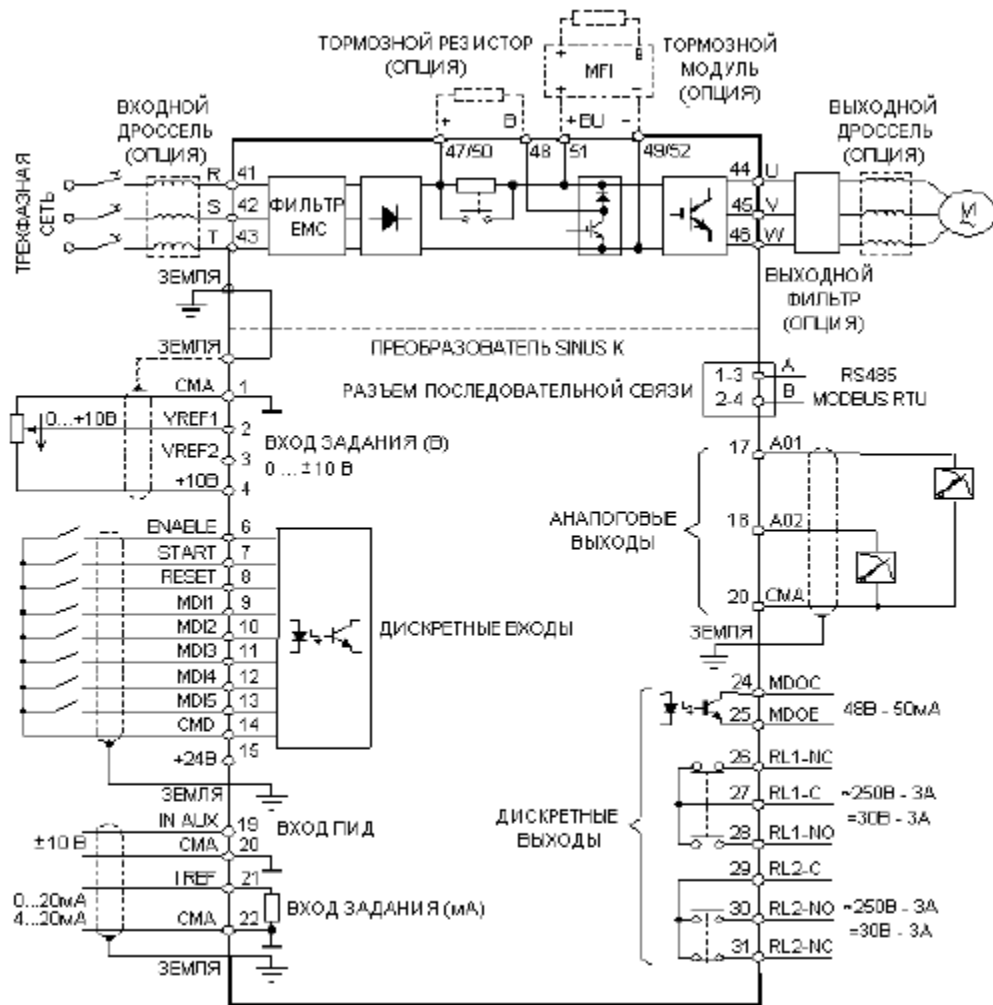


Рисунок 49 - Схема підключення перетворювача SINUS K

- Перетворювачі серії SINUS K мають такі стандартні характеристики:
- живлення від трифазної мережі змінного струму 380 ... 500 В (-10%, + 5%) (для моделей SINUS CABINET - до 690 В);
 - фільтри EMC для промислового оточення, вбудовані в усі моделі;
 - фільтри EMC для побутового оточення, вбудовані в моделі розмірів S05 і S10;
 - можливість харчування від мережі постійного струму;
 - вбудований гальмівний ключ для моделей до S30 включно;
 - послідовний інтерфейс RS485 зі стандартним протоколом обміну MODBUS RTU;
 - виконання IP20 для моделей до S40 включно;
 - можливість виконання IP54 для моделей до S30 включно;
 - 3 аналогових входу 0 ± 10 В, $0 (4) \dots 20$ мА;

- 8 програмованих дискретних входів (NPN / PNP) з оптоізоляцією;
- 2 програмованих аналогових виходу 0 ... 10 В, 4 ... 20 мА, 0 ... 20 мА;
- 1 статичний дискретний вихід з відкритим колектором і оптоізоляцією;

- 2 релейних дискретних виходу з переключаючої групою контактів.

Діагностичні повідомлення дозволяють точно налаштувати перетворювач при налагодженні і швидко знайти рішення проблем, що виникають при роботі обладнання.

12 Системи числового програмного керування металообробні верстати

Впровадження в технологічні процеси обчислювальної техніки дозволило економічно ефективно здійснити ідею числового програмного керування технологічним обладнанням, яка знайшла широке застосування в першу чергу в управлінні верстатами.

Числове програмне управління - це управління обробкою заготовки на верстаті або роботом по керуючій програмі (УП), заданої в цифровій формі. Верстати з пристроями числового програмного керування (УЧПУ) перетворилися сьогодні в найважливіший вид високоефективного металорізального обладнання. Цьому сприяла не тільки високий ступінь автоматизації обробки, але і можливість швидкого переналагодження їх на обробку будь-якої деталі в межах технологічних можливостей верстата. Керуюча програма включає в себе геометричну і технологічну інформацію. Геометрична інформація містить дані про траєкторію руху інструменту і її параметрах. Більшість траєкторій, відтворюваних УЧПУ, являють собою прямі і дуги кіл, тому пряма і дуга окружності - це основні елементи траєкторії, що задаються в керуючій програмі.

Технологічна інформація в УП включає в себе дані про технологічні режими верстата і ріжучому інструменті, а також функції дискретно-логічного управління допоміжними системами верстата.

Будь-який пристрій ЧПУ має чотири основні функції: цифрове управління; обробку УП; зв'язок з оператором; діагностування УЧПУ, тестування програмного забезпечення та апаратних засобів УЧПУ.

На малюнку 50 відображено зміст цих функцій.



Рисунок 50 - Функции УЧПУ

Група функцій цифрового управління визначає перетворення УП в сигнали управління виконавчими механізмами верстата. Функція розрахунку траєкторії включає в себе: інтерпретацію тексту УП, корекцію траєкторії руху з урахуванням геометричних параметрів реального інструменту, розрахунок оптимальних режимів розгону і гальмування. Функція відтворення траєкторії забезпечує управління приводами осей геометрії верстата і відстеження правильності відтворення траєкторії. Для реалізації заданої траєкторії необхідно в режимі реального часу обчислювати координати проміжних точок траєкторії. Цей процес називають інтерполяцією. Функція відтворення траєкторії включає в себе реалізацію замкнутого контуру регулювання положення осей верстата.

Іншу групу функцій складають функції обробки УП, які залежать від способу її підготовки.

Розрізняють такі способи підготовки:

- *аналітичний*, Що передбачає введення програми на мові технолога. Цей спосіб найбільш поширений при програмуванні верстатів з ЧПУ;
- *безпосереднє навчання*, при якому координати точок по всіх осях заносяться в пам'ять після виведення всіх виконавчих механізмів в задану точку. Цей спосіб використовується, як правило, в промислових роботах;
- *напіваналітичного*, При якому координати опорних точок записуються в пам'ять УЧПУ, а ділянки кривих між ними аппроксимируються елементарними кривими. Цей спосіб використовується в контурних УЧПУ роботами (коли траєкторія задається просторовою кривою).

Сучасні УЧПУ мають розвинені інструментальні середовища для інтерактивного створення, корекції і моделювання виконання УП.

Наступна група функцій відповідає за взаємодію оператора із ЧПУ. Традиційно, введення команд оператора в УЧПУ проводиться за допомогою функціональної клавіатури. Однак функціональні можливості сучасних УЧПУ значно розширилися, тому поряд зі стандартною функціональною клавіатурою широко використовуються так звані програмні

клавіші (Soft Key), призначення яких змінюється в залежності від режиму УЧПУ. Поточне призначення програмних клавiш відображається на екрані панелі оператора. На екрані також відображаються: поточний стан та режим роботи пристрою, повідомлення оператору, координати поточного положення інструменту в різних системах координат, поточні технологічні режими, текст поточної керуючої програми і т. Д.

Існує також група функцій діагностування апаратних засобів, системного програмного забезпечення, протікання технологічних процесів, а також правильності вводяться УП. Чим точніше вказано місце несправності, тим менше час відновлення працездатності системи. Для діагностування в УЧПУ використовуються різні програмно-апаратні засоби (датчики положення, програмні лічильники та ін.). Залежно від виконуваного завдання УЧПУ працює в різних режимах. Можна виділити кілька основних режимів роботи, які відповідають функціям УЧПУ:

1) режим налагодження верстата. В цьому режимі оператор має можливість управляти переміщеннями верстата вручну за допомогою клавіатури або спеціальних задають пристроїв. Цей режим використовується при установці і базування заготовки на верстаті;

2) режим виходу в початковий стан. Більшість верстатів оснащені інкрементальними датчиками положення осей. Отже, після включення УЧПУ абсолютні координати осей верстата невідомі. Режим виходу в початковий стан дозволяє здійснити пошук нуль-міток вимірювальних датчиків і визначити положення осей верстата в його системі координат;

3) режим введення і виведення інформації по каналах зв'язку. Він використовується при підготовці УП та зв'язку з зовнішніми пристроями і модулями УЧПУ;

4) режим виконання УП. Цей режим відповідає функції цифрового управління, а також включає в себе контроль стану устаткування і роботи програмного забезпечення. При збої в роботі УЧПУ потрібно зв'язуватися з оператором і повідомляти про помилку через інтерфейс оператора. При виконанні цього завдання одночасно виконується кілька завдань - інтерпретація, інтерполяція і ін. Дискретно-логічне управління, засноване на логічному аналізі надходить з датчиків інформації і відповідної реакції на події, передбачає також адаптацію управління до збурень, що виникають під час роботи.

Керуючі технологічні програми. Виготовлення продукції на верстатах з ЧПУ багато в чому ґрунтується на перевірених практикою надійних типових технологічних рішеннях, що застосовуються на універсальному обладнанні, що обслуговується робочим-верстатником. Ці рішення закладаються в основу технологічних УП для верстатів з ЧПУ.

Основою для складання УП є інформація про заготовку та деталі, яка представляється на папері у вигляді креслення або в САПР у вигляді геометричної моделі. Основним завданням підготовки УП для УЧПУ є побудова траєкторії руху розрахункової точки інструменту щодо контуру де-

талі. Для розрахунку геометричних переміщень використовуються три системи координат.

Система координат верстата відповідно до рекомендацій ISO є правою прямокутною декартовою системою координат, пов'язану з конструктивними елементами верстата. Осі системи координат верстата паралельні поступальним переміщенням осей верстата. Позначення осей координат і напрямку руху встановлюються так, щоб програмування операцій обробки не залежало від того, що переміщається - інструмент або заготовка.

Орієнтація осей системи координат верстата зв'язується з напрямком руху під час свердління на свердлильних, розточувальних, фрезерних і токарних верстатах. Напрямок виходу свердла з заготівлі приймається за позитивний напрямок осі Z . Вісь X перпендикулярна осі Z і паралельна площині установки заготовки. Якщо такого визначення відповідають дві осі, то за вісь X приймають вісь з найбільшим переміщенням. При відомих осях X і Z однозначно визначається вісь Y . Початок системи координат верстата вибирається довільно, але зазвичай поєднується з базовою точкою вузла, що несе заготовку.

Система координат інструмента призначена для завдання положення різальних крайок щодо державки. Осі системи координат інструмента паралельні осям системи координат верстата і спрямовані в ту ж сторону, а початок розташовується в базовій точці інструментального блоку. При установці інструменту в верстат його базова точка, як правило, поєднується з базовою точкою вузла верстата, несе інструмент. В УП задається траєкторія руху базової точки інструменту. Таким чином, УП не залежить від геометричних параметрів використовуваного інструменту, які вводяться в УЧПУ незалежно від УП. При виконанні програми УЧПУ розраховує траєкторію руху ріжучої кромки інструменту, використовуючи його параметри. Цей процес називають корекцією на інструмент.

Система координат деталі служить для розрахунку координат опорних точок траєкторії інструменту. Опорними називають точки початку, кінця, перетинання або торкання геометричних елементів, з яких утворені контури деталі і траєкторії інструменту. Система координат деталі використовується при підготовці УП. При виконанні УП система координат верстата, як правило, поєднується з системою координат деталі з урахуванням базування заготовки в робочому просторі верстата.

В якості системи координат деталі приймається права прямокутна система. При виборі початку системи координат деталі та орієнтації її осей виходять з простоти розрахунків опорних точок траєкторії.

Формат УП визначається рекомендаціями ISO і національними стандартами, наприклад ГОСТ 20999-83, DIN 66025 і т. Д. Мова більшості сучасних УЧПУ в тій чи іншій мірі відрізняється від стандарту.

Керуюча програма записується у вигляді послідовності кадрів, що представляють собою закінчені за змістом фрази на мові кодування геометричній, технологічній та допоміжній інформації. Окремі послідовності

кадрів для обробки ділянок заготовки об'єднуються в розділи, кожна з яких починається з головного кадру. Головний кадр містить інформацію про умови обробки, з нього можна починати або відновлювати роботу верстата по УП. Решта кадри містять тільки зміни щодо попередніх кадрів і називаються додатковими.

Кадри складаються зі слів, а слова - з символів. Перший символ слова завжди є буквою, званої адресою слова, а інші символи утворюють число зі знаком, або цілочисельний код. Кадр містить послідовність слів, що утворюють інформацію для однієї робочої операції. В УП використовуються лише великими літерами латинського алфавіту, цифри, а також деякі службові символи.

Програма починається символом «%», за яким слідує ім'я програми. Закінчується програма символами M02 або M03 (кінець програми). Коментарі полягають в круглі дужки і розміщуються після імені програми між кадрами. Кожен кадр програми повинен містити слово з адресою N (номер кадру або ознака головного кадру), інформаційні слова і символ PC (ознака кінця кадру).

Словосполучення «Номер кадру» є допоміжною інформацією і служить ідентифікатором, міткою, кадром. Послідовна нумерація кадрів раціональна, але допускаються будь-які зміни номерів, лімітується тільки неповторяємость в межах однієї програми. У нових моделях УЧПУ словосполучення «Номер кадру» необов'язково.

Підготовчі функції визначають режим роботи УЧПУ. Ці слова задаються адресою O і двозначним (а в нових УЧПУ - тризначним) десятковим числом. Підготовчі функції розділені на групи. В одному кадрі можна задати тільки одну функцію з кожної групи.

Словосполучення «Розмірні переміщення» призначене для завдання геометричної інформації. Адресою його є позначення осі верстата, наприклад X, Y, Z. Розмірні переміщення означають координати опорних точок траєкторії інструменту в системі координат деталі (абсолютні розміри, активна функція O90) або розміри в збільшеннях, які записуються числами з «плаваючою» крапкою із знаком. З огляду на, що початкова точка кожного з ділянок траєкторії, крім першого, є одночасно кінцевою точкою попереднього ділянки, в кадрах задається інформація тільки про кінцевих точках.

Словосполучення «Функція подачі» (адреса P) визначає контурну швидкість руху інструменту по траєкторії. Швидкість задається числом з «плаваючою» точкою в міліметрах за хвилину, якщо активна функція O94, або в міліметрах на один оборот шпинделя, якщо активна O95.

Словосполучення «Швидкість головного руху» записується з адресою 8 і визначає лінійну швидкість точки прикладання інструменту щодо заготовки в метрах за хвилину, якщо активна функція G96 (постійна швидкість різання), або частоту обертання шпинделя в оборотах на хвилину, якщо активна функція G97. Словосполучення «Функція інструменту» ви-

користовується для вказівки інструменту і набору геометричних параметрів інструменту - коректорів. У слові за адресою T записується кодове число з однією або двома групами цифр. У першому випадку слово задає тільки номер інструменту або його позицію в магазині інструментів, а коректор для цього інструменту визначається іншим словом з адресою O. У другому випадку друга група цифр визначає номер коректора на довжину, положення або радіус інструменту.

Допоміжні функції визначають команди управління Електроавтоматика верстата і задаються словами з адресою M і двозначним десятковим кодовим числом (M00 ... M99). Частина допоміжних функцій є стандартними. Наприклад, M03, M4 - включення обертання шпинделя по або проти годинникової стрілки відповідно; M7, M8 - включення подачі мастильно-охолоджувальної рідини № 1 або № 2 відповідно. Призначення функцій, невстановлених стандартом, визначається розробником конкретного верстата.

Приклад УП для руху інструменту по контуру, представленою на рис. 51:

```
% 1
N1 T1 81000 M03
N2 O90 G0 X10 Y10
N3 01 X30 Y30 P300
N4 O2O17X50Y10 10 120
N5 01 X10 Y10
N6 X0 Y0
N7 M03
```

Програма має ім'я 1. У кадрі N1 встановлюються інструмент № 1, частота обертання шпинделя 1000 хв-1, і напрямок обертання - за годинниковою стрілкою. Рухи по траєкторії в цьому кадрі ще немає.

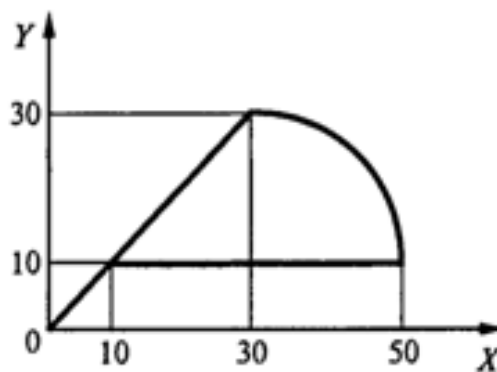


Рисунок 51- Крива переміщення інструменту

У кадрі N2 встановлюється режим завдання розмірних переміщень щодо нуля системи координат деталі (функція G90). Функція G0 задає режим швидкого позиціонування, т. Е. Переміщення на максимальній швид-

кості в задану точку. Після виконання цього кадру інструмент переміщається в точку з координатами 10, 10.

Кадр N3 задає рух по прямій лінії (функція G1) в точку з координатами 30, 30 з контурній швидкістю 300 мм / хв.

Кадр N4 задає рух по дузі кола за годинниковою стрілкою (функція G2) в площині X0Y (функція G17). Кінцева точка дуги має координати 50, 10. Адресами I, J задані координати центру дуги щодо початкової точки дуги.

Кадр N5 знову переводить УЧПУ в режим лінійної інтерполяції і задає рух в точку з координатами 10, 10.

Кадр N6 задає рух в точку з координатами 0, 0 на швидкому ході.

Кадр N7 містить допоміжну функцію M03, що позначає кінець програми. Після виконання цього кадру УЧПУ повертається в початковий стан.

Описані команди мови УП задають тільки елементарні дії по обробці заготовки. Використання тільки елементарних команд при програмуванні складних деталей призводить до збільшення розміру УП і зростанню числа помилок. Прагнення зменшити довжину УП, скоротити час її розробки і число помилок викликає необхідність розширити мову програмування і обчислювальні можливості УЧПУ. Цьому сприяє застосування підпрограм і стандартних циклів, які є своєрідними Макроозначення для обробки цілих областей заготовки.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Металорізальні верстати та автомати: підручник для машинобудівних вузів / під ред. А. С. Пронікова. - М.: Машинобудування, 1981. - 479 с.
- 2 Казачковській, М. М. Комплектні Електроприводи: навч. посібник / М. М. Казачковській. - Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. - 226 с. - ISBN 5-285-00250-7.
- 3 **Зімін, Е. Н.** Електрообладнання промислових підприємств і установок: підручник для технікумів / Е. Н. Зімін, В. І. Преображенський, І. І. Чувашев. - 2-е изд., Перераб. і доп. - М.: Енергоіздат, 1981. - 552 с.
- 4 **Ігнатов, В. А.** Електрообладнання сучасних металорізальних верстатів і обробних комплексів / В. А. Ігнатов, В. Б. Рівненський, Р. Т. Орлова. - М.: Вища школа, 1999. - 96 с.
- 5 Рябов, В.І. Електрообладнання: навч. для середовищ. спец. навч. закладів / В. І. Рябов - 5-е изд., перераб. - М.: Економіка, 1990. - 175 с.
- 6 Автоматизація і привід: Каталог СА01. - Випуск 10/2003. - ДП Сіменс Україна.
- 7 Частотно-регульовані приводи: Каталог. - Випуск 02/2003. - ДП Сіменс Україна.

Навчальне видання

**ШУЛЬГА Олексій Анатолійович
Полупан Іван Іванович
Ткаченко Андрій Олександрович**

**Автоматизоване електроприводом
МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ верстатів**

навчальний посібник

для студентів спеціальності
«Електромеханічні системи автоматизації та електропривід»

(Російською мовою)

Редактор О. О. Дудченко

Комп'ютерна верстка О. С. Орда

138/2010 підп. до друку. Формат 60 x 84/16.
Папір офсетний. Розум. друк. арк. . Обл.-вид. арк. .
Тираж прим. Зам. №

Донбаська державна Машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру
серія ДК №1633 від 24.12.03.