

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО  
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ І СИСТЕМ  
УПРАВЛІННЯ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ЩОДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ  
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
**«КОМПЛЕКТНІ ЕЛЕКТРОПРИВОДИ»**  
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ  
ЗА НАПРЯМОМ  
6.050702 – «ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»  
(У ТОМУ ЧИСЛІ СКОРОЧЕНИЙ ТЕРМІН НАВЧАННЯ)

КРЕМЕНЧУК 2015

Методичні вказівки щодо практичних занять з навчальної дисципліни «Комплектні електроприводи» для студентів денної та заочної форм навчання за напрямом 6.050702 – «Електромеханіка» (у тому числі скорочений термін навчання)

Укладач      старш. викл. А. М. Артеменко

Рецензент    к. т. н., доц. Д. Г. Мамчур

Кафедра систем автоматичного управління та електропривода

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

Голова методичної ради \_\_\_\_\_ проф. В. В. Костін

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Перелік практичних занять.....	8
Практична робота № 1 Розрахунок частотно-регульованого електропривода вентилятора.....	8
Практична робота № 2 Розрахунок параметрів і вибір частотно-регульованого електропривода механізму головного підйому мостового крана.....	17
Практична робота № 3 Розрахунок електропривода рольганга ножиців..	28
2 Критерії оцінювання знань студентів.....	42
Список літератури.....	43
Додаток А Технічні дані електродвигунів.....	44
Додаток Б Вихідні дані до завдання 3.1.....	48
Додаток В Технічні дані трансформаторів і струмообмежуючих реакторів.....	52

## ВСТУП

Метою дисципліни «Комплектні електроприводи» є поглиблення спеціальної підготовки інженера-електромеханіка широкого профілю, набуття студентами цілісного підходу при аналізі режимів роботи електромеханічних систем, сприяння закріпленню та поглибленню теоретичних знань, отримання практичних навичок з даного питання.

Методичні вказівки до кожного практичного заняття містять у собі:

- тему;
- мету;
- короткі теоретичні відомості;
- методичні рекомендації щодо виконання завдання;
- приклади розв'язання завдань;
- завдання до теми;
- контрольні питання;
- літературу.

При виборі завдання до теми необхідно враховувати те, що варіант для студентів денної форми навчання вибирається за номером у журналі академічної групи, а для студентів заочної форми навчання – за останньою цифрою в заліковій книжці.

Для вихідних даних, що відповідають номеру варіанта, необхідно виконати: розрахувати потужність двигуна для привода, вибрати двигун та вказати його паспортні дані, вибрати перетворювач, указати його тип, основні технічні дані та навести його схему підключення.

При виборі перетворювача варто виходити з матеріальних можливостей і переліку необхідних характеристик, які має поєднувати в собі перетворювач.

Вихідними даними при виборі КЕП є:

- режим роботи й характер зміни навантаження в роботі залежно від часу й швидкості;
- необхідність реверса;

- необхідність і мета регулювання (стабілізація швидкості або співвідношення швидкостей, стабілізація технологічних параметрів, обмеження навантаження, плавний пуск і гальмування, енергозбереження);
- якість регулювання (діапазон, точність, швидкодія);
- спосіб живлення (від мережі, від автономного джерела, рід струму, рівень напруги);
- умови експлуатації (температура, вологість, вибухонебезпечність, вібрація);
- вимоги до надійності.

Основними технічними даними комплектних електроприводів є номінальний струм і номінальна напруга. Вибір перетворювача здійснюється за каталогами електротехнічної промисловості або за довідниками на базі номінальних даних попередньо вибраного двигуна з умови:

$$I_{\text{ПР}} \geq I_{\text{Н}}, U_{\text{ПР}} \geq U_{\text{Н}}.$$

Комплектний електропривод постійного струму містить у собі [2]:

- електродвигун;
- силовий трансформатор (або струмообмежувальний реактор);
- силовий тиристорний перетворювач для живлення двигуна, що складається із силових тиристорів із системою охолодження, захисних запобіжників, розрядних, фільтрувальних і захисних R, L, C -кіл;
- тиристорний перетворювач для живлення обмотки збудження при регульованому магнітному потоці двигуна постійного струму (або вбудоване джерело збудження, або апаратуру для підключення обмотки збудження до мережі постійної напруги при нерегульованому потоці двигуна);
- систему імпульсно-фазового керування, пристрою виділення аварійного режиму, контролю стану запобіжників і захисту від перенапруг;
- комутаційну й захисну апаратуру в колах постійного й змінного струму (автоматичні вимикачі, лінійні контактори, рубильники);
- згладжуючий реактор у колі постійного струму (за необхідності);
- пристрій динамічного гальмування (за необхідності);

- систему керування електроприводом;
- комплект апаратів, приладів і пристроїв, що забезпечують оперативне керування, контроль стану й сигналізацію електропривода;
- вузли живлення обмотки збудження тахогенератора й електромеханічного гальма.

У завданні вибирається силовий тиристорний перетворювач для живлення двигуна, силовий трансформатор для живлення перетворювача (або струмообмежувальний реактор), згладжуючий реактор у колі постійного струму (за необхідності).

Живлення двигунів постійного струму передбачається від перетворювача, складеного за трифазною мостовою схемою випрямлення з роздільним керуванням тиристорних груп.

Найпоширенішим різновидом електроприводів постійного струму вітчизняної промисловості є електропривод серії КТЕ, що випускається ПАТ «Перетворювач», м. Запоріжжя, призначений для використання в металургії та інших галузях промисловості, а також електропривод комплектний тиристорний з мікропроцесорним керуванням типу ЕКТЦ виробництва ТОВ «Южелектропроект», м. Харків.

У верстатах із ЧПК застосовуються електроприводи уніфіковані трифазні серії ЕПУ, призначені для створення реверсивних і неревверсивних систем керування двигунами постійного струму.

Для асинхронних двигунів вибір частотного перетворювача потрібно здійснювати залежно від потреб зі скалярним або векторним керуванням. При виборі перетворювача зі скалярним керуванням слід ураховувати закони керування ( $\frac{U}{f}$  – пропорційний, квадратичний або кореневий).

Пропозиція на ринку частотних перетворювачів є досить великою. Вирізняється тільки ціна і якість перетворювачів. Перетворювачі таких фірм, як Siemens, Schneider Electric, Moeller, Vacon мають деякі переваги порівнянно з іншими виробниками. Найбільшою популярністю користується продукція

таких виробників, як Siemens (перетворювачі Micromaster), ABB, Control Techniques, Schneider Electric (перетворювачі Altivar), Danfoss, Lenze. До менш відомих європейських виробників перетворювачів частоти належать Vacon, Elettronica Santerno, Emotron.

До найбільш популярних американських виробників належить General Electric. Серед азіатських компаній найбільш відома продукція таких виробників частоти, як японські Mitsubishi Electric, Omron, Hitachi, Toshiba, Fuji Electric, корейські й тайванські LG, Hyundai Electronics, Long Shenq Electronic, Delta Electronics. Є й російські виробники перетворювачів частоти, до найбільш популярних належать «Комбарко», «Веспер», «Эрасиб», «Вектор» і ін. Перетворювачі частоти випускає й Китай, однак китайські перетворювачі частоти, на відміну від корейських, не відрізняються високою якістю.

Після вивчення дисципліни студент повинен знати:

- конструкцію та принцип роботи комплектних електроприводів;
- силову частину та систему керування комплектними електроприводами;
- головні технічні характеристики комплектних електроприводів;
- головні принципи формування статичних, динамічних та енергетичних характеристик комплектних електроприводів;
- побудову та принцип дії вузлів, призначених для оброблення інформації в системах автоматичного регулювання комплектних електроприводів;

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен уміти:

- проводити розрахунки параметрів комплектних електроприводів та їх вузлів;
- проводити розрахунок синтезу найважливіших елементів систем автоматичного регулювання;
- вибрати двигун і комплектний електропривод.

# 1 ПЕРЕЛІК ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

## Практичне заняття № 1

**Тема. Розрахунок частотно-регульованого електропривода вентилятора.**

**Мета:** опанування методів і набуття навичок розрахунку частотно-регульованого електропривода вентилятора.

### Короткі теоретичні відомості

Вентилятори як виробничі механізми характеризуються тривалим режимом роботи з постійним навантаженням і з великою тривалістю роботи протягом року. Перевантаження електропривода технологічно неможливі, бажаний плавний пуск. Необхідний діапазон регулювання швидкості для вентиляторів зазвичай не перевищує 2:1.

Зазначеним вимогам найбільш повно відповідає частотно-регульований асинхронний електропривод вентилятора. При цьому, як правило, можна обмежитися використанням простих і недорогих систем скалярного керування. Зазвичай в приводі вентилятора використовується гальмування вибігом, тому не потрібне встановлення гальмівних резисторів або інших пристроїв для поглинання енергії обертових мас.

Вентилятори розділяють на відцентрові (радіальні) й осьові.

Вентилятори радіальні низького тиску загального призначення (загальнопромислові) використовуються в системах вентиляції та кондиціонування, а також у технологічних установках.

Виготовляються різні типорозміри вентиляторів за схемою з безпосереднім з'єднанням з двигуном і за схемою з пасовим приводом. Завдяки такому виконанню аеродинамічні характеристики вентиляторів заповнюють досить рівномірно і густо всю область режимів з продуктивністю від 1000 до 100000 м<sup>3</sup>/год і повним тиском від 100 до 1800 Па.

Вентилятори є механізмами з режимом тривалого навантаження зі значною кількістю годин роботи на рік; навантаження на валу двигуна



спокійне, перевантажень не виникає. Частота обертання робочого колеса вентилятора для великих машин не перевищує 600 об/хв, зі зменшенням потужності вентиляторів їхня номінальна частота обертання зростає до 1500–3000 об/хв.

Раціональний вибір вентилятора з високим ККД на будь-який заданий режим здійснюють практично без запасу, що дає можливість значно знизити енергоспоживання вентиляторної установки, зменшити габарити і масу.

Для комплектації вентиляторів застосовуються асинхронні трифазні короткозамкнені одношвидкісні двигуни загальнопромислового застосування серій 4А, АИР та інші, більш нових серій, призначені для роботи від мережі змінного струму із частотою 50 Гц і напругою 220/380 В. Кліматичне виконання двигуна підбирається з урахуванням кліматичного виконання вентилятора. Серед механізмів, що приводяться в рух асинхронними двигунами, частка вентиляторів становить 37,7 %. Основна їх кількість припадає на вентилятори санітарно-технічного призначення, що здійснюють кондиціонування повітря. Незважаючи на відносно невелику потужність цих вентиляторів (до 100 кВт), на них припадає значна сумарна споживана енергія. У зв'язку з цим особливе значення для вентиляторів має застосування регульованого електропривода, тому що ККД у цьому випадку в середньому на 12 % вище ніж з використанням нерегульованого електропривода.

Вентилятори, на відміну від інших турбомеханізмів, завжди працюють на мережу без протитиску, унаслідок чого залежність моменту статичного опору на валу приводного двигуна від швидкості носить квадратичний характер, а потужність, що підводиться до вентилятора без урахування втрат на тертя в підшипниках, пропорційна кубу швидкості. Вентилятори мають великий момент інерції, який іноді на порядок і більше перевищує момент інерції приводного двигуна. Це ускладнює їх пуск, а в деяких випадках, вимагає застосування електричного гальмування для швидкої зупинки робочого колеса.

Електропривод вентилятора повинен відповідати таким технічним вимогам і умовам експлуатації:

1. Вентилятор працює на нагнітання без протитиску в двох технологічних режимах:

– регулювання продуктивності при нормальних атмосферних умовах в межах зони регулювання параметрів вентилятора;

– підтримка продуктивності при тиску не менш ніж заданий, в умовах зміни температури повітря на стороні всмоктування в межах від +30° до - 40° С.

2. Режим роботи – тривалий.

3. Мережа трифазна 380 В, 50 Гц.

### Методичні рекомендації щодо виконання завдання

1. Розрахунок потужності двигуна.

Номінальна потужність приводного двигуна повинна дорівнювати або бути трохи більшою за потужність на валу вентилятора в усіх його можливих технологічних режимах роботи і визначається за формулою:

$$P = k_3 \frac{QH}{\eta_s \eta_n} 10^{-3}, \quad (1.1)$$

де  $P$  – номінальна потужність двигуна, кВт;  $Q$  – продуктивність, м<sup>3</sup>/с;  $H$  – тиск, Па;  $\eta_s$  – ККД вентилятора, %;  $\eta_n$  – ККД передачі, %;  $k_3$  – коефіцієнт запасу.

Коефіцієнти корисної дії передачі лежать у межах 0,9–0,99. Коефіцієнт запасу для осьових вентиляторів  $k_3 = (1,05–1,10)$ ; для відцентрових вентиляторів  $k_3 = (1,10–1,15)$ .

2. Розрахункові параметри електродвигуна.

Номінальна частота обертання двигуна

$$n_n = n_0 (1 - S_n) \quad (1.2)$$

Синхронна кутова швидкість двигуна

$$\omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} \quad (1.3)$$

Номінальна кутова швидкість двигуна

$$\omega_n = \omega_0 (1 - S_n) \quad (1.4)$$

Номінальний момент двигуна

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}. \quad (1.5)$$

Максимальний момент двигуна

$$M_{\max} = m_{\max} M_n. \quad (1.6)$$

Пусковий момент двигуна

$$M_n = m_n M_n. \quad (1.7)$$

Номинальний струм статора

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3}U_H \eta_H \cos \varphi_H}. \quad (1.8)$$

Максимальний струм при прямому пуску

$$I_{1\max} = k_{\text{доб}} I_n. \quad (1.9)$$

### 3. Вибір перетворювача.

Після вибору двигуна й визначення його номінальних параметрів можна вибирати перетворювач.

Вибір перетворювача здійснюється відповідно до номінальних даних двигуна з умови  $I_{\text{лр}} \geq I_n$ ,  $U_{\text{лр}} \geq U_n$ .

### Приклади розв'язання завдань

Розрахувати частотно-регульований електропривод вентилятора.

Вихідні дані: продуктивність  $Q$  – 10000 м<sup>3</sup>/год; тиск  $H$  – 850 Па; ККД вентилятора  $\eta_v$  – 80 %; синхронна частота обертання  $n_0$  – 1500 об/хв; тип вентилятора – відцентровий.

*Розв'язок.* Розрахункова потужність

$$P = \frac{QH}{\eta_e} = \frac{10000 \cdot 850}{3600 \cdot 0,8} 10^{-3} = 2,95 \text{ кВт.}$$

Беремо ККД передачі  $\eta_n = 90$  %, коефіцієнт запасу  $k_3 = 1,1$ .

Потужність на валу вентилятора

$$P = k_3 \frac{P}{\eta_n} = 1,1 \frac{2,95}{0,9} = 3,25 \text{ кВт.}$$

При синхронній швидкості 1500 об/хв найближчим за потужністю є електродвигун АИР100L4 [8], номінальна потужність якого дорівнює 4 кВт.

Зауважимо, що двигун вибраної потужності задовольняє роботу вентилятора в усій області аеродинамічних характеристик при нормальних атмосферних умовах. Технічні характеристики електродвигуна наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики електродвигуна

Типорозмір	АИР100L4
Напруга $U_n$ , В	380
Потужність $P_n$ , кВт	4,0
Частота обертів $n_n$ , об/хв	1425
Струм $I_n$ , А	8,8
ККД $\eta_n$ , %	85,9
$\cos\varphi_n$	0,77
$m_n = \frac{M_n}{M_n}$	2,5
$m_{max} = \frac{M_{max}}{M_n}$	3
$k_{дв} = \frac{I_n}{I_n}$	6
Момент інерції $J$ , кг·м <sup>2</sup>	0,0101
Ступінь захисту	IP55

Синхронна кутова швидкість двигуна

$$\omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} = \frac{2\pi \cdot 1500}{60} = 157 \text{ рад/с.}$$

Номінальна кутова швидкість двигуна

$$\omega_n = \frac{2\pi n_n}{60} = \frac{2\pi \cdot 1425}{60} = 149,15 \text{ рад/с.}$$

Номінальний момент двигуна

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{4000}{149,15} = 26,8 \text{ Нм.}$$

Максимальний момент двигуна

$$M_{max} = m_{max} M_n = 3 \cdot 26,8 = 80,5 \text{ Нм.}$$

Пусковий момент двигуна

$$M_n = m_n M_n = 2,5 \cdot 26,8 = 67 \text{ Нм.}$$

Номінальний струм статора

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3}U_n\eta_H \cos\varphi_H} = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,859 \cdot 0,77} = 9,2 \text{ А.}$$

Максимальний струм двигуна при прямому пуску:

$$I_{1max} = k_{id6} I_H = 6 \cdot 9,2 = 55 \text{ А.}$$

Відповідно до умови  $I_{пр} \geq I_H$  вибираємо перетворювач частоти моделі MICROMASTER 6SE6420-2UD24-0BA1 виробництва концерну SIEMENS [9].

Характеристики перетворювача частоти SIEMENS MICROMASTER 420:

- напруга живлення 3АС 380-480 В +10/-10% 47-63 Гц;
- потужність при постійному моменті навантаження 4 кВт, перевантаження 150 % до 60 с;
- вихідний струм 10,2 А;
- потужність при змінному моменті навантаження 4 кВт;
- ступінь захисту IP20;
- температура навколишнього середовища при експлуатації від -10°C до +5°C.

Особливості Siemens Micromaster 420:

- просте введення в експлуатацію;
- особливо гнучка конфігурація завдяки модульній конструкції;
- безшумна робота двигуна завдяки високій частоті ШИМ;
- повний захист двигуна й перетворювача;
- перевантажувальна здатність 150 % від розрахункового вихідного струму в інтервалі 60 с кожні 5 хв;
- захист від перенапруги й зниженої напруги;
- захист від перегріву перетворювача;
- захист двигуна за допомогою підключення РТС терморезистора;
- захисне заземлення;
- захист від короткого замикання;
- тепловий захист;
- захист від блокування двигуна;
- захист від перекидання інвертора;

- захист від зміни параметрів;
- новітня технологія IGBT;
- цифрове мікропроцесорне керування;
- пряме керування потоком двигуна (FCC) для покращання динамічних характеристик і оптимального керування двигуном;
- U/f керування квадратичне.

Блок-схема перетворювача MICROMASTER наведено на рисунку 1.1.

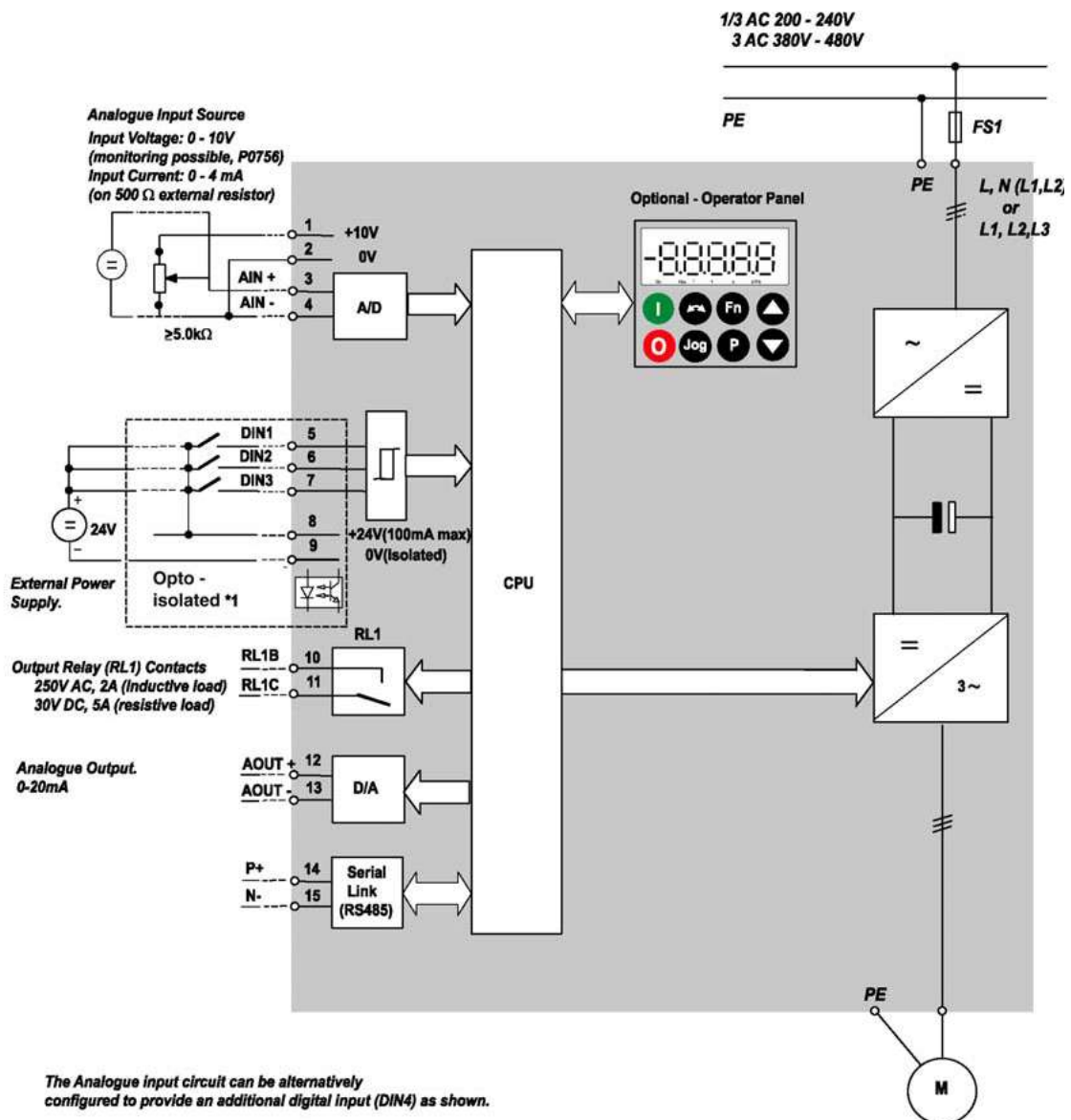


Рисунок 1.1 – Блок-схема перетворювача MICROMASTER 6SE6420-2UD24-0BA1

### Завдання до теми

Завдання 1.1 Розрахувати частотно-регульований електропривод вентилятора. Вихідні дані наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані для розрахунку завдання 1.1

Варіант	Продуктивність $Q$ , м <sup>3</sup> /год	Тиск $H$ , Па	ККД вентилятора $\eta_v$ , %	Синхронна швидкість $n_0$ , об/хв	Тип вентилятора
0	8000	800	82	3000	відцентровий
1	9000	900	84	1500	
2	10000	1000	84	1000	
3	11000	1100	85	1500	
4	12000	1200	86	1500	
5	13000	1300	86	3000	
6	14000	1250	84	1500	
7	15000	1300	85	1000	
8	16000	1350	84	3000	
9	17000	1000	85	1000	
10	18000	1050	84	1500	осьовий
11	19000	1100	85	3000	
12	20000	1300	84	1500	
13	21000	1400	85	750	
14	22000	1350	84	1000	
15	23000	1450	86	1500	
16	24000	1500	85	1000	
17	25000	1550	86	750	
18	26000	1600	84	1000	
19	27000	1500	83	1000	
20	28000	1550	83	1000	відцентровий
21	29000	1650	82	750	
22	30000	1700	84	1000	
23	31000	1750	85	750	
24	32000	1800	86	1000	
25	8000	1300	82	750	
26	9000	1400	84	1500	
27	10000	1350	84	1000	
28	11000	1450	85	750	
29	12000	1500	86	1000	

Продовження таблиці 1.1

Варіант	Продуктивність $Q$ , м <sup>3</sup> /год	Тиск $H$ , Па	ККД вентилятора $\eta_B$ , %	Синхронна швидкість $n_0$ , об/хв	Тип вентилятора
30	13000	1550	86	1000	осьовий
31	14000	1600	84	750	
32	15000	800	85	1000	
33	16000	900	84	1500	
34	17000	1000	85	1000	
35	18000	1100	84	750	
36	19000	1200	85	1500	
37	20000	1300	84	1000	
38	21000	1250	85	750	
39	22000	1500	84	750	
40	23000	1550	86	1000	
41	24000	1600	85	1500	
42	25000	1500	86	750	
43	26000	1550	84	1500	
44	27000	1650	83	1000	
45	28000	1700	83	600	
46	29000	1750	82	1500	
47	30000	1700	84	1000	
48	31000	1750	85	750	
49	32000	1800	86	1500	

### Контрольні питання

1. Яким режимом роботи характеризуються вентилятори?
2. Які основні вимоги висувають до регульованого електропривода вентилятора?
3. На які види ділять вентилятори?
4. Які електродвигуни використовують в електроприводі вентиляторів?
5. Які технічні вимоги та умови експлуатації необхідно враховувати при виборі електропривода вентилятора?

**Література:** [4; 5].



## **Практичне заняття № 2**

### **Тема. Розрахунок параметрів і вибір частотно-регульованого електропривода механізму головного підйому мостового крана**

**Мета:** опанування методів і набуття навичок розрахунку частотно-регульованого електропривода механізму головного підйому мостового крана.

#### **Короткі теоретичні відомості**

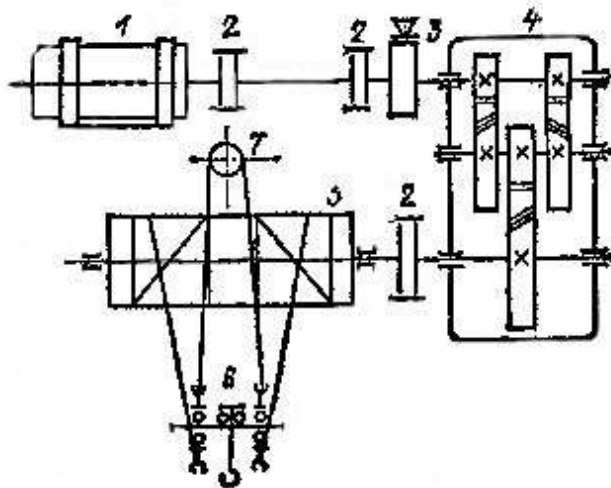
Мостовий кран являє собою міст, що переміщається по кранових рейках на ходових колесах, які встановлені на кінцевих балках. Рейки укладають на підкранові балки, що спираються на виступи верхньої частини колон цеху. Механізм пересування встановлений на моста крана. Керування всіма механізмами відбувається з кабіни, прикріпленою до мосту крана. Живлення електродвигунів здійснюється по цехових троляях. Для підведення електроенергії застосовують струмознімальники ковзаючого типу, прикріплені до металоконструкцій крана. У сучасних конструкціях мостових кранів струмопідведення здійснюється за допомогою гнучкого кабелю. Привод ходових коліс здійснюється від електродвигуна через редуктор і трансмісійний вал.

Будь-який сучасний вантажопідйомний кран, відповідно до вимог безпеки, може мати для кожного робочого руху в трьох площинах такі самостійні механізми: механізм підйому-опускання вантажу, механізм пересування крана в горизонтальній площині та механізми обслуговування зони роботи крана (пересування візка).

До основних параметрів підйомного механізму крана належать вантажопідйомність, маса захоплюючого пристрою, діаметр барабана, передаточне число редуктора, швидкість підйому, висота підйому.

Механізм підйому забезпечується регульованим електроприводом.

Типову кінематичну схему механізму головного підйому наведено на рисунку 2.1.



1 – двигун; 2 – муфта; 3 – гальмо; 4 – редуктор; 5 – барабан; 6 – поліспасти;  
7 – нерухомий блок поліспасти

Рисунок 2.1 – Кінематична схема механізму головного підйому

До основних напрямів модернізації привода належить перехід до сучасної елементної бази на основі частотного перетворювача. При підключенні частотного перетворювача пуск двигуна відбувається плавно, без пускових струмів і ударів, що знижує навантаження на двигун і механізми, збільшує строк їх служби.

Частотний перетворювач дозволяє заощаджувати на непродуктивних витратах енергії, оскільки має функцію енергозбереження. Ця функція дозволяє при виконанні тієї ж роботи заощаджувати додатково від 5 до 30 % електроенергії шляхом підтримки електродвигуна в режимі оптимального ККД.

### Методичні рекомендації щодо виконання завдання

#### 1. Розрахунок статичних моментів.

Момент статичного опору на валу двигуна при підйомі вантажу

$$M_{c1} = \frac{G_{\Gamma} + G_0 \cdot D_6}{2 \cdot i_{\text{рп}} \cdot \eta}, \quad (2.1)$$

де  $M_{c1}$  – момент статичного опору на валу електродвигуна при підйомі вантажу, Н·м;  $D_6$  – діаметр барабана підйомної лебідки, м;  $G_{\Gamma}$  – вага вантажозахоплюючого пристрою з вантажем, Н;  $G_0$  – вага вантажозахоплюючого пристрою без вантажу, Н;  $\eta$  – ККД підйомника при

підйомі вантажу;  $i_{pn}$  – передаточне число редуктора з урахуванням кратності поліспастів.

Вага вантажозахоплюючого пристрою з вантажем

$$G_T = Q \cdot g \cdot 10^3, \quad (2.2)$$

де  $Q$  – вантажопідйомність пристрою, т.

Вага вантажозахоплюючого пристрою без вантажу

$$G_0 = m_0 \cdot g, \quad (2.3)$$

де  $m_0$  – маса вантажопідйомного пристрою, кг.

Передаточне число редуктора з урахуванням кратності поліспасти

$$i_{pn} = i_p \cdot i_n, \quad (2.4)$$

де  $i_p$  – передаточне число редуктора привода;  $i_n$  – кратність поліспастів.

Момент статичного опору на валу двигуна при опусканні вантажу (гальмівний спуск)

$$M_{c2} = M_{c1} (2\eta - 1), \quad (2.5)$$

де  $M_{c2}$  – момент статичного опору на валу двигуна при опусканні вантажу, Н·м.

Момент статичного опору на валу двигуна при підйомі вантажозахоплюючого пристрою

$$M_{c3} = \frac{G_0 \cdot D_\delta}{2 \cdot i_{pII} \cdot \eta_0}, \quad (2.6)$$

де  $M_{c3}$  – момент статичного опору на валу двигуна при підйомі вантажозахоплюючого пристрою без вантажу, Н·м;  $\eta_0$  – ККД привода при підйомі й спуску вантажозахоплюючого пристрою без вантажу.

ККД привода при підйомі й спуску вантажозахоплюючого пристрою без вантажу

$$\eta_0 = \frac{K_3 \cdot \eta}{0,6 \cdot (1 - \eta) + 0,6 \cdot K_3 \cdot \eta + 0,4 \cdot K_3}, \quad (2.7)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт завантаження крана на холостому ході.

Коефіцієнт завантаження крана на холостому ході

$$K_3 = \frac{G_0}{G_0 + G_T}. \quad (2.8)$$

Момент статичного опору на валу двигуна при спуску вантажозахоплюючого пристрою без вантажу:

$$M_{c4} = M_{c3}(2\eta_0 - 1). \quad (2.9)$$

де  $M_{c4}$  – момент статичного опору на валу двигуна при спуску вантажозахоплюючого пристрою без вантажу, Н·м.

Розрахунковий еквівалентний статичний момент

$$M_e' = \sqrt{\frac{M_{c1}^2 + M_{c2}^2 + M_{c3}^2 + M_{c4}^2}{4}}. \quad (2.10)$$

Час циклу

$$t_u = \frac{3600}{Z}, \quad (2.11)$$

де  $Z$  – число циклів за годину.

Час роботи при русі з вантажем і без нього

$$t_{роб} = \frac{4 \cdot L}{V}, \quad (2.12)$$

де  $L$  – висота підйому, м;  $V$  – швидкість підйому, м/с.

Тривалість увімкнення механізму під час роботи

$$TB_p = \frac{t_{роб}}{t_u} \cdot 100 \%. \quad (2.13)$$

Еквівалентний статичний момент

$$M_e = M_e' \sqrt{\frac{TB_p}{TB_{ст}}}, \quad (2.14)$$

де  $TB_p$  – тривалість увімкнення механізму під час роботи, %;  $TB_{ст}$  – стандартна тривалість увімкнення, %.

2. Розрахункові параметри електродвигуна.

Частота обертання двигуна

$$n = \frac{60 \cdot V \cdot i_{PII}}{\pi \cdot D_6}. \quad (2.15)$$

Середня еквівалентна потужність механізму

$$P_e = \frac{M_e \cdot n}{9550}. \quad (2.16)$$

За отриманою потужністю механізму вибирається асинхронний двигун з короткозамкненим ротором.

3. Вибір перетворювача.

Після вибору двигуна й визначення його номінальних параметрів можна вибрати перетворювач з умови  $I_{IP} \geq I_H$ ,  $U_{IP} \geq U_H$ .

Вибір перетворювача здійснюється відповідно до номінальних даних двигуна.

### Приклади розв'язання завдань

Розрахувати параметри та вибрати частотно-регульований електропривод механізму головного підйому мостового крана.

Вихідні дані: вантажопідйомність  $Q$  – 10 т; маса захоплюючого пристрою  $m_0$  – 1200 кг; діаметр барабана  $D_6$  – 450 мм; передаточне число редуктора  $i_p$  – 34,2; швидкість підйому  $V$  – 15 м/хв; висота підйому  $L$  – 8 м.

*Розв'язок.* Вага вантажозахоплюючого пристрою з вантажем

$$G_T = Q \cdot g \cdot 10^3 = 10 \cdot 9,8 \cdot 10^3 = 98000 \text{ Н.}$$

Вага вантажозахоплюючого пристрою без вантажу

$$G_0 = m_0 \cdot g = 1200 \cdot 9,8 = 11760 \text{ Н.}$$

Передаточне число редуктора з урахуванням кратності поліспастів

$$i_{pn} = i_p \cdot i_n = 34,2 \cdot 2 = 68,4.$$

Момент статичного опору на валу двигуна при підйомі вантажу

$$M_{c1} = \frac{G_T + G_0 \cdot D_6}{2 \cdot i_{pn} \cdot \eta} = \frac{(98000 + 11760) \cdot 0,45}{2 \cdot 68,4 \cdot 0,79} = 457 \text{ Нм.}$$

Момент статичного опору на валу двигуна при опусканні вантажу (гальмівний спуск)

$$M_{c2} = M_{c1} \cdot (2\eta - 1) = 457 \cdot (2 \cdot 0,79 - 1) = 265 \text{ Нм.}$$

Коефіцієнт завантаження крана на холостому ході

$$K_3 = \frac{G_0}{G_0 + G_{\Gamma}} = \frac{11760}{11760 + 98000} = 0,107.$$

ККД підйомника при підйомі й спуску вантажозахоплюючого пристрою без вантажу

$$\eta_0 = \frac{K_3 \cdot \eta}{0,6 \cdot (1 - \eta) + 0,6 \cdot K_3 \cdot \eta + 0,4 \cdot K_3} =$$

$$= \frac{0,107 \cdot 0,79}{0,6(1 - 0,79) + 0,6 \cdot 0,107 \cdot 0,79 + 0,4 \cdot 0,79} = 0,38.$$

Момент статичного опору на валу двигуна при підйомі вантажозахватного пристрою

$$M_{c3} = \frac{G_0 \cdot D_{\delta}}{2 \cdot i_{pn} \cdot \eta_0} = \frac{11760 \cdot 0,45}{2 \cdot 68,4 \cdot 0,38} = 101,8 \text{ Нм.}$$

Момент статичного опору на валу двигуна при спуску вантажозахватного пристрою без вантажу

$$M_{c4} = M_{c3} \cdot (2\eta_0 - 1) = 101,8 \cdot (2 \cdot 0,38 - 1) = -63,6 \text{ Нм.}$$

Розрахунковий еквівалентний статичний момент

$$M_e' = \sqrt{\frac{M_{c1}^2 + M_{c2}^2 + M_{c3}^2 + M_{c4}^2}{4}} = \sqrt{\frac{457^2 + 265^2 + 101,8^2 + (-63,6)^2}{4}} = 270,8 \text{ Нм.}$$

Час циклу

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{Z} = \frac{3600}{10} = 360 \text{ с.}$$

Час роботи при русі з вантажем і без нього

$$t_{\text{раб}} = \frac{4 \cdot L}{V} = \frac{4 \cdot 8}{0,25} = 128 \text{ с.}$$

Тривалість включення механізму під час роботи

$$TB_p = \frac{128}{360} \cdot 100 \% = 35,6 \ %.$$

Приводимо  $TB_p$  до найближчого стандартного значення  $TB_{\text{ст}} = 40 \ %.$

Еквівалентний статичний момент

$$M_e = M'_e \sqrt{\frac{TB_p}{TB_{cm}}} = 270,8 \sqrt{\frac{35,6}{40}} = 255,5 \text{ Нм.}$$

Частота обертання двигуна

$$n_0 = \frac{60 \cdot V \cdot i_{pm}}{\pi \cdot D_6} = \frac{60 \cdot 0,25 \cdot 68,4}{\pi \cdot 0,45} = 726 \text{ об/хв.}$$

Знаходимо середню еквівалентну потужність механізму

$$P_9 = \frac{M_9 \cdot n}{9550} = \frac{255,5 \cdot 726}{9550} = 19,4 \text{ кВт.}$$

За отриманою потужністю механізму вибирається крановий електродвигун серії 4МТК для роботи в складі частотно-регульованого привода (додаток А), [8].

Докладні технічні характеристики наведено у таблиці 2.1 при номінальній напрузі 380 В, 50 Гц, номінальному режимі роботи S3-ТВ40% за ДСТ 183-74.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики електродвигуна

Тип двигуна	4МТКН-Ф2П
Потужність, P <sub>н</sub>	22 кВт
Частота обертання, n <sub>0</sub>	735 об/хв.
Струм статора, I <sub>1</sub>	59 А
Номінальний момент, M <sub>н</sub>	285 Н·м
Максимальний момент, M <sub>max</sub>	885 Н·м
Момент інерції, J <sub>дв</sub>	0,63 кг·м <sup>2</sup>
ККД	86,50 %

Відповідно до умови  $I_{\text{ДР}} \geq I_{\text{н}}$  і  $U_{\text{ДР}} \geq U_{\text{н}}$  вибираємо перетворювач частоти компанії Delta Electronics [9], параметри якого наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики перетворювача

Серія	Модель	Потужність, кВт	Кількість фаз на вході перетворювача	Перевантажувальний момент
VFD-C	VFD185C43A	18,5	3-ф/380	200 %

Перетворювачі частоти серії VFD-F призначені для керування швидкістю обертання трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором потужністю від 0,75 до 220 кВт.

Застосування VFD185C43A:

- підйомно-транспортне устаткування: крани, лебідки, пасажирські ліфти, елеватори, ескалатори, редуктори, конвеєри й т. д.;

- устаткування для хімічної й деревопереробної промисловості: екструдери, змішувачі, вібратори, сепаратори, натяжні пристрої, піскоструменеві апарати;

- верстатне устаткування: верстати із ЧПУ, токарні, фрезерні, поздовжньо-стругальні верстати, свердлильні, шліфувальні верстати.

Особливості універсального перетворювача частоти Delta VFD-32000:

- режими керування швидкістю, моментом, положенням;

- модульний дизайн із значною кількістю плат розширення;

- вбудований ЖКМ із LD-програмуванням;

- керування/обмеження моменту в 4-х квадрантах;

- керування стандартними асинхронними двигунами й синхронними сервомоторами в розімкненому й у замкненому контурі швидкості;

- стартовий момент: до 150 % на 0,5 Гц (без зворотного зв'язку); до 150 % на 0 Гц (з енкодером);

- стабільне керування швидкістю на низьких частотах, до 200 % моменту на нульовій швидкості;

- крім традиційного ПІ-регулятора, у контурі швидкості використовується PDFF-керування, що усуває перерегулювання й покращує відгук системи;

- функція безпечної зупинки двигуна відповідно до стандартів EN 954-1, EN 60204-1 і IEC61508 для запобігання травмування персоналу від випадкового запуску;

- убудовані CANopen і ModBUS, Profibus-DP, DeviceNet, ModBUS TCP і Ethernet/IP інтерфейси;



- убудований гальмовий ключ;
- знімний цифровий пульт керування з текстовим ЖК-дисплеєм;
- убудований RFI-фільтр;
- швидкознімний вентилятор.

Блок-схему перетворювача VFD185C43A наведено на рисунку 2.2.

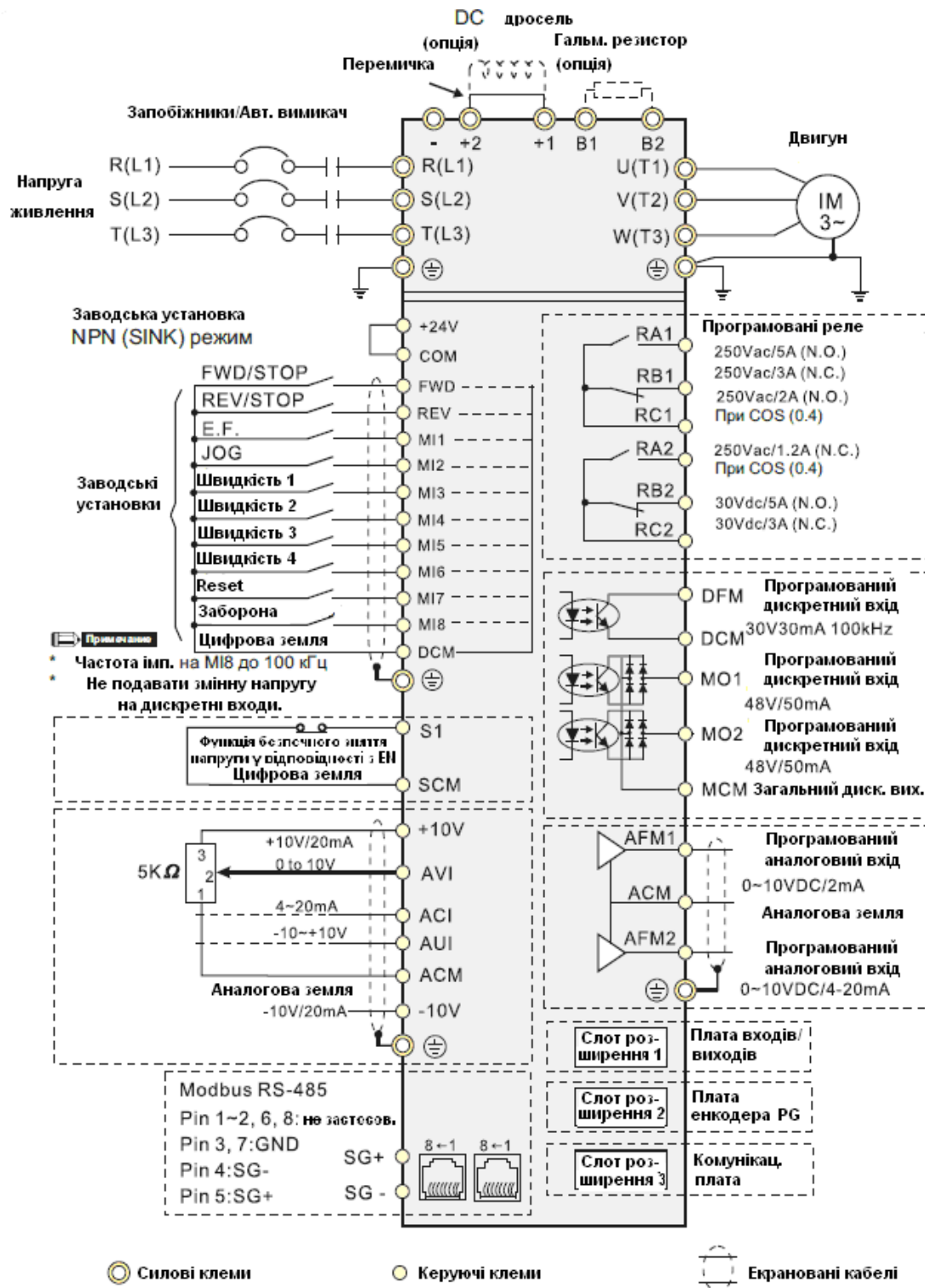


Рисунок 2.2 – Блок-схема перетворювача VFD185C43A

### Завдання до теми

*Завдання 2.1* Розрахувати параметри та вибрати частотно-регульований електропривод механізму головного підйому мостового крана. Число циклів за годину  $Z = 10$ , кратність поліспаствів  $i_{п} = 2$ , ККД головного підйому під навантаженням  $\eta = 0.79$ , інші вихідні дані наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Вихідні дані для розрахунку завдання 2.1

Варіант	Вантажо-підйомність	Маса захоплюючого пристрою	Діаметр барабана	Передаточне число редуктора	Швидкість підйому	Висота підйому
№	Q, т	m <sub>0</sub> , кг	D <sub>б</sub> , мм	i <sub>p</sub>	V, м/хв	L, м
1	10	1500	300	25	4,6	10
2	15	2000	380	31,5	10	16
3	20	3500	400	25	12	25
4	16	3040	380	20	8	16
5	32	4000	450	31,5	6,5	18
6	12	1200	350	16	20	32
7	20	3500	400	25	10	16
8	32	4080	560	31,5	20	12
9	40	4500	600	31,5	4,6	10
10	50	4600	650	40	10	30
11	80	7200	700	20	12	24
12	100	8000	720	25	8	16
13	10	1050	420	31,5	6,4	12
14	15	1600	450	25	10	32
15	30	3000	520	20	20	24
16	60	5200	650	31,5	18	36
17	75	7000	680	16	10	12
18	150	12500	700	25	4,8	18
19	250	15500	750	31,5	2	12
20	32	1600	400	31,5	15	30
21	50	4500	500	40	6	24
22	80	6800	600	25	4,6	12
23	100	8200	750	20	12	10
24	250	15500	750	31,5	2	12
25	40	3500	500	31,5	20	32
26	5	750	450	25	40	12
27	16	3040	480	20	8	16
28	32	4000	550	31,5	6,5	18
29	12,5	1200	450	16	20	32

Продовження таблиці 2.3

Варіант	Вантажо- підйомність	Маса захоплюючого пристрою	Діаметр барабана	Передаточне число редуктора	Швидкість підйому	Висота підйому
№	Q, т	m <sub>0</sub> , кг	D <sub>б</sub> , мм	i <sub>p</sub>	V, м/хв	L, м
30	20	3500	500	25	10	16
31	32	4080	560	31,5	20	12
32	40	4500	600	31,5	4,6	10
33	50	4600	650	40	10	30
34	80	7200	700	20	12	24
35	100	8000	720	25	8	16
36	10	1050	420	31,5	6,4	12
37	15	1600	450	25	10	32
38	30	3000	520	20	20	24
39	60	5200	650	31,5	18	36
40	75	7000	680	16	10	12
41	150	12500	700	25	4,8	18
42	250	15500	750	31,5	2	12
43	32	1600	400	31,5	15	30
44	50	4500	500	40	6	24
45	80	6800	600	25	4,6	12
46	100	8200	750	20	12	10
47	10	1200	400	31,5	5,2	12
48	15	2000	480	25	10	16
49	20	3500	500	25	12	25

**Контрольні питання**

1. Що являє собою мостовий кран?
2. Що належить до основних параметрів підйомного механізму крана?
3. Який основний напрям модернізації електропривода кранових механізмів?
4. Які енергозберігаючі функції виконує частотний перетворювач?
5. Навести та пояснити кінематичну схему механізму головного підйому крана?

**Література:** [4; 5; 6; 7].

## Практичне заняття № 3

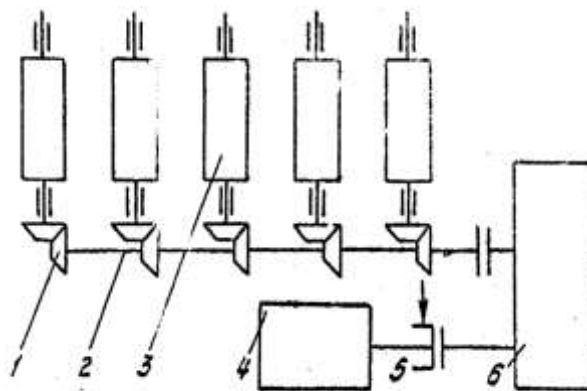
### Тема. Розрахунок параметрів та вибір комплектного електропривода рольганга ножиців

**Мета:** опанування методів і набуття навичок розрахунку комплектного тиристорного перетворювача електропривода рольганга ножиців.

#### Короткі теоретичні відомості

Рольганги входять до складу устаткування технологічних ліній прокатного цеху чорної металургії. Рольганги являють собою механізми, за допомогою яких здійснюється транспортування заготовок, напівфабрикатів і готових виробів у ході технологічного процесу прокатного виробництва. Сучасні прокатні стани характеризуються складним технологічним процесом обробки металу, тому загальна довжина рольгангів досить значна, а маса їх іноді досягає 20–30 % від маси механічного устаткування всього прокатного стана.

Рольганг ножиців слугує для переміщення заготовки, установки її для порізу на заданій позначці. Заготовка завдовжки  $L$  подається на рольганг транспортером. Рольганг запускається, переміщує заготовку на довжину  $L/2$  і зупиняється. Різання заготовки ножицями відбувається при нерухомому рольгангу, відрізана частина заготовки знімається з рольганга транспортером. Після цього рольганг запускається вдруге, переміщуючи частину заготовки, що залишилася, (завдовжки  $L/2$ ) за ножиці, звідки вона знімається з рольганга.



1 – конічна шестірня; 2 – поздовжній вал; 3 – ролик; 4 – електродвигун;  
5 – гальмівний шків; 6 – редуктор

Рисунок 3.1 – Кінематична схема рольганга

## Методичні рекомендації щодо виконання завдання

У завданні треба вибрати силовий трансформатор для живлення перетворювача (або струмообмежувальний реактор), згладжувальний реактор у колі постійного струму (за необхідності).

1. Розрахунок статичних і динамічних моментів.

Кутова швидкість обертового ролика

$$\omega_p = \frac{2V_B}{D}, \quad (3.1)$$

де  $V_B$  – швидкість транспортування заготовки, м/с;  $D$  – діаметр бочки ролика, м.

Розрахункова кутова швидкість двигуна

$$\omega_{дв} = \omega_p \cdot i_1 \cdot i_2, \quad (3.2)$$

де  $i_1$  – передаточне число одноступеневого циліндричного редуктора;  $i_2$  – передаточне число конічної передачі.

Стандартні передаточні числа циліндричного редуктора  $i_1 = 2; 3,15; 4; 5; 6,3$  ( $\eta_1 = 0,98$ ). Стандартні передаточні числа конічної передачі  $i_2 = 1; 1,12; 1,25; 1,4; 1,6; 1,8; 2; 2,24; 2,5; 2,8; 3,15; 3,55; 4; 4,5; 5; 5,6; 6,3$  ( $\eta_2 = 0,97$ ).

Момент і потужність привода роликів рольганга визначається з урахуванням таких чинників:

а) момент сил тертя в підшипниках при переміщенні заготовки по рольгангу:

$$M_{ТП} = \frac{m d_{ш} \mu g}{2i\eta}, \quad (3.3)$$

де  $m$  – маса тіла, що рухається, і маса деталей, що опираються на вузол кочення, кг;  $d_{ш}$  – діаметр шийки ролика, м;  $\mu$  – коефіцієнт тертя ковзання в підшипниках;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння;  $i$  – загальне передаточне число:

$$i = i_1 \cdot i_2; \quad (3.4)$$

Де  $\eta$  – загальний ККД передачі

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2. \quad (3.5)$$

Маса тіла, що рухається, і маса деталей, що опираються на вузол кочення

$$m = m_3 + N \cdot m_p, \quad (3.6)$$

де  $m_3$  – маса металу, кг;  $N$  – кількість роликів;  $m_p$  – маса ролика, кг;

б) момент сил тертя кочення

$$M_{TK} = \frac{m_3 g f}{i\eta}, \quad (3.7)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя кочення металу по роликах;

в) момент сил тертя при буксуванні (проковзуванні) заготовки у випадку її зупинки

$$M_B = M_{ТП} + \frac{m D \mu_6 g}{2i\eta}, \quad (3.8)$$

де  $\mu_6$  – коефіцієнт тертя ковзання роликів по заготовці при буксуванні (для гарячого металу можна брати  $\mu_6 = 0,3$ ).

Ці моменти становлять статичне (постійне при  $V = \text{const}$ ) навантаження привода

$$M_{ст} = M_{ТП} + M_{TK} + M_B. \quad (3.9)$$

Для можливості транспортування металу із прискоренням, до роликів необхідно прикласти динамічний момент

$$M_{дин} = \frac{\varepsilon J}{\eta} = \frac{2a}{D} \cdot \frac{J_{прив}}{\eta}, \quad (3.10)$$

де  $\varepsilon$  – кутове прискорення обертової маси,  $1/c^2$  (рад/с<sup>2</sup>);  $a$  – лінійне прискорення, м/с<sup>2</sup>;  $J_{прив}$  – приведений до вала двигуна момент інерції, кг·м<sup>2</sup>,

$$J_{прив} = \frac{J_B}{i_1^2} + \frac{J_K}{i_1^2 \cdot i_2^2} + \frac{J_P}{i_{ред}^2} + \frac{m_3 \cdot V_B^2}{\omega_{дв.}^2}, \quad (3.11)$$

де  $J_B$  – момент інерції поздовжнього вала;  $J_K$  – момент інерції кінцевого колеса;  $J_P$  – момент інерції ролика.

Повний момент двигуна

$$M_{дв} = M_{ст} + M_{дин}. \quad (3.12)$$

Час циклу

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{Z}, \quad (3.13)$$

де  $Z$  – число циклів за годину.

Тривалість увімкнення механізму під час роботи

$$TB_p = \frac{t_p}{t_{\text{ц}}} \cdot 100 \%. \quad (3.14)$$

Еквівалентний момент

$$M_e = M_{\text{дв}} \sqrt{\frac{TB_p}{TB_{\text{ст}}}}, \quad (3.15)$$

де  $TB_p$  – тривалість увімкнення механізму під час роботи, %;  $TB_{\text{ст}}$  – стандартна тривалість увімкнення, %.

2. Розрахункові параметри електродвигуна.

Потужність двигуна, що потрібна для обертання роликів рольганга

$$P_{\text{дв}} = M_e \cdot \omega_{\text{дв}}. \quad (3.16)$$

Частота обертання двигуна

$$n_{\text{дв}} = \frac{60 \cdot \omega}{2\pi}. \quad (3.17)$$

За отриманою потужністю механізму вибирають двигун постійного струму.

Після вибору двигуна й визначення його номінальних параметрів можна вибирати перетворювач з умови  $I_{\text{пр}} \geq I_{\text{н}}$ ,  $U_{\text{пр}} \geq U_{\text{н}}$ .

Вибір перетворювача здійснюється відповідно до номінальних даних двигуна.

3. Вибір перетворювача постійного струму.

Живлення двигунів постійного струму передбачається від перетворювача за трифазною мостовою схемою випрямлення з роздільним керуванням тиристорних груп.

Вибір трансформатора (струмообмежувального реактора) виконується з

умови забезпечення номінальної напруги на якорі двигуна при допустимих коливаннях напруги мережі (-10 % +15 %) і номінальному струмі якоря.

Практично при номінальній напрузі на якорі двигуна  $U_H = 220$  В застосовують трансформатор, при  $U_H = 440$  В – струмообмежувальний реактор.

Для вибору трансформатора визначають лінійну напругу вентильної (вторинної) обмотки трансформатора за співвідношенням

$$U_{2Л} = \sqrt{3} \frac{k_R}{k_U k_C} U_{HTП}, \quad (3.18)$$

де  $k_R$  – коефіцієнт, що враховує спад напруги за рахунок комутації тиристорів, на активних опорах трансформатора, вентилів, згладжувального реактора (попередньо  $k_R = 1,05$ );  $k_U$  – коефіцієнт схеми випрямлення (для трифазної мостової схеми  $k_U = 2,34$ );  $k_C$  – коефіцієнт, що враховує допустимі коливання напруги мережі (для промислових електричних мереж  $k_C = 0,85$ ).

Коефіцієнт трансформації трансформатора:

$$k_T = \frac{U_{1Л}}{U_{2Л}}, \quad (3.19)$$

де  $U_{1Л}$  – номінальна лінійна напруга мережної (первинної) обмотки трансформатора.

Значення струму фази в колі живлення перетворювача (вторинної обмотки) при струмі навантаження  $I_H$  – номінальному струмі двигуна:

$$I_2 = k_I \cdot I_H, \quad (3.20)$$

де  $k_I$  – коефіцієнт схеми випрямлення за струмом (для трифазної мостової схеми  $k_I = 0,82$ ).

Значення струму первинної обмотки

$$I_1 = \frac{I_2}{k_T}. \quad (3.21)$$

Розрахункове значення типової потужності трансформатора

$$S_T = \sqrt{3} \frac{U_{1Л} I_1 + U_{2Л} I_2}{2}. \quad (3.22)$$



Користуючись отриманими розрахунковими даними за довідниками [2] або каталогах, вибирають силовий трансформатор з умови  $S_{TH} \geq S_T$ .

Для подальших розрахунків використовують номінальні дані трансформатора:  $S_{TH}$ ,  $U_{1лн}$ ,  $U_{2лн}$ ,  $I_{1н}$ ,  $I_{2н}$ , а також втрати холостого ходу  $P_{xx}$  при  $U_{1лн}$ , втрати короткого замикання  $P_{кз}$  при  $I_{1н}$ , напругу короткого замикання  $U_k$  %, струм холостого ходу  $I_{xx}$  %.

Вибір струмообмежувальних реакторів, що включаються в коло змінного струму мостової схеми випрямлення тиристорного перетворювача, виконується за номінальним струмом, що споживається з мережі змінного струму при номінальній напрузі. Для тиристорних перетворювачів використовують реактори серії РТСТ (реактор трифазний сухий струмообмежувальний). Індуктивний опір реакторів відповідає напрузі короткого замикання (для номінального струму), рівному 5,5 %. Основні параметри деяких реакторів наведено в додатку В.

Реактор у колі постійного струму перетворювача згладжує пульсації випрямленого струму, зменшує зону переривчастих струмів і обмежує швидкість наростання аварійного струму через тиристори при короткому замиканні на стороні випрямленого струму. За рахунок пульсацій струму якоря нагрівання двигуна збільшується на 2...3 % при коефіцієнті пульсацій  $g = 0,15$ , на 5...7 % при  $g = 0,25$ , на 15...22 % при  $g = 0,35$  [3].

Збільшення коефіцієнта пульсацій струму й напруги погіршує процес комутації двигуна, змушує знижувати граничні значення струму якоря. При розрахунку індуктивності згладжувального реактора, виходять із допустимого рівня пульсації випрямленого струму в сталому режимі при номінальній напрузі на якорі. Звичайно діючі значення основної гармоніки пульсацій вибираються в межах  $g\% = 2...15$  % номінального струму двигуна [5] залежно від потужності, діапазону регулювання швидкості й умов комутації двигуна. Величина, що рекомендується,  $g\% \leq 7$  % [3].

Необхідна індуктивність кола випрямленого струму  $L_d$  може бути визначена [5] за амплітудним значенням першої гармоніки випрямленої напруги  $U_{dm(1)}$  і заданим коефіцієнтом пульсацій  $g$ :

$$L_d = \frac{U_{dm(1)}}{m \cdot \omega \cdot g \cdot I_H}, \quad (3.23)$$

де  $m$  – пульсність (для трифазної мостової схеми  $m = 6$ );  $\omega = 2\pi f_1 = 314$  рад/с – кутова частота напруги мережі;  $I_H$  – номінальний струм двигуна, А.

Для трифазної мостової схеми:

$$U_{dm(1)} = \frac{2U_{d0} \cos\alpha}{m^2 - 1} \sqrt{1 + m^2 \operatorname{tg}^2 \alpha}; \quad (3.24)$$

$$\cos\alpha = \frac{E_d}{E_{d0}} \cong \frac{U_H}{U_{d0}}; \quad (3.25)$$

$$U_{d0} = 1,35U_{2л}. \quad (3.26)$$

Величина  $L_d$  може бути також розрахована за співвідношенням [2]:

$$L_d = \frac{12U_H}{g\%I_H}. \quad (3.27)$$

Індуктивний опір розсіювання обмотки якоря й двох обмоток силового трансформатора бере участь у згладжуванні пульсацій. Величина індуктивності цих обмоток ( $L_d + 2L_T$ ) повинна бути врахована при виборі згладжувального реактора.

Індуктивність обмотки якоря розраховують за формулою [10]:

$$L_{Я} = \frac{k \cdot U_H}{p_n \cdot \omega \cdot I_H}, \quad (3.28)$$

де  $U_H$ ,  $I_H$ ,  $\omega_H$  – номінальна напруга (В), струм (А) і частота обертання (рад/с) двигуна;  $p_n$  – кількість пар полюсів;  $k$  – коефіцієнт, що беруть рівним  $k = 0,6$  для двигунів без компенсаційної обмотки,  $k = 0,25$  – для двигунів з компенсаційною обмоткою.

Індуктивність обмотки трансформатора розраховують за каталожними даними трансформатора:

$$Z_T = \frac{U_{2H} \cdot U_K \%}{100 \cdot I_{2H}}, \quad (3.29)$$

$$r_T = \frac{P_{K3}}{3 \cdot I_H^2}, \quad (3.30)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - r_T^2}, \quad (3.31)$$

$$L_T = \frac{X_T}{2\pi \cdot f_{1H}}. \quad (3.32)$$

Індуктивність обмотки струмообмежувального реактора наводиться в каталогах [3].

Якщо необхідна індуктивність  $L_d > L_{я} + 2L_T$ , то потрібне встановлення згладжувального реактора з індуктивністю

$$L_p = L_d - (L_{я} + 2L_T). \quad (3.33)$$

Згладжувального реактор вибирається з каталогу або довідника [3] за номінальним струмом двигуна  $I_H$  і перевіряється на допустимі перевантаження за максимумом струму перевантаження й часу дії перевантаження.

Двигуни постійного струму серії Д (краново-металургійна серія) допускають живлення від перетворювачів постійної напруги, з'єднаних за трифазною мостовою схемою, без застосування згладжувальних реакторів, при цьому коефіцієнт пульсацій  $g < 7\%$  [7].

### Приклади розв'язання завдань

Розрахувати параметри та вибрати комплектний електропривод рольганга ножиців.

Вихідні дані: кількість роликів  $N = 16$ , маса ролика  $m_p = 1$  т, діаметр ролика  $D = 0,4$  м, діаметр шийки ролика  $d_{ш} = 140$  мм, коефіцієнт тертя ковзання  $\mu = 0,03$ , коефіцієнт тертя кочення  $f = 1,5$  мм, момент інерції ролика  $J_p = 20$  кг·м<sup>2</sup>, момент інерції поздовжнього вала  $J_B = 4$  кг·м<sup>2</sup>, момент інерції конічного колеса  $J_K = 0,9$  кг·м<sup>2</sup>, маса заготовки  $m_3 = 6$  т, швидкість транспортування  $V_B = 0,7$  м/с, допустиме прискорення  $a = 1$  м/с<sup>2</sup>, кількість циклів за годину  $Z = 70$ , сумарний час роботи  $t_p = 45$  с.

Кутова швидкість обертового ролика

$$\omega_p = \frac{2V_B}{D} = \frac{2 \cdot 0,7}{0,4} = 3,5 \text{ c}^{-1}.$$

Візьмемо передаточне число циліндричного редуктора  $i_1 = 4$ , конічної передачі  $i_2 = 4$ .

Розрахункова кутова швидкість двигуна

$$\omega_{\text{дв}} = \omega_p \cdot i_1 \cdot i_2 = 3,5 \cdot 4 \cdot 4 = 56 \text{ c}^{-1}.$$

Маса тіла, що рухається, і маса деталей, що опираються на вузол кочення

$$m = m_3 + N \cdot m_p = 6000 + 16 \cdot 1000 = 22000 \text{ кг.}$$

Загальне передаточне число

$$i = i_1 \cdot i_2 = 4 \cdot 4 = 16.$$

Загальний ККД передачі

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 = 0,98 \cdot 0,97 = 0,95.$$

Момент сил тертя в підшипниках:

$$M_{ТП} = \frac{m d_{Ш} \mu g}{2i\eta} = \frac{22000 \cdot 0,14 \cdot 0,03 \cdot 9,81}{2 \cdot 16 \cdot 0,95} = 29,8 \text{ Нм}$$

Момент сил тертя кочення

$$M_{ТК} = \frac{m_3 g f}{i\eta} = \frac{6000 \cdot 9,81 \cdot 0,0015}{16 \cdot 0,95} = 5,8 \text{ Нм.}$$

Момент сил тертя при буксуванні

$$M_B = M_{ТП} + \frac{m D \mu_6 g}{2i\eta} = 29,8 + \frac{22000 \cdot 0,4 \cdot 0,3 \cdot 9,81}{2 \cdot 16 \cdot 0,95} = 262 \text{ Нм.}$$

Статичний момент навантаження

$$M_{cm} = M_{ТП} + M_{ТК} + M_B = 29,8 + 5,8 + 262 = 298 \text{ Нм.}$$

Приведений до вала двигуна момент інерції

$$J_{\text{прив}} = \frac{J_B}{i_1^2} + \frac{J_K}{i_1^2 \cdot i_2^2} + \frac{J_P}{i_{\text{ред}}^2} + \frac{m_3 \cdot V_B^2}{\omega_{\text{дв}}^2} = \frac{4}{4^2} + \frac{0,9}{4^2 \cdot 4^2} + \frac{20}{16^2} + \frac{6000 \cdot 0,7^2}{56^2} = 1,27 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Динамічний момент

$$M_{\text{дин}} = \frac{\varepsilon J}{\eta} = \frac{2a}{D} \cdot \frac{J_{\text{прив}}}{\eta} = \frac{2 \cdot 1}{0,4} \cdot \frac{1,27}{0,95} = 6,68 \text{ Нм.}$$

Повний момент на валу двигуна

$$M_{\text{дв}} = M_{\text{ст}} + M_{\text{дин}} = 298 + 6,68 = 304,68 \text{ Нм.}$$

Час циклу

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{Z} = \frac{3600}{70} = 51,43 \text{ с.}$$

Тривалість увімкнення механізму під час роботи

$$TB_p = \frac{t_p}{t_{\text{ц}}} \cdot 100 \% = \frac{45}{51,3} \cdot 100 \% = 88 \%$$

Еквівалентний момент з урахуванням того, що в каталозі технічні дані електродвигунів постійного струму серії Д наведені для  $TB_{\text{ст}} = 40 \%$

$$M_e = M_{\text{дв}} \sqrt{\frac{TB_p}{TB_{\text{ст}}}} = 304,68 \sqrt{\frac{88}{40}} = 452 \text{ Нм.}$$

Потужність двигуна, що потрібна для обертання роликів рольганга

$$P_{\text{дв}} = M_e \cdot \omega_{\text{дв}} = 452 \cdot 56 \cdot 10^{-3} = 25,3 \text{ кВт.}$$

Частота обертання двигуна

$$n_{\text{дв}} = \frac{60 \cdot \omega}{2\pi} = \frac{60 \cdot 56}{2\pi} = 535 \text{ об/хв.}$$

За отриманими параметрами з умови  $P_n \geq P_{\text{дв}}$  вибирається електродвигун постійного струму краново-металургійної серії Д (додаток А). Технічні дані двигуна наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики електродвигуна

Тип двигуна	Д810
Потужність, $P_n$	35 кВт
Номінальна частота обертання, $n_n$	600 об/хв
Струм якоря, $I_{\text{я}}$	148 А
Номінальна напруга	220 В
Момент інерції, $J_{\text{дв}}$	3,65 кг·м <sup>2</sup>
Збудження	паралельне

Відповідно до умови  $I_{IP} \geq I_H$  і  $U_{IP} \geq U_H$  вибираємо перетворювач серії КТЭ [11], параметри якого наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики перетворювача

Тип	КТЭ 200/220-01213ВМ
Номинальний вихідний струм	200 А
Номинальна вихідна напруга	220 В
Виконання за кількістю двигунів	однодвигунний
Режим роботи	реверсивний, з реверсом у колі якоря
Підключення до мережі	трансформаторне
Виконання за наявності додаткової апаратури	з лінійним контактором і динамічним гальмуванням

В основі виробу – шестипульсний тиристорний керований перетворювач із системою керування, що дозволяє регулювати напругу постійного струму в широкому діапазоні.

Крім того, виріб має систему допоміжних пристроїв (пристрій живлення обмотки збудження, пристрій керування електромагнітним гальмом, пристрій живлення обмотки збудження тахогенератора), систему автоматичного регулювання струму, напруги, ЕРС, частоти обертання, систему захисту й сигналізації перетворювача та електропривода.

Комплектний пристрій, повністю готовий до підключення, що складається з однієї або декількох шаф, у яких скомпоноване необхідне устаткування.

Шафи, що входять до складу електропривода, являють собою металеву конструкцію каркасного типу. Обслуговування до 1000 А – одноблокове. Ступінь захисту IP21.

Системи керування (СК) – мікропроцесорні, уніфіковані між собою, і з іншими виробами (інтелектуальними пультами керування, компенсаторами реактивної потужності, системами діагностики, пристроями вилученого вводу-виводу, збуджувачами синхронних двигунів, незалежними системами збудження турбо- і гідрогенераторів, пускачами).

Загальна площа друкованих плат СК значно зменшена (більш ніж у 3,5 рази) за рахунок використання сучасної елементної бази з високим ступенем інтеграції.

Системи керування й регулювання дозволяють приймати й обробляти сигнали будь-яких датчиків – імпульсних, кодових, сельсинів, датчиків температури й ін., у тому числі датчиків з послідовними каналами зв'язку.

Комплектація СК, у тому числі ввімкнення низьковольтних пристроїв (реле, клемні приєднувачі й ін.), виконана з елементів провідних світових виробників – Intel, Burr Brown, Motorola, Texas Instruments та ін.

СК має швидкодіючі двопровідні інтерфейси для зв'язку з устаткуванням верхнього рівня.

#### *Сервісні можливості*

Оперативна зміна структури автоматичного регулювання виконується спеціальною сервісною програмою за допомогою пультового терміналу, убудованого в систему керування.

Оперативний доступ до всіх регульованих параметрів електропривода за допомогою пультового терміналу. Параметри виводяться в числовому десятковому вигляді на дисплей пультового терміналу.

Самонастроювання окремих налагоджувальних параметрів електропривода.

Уточнена індикація видів захистів, що спрацювали.

При спрацьовуванні захисту на пультовий термінал виводиться перший із захистів, що спрацювали, а потім – усі наступні.

Автоматичний запис убудованої програми аварійного «сліду».

Призначення і функції програми «СЛІД»:

- зчитування заданих параметрів електропривода, що фіксується його системою керування (СК) протягом певного часу;
- графічне відображення зміни параметрів у часі;
- запис цих параметрів до файлу з можливістю подальшої роботи із цими даними в автономному режимі (СК – не обов'язкова).

За допомогою програми здійснюється аналіз аварійних ситуацій при роботі електропривода з метою встановлення й усунення причини, що привела до аварійної ситуації.

Програма може також використовуватися при налагодженні виробу для настроювання необхідних параметрів, а також для контролю параметрів при поточній експлуатації.

Аналіз графічної інформації може виконуватися підключенням до системи пристроїв типу Notebook або стандартних ПЕОМ.

Блок-схему перетворювача КТЭ 200/220-01213ВМД наведено на рисунку 3.2.

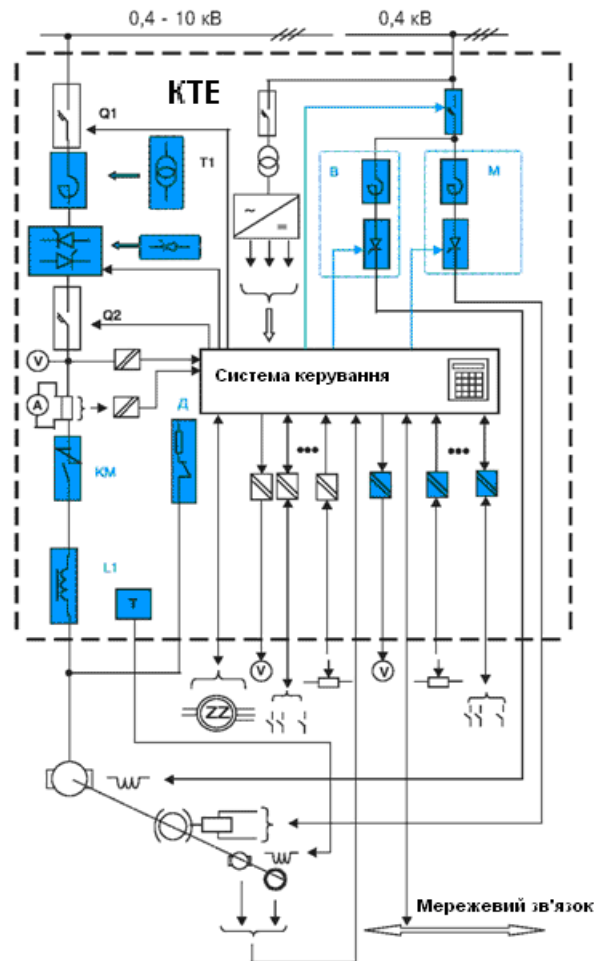


Рисунок 3.2 – Блок-схема перетворювача КТЭ 200/220-01213ВМД

Лінійна напруга вентильної обмотки трансформатора

$$U_{2Л} = \sqrt{3} \frac{k_R}{k_U k_c} U_{HTП} = \sqrt{3} \frac{1,05}{2,34 \cdot 0,85} 220 = 201 \text{ В.}$$

Коефіцієнт трансформації трансформатора:



$$k_T = \frac{U_{1Л}}{U_{2Л}} = \frac{380}{201} = 1,89.$$

Струм фази вторинної обмотки

$$I_2 = k_I \cdot I_n = 0,82 \cdot 148 = 121,36 \text{ А.}$$

Струм первинної обмотки

$$I_1 = \frac{I_2}{k_T} = \frac{121,36}{1,89} = 64,2 \text{ А.}$$

Типова потужність трансформатора

$$S_T = \sqrt{3} \frac{U_{1Л} I_1 + U_{2Л} I_2}{2} = \sqrt{3} \frac{380 \cdot 0,64 + 201 \cdot 121,36}{2} = 42252 \text{ ВА.}$$

Користуючись отриманими розрахунковими даними, за довідниками [3] або каталогами вибирають силовий трансформатор з умови  $S_{тн} \geq S_T$ . Технічні характеристики трансформатора наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики трансформатора

Тип трансформатора	$S_n$ , кВА	$U_{1н}$ , В	$U_{2н}$ , В	$I_{2н}$ , А	$U_{дн}$ , В	$I_{дн}$ , А	$P_{хх}$ , Вт	$P_{кз}$ , Вт	$U_k$ , %	$I_{хх}$ , %
ТСП–63/0,7	58	380	205	164	230	200	300	1900	5,5	5

*Вибір згладжувального реактора*

Реактор вибирається з каталогу або довідника [3] за номінальним струмом двигуна  $I_n$ . Вибираємо реактор ФРОС -65/0,5У3.

Технічні характеристики реактора наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики реактора

Тип реактора	$I_n$ , А	$L_n$ , мГн	$r$ , мОм	Маса, кг
ФРОС-65/0,5У3	250	1,5	6,8	85

### Завдання до теми

*Завдання 3.1* Розрахувати параметри та вибрати комплектний електропривод рольганга ножиців. Вихідні дані наведено у таблиці Б.1.

### Контрольні питання

1. Які технологічні особливості роботи рольгангів?
2. Виходячи з яких умов, вибирається перетворювач електропривода

рольганга?

3. Яку функцію виконує реактор у колі постійного струму перетворювача?

4. Які наслідки зростання коефіцієнта пульсацій струму й напруги?

5. З урахуванням яких чинників визначається момент і потужність електропривода роликів рольганга?

**Література:** [1; 2; 3; 5].

## **2 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ**

При оцінюванні роботи студентів на практичних заняттях беруть до уваги якість оформлення звіту з практичних робіт, якість відповідей на питання звіту, правильність і повноту відповідей на питання, поставлені викладачем у процесі захисту практичних робіт.

Бали за виконання практичних робіт у цілому можуть бути одержані лише за умови, що виконано всі передбачені завданням практичні роботи та складено звіти.

Кількість балів визначається глибиною наведених пояснень, чіткістю формулювань, якістю викладання матеріалу та його оформлення. При цьому враховуються правильність оформлення звіту, володіння державною мовою, відповідність розрахункового матеріалу та іншого оформлення діючим стандартам. Розподіл балів по практичних роботах з навчальної дисципліни «Комплектні електроприводи» наведено нижче.

Критерії оцінювання роботи студентів на практичних заняттях:

- відвідування практичного заняття – 1 бал за заняття;
- підготовка до практичних занять – 0,3 бала за семестр;
- підготовка звітів до практичних робіт – 0,5 бала за семестр;
- захист практичних робіт – 3 бали за роботу;
- своєчасність захисту практичних робіт – 0,1 бала за семестр;
- активність студента на практичних заняттях – 0,1 бала за семестр.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Казачковський М. М. Комплектні електроприводи: навч. посібник / М. М. Казачковський. – Дніпропетровськ: НГУ, 2003. – 266 с.
2. Справочник по автоматизированному электроприводу / под ред. В. А. Елисеева, А. В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
3. Егоров И. Х. Комплектные тиристорные электроприводы: справочник / И. Х. Егоров, А. С. Горобец, Б. И. Машкевич. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с
4. Плахтина О. Г. Частотно-керовані асинхронні та синхронні електроприводи: навч. Посібник / О. Г. Плахтина, С. С. Мазепа, А. С. Куцик. – Львів: Видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2002. – 228 с.
5. Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий / под ред. М. Г. Зименкова, Г. В. Розенберга, Е. М. Феськова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 480 с.
6. Певзнер Е. М. Эксплуатация крановых тиристорных электроприводов / Е. М. Певзнер, А. Г. Яуре – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 104 с.
7. Яуре А.Г., Певзнер Е.М. Крановый электропривод: справочник / А. Г. Яуре, Е. М. Певзнер – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 344 с.
8. Режим доступу: <http://electromotor.com.ua>
9. Режим доступу: <http://lib.powergroup.com.ua>
10. Режим доступу: <http://www.chrp.ru>
11. Режим доступу: <http://www.zpr.com.ua>
12. Режим доступу: <http://www.ooo-yuер.com>





















Методичні вказівки щодо практичних занять з навчальної дисципліни «Комплектні електроприводи» для студентів денної та заочної форм навчання за напрямом 6.050702 – «Електромеханіка» (у тому числі скорочений термін навчання)

Укладач старш. викл. А. М. Артеменко

Відповідальний за випуск зав. кафедри САУЕ Д. Й. Родькін

Підп. до др. \_\_\_\_\_. Формат 60×84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.

Ум. друк. акр. \_\_\_\_\_. Наклад \_\_\_\_\_ прим. Зам. № \_\_\_\_\_. Безкоштовно.

Видавничий відділ Кременчуцького національного університету

імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600