МІНІСТЕРСТВО ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА
Електропривод будівельних машин

Методичні вказівки
до виконання курсової роботи
для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

Київ 2024

УДК 621.3.01 (075.8)
Е50

Укладачі: І. М. Кравченко, асистент;
О. П. Остапущенко, канд. техн. наук, доцент

Рецензент С. В. Іносов, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск Л. І. Мазуренко, д-р техн. наук, професор

Затверджено на засіданні кафедри електротехніки та електроприводу, протокол № 6 від 14 березня 2023 року.

В авторській редакції.

Е50 **Електротехніка** та електроніка. Електропривод будівельних машин : методичні вказівки до виконання курсової роботи / уклад.: І. М. Кравченко, О. П. Остапущенко. – Київ : КНУБА, 2024. – 44 с.

Містять загальні вимоги до виконання курсової роботи, рекомендації з обрахунків та оформлення пояснювальної записки, порядок вибору з каталогів обладнання, елементів захисту і керування й додатки з довідковими та технічними даними.

Призначено для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

© КНУБА, 2024

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Метою виконання студентами курсової роботи згідно з нормами робочої навчальної програми з дисципліни «Електротехніка та електроніка» при вивченні розділу «Електропривод будівельних машин» є підготовка кваліфікованих спеціалістів для будівельної індустрії з глибокими знаннями в галузі електромеханічних систем та електропривода будівельних машин і механізмів, а також з питань теорії і практики вибору потрібного обладнання для виконання технологічних завдань у реальному виробничому процесі. При цьому студенти повинні опрацювати науково–технічну літературу, вивчити теоретичні питання та провести моделювання робочих характеристик за допомогою комп'ютерних технологій.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Значення електротехніки й електроніки в будівельному виробництві

Сучасне будівельне виробництво неможливо уявити без повсюдного застосування електричної енергії, електротехнічних пристроїв, засобів електронної та мікропроцесорної техніки, на яких грунтується автоматизація технологічних процесів. У практиці будівельного виробництва сучасні автоматичні системи управління здебільшого створюють на базі електричних та електромеханічних елементів як системи, що забезпечують виконання заданого закону управління, так і виконавчі органи, призначені для пускання в рух різних пристроїв у будівництві.

Автоматичні системи управління із застосуванням засобів обчислювальної техніки можуть забезпечувати оптимальне виконання виробничого чи іншого процесу в умовах змінних зовнішніх дій і завдань, пристосовуючись до них (адаптивні системи).

Електричний привод і його структура

Електричним приводом (ЕП) називають електромеханічну систему, яка складається з електродвигунового, перетворювального, передавального й керувального пристроїв і призначена для пускання в рух виконавчих органів робочої машини та керування цим рухом. Перетворювальний і (або) передавальний пристрій в окремих ЕП може бути відсутній.

Електродвигуновий пристрій призначений для перетворення електричної енергії в механічну.

Перетворювальний пристрій – це електротехнічний пристрій, призначений для перетворення роду струму, напруги, частоти та для створення керуючої дії на електродвигуновий пристрій.

Передавальний пристрій призначений для передачі механічної енергії від електродвигунового пристрою ЕП до виконавчого органу робочої машини і узгодження швидкостей їх рухів.

Керувальний пристрій ЕП – це електротехнічний пристрій, призначений для управління перетворювальним, електродвигуновим і передавальним пристроями.

Будівельні машини та механізми

На будівельних майданчиках і підприємствах будівельної індустрії широко використовується підйомно-транспортне обладнання: баштові, мостові, козлові крани тощо.

Незалежно від конструкції і призначення підйомно-транспортного обладнання вони містять в собі такі механізми: піднімальні лебідки, механізми пересування (візка, моста, крана). Ці механізми мають індивідуальні ЕП, у яких можуть бути використані двигуни як постійного струму, так і змінного (асинхронні). За характером руху рухомих частин електродвигунового пристрою розрізняють типи ЕП: обертальний, реверсивний, дискретної дії. Передавальний пристрій – редукторний.

АЛГОРИТМ ПРОЄКТУВАННЯ

Для виконання курсової роботи потрібно ознайомитися з послідовністю проєктування електроприводів загальнопромислового призначення на прикладі мостового крана як найбільш універсального підйомно-транспортного пристрою, що використовується в будівельній індустрії; закріпити й використати на практиці теоретичні положення курсу «Електротехніка та електроніка».

Будівельна машина (механізм), для якої буде спроєктовано ЕП, обирається згідно із завданням. Основні технічні дані й параметри, що характеризують машину (механізм), визначаються відповідно до варіанту завдання.

Порядок подальших дій:

1. Визначити основні технічні дані та параметри механізму згідно з варіантом завдання до проєктування.

2. Вибрати кінематичну схему механічної частини електроприводу.

3. Визначити основні вимоги до автоматизованого електроприводу (характер і тип статичного навантаження, діапазон і плавність регулювання, механічні характеристики згідно з режимом роботи двигуна, умовами пуску і гальмування та кількістю вмикань).

4. Залежно від механічної характеристики робочої машини, роду струму і величини напруги обрати тип двигуна.

5. Визначити статичні та динамічні навантаження робочої машини з урахуванням передавального пристрою електропривода.

6. Розрахувати й побудувати навантажувальну діаграму усіх механізмів мостового крана.

7. Розрахувати й побудувати таходіаграму ЕП, що проєктується.

8. Визначити режим роботи електропривода та його ТВ%.

9. Розрахувати потрібну потужність двигуна.

10. Вибрати з каталога двигун потрібної напруги та потужності відповідно до режиму роботи електроприводу.

11. Перевірити вибраний двигун «на нагрів» за повного (номінального) навантаження та найбільш тривалої роботи привода:

11.1. Визначити приведений момент інерції до вала двигуна всієї механічної системи привода.

11.2. Обчислити тривалість пуска (гальмування) двигуна.

11.3. Знайти шлях, який проходить механізм за період пуску (гальмування), визначити тривалість пересування привода у сталому режимі та розрахувати динамічний момент в період пуска (гальмування).

11.4. Побудувати повну навантажувальну діаграму привода за повного (номінального) навантаження.

11.5. На підставі повної навантажувальної діаграми визначити еквівалентний момент двигуна під час його роботи з повним навантаженням.

11.6. Перевірити виконання умови

$$M_{екв} \leq M_{ном}.$$

У разі невиконання цієї умови по каталогу вибирати наступний двигун більшої потужності і знову повторити розрахунок з п. 11.1. Для визначення виконання умов потрібно мати на увазі, що вони повинні виконуватися в межах 10÷20 %. Інакше вибраний двигун буде значно недовикористовуватися, тому слід вибирати за каталогом наступний двигун меншої потужності і знову повторити розрахунок з п. 11.1.

11.7. Перевірити вибраний двигун на перевантажувальну спроможність і забезпечення пускового режима за виконання умови

$$M_{\max} \geq 1{,}2 \cdot (M_{ст.найб} + M_{дин});$$

у разі невиконання цієї умови за каталогом вибрати наступний двигун більшої потужності і знову повторити розрахунок з п. 11.1.

12. Вибрати спосіб управління двигуном, силовий перетворювач та схему управління.

13. Розрахувати і побудувати природну механічну характеристику вибраного двигуна.

14. Залежно від режиму пуска (нормальний, форсований) визначити піковий момент M_1 і момент перемикання M_2.

15. Побудувати пускову характеристику привода.

16. Графічним способом визначити залежно від кількості ступенів перемикання, опори пускорегулюючих та інших резисторів (противмикання) привода.

17. Розрахувати механічні перехідні процеси.

17.1. Визначити тривалість витримки часу на кожній пусковій характеристиці під час пуску.

17.2. Скласти рівняння й розрахувати механічні перехідні процеси, побудувати графіки $M(t)$, $\omega(t)$.

17.3. Визначити фіксовану кутову швидкість сталого процесу на кожній регулювальній характеристиці.

18. Розробити (вибрати) принципову електричну схему управління приводом (виконується на аркуші формату А1).

19. Розрахувати й підібрати з каталога апаратуру управління і захисту.

20. Вибрати пускорегулювальні резистори з каталога. Скласти схему з′єднання ящиків пускорегулювальних резисторів.

21. Скласти специфікацію вибраної апаратури.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРОЄКТУВАННЯ І РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Крани мостового типу призначені здебільшого для обслуговування прямокутних майданчиків (цехів підприємств і полігонів). Найбільш розповсюджені крани мостового типу: мостові, козлові, мостові перевантажувачі, кабельні і мостокабельні. На рис. 1 наведено двохбалковий мостовий кран опорного типу, де 1 – силові перетворювачі, шафи управління (схеми управління, захисту); 2 – вантажний візок з механізмом пересування та підйому; 3 – двохбалкова конструкція моста; 4 – механізм пересування моста (ходові колеса з приводом); 5 – гакова підвіска (може бути основна і допоміжна); 6 – кабіна управління.

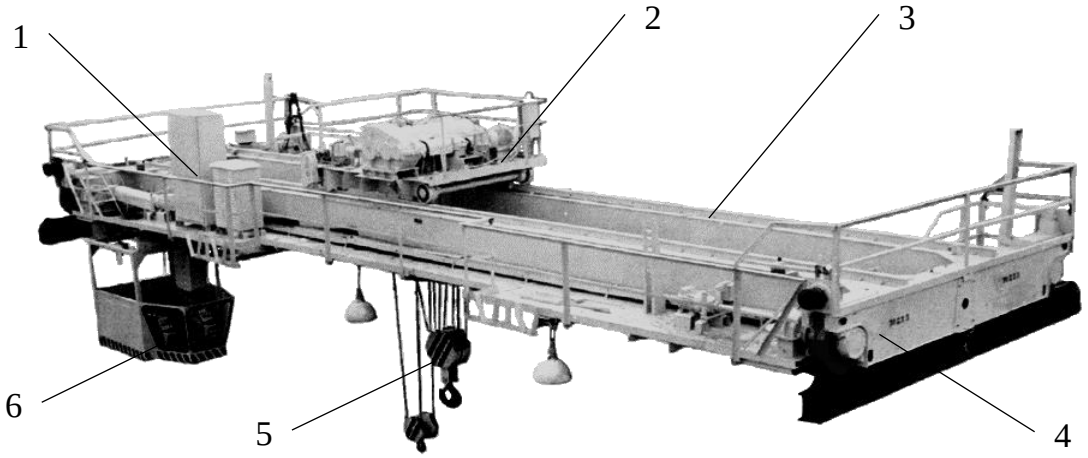


Рис. 1. Кран мостовий двохбалковий загального призначення

На рис. 2 зображено узагальнені кінематичні схеми механізмів мостового крана: *а* – кранова підйомна, гакова лебідка; *б* – механізм пересування вантажного візка; *в, г* – механізм пересування моста крана. Залежно від довжини проліта мостового крана вибирається відповідна кінематична схема механізма пересування моста. Якщо довжина прольоту моста перевищує 22,5 м, широко використовуються схеми з роздільними приводами ходових колес моста (рис. 2, *г)*.

Вибір кінематичної схеми.

Вибравши кінематичну схему механізму, потрібно охарактеризувати специфічні особливості та характеристики ЕП, визначити основні вимоги, які ставлять до ЕП (межі й потрібна плавність регулювання, вид опорів,

природна та штучні механічні характеристики з потрібною жорсткістю, які відповідають режимам роботи привода, умові пуска й гальмування тощо).

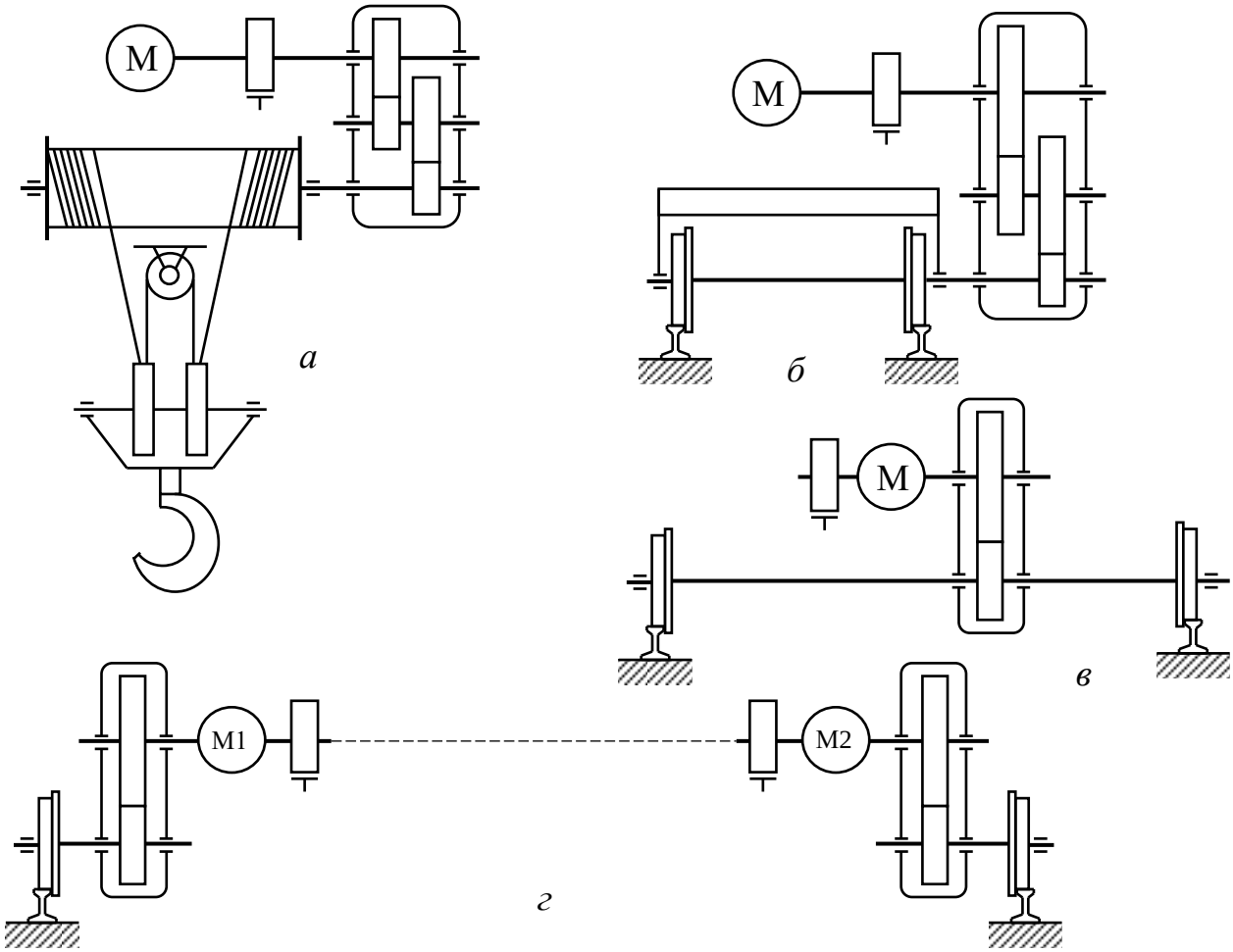


Рис. 2. Кінематичні схеми механізмів мостового крана

Об′єкти будівельного виробництва та машини, що використовуються на будівельних майданчиках, живляться трифазним змінним струмом частотою f = 50 Гц, напругою 380 В (через зростання потужності електроспоживачів поступово переходять на напругу 660 В). Деякі робочі машини в будівельній практиці оснащено ЕП з електродвигунами постійного струму, що живляться випрямленою напругою 220 і 440 В.

Для більшості будівельних машин і механізмів застосовують ЕП із серійно вироблюваними нині двигунами серії 4А. У зв′язку з важкими експлуатаційними умовами кранового електричного устаткування використовують спеціальні кранові двигуни закритого виконання типу МТ та МТК (змінного струму) з ТВ = 25 ÷ 40 % потужністю 1,4 ÷ 22,0 кВт і МТН та МТКН з ТВ = 40 % потужністю 3,0 ÷ 100,0 кВт (див. дод. 1, табл. 2).

Визначити статичні навантаження на вал двигуна:

1. Для механізму підйому (вантажної лебідки) розрахунок статичного навантаження на вал двигуна ведеться за такими формулами:

– у разі піднімання

$$F = (G_{вант.} + G_{г.п.}) \cdot g \text{ (Н)};$$

$$M_{бар.} = \frac{F \cdot R_{бар.}}{m} \text{ (Н·м)};$$

$$M_{вант.п.} = \frac{(G_{вант.} + G_{г.п.}) \cdot g \cdot R_{бар.}}{i \cdot \eta_{вант.} \cdot m} \text{ (Н·м)};$$

$$M_{г.п.п.} = \frac{G_{г.п.} \cdot g \cdot R_{бар.}}{\mu \cdot \eta_0 \cdot m} \text{ (Н·м)};$$

– у разі опускання

$$M_{вант.о.} = \frac{(G_{вант.} + G_{г.п.}) \cdot g \cdot R_{бар.}}{\mu \cdot m} \cdot \eta_{вант.} \text{ (Н·м)};$$

$$M_{г.п.о.} = \frac{G_{г.п.} \cdot g \cdot R_{бар.}}{\mu \cdot m} \cdot \eta_0 \text{ (Н·м)},$$

де $G_{вант.}$ – маса вантажу, що піднімається (кг); $G_{г.п.}$ – маса гакової підвіски (кг); g – прискорення вільного падіння (м/с^2); $i=\omega_д / \omega_{бар.}$ – передавне число редуктора; $\omega_{бар.} = V_п / R_{бар.}$ – кутова частота барабана лебідки (с$^{-1}$); m – кратність поліспаста; $\eta_{вант.}$ = 0,85 – ККД механізму з повним (номінальним) навантаженням; $\eta_о$=0,5 – ККД механізму без навантаження; F – сила опору підніманню (Н); $R_{бар.}$ – радіус барабана вантажної лебідки (м); $M_{бар.}$ – момент опору на валу барабана (Н·м); $M_{вант.п.}$, $M_{г.п.п.}$, $M_{вант.о.}$, $M_{г.п.о.}$ – статичні моменти опору на валу двигуна під час піднімання й опускання відповідно до повного (номінального) навантаження і без нього (Н м).

2. Для механізму пересування (вантажного візка, моста крана) статичне навантаження на валу двигуна розраховують так (Н м):

– під час руху з повним навантаженням

$$M_{вант.пер.} = \frac{(G_{вант.} + G_{г.п.} + G_{віз.} + G_{м.}) \cdot g \cdot (f + \mu \cdot r) \cdot k}{i \cdot \eta_{вант.}};$$

– під час руху без навантаження

$$M_{0.пер.} = \frac{(G_{г.п.} + G_{віз.} + G_{м.}) \cdot g \cdot (f + \mu \cdot r) \cdot k}{i \cdot \eta_{о.}},$$

де $G_{віз.}$ – $G_{м}$. – маса моста і візка (кг); $f = 5 \times 10^{-4} \div 12 \times 10^{-4}$ – коефіцієнт тертя кочення ходових коліс по рейках (радіус тертя); μ – коефіцієнт тертя в підшипниках (кочення – $1{,}5 \times 10^{-3} \div 2 \times 10^{-2}$, ковзання – $8 \times 1\ 0^{-2} \div 15 \times 10^{-2}$); r – радіус цапфи ходового колеса (м); $k = 1{,}8 \div 2{,}5$ – коефіцієнт тертя реборд ходового колеса об головку рейок; $i = \omega_{д} / \omega_{х.к.}$- передавне число редуктора; $\omega_{х.к.} = V_{пер.мех} / R_{х.к.}$ – кутова частота барабана лебідки ($с^{-1}$); $M_{вант.пер.віз.}$, $M_{0.пер.віз.}$, $M_{вант.пер.мост.}$, $M_{0.пер.мост.}$ – моменти статичного навантаження на вал двигуна відповідно до механізмів пересування візка та моста з вантажем і без вантажу.

Вибрати кутову швидкість двигуна.

Електродвигуни для будівельних кранів випускають із відносно малою частотою обертання. Кранові двигуни змінного струму з фазовим ротором мають таку частоту обертання:

$n_0 = 600$ об/хв → $\omega_0 = 62{,}8$ $с^{-1}$ ($P = 45{,}0 \div 160{,}0$ кВт);

$n_0 = 750$ об/хв → $\omega_0 = 78{,}5$ $с^{-1}$ ($P = 7{,}5 \div 45{,}0$ кВт);

$n_0 = 1000$ об/хв → $\omega_0 = 104{,}7$ $с^{-1}$ ($P = 1{,}4 \div 118{,}0$ кВт).

Побудувати точну навантажувальну діаграму механізмів мостового крана дуже важко, оскільки в умовах будівельної індустрії кран виконує найрізноманітніші операції (рис. 3). Тому з достатнім ступенем точності користуються зразковим (розрахунковим) спрощеним циклом роботи крана. Наприклад, вважають, що механізм піднімання виконує чотири робочі операції – піднімання-опускання номінального вантажу, піднімання-опускання гакової підвіски, а приводи пересування візка та моста – відповідно по дві (з номінальним вантажем і без нього).

Спочатку будують умовну (без розрахунку статичних навантажень механізмів, що їх не передбачає варіант завдання) навантажувальну діаграму всього мостового крана, зазначаючи час роботи на кожній операції всіх механізмів (рис. 4). Потім будують статичну навантажувальну діаграму механізму, передбаченого заданим варіантом.

Визначимо послідовність виконання робочих операцій:

1 – опускання гакової підвіски t_1, $M_{г.п.о.}$ (А);

2 – завантаження t_2 (А);

3 – підйом номінального вантажу t_1, $M_{вант.п.}$ (А);

4 – пересування вантажного візка (А → В) t_3, $M_{вант.пер.віз.}$;

5 – пересування моста (В → С) t_4, $M_{вант.пер.мост.}$;

6 – опускання номінального вантажу t_1, $M_{вант.о.}$(С);

7 – розвантаження t_2 (С);

8 – підйом гакової підвіски t_1, $M_{г.п.п.}$ (С);

9 – пересування вантажного візка (С → D) t_3, $M_{0.пер.віз.}$;

10 – пересування моста (D → A) t_4, $M_{0.пер.мост.}$.

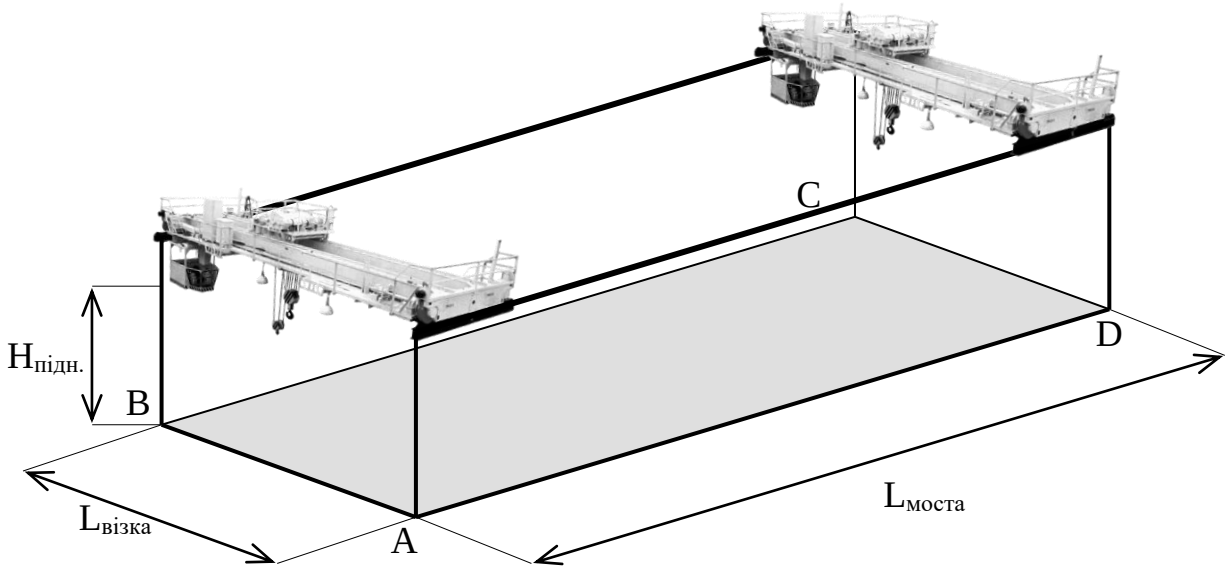


Рис. 3. Робоча зона мостового крана

Розрахункова тривалість робочих операцій механізмів:

$$t = S/V, \text{ (с)},$$

де S – відстань, на яку пересувають вантаж, механізм пересування візка чи моста (м); V – швидкість пересування механізмів відповідно підйому, пересування візка та пересування моста (м/с).

Таким чином визначимо час:

$t_1 = H / V_{підн.}$ – час підйому, опускання (с);

t_2 – час завантаження, розвантаження (с);

$t_3 = L_{візка} / V_{п.візка.}$ – час пересування візка (с);

$t_4 = L_{моста} / V_{п.моста.}$ – час пересування моста (с).

Визначити режим, у якому працюватиме проєктований ЕП, урахувавши характер його навантаження і тривалість роботи.

Особливістю роботи підйомних пристроїв є: часті пуски і зупинки за відносно нетривалих періодів роботи механізмів, що відповідає повторно-короткочасному режиму роботи привода.

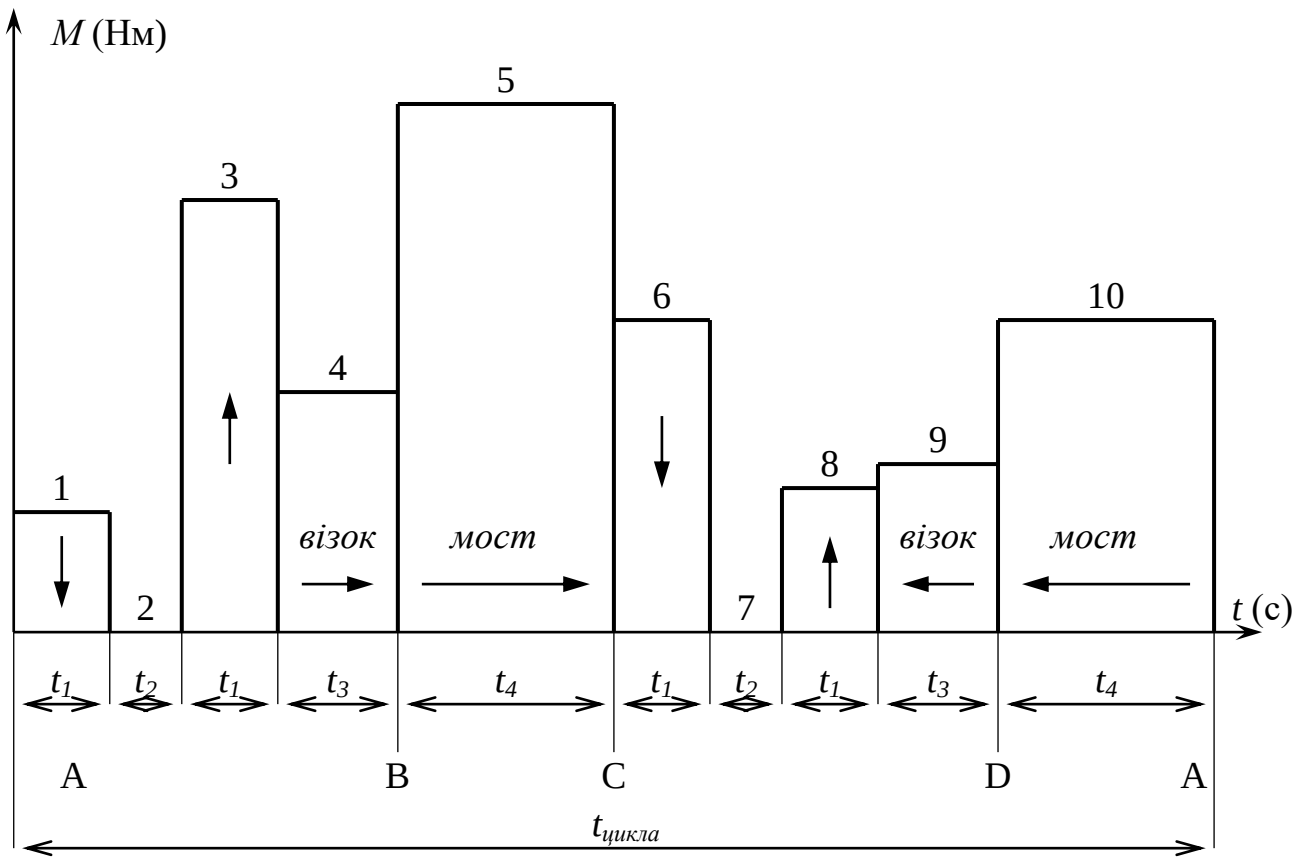


Рис. 4. Повна навантажувальна діаграма роботи мостового крана

За даними статичної навантажувальної діаграми проєктованого ЕП визначається середнє значення тривалості вмикання (ТВ):

$$TB\% = \frac{\sum t_{\text{р}}}{t_{роб.цикла}} \cdot 100\% = \frac{\sum t_{\text{р}}}{\sum t_{\text{р}} + \sum t_n} \cdot 100\%,$$

де $t_{роб.}$ – тривалість робочих операцій (с), t_n – тривалість пауз між робочими операціями (с). Потрібно звернути увагу на тривалість цикла, тобто час від початку найбільш важкої робочої операції до початку наступної робочої операції, яка не повинна перевищувати 600 с.

$$t_{роб.цикла.} = 4\,t_1 + 2\,t_2 + 2\,t_3 + 2\,t_4 \text{ (с)}.$$

Визначення потрібної потужності двигуна.

Для привода підйомної лебідки крана визначають статичний момент

$$M_{ст.м.п.} = \sqrt{\frac{M^2_{вант.п.} + M^2_{г.п.п.} + M^2_{вант.о.} + M^2_{г.п.о.}}{4}} \quad \text{(Н м)},$$

$$P_{ст.м.п.} = M_{ст.м.п.} \cdot \omega_0 \cdot 10^{-3} \text{ (кВт)}.$$

Для привода механізма пересування візка або моста визначимо:

$$M_{ст.мех.пер.} = \sqrt{\frac{M^2_{вант.пер.} + M^2_{0.пер.}}{2}} \text{ (Н м)},$$

$$P_{ст.м.пер.} = M_{ст.м.пер.} \cdot \omega_0 \cdot 10^{-3} \text{ (кВт)}.$$

Потужність двигуна, приведеного до стандартних значень ТВ%, визначаємо так:

$$P_{кат.} = P_{ст.} \cdot \sqrt{\frac{ТВ\%_{розр.}}{ТВ\%_{кат.}}} \text{ (кВт)},$$

де $P_{кат.}$ – потужність двигуна, яка обирається з каталога; $P_{розр.}$ – розрахункова потужність двигуна; $ТВ\%_{розр.}$ – розрахункова ТВ% проєктованого ЕП; $ТВ\%_{кат}$ – стандартна ТВ%, яка може бути 15 %, 25 %, 40 %, 60 % і 100 %.

За каталогом, взявши стандартну ТВ%, вибирають двигун найближчої більшої потужності у відношенні до $P_{кат}$, причому треба брати таку ТВ%, щоб двигун мав номінальні параметри (див. дод. 1, табл. 2). З каталогу виписати паспортні дані вибраного двигуна.

Перевірка вибраного двигуна на «нагрівання» і перевантажувальну здатність.

Зведений до валу двигуна момент інерції всієї механічної частини ЕП, визначається за формулою:

$$J_{зв.} = J_{дв.} + 0{,}15 \cdot J_{дв.} + \frac{\sum G \cdot V^2}{\omega^2_{ном.}} \text{ (кг м}^2\text{)},$$

де $J_д$ – момент інерції ротора двигуна (кг м^2); 0,15 $J_{дв.}$ – момент інерції передавального механізму (кг м^2); $\sum G$ – маса поступально рухомих частин механізму, разом з масою вантажу (кг); V – швидкість піднімання (опускання) або пересування (м/с); $n_{ном.}$ – номінальна частота обертання (об/хв); $\omega_{ном} = n_{ном.} / 9{,}55$ – номінальна кутова швидкість двигуна (с$^{-1}$).

Тривалість пускання та гальмування двигуна:

$$t_{пуск.} = J_{зв.} \cdot \frac{\omega_{ном.}}{1{,}8 \cdot M_{ном.} - M_{ст.}} \text{ (с)}, \qquad t_{гальм.} = 0{,}8 \cdot t_{пуск.} \text{ (с)},$$

де $M_{ст}$ – статичний момент опору за номінального навантаження (Н м); $M_{ном.} = (P_{ном.} \cdot 10^3) / \omega_{ном}$ – номінальний момент вибраного двигуна (Н м). Для механізму підйому час пуску має бути в межах 0,5 ÷ 2,0 с, а для механізмів пересування візка або моста – у межах 2,0 ÷ 10,0 с. Якщо час

пуску перевищує максимальне значення, то вибирають з каталогу наступний більшої потужності двигун і повторюють розрахунки з п. 3.10.

Довжина шляху, пройденого протягом часу пускання (гальмування) (м); $l_{пуск.} = \frac{V \cdot t_{пуск.}}{2}$, $l_{гальм.} = \frac{V \cdot t_{гальм.}}{2}$.

Тривалість руху (роботи ЕП) в сталому режимі:

$$t_{стал.} = \frac{L(H) - l_{пуск.} - l_{гальм.}}{V} \text{ (с)},$$

де *L(H)* – відповідно висота піднімання вантажу або довжина шляху пересування вантажного візка чи моста крана (м); *V* – швидкість піднімання або пересування (м/с).

Динамічний момент двигуна в період його пускання та гальмування:

$$M_{дин.пуск.} = J_{зв.} \cdot \frac{\omega_{ном.}}{t_{пуск.}} \text{ (Н м)}, \qquad M_{дин.гальм.} = J_{зв.} \cdot \frac{\omega_{ном.}}{t_{гальм.}} \text{ (Н м)}.$$

Враховуючи, що відповідно до основного рівняння руху ЕП, момент пусковий буде:

$$M_{пуск.} = M_{ст.} + M_{дин.} \text{ (Н м)}.$$

На підставі повної навантажувальної діаграми (рис.3.) визначити еквівалентний момент:

$$M_{екв.} = \sqrt{\frac{M^2_{пуск.} \cdot t_{пуск.} + M^2_{ст.} \cdot t_{стал.}}{\alpha \cdot t_{пуск.} + t_{стал.}}} \cdot \sqrt{\frac{TB\%_{розр.}}{TB\%_{кат.}}} \text{ (Н м)};$$

де α = 0,75 – коефіцієнт який враховує погіршення охолодження в період пускання (гальмування) двигуна.

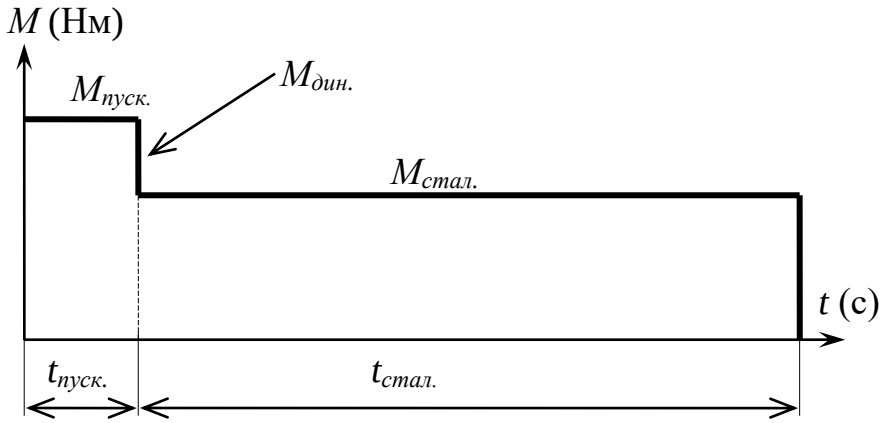


Рис. 5. Повна навантажувальна діаграма електроприводу

Перевіряємо виконання умови п. 11.6.

Під час перевірки вибраного двигуна на перевантажувальну спроможність і забезпечення пускання (п. 11.7) припускають, що статичний момент опору $M_{ст.max}$ у сталому режимі дорівнює справжньому розрахунковому моментові (не перерахованому на стандартну ТВ%) за номінального навантаження ЕП.

Механічна природна характеристика для асинхронних двигунів із фазним ротором розраховується за формулами:

$$M = \frac{2 \cdot M_{\max}}{S_к / S + S / S_к} \text{ (Н м)},$$

де S – ковзання поточне завдаємо від 0 до 1,0;

$$S_к = S_{ном.} \cdot \left[\frac{M_{\max}}{M_{ном.}} + \sqrt{\left(\frac{M_{\max}}{M_{ном.}} \right)^2 - 1} \right] \text{ – ковзання критичне;}$$

$$S_{ном.} = \frac{\omega_0 - \omega_{ном.}}{\omega_0} \text{ – ковзання номінальне;}$$

$$M_{ном.} = \frac{P_{ном.} \cdot 10^3}{\omega_{ном.}} \text{ момент номінальний вибраного двигуна (Н м).}$$

Опір обмотки ротора визначається (Ом):

$$r_2 = \frac{E_{2н}}{\sqrt{3} \cdot I_{2ном.}} \cdot S_{ном.}, \quad \text{або} \quad r_2 = \frac{\omega_0 \cdot S_{ном.} \cdot M_{ном.}}{m \cdot I_{2ном.}^2},$$

де m – кількість фаз роторної обмотки.

Результати розрахунків заносять у таблицю 1. Піковий момент M_1 і момент перемикання M_2 вибирають за такими рекомендаціями:

M_1=0,8 M_{max} (Н м); M_2=1,2 $M_{ст}$. (Н м).

Таблиця 1

S	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
ω																				
n																				
M																				

Графоаналітичний метод будови пускової механічної характеристики, розрахунок опорів пускорегулювальних резисторів і резисторів режиму противмикання наведено на рис. 6.

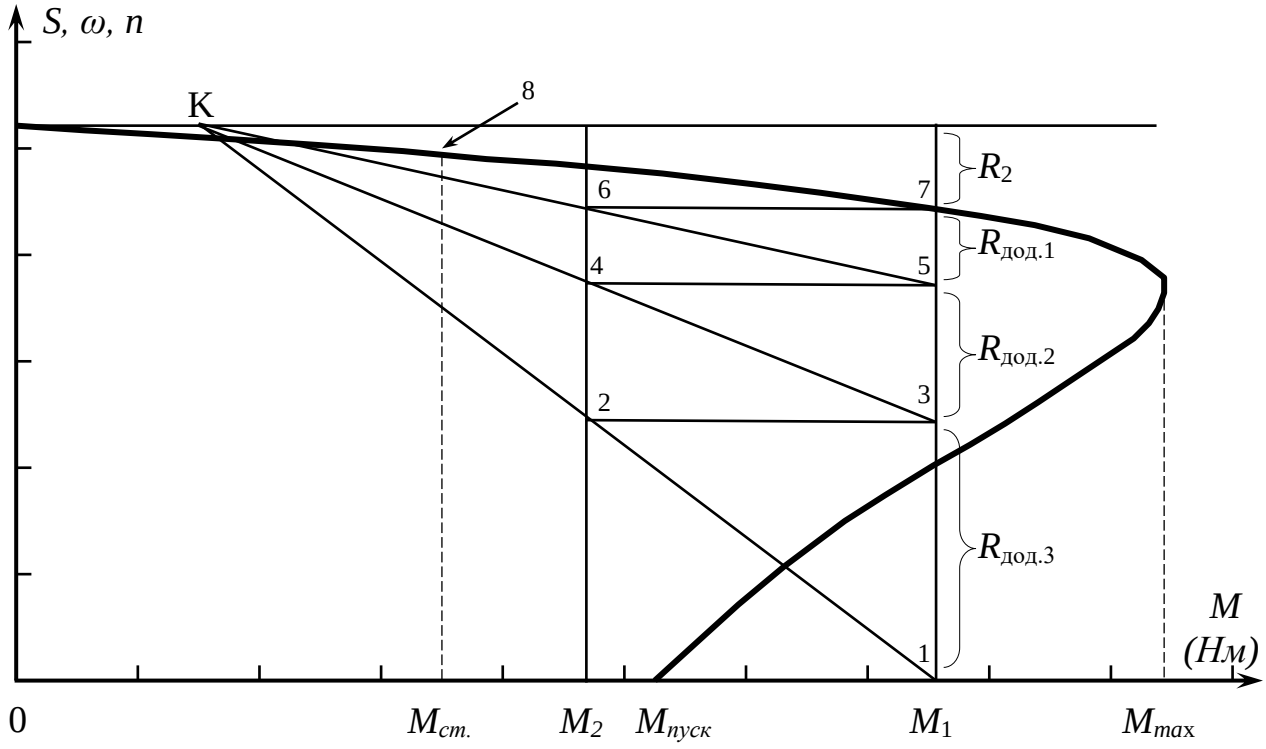


Рис. 6. Механічна характеристика асинхронного двигуна з фазним ротором

За даними, що занесені в таблицю 1, будуємо природну механічну характеристику. Визначаємо піковий момент M_1 і проводимо вертикальну лінію. Як правило, момент перемикання M_2 потрібно уточнювати, причому його значення підбираємо таким чином, щоб утворити чотири ступені перемикання або три додаткових штучних характеристики.

На лінії, що проходить від М1, визначимо відрізки, які будуть за своєю довжиною пропорційними відповідно опору обмотки ротора R_2, $R_{дод.1}$, $R_{дод.2}$, $R_{дод.3}$.

Для аналітичного розрахунку опору пускового резистора потрібно визначити коефіцієнт

$$\lambda_1 = \sqrt[z]{1/S_{ном.} \cdot \mu} \ ,$$

де z – кількість ступенів пускового резистора (визначають із схеми керування механізмом за кількістю положень контролера чи командоконтролера, рекомендовано 4 ступені пускового резистора); $S_{ном}$ – номінальне ковзання (знаходять під час розрахунку механічної

характеристики); $\mu_1=M_1/M_{ном}$ – відносне значення пікового моменту; M_1 і $M_{ном}$ – відповідно піковий і номінальний моменти двигуна (Н м).

Потім *розраховують момент перемикання* $M_2 = \lambda_1 M_1$. Опори фази ротора і для окремих пускових механічних характеристик визначаються так (Ом):

$R_n=r_2\,\lambda$; $R_{n-1}=R_n\,\lambda$; .... $R_1=R_2\,\lambda$.

Опори окремих ступенів пускового реостата (Ом):

$\Delta R_1=R_1 - R_2$; $\Delta R_2=R_2 - R_3$; .... $\Delta R_n=R_n - r_2$.

Потім у каталозі обирають стандартні коробки опорів (дод. 5, табл. 20-21).

Розрахувати механічні перехідні процеси.

Якщо завдання на проектування ЕП передбачає розрахунок перехідних процесів, то його виконують у такий послідовності:

1. Тривалість витримки на кожній пусковій механічній характеристиці, (с):

$$t_{i\,пуск.} = T_{M_i} \cdot \ln \frac{M_1 - M_{ст.}}{M_2 - M_{ст.}},$$

де $T_{M_i} = J \cdot \dfrac{R_i}{K_a^2}$ – стала часу механічного перехідного процесу на i-характеристиці, відповідно для привода постійного струму й асинхронного привода. Де опори кожної ступені дорівнюють:

$R_1 = R_{дод.1} + R_{дод.2} + R_{дод.3} + r_2$;

$R_2 = R_{дод.2} + R_{дод.3} + r_2$;

$R_3 = R_{дод.3} + r_2$;

$R_4 = r_2$;

$K_a = \dfrac{M_{ном.}}{\sqrt{3} \cdot I_{2ном.}}$ – коефіцієнт пропорційності асинхронного двигуна.

2. У загальному випадку рівняння перехідних процесів мають вигляд:

$$M = M_{ном.} \cdot e^{-t/T_M} + M_{ст.} \cdot \left(1 - e^{-t/T_M}\right);$$

$$S = S_{ном} \cdot e^{-t/T_M} + S_{ст.} \cdot \left(1 - e^{-t/T_M}\right);$$

$$\omega = \omega_{ном.} \cdot e^{-t/T_M} + \omega_{ст.} \cdot \left(1 - e^{-t/T_M}\right).$$

Кутова швидкість та ковзання при $M=M_{ст}$ на кожній механічній характеристиці:

$$S_{ст.прир.} = S_{ном.} \cdot \frac{M_{ст.}}{M_{ном.}}; \quad S_{ст.i.} = S_{ст.прир.} \cdot \frac{R_i}{r_р}; \quad \omega_{ст.i} = \omega_0 \cdot (1 - S_{ст.i}).$$

Розробити принципову схему управління ЕП, врахувавши основні вимоги, які ставлять до систем управління.

Розробити, розрахувати й вибрати основні елементи схем.

Розробка схеми управління залежить від режиму управління (ручне, автоматичне чи автоматизоване), а також від типу системи – релейно-контактна чи безконтактна.

Під час розробки системи автоматизованого управління і системи автоматизованого регулювання бажано (де це виправдовують техніко-економічні міркування) в колах схеми управління застосувати засоби мікропроцесорної техніки.

Розроблюючи схеми управління ЕП, треба орієнтуватися на сучасні технічні засоби (тиристорне управління, тиристорні пускачі, безконтактні логічні цифрові елементи, мікропроцесори), відомості про які наведено в дод. 2, табл. 3–5.

Під час розробки системи ЕП, схем управління та їх експлуатації необхідно забезпечити, щоб нормально працювали як їхні електротехнічні елементи, так і система загалом. потрібно розрахувати й вибрати апаратуру електричного захисту: мінімальну – від зниження напруги, максимальну (струмову) – від надмірних перевантажень і струмів короткого замикання, від невеликих, але тривалих перевантажень (тепловий захист), а також комутаційну апаратуру.

Контролери служать для керування роботою електродвигуна, тобто для його вмикання, регулювання частоти обертання, зупинення та змінення напрямку руху (реверсування).

Командоконтролери вибирають згідно зі схемою управління приводом (див. дод. 4, табл. 6–7). За конструкцією і принципом дії командоконтролер схожий на силовий кулачковий контролер і відрізняється від нього розмірами і формою. На рис.7. наведено зовнішній вигляд командоконтролерів і магнітний контролер. На кранах використовують командоконтролери типів ККП, ККТ, ЕК і магнітні

контролери типів ТА та ТДА. Магнітні контролери являють собою панелі, на яких встановлено комутаційні елементи схеми управління ЕП.

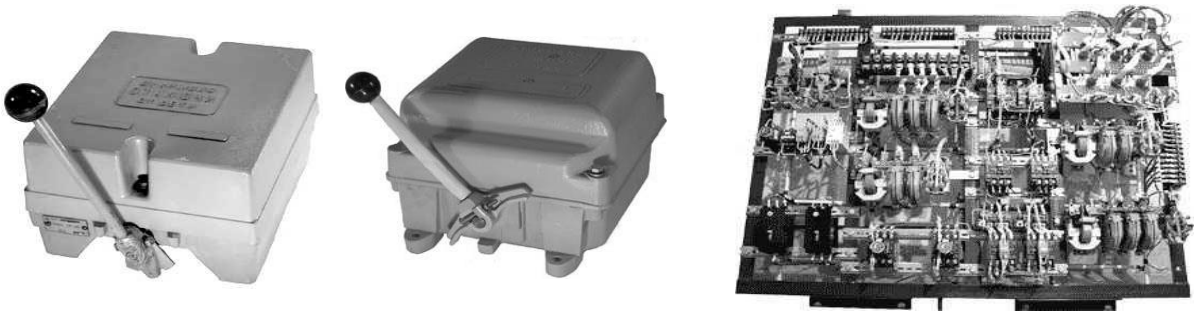


Рис. 7. Командоконтролери і магнітний контролер

Контактором називається електричний апарат, призначений для замикання й розмикання силових електричних кіл, який приводиться в дію електромагнітом. Контактори призначені для комутації силового струму в силових колах ЕП (рис. 8). Контактори обирають за пусковим струмом двигуна (див. дод. 5, табл. 8). На кранах контактори використовують у магнітних контролерах, у ролі лінійних контакторів кола захисту та в реверсорах. Реверсор складається з двох контакторів, встановлених на рейці або на панелі. Контактори реверсора захищені механічним та електричним блокуванням від одночасного вмикання.

Рис. 8. Контактори

Магнітним пускачем називається малогабаритний контактор спеціального виконання, призначений для пуску, зупинення та реверсування асинхронних короткозамкнених електродвигунів, а також для комутації (замикання й розмикання) інших електричних кіл. У магнітному пускачі можуть бути вмонтовані теплові реле для захисту електричного кола, що замикається, від переобтяжень. На кранах з електроприводом пускачі застосовуються для керування

короткозамкненими двигунами, у магнітних контролерах та для комутації інших силових кіл (див. дод. 5, табл. 9–11).

Рис. 9. Магнітні пускачі

Реле часу використовують у магнітних контролерах кранів для автоматичного замикання й розмикання кіл керування з заданим витримуванням часу. У схемах управління крановими механізмами використовують реле часу типів РЕВ 813, РЕВ, РЕВ 884. Час затримки встановлюється під час налагоджування схеми управління і може бути в межах 0,1÷30,0 с (див. дод. 5, табл. 12–13).

Рис. 10. Реле часу

Проміжні реле випускають з котушками постійного та змінного струму. Реле має від трьох до шести контактів (рис. 11). Рухомі контакти реле – місткового типу; вони закріплені на стрижні, з'єднаному з якорем. Коли котушка вмикається в мережу, якір притягується до ярма, а зв'язані з ним місткові контакти замикають або розмикають нерухомі контакти, здійснюючи –ні перемикання в схемі. Контакти проміжного реле розраховані на невелику силу струму (до 20 А) і можуть вмикатися лише в кола керування.

Рис. 11. Проміжне реле

Реле максимального струму в підйомних кранах використовують для захисту електродвигуна від перевантажень, воно має спрацьовувати при $I_{спр}=2,5\ I_{ном}$, де $I_{ном}$- номінальний струм вибраного двигуна. Котушка реле вмикається послідовно у фазу силового кола електродвигуна, а контакти в коло керуваня. Реле максимального захисту вибирають за дод. 5, табл. 15.

Рис. 12. Реле максимального струму

Автоматичні вимикачі призначені для вмикання силових електричних кіл і кіл управління. Автоматичні вимикачі зазвичай мають функції теплового й максимального захисту. Таким чином автоматичні вимикачі захищають двигун або кола управління від тривалих переобтяжень і коротких замикань. Тепловий захист побудовано на властивості деформації біметалевої пластини під дією струму який її нагріває. Максимальний захист подібний за принципом дії до реле максимального струму. Автоматичні вимикачі не призначені для частих вмикань – вимикань.

Щоб вибрати пускорегулювальні та інші резистори, треба визначити еквівалентний тривалий струм, який проходитиме через резистори,

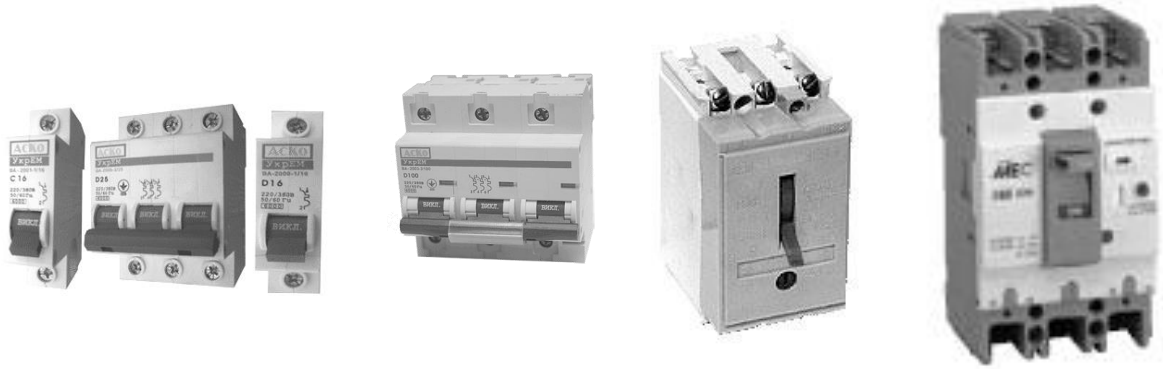


Рис. 13. Автоматичні вимикачі

$$I_{екв.тр.} = 1{,}25 \cdot I_{ст.} \cdot \sqrt{ТВ\%_{розр.}} \text{ (А)},$$

де $I_{ст}=M_{ст}/K$ - сила струму за статичного моментуі опору в процесі піднімання номінального вантажу чи пересування з ним; $K=M_{ном}/I_{д.ном.}$ – коефіцієнт пропорційності, якщо *ТВ% = 40%*, *ТВ%* – розрахункова абсолютна тривалість ввімкнення двигуна (с. 38).

Пускорегулювальні резистори (реостати) у кранових електроприводах використовуються для пуску та регулювання швидкості двигунів (рис. 14). Для резисторів режиму противмикання (попередні ступені привода піднімання):

$$I_{екв.д.} = I_{ст.} \cdot \sqrt{ТВ\%_{розр.}} \text{ (А)};$$

для резисторів попереднього ступеня приводів пересування:

$$I_{екв.д.} = 0{,}8 \cdot I_{ст.} \cdot \sqrt{ТВ\%_{розр.}} \text{ (А)}.$$

Під час добору коробок опорів припустимі відхилення фактичного значення опору від розрахункового ±10% (дод. 5, табл. 20–21).

Рис. 14. Стандартні яшики пускорегулювальних резисторів

Запобіжники (плавкі вставки) призначені для захисту електроприводів від значних перевантажень і струмів короткого замикання

(рис. 15). У разі перегоряння плавкої вставки запобіжник потрібно замінити на новий, такого самого номіналу. Запобіжники випускають на струми від 2,0 до 1000 А (дод. 5, табл. 17–19).

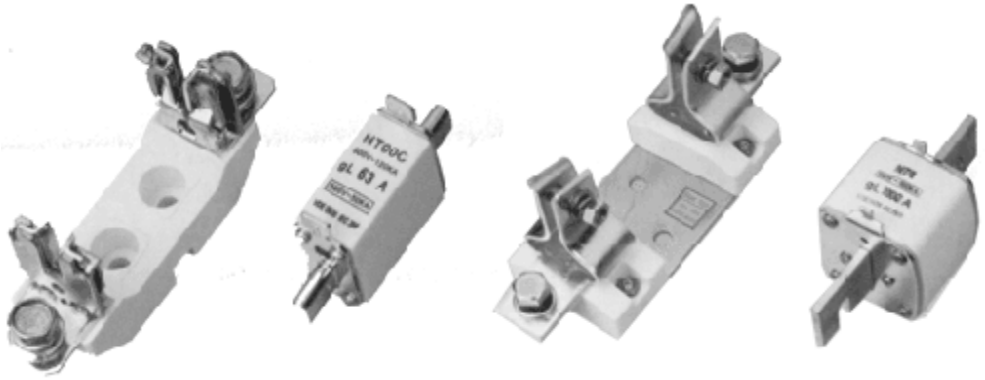


Рис. 15. Плавкі запобіжники

Кінцеві (шляхові) вимикачі призначені для комутації кіл управління у кранових електроприводах (рис. 16). Кінцеві вимикачі мають дві незалежні групи контактів і можуть працювати як на змінному, так і на постійному струмі. Кінцеві вимикачі обмежують рух механізмів пересування моста та візка, а також механізму підйому (див. дод. 5, табл. 14).

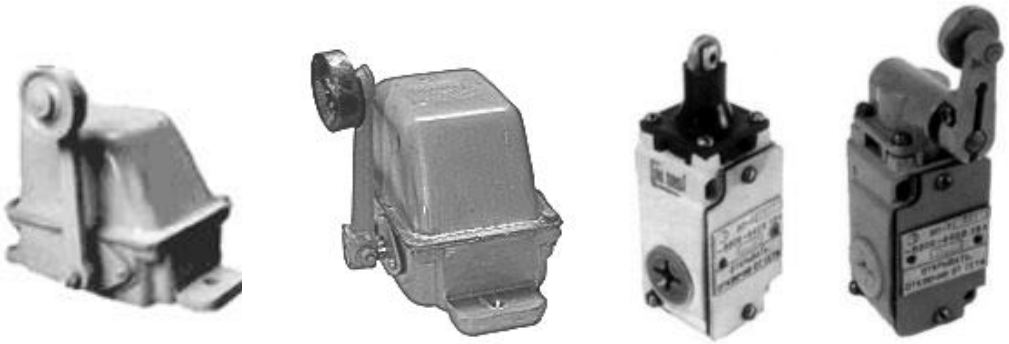


Рис. 16. Кінцеві вимикачі

У схемах управління приводами використовуються також інші елементи: кнопки вмикання та вимикання живлення або відповідних режимів; індикатори режимів роботи, аварійних станів; звукові сигнали (дзвоники або сирени); нагрівачі повітря в кабіні оператора; освітлювальні пристрої (прожектори); рубільники для приєднання приводу до мережі жилення пристоїв; обмежувачі підйому вантажу вище масимально-допустимого значення; електромагнітні гальма й елементи напівпровідникові (силові діоди, тиристори, стабілітрони та транзистори) (див. дод. 5, табл. 8–21).

ОБСЯГ І ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Проєктна курсова робота складається з пояснювальної записки обсягом 15–20 сторінок машинописного тексту, графічної частини на один аркуш формату А1 і містить:

– титульний лист, на якому зазначено тему проєктної курсової роботи, прізвище, ім′я та по-батькові студента, назву факультету та спеціальності, а також кафедри університету, на якій виконано цю роботу;

– бланк завдання на проєктну курсову роботу з початковими даними, які відповідають заданому варіантові;

– розрахунки та графічні побудови відповідно до завдання (якщо окремі з них було виконано на ЕОМ, то потрібно додати алгоритм і програму розрахунку з їх аналізом та відповідним описом);

– графіки, отримані внаслідок аналітичних розрахунків чи розрахунків на ЕОМ електромеханічних характеристик двигунів і перехідних процесів;

– функціональну схему ЕП, електричну схему силового кола й кола управління ЕП робочої машини з їх відповідним описом (рис. 18–19);

– специфікацію електричних апаратів (релейно-контактних і безконтактних) систем управління, використаних у розробленому ЕП будівельної машини чи механізму.

Курсова робота з проєктування ЕП містить:

– вступ, у якому треба відобразити напрями й завдання технічного вдосконалювання електропостачання будівельних машин і механізмів будівельного виробництва, застосування ЕП та методів управління ними на базі сучасної мікропроцесорної техніки;

– вибір приводного двигуна на підставі розрахунку статичної потужності й режиму роботи з перевіркою на нагрівання, на перевантаження і за пусковими умовами;

– розрахунок і побудова природної та реостатних (штучних) статичних механічних характеристик у рушійному режимі;

– розрахунок і вибір елементів схеми, і серед них пускорегулювальних опорів (реостатів);

– схеми електричної принципової управління ЕП (рис. 18–19). Схему електричну принципову потрібно креслити відповідно до існуючих Держстандартів (див. дод. 6, табл. 22);

– специфікації до схеми електричної принципової (що зображена на

аркуші графічної частини);

– розрахунок поперечного перерізу і типу кабелю для живлення приводу від вхідного рубильника до двигуна;

– заходи щодо поліпшення коефіцієнта потужності ЕП;

– перелік використаної літератури (с.43).

Курсова робота надається для перевірки викладачу в повному обсязі у строк, зазначений у робочій програмі до навчальної дисципліни. У разі виконання курсової роботи в повному обсязі, студенту призначається час на її захист. Оцінка виставляється на підставі виконаного завдання і відповідного захисту студентом виконаної роботи. Таким чином оцінюється виконана робота і ступінь засвоєння студентом відповідного матеріалу.

Список літератури

1. *Городжа А. Д.* Загальна електротехніка : навчальний посібник. – Київ : КНУБА, 2000. – 150 с.
2. *Загальна електротехніка* : підручник / під ред. Глухова Д. Я. – Київ : Вища школа, 1970. – 426 с.
3. *Вартабенян В. А.* Загальна електротехніка : підручник. – Київ : Вища школа, 1979. – 374 с.
4. *Іванов А. О.* Лабораторні роботи з електротехніки : навчальний посібник. – Київ : Вища школа, 1970. – 256 с.
5. *Будіщев М. С.* Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : підручник. – Львів : Афіша, 2001. – 424 с.

Додаток 1

Таблиця 2

Технічні дані двигунів серій МТН, МТМ, МТ, МТО і МТВ з фазовим ротором, 50 Гц 220/380 В

Тип двиг.	Потужність	Част. об.	Струм статор.	Коеф. потужн.	ККД	Струм ротора	Напр. рот.	Макс. момент	Махов. момент
	P кВт	$n_{ном.}$ об/хв	$I_{ст}$ А	cosφ	η %	$I_р$ А	$U_р$ В	M_{max} Н м	J кг м^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
При ТВ%=40%									
МТМ111-6	2,2	885	6,6	0,76	63,0	11,1	144	54,6	0,048
МТН111-6	3,0	895	10,5	0,67	65,0	13,2	176	83	0,190
МТН112-6	4,5	910	13,9	0,71	69,0	15,6	203	118	0,270
МТН211-6	7,0	920	22,5	0,64	73,0	19,5	236	196	0,460
МНТ311-6	11,0	940	31,5	0,69	78,0	42,0	172	314	0,900
МТН312-6	15,0	950	38,5	0,73	81,0	46,0	219	471	1,250
МТН411-6	22,0	960	55,5	0,73	82,5	60,0	235	638	2,000
МТН412-6	30,0	965	76,0	0,71	84,5	73,0	255	932	2,700
МТН512-6	55,0	960	120,0	0,79	88,0	105,0	340	1630	4,100
МТН611-6	75,0	950	154,0	0,85	87,0	180,0	270	2610	13,10
МТН612-6	95,0	960	193,0	0,85	88,0	176,0	366	3580	16,50
МТН613-6	118	960	237,0	0,84	90,0	160,0	473	4660	20,40
МТН311-8	7,5	690	23,4	0,68	71,5	21,0	245	265	1,100
МТН312-8	11,0	700	31,0	0,69	78,0	43,0	165	422	1,250
МТН411-8	15,0	705	43,0	0,67	79,0	48,8	206	569	2,150
МТН412-8	22,0	715	66,0	0,63	80,5	57,0	248	883	3,000
МТН511-8	28,0	705	71,0	0,72	83,0	64,0	281	1000	4,300
МТН512-8	37,0	705	89,0	0,74	85,0	77,0	305	1370	5,700
МТН611-10	45,0	570	112,0	0,72	84,0	154,0	185	2320	17,00
МТН612-10	60,0	565	147,0	0,78	85,0	154,0	248	3140	21,00
МТН613-10	75,0	575	180,0	0,72	88,0	145,0	320	4120	25,00
МТН711-10	100,0	584	246,0	0,69	89,5	233,0	272	4560	41,00
МТН712-10	125,0	585	300,0	0,70	90,3	237,0	327	5690	51,00
МТН713-10	160,0	586	392,0	0,68	91,0	244,0	408	7310	60,00
Якщо ТВ% = 25 %									
МТО11-6	1,4	885	5,3	0,65	62,0	9,3	112	34,73	0,0212
МТ-11-6	2,2	885	7,2	0,72	65,0	12,8	135	54,6	0,0425
МТ-12-6	3,5	910	10,3	0,73	69,0	12,2	204	91,82	0,0675
МТ-21-6	5,0	940	14,9	0,68	71,0	14,9	164	147,3	0,1025
МТ-22-6	7,5	945	20,9	0,69	73,0	21,6	227	212,2	0,1420
МТ-31-6	11,0	953	28,4	0,71	78,0	35,4	200	341,7	0,2620
МТВ312-6	16,0	955	37,6	0,77	80,0	49,5	208	448,0	0,3130
МТВ411-6	22,0	965	55,0	0,71	82,0	61,0	225	607,6	0,5000
МТВ412-6	30,0	970	70,5	0,73	84,0	72,0	259	827,3	0,6750

Додаток 2

Таблиця 3

Агрегати тиристорні реверсивні потужністю від 10 до 500 кВт

№ пп	Тип агрегата	Струм $I_{ном}$ (А)	Напруга $U_{ном}$ (В)	ККД η (%)
1	ТЕР9-25/230Р-31У4	25	220	89
2	ТЕР9-25/460Р-31У4	25	380	95
3	ТЕР9-50/230Р-31У4	50	220	96
4	ТЕР9-50/460Р-31У4	50	380	97
5	ТЕР9-100/230Р-31У4	100	220	96
6	ТЕР9-100/460Р-31У4	100	380	97
7	ТЕР9-200/230Р-31У4	200	220	96
8	ТЕР9-200/460Р-31У4	200	380	97
9	ТЕР9-320/230Р-31У4	320	220	96
10	ТЕР9-320/460Р-31У4	320	380	97
11	ТЕР9-500/230Р-31У4	500	220	98
12	ТЕР9-500/460Р-31У4	500	380	98

Примітки: 1) агрегати призначені для живлення роторного кола і кола збудження двигунів постійного струму;

2) припустимі струмові перевантаження: $2I_{ном}$ протягом 15 с; $1{,}75I_{ном}$ протягом 60 с;

3) виготовлювач – ХЕМЗ, м. Харків.

Таблиця 4

Перетворювачі частоти серії ТПЧ

№	Тип агрегата	$P_{ном}$ (кВ А)	Межа рег. напруги (В)	cosφ	ККД
1	ТПЧ-15У4	15	20÷230	0,8	80
2	ТПЧ-40У4	40	20÷230	0,8	80
3	ТПЧ-63ПУ4	63	38÷380	0,85	90
4	ТПЧ-100ПУ4	100	38÷380	0,85	94

Примітки: 1) перетворювачі призначені для плавного пуску, регулювання швидкості й гальмування асинхронних двигунів з КЗ ротором;

2) припустиме струмове перевантаження: 1,25 $I_{ном}$ протягом 600 секунд не більше 1 разу за годину (для ТПЧ-15 і ТПЧ-40); 2,0 $I_{ном}$ протягом 10 с не більше 1 разу за годину (для ТПЧ-63 і ТПЧ-100);

3) напруга живлення трифазної мережі 380 В, частота 50 Гц;

4) виготовлювач – ЗВО «Перетворювач», м. Запоріжжя.

Таблиця 5

Тиристорні агрегати серії ЕКТР (напруга 380 В)

№ пор.	Тип агрегата	Ном. частота (Гц)	$P_{ном}$ кВ А	$I_{ном}$ А	Межа рег. частоти (Гц)
1	ЕКТР 20/380 У4	50	12	20	1÷90
2	ЕКТР 40/380 У4	50	25	40	1÷90
3	ЕКТР 63/380 У4	50	40	63	1÷90
4	ЕКТР 100/380 У4	50	63	100	1÷90
5	ЕКТР 160/380 У4	50	100	160	1÷90

Примітки: 1) агрегати призначені для розгону, регулювання швидкості і гальмування асинхронних двигунів з КЗ ротором;

2) агрегати забезпечують рекуперацію енергіїв мережу;

3) припустиме струмове перевантаження: 1,5 $I_{ном}$ якщо $U_{ном}$ = 220 В; 2,0 $I_{ном}$ якщо $U_{ном}$ = 380 В;

4) cosφ = 0,88 ÷ 0,9;

5) виготовлювач – ЗВО «Перетворювач», м. Запоріжжя.

Рис. 17. Зовнішній вигляд асинхронного двигуна з «фазовим» ротором серії МТН 400

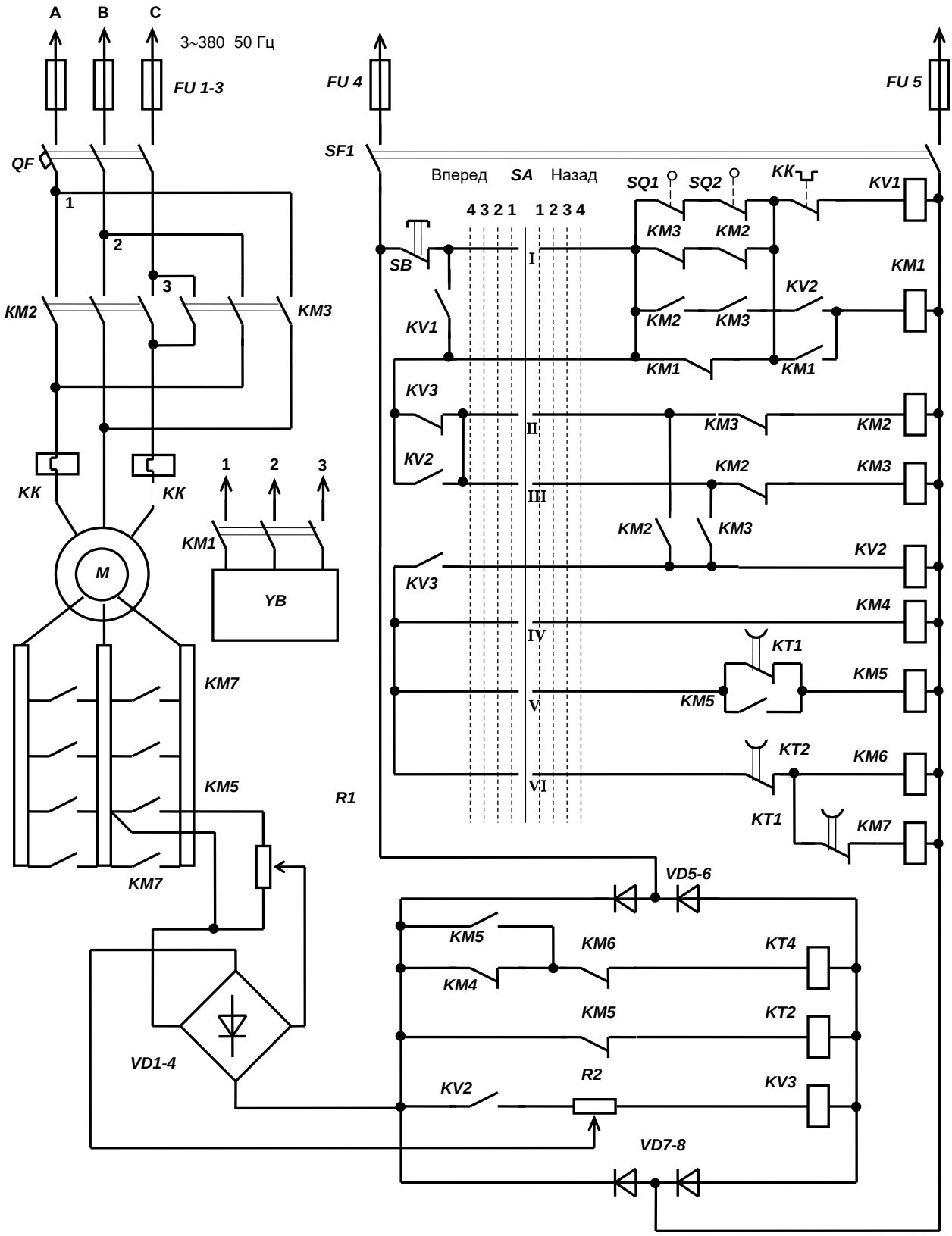


Рис. 18. Схема електрична принципова ЕП, механізму пересування візка або моста, з асинхронним двигуномі з фазовим ротором

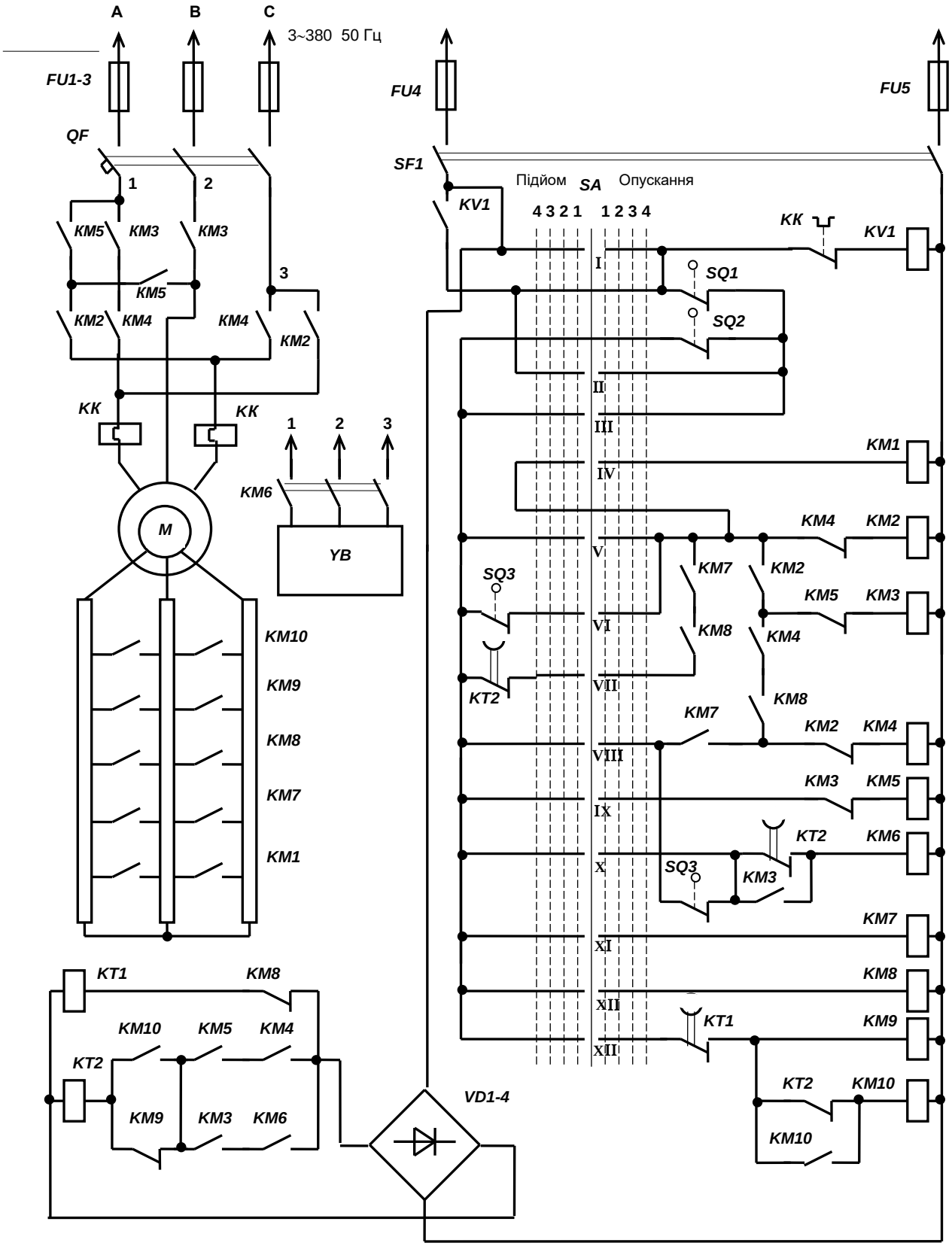


Рис. 19. Схема електрична принципова ЕП, механізму піднімання вантажної лебідки, з асинхронним двигуном із фазовим ротором

Додаток 4

Таблиця 6

Таблиця замикання контактів командоконтролерів

№	Положення контролерів										
	опускання ліворуч назад						підйом праворуч вперед				
	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
1						●					
2	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●
3							●	●	●	●	●
4	●	●	●	●	●						
5	●	●	●	●				●	●	●	●
6	●	●	●						●	●	●
7	●	●								●	●
8	●										●
9				●			●	●	●	●	●
10						●	●	●	●	●	●
11	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
12	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
13			●							●	●
14			●						●	●	●
15						●	●				
16	●	●	●	●	●			●	●	●	●
17										●	●
18	●	●									
19	●	●	●				●	●	●	●	●
20	●	●	●	●	●	●					
21								●	●	●	●
22	●	●	●	●							
23				●	●		●	●			
24					●	●	●	●			
25	●						●				
26					●		●				
27	●	●							●	●	●
28		●	●		●	●	●	●	●	●	●
29	●	●	●	●	●				●	●	●
30	●	●	●	●					●	●	●
31	●	●	●	●			●	●	●	●	●
32	●	●	●					●	●	●	●
33	●	●	●							●	●
34	●					●	●				

№	Положення контролерів										
	опускання ліворуч назад						підйом праворуч вперед				
	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
35	●	●					●	●			
36					●		●	●	●	●	●
37					●	●	●	●	●	●	●
38		●			●		●				
39	●	●	●								
40					●	●					
41				●	●		●				
42		●			●	●	●				
43	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●
44	●	●	●	●		●	●	●	●	●	
45					●	●	●				
46	●					●	●	●	●		
47									●	●	●
48									●		
49	●	●	●	●	●	●	●				
50	●	●	●	●	●	●	●	●			
51	●	●	●	●	●				●		
52						●	●	●	●		
53				●	●		●	●	●	●	●
54				●	●	●	●				
55	●	●	●						●		
56	●	●	●	●	●		●	●			
57	●	●							●		
58	●								●	●	
59	●	●	●			●	●	●	●		
60	●	●				●	●	●	●		
61	●					●	●	●			
62	●	●	●	●	●			●			
63	●	●	●	●	●	●	●		●		
64			●								
65				●	●	●	●	●	●	●	●
66			●				●	●	●	●	●
67			●	●	●	●					
68	●	●	●	●					●		

Закінчення дод. 4

Таблиця 7

Типи командоконтролерів

Тип командо-контролера	Кількість положень контролера			Номера таблиць замикання контактів згідно із таб. 7
	Опускан. Ліворуч Назад	Підйом Праворуч Вперед	Кількість кіл	
КП 1201	4	4	12	1,2,4,7,17,24,30,33,47,48,49,4
КП 1203	5	5	12	1,2,2,4,5,6,7,8,26,1,4,3
КП 1204	4	4	12	1,50,49,30,17,2,51,3,52,47,33,7
КП 1205	1	1	6	1,1,4,3,4,3
КП 1210, КП 1610	3	3	6	1,2,4,3,5,6
КП 1213	5	5	12	1,2,4,3,4,22,21,6,5,7,8
КП 1214	4	4	11	1,2,4,3,4,3,5,6,7,1,26
КП 1215	4	5	12	1,2,3,10,11,12,4,16,17,39,35,36
КП 1219	5	5	12	1,2,3,10,11,12,4,16,58,39,35,36
КП 1220	5	5	12	1,2,4,3,10,3,43,11,59,60,61,25
КП 1221	5	5	12	1,2,4,3,10,3,32,60,61,44,46,34
КП 1222, КП 1422	4	5	12	1,2,4,3,4,3,6,7,1
КП 1522	2	2	6	1,2,5,4,3,1
КП 1223	4	3	12	1,2,4,47,4,3,47,30,27,6,49,65
КП 1226, КП 1526	4	5	11	1,2,4,3,4,3,5,6,7,1,26
КП 1726	4	4	6	1,5,3,4,6,7
КП 1227, КП 1727	3	3	6	1,41,4,3,6,31
КП 1228	3	3	6	2,3,23,4,23,26
КП1230, КП1230С	1	1	10	1,2,4,3,4,3,20,10,1,20
КП 1266, КП 1466	3	3	6	1,2,4,3,4,3,5,6,7,18
КП 1566, КП 1666	3	3	6	1,2,4,3,4,3,5,6,7,17,25
КП 1766	5	5	12/4	1,2,4,3
КП 1451,КП 1651	4	4	12	1,65,37,32,18,2,66,4,67,39,27,7
КП 1452,КП 1652	4	4	12	1,2,39,3,3,54,654,18,37,32,27,7
КП 1211Д	4	4	12	1,2,37,32,6,33,39,53,39,67,4,3
КП 1212Д	4	4	12	1,2,47,55,47,56,49,68,24,57,3,4
КП 1654Д	4	3	12	1,2,4,3,31,32,39,40,27,4,22,19
КП 1657Д	3	3	12	1,2,3,4,16,30,47,15,39,3,21,29
КП 1664Д	5	4	12	1,2,31,9,154,13,28,40,38,42,13
КП 1664Д	4	3	12	1,2,16,62,47,6,27,63,15,26,45,27

Додаток 5

Контактори магнітні МК

Контактори КМ використовуються для комутації двигунів і електричних кіл напругою до1000 В, частотою 50/60 Гц, струм від 200 А до 1600 А.

Таблиця 8

Тип		КМ-115	КМ-150	КМ-185	КМ-225	КМ-265	КМ-330	КМ-400
Номінальний струм, А	АС1	200	250	275	315	350	400	500
	АС3	115	150	185	225	265	330	400
Потужність 3-фазних двигунів АС3, кВт	220 В	30	40	55	63	75	100	110
	380 В	55	75	90	110	132	160	200
	415 В	59	80	100	110	140	180	200
	440 В	59	80	100	110	140	200	250
	500 В	75	90	110	129	160	200	257
	660 В	80	100	110	129	160	200	280
	1000 В	65	65	100	100	147	160	185

Пускачі магнітні ПМ

Електромагнітні пускачі низької напруги серії ПМ, комбіновані з тепловим реле використовуються для для пуску і захисту двигунів в управляючих колах.

Таблиця 9

Тип		ПМ 1-09	ПМ 1-12	ПМ 1-18	ПМ 2-25	ПМ 2-32
Ном. струм, А	АС3	9	12	18	25	32
	АС4	3,5	5	7,7	8,5	12
Потужність 3-фазних двигунів АС3, кВт	220 В	2,2	3	4	5,5	7,5
	380 В	4	5,5	7,5	11	15
	415 В	4	5,5	9	11	15
	440 В	4	5,5	9	11	15
	500 В	5,5	7,5	10	15	18,5
	660 В	5,5	7,5	10	15	18,5
Ном. тепл. струм		20	20	32	40	50
Контакти		3P+NO / 3P+NC				

Продовження дод. 5

Таблиця 10

Тип		ПМ 3-40	ПМ 3-50	ПМ 4-65	ПМ 4-80	ПМ 4-95
Номінальний струм, А	АС3	40	50	65	80	95
	АС4	18,5	24	28	37	44
Потужність 3-фазних двигунів АС3, кВт	220 В	11	15	18,5	22	25
	380 В	18,5	22	30	37	45
	415 В	22	25	37	45	45
	440 В	22	30	37	45	45
	500 В	22	30	37	55	55
	660 В	30	33	37	45	45
Ном. тепл. струм		60	80	80	125	125
Контакти		3P+NO+NC				

Пускачі магнітні реверсивні ПМР

Таблиця 11

Тип	Ном. Роб. струм АС3, (А)	Потужність двигуна (кВт)				
		220 В	380 В	415 В	440 В	660 В
ПМР 1-0901	9	2,2	4	4	4	5,5
ПМР 1-1201	12	5,5	5,5	5,5	5,5	7,5
ПМР 1-1801	16	7,5	7,5	9	9	10
ПМР 2-2501	25	5,5	11	11	11	15
ПМР 2-3201	32	7,5	15	15	15	18,5
ПМР 3-4011	40	18,5	18,5	22	22	30
ПМР 3-5011	50	15	22	25	30	33
ПМР 4-6311	63	18,5	30	37	37	37
ПМР 4-8011	80	22	37	45	45	45

Блоки затримки БЗ

Блоки затримки встановлюють на магнітні пускачі ПМ і контактори КМ. Величина затримки встановлюється регулятором і знаходиться в межах від 0,1 до 180 с. Час затримки починається з моменту включення або відключення пускача, після відпрацьовування заданої затримки часу контакти блока затримки замикаються або розмикаються.

Таблиця 12

Тип	Диапазон часу затримки (с)	Вид контактів
БЗ-11	0,10–3,00	NO+NC
БЗ-12	0,10–30,0	
БЗ-13	10,0–180,0	
БЗ-21	0,10–3,00	
БЗ-22	0,10–30,0	
БЗ-23	10,0–180,0	

Реле часу РЕВ

Таблиця 13

Тип	Напруга котушки	Контакти	Затримка часу, с
РЕВ-813	110	1NO, 1NC	0,10–30,0
РЕВ-818	24	2NO, 2NC	0,10–15,0
РЕВ-884	110	2NO, 2NC	0,10–30,0

Кінцеві вимикачі (кінцеві)

Таблиця 14

Тип	Тип контактного елемента	Контакти
ВК 200	важіль, ролик, шток	1NO, 1NC
ВП 15 200-222	шток	1NO, 1NC
ВПК	шток, ролик, важіль	1NO, 1NC
КУ 701	важіль - ролик	1NO, 1NC
КУ 703	важіль - противага	1NO, 1NC
КУ 704	сектор	1NO, 1NC, 1NO, 1NC
КУ 706	2 важелі з роликами	1NO, 1NC, 1NO, 1NC

Продовження дод. 5

Максимальне струмове реле РЕО-401

Таблиця 15

Тип	Номінальний струм, А	Межа регулювання, А
РЕО-401-2,5	2,5	3,3–10,0
РЕО-401-4,0	4,0	5,2–16,0
РЕО-401-6,0	6,0	8,0–24,0
РЕО-401-10,0	10,0	13,0–40,0
РЕО-401-16,0	16,0	21,0–64,0
РЕО-401-25,0	25,0	33,0–100,0
РЕО-401-40,0	40,0	52,0–160,0
РЕО-401-63,0	63,0	82,0–252,0
РЕО-401-100,0	100,0	130,0–400,0
РЕО-401-160,0	160,0	210,0–640,0
РЕО-401-250,0	250,0	325,0–1000,0
РЕО-401-320,0	320,0	420,0–1280,0

Реле максимального струму може комплектуватися блок-контактом 1NC. Для захисту електроприводів мостового крану в цілому використовують три реле максимального струму (відповідно для приводу механізмів: підйому, пересування візка та моста) з одним блок-контактом 1NC (на розмикання) закріпленому на одній планці. Таким чином, у разі аварійного спрацьовування навіть одного реле (на будь-якому приводі) будуть вимкнені всі приводи одночасно. Реле має спеціальну систему налаштування спрацьовування.

Теплове реле РТ

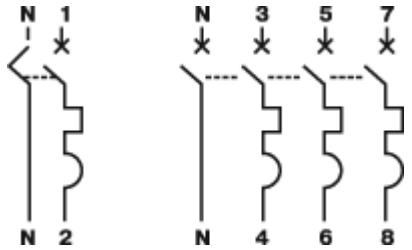
Теплові реле типу РТ випускають у диапазоні струмів 0,16–93,0 А. Особливостями реле є: ручне або автоматичне повернення розчеплювального механізма, чутливість проти випадіння фаз, наявність температурної компенсації та електрично незалежних замикальних і розмикальних контактів.

Таблиця 16

Тип	Номінальний робочий струм реле, (А)	Позначення	Тепловий компонент	
			Номінальний струм, (А)	Струмовий диапазон, (А)
РТ-13	25,0	РТ-1301	0,16	0,10–0,16
		РТ-1302	0,25	0,16–0,25
		РТ-1303	0,40	0,25–0,40
		РТ-1304	0,63	0,4–0,63
		РТ-1305	1,0	0,63–1,0
		РТ-1306	1,6	1,0–1,6
		РТ-1307	2,5	1,6–2,5
		РТ-1308	4,0	2,5–4,0
		РТ-1310	6,0	4,0–6,0
		РТ-1312	8,0	5,5–8,0
		РТ-1314	10,0	7,0–10,0
		РТ-1316	13,0	9,0–13,0
		РТ-1321	18,0	12,0–18,0
		РТ-1322	25,0	17,0–25,0
РТ-23	36,0	РТ-2353	32,0	23,0–32,0
		РТ-2355	36,0	28,0–36,0
РТ-33	93,0	РТ-3353	32,0	23,0–32,0
		РТ-3355	40,0	30,0–40,0
		РТ-3357	50,0	37,0–50,0
		РТ-3359	65,0	48,0–65,0
		РТ-3361	70,0	55,0–70,0
		РТ-3363	80,0	63,0–80,0

Автоматичні вимикачі УкрЕМ ВА-2002

Вимикачі «Полюс + Нейтраль» (1+N, 3+N)



Номінальний струм, $I_{ном.}$ (А) – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63.

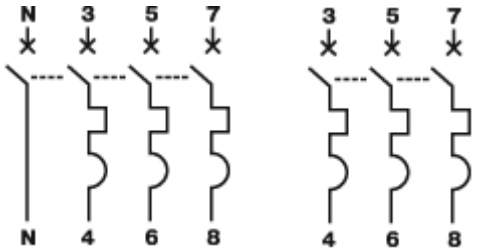
Номінальна напруга, $U_{ном.}$ (В) – 220 / 380.

Номінальна частота мережі, $f_{ном.}$ (Гц) – 50.

Характеристика вимикання – С.

Автоматичні вимикачі УкрЕМ ВА-2003

Вимикачі (3, 3+N)



Номінальний струм, $I_{ном.}$ (А) –50, 63, 80, 100.

Номінальна напруга, $U_{ном.}$ (В) – 230 / 415.

Номінальна частота мережі, $f_{ном.}$ (Гц) – 50.

Характеристика вимикання – D.

Автоматичні вимикачі УкрЕМ ВА-2004

Вимикачі (кількість полюсів) – 2, 3, 4.

Номінальний струм, $I_{ном.}$ (А) – 3, 5, 10, 16, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 500, 600.

Номінальна напруга, $U_{ном.}$ (В) – 660.

Номінальна частота мережі, $f_{ном.}$ (Гц) – 50.

Характеристика вимикання – D.

Продовження дод. 5

Плавкі запобіжники ППН

Призначені для захисту електрообладнання промислових установок і електричних мереж від перевантажень і коротких замикань за номінальної напруги 400 В і 500 В змінного струму і 220 В і 440 В постійного струму (призначені для заміни запобіжників серії ПН-2).

Таблиця 17

Тип	Номінальний струм, А
ППН-33	2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160
ППН-35	40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200
ППН-37 ППН-39	50, 63, 80, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250 100, 125, 160, 200, 250, 315, 355, 400
ППН-41	315, 355, 400, 500, 630
ППН-41 б	500, 630, 800, 1000, 1500, 1600

Таблиця 18

Тип	Номінальний струм, А
ПН2-250А	80, 100, 125, 160, 200, 250
ПН2-400А	200, 250, 315, 355, 400

Плавкі запобіжники NT

Таблиця 19

Тип	Струм, А	Напруга, В	Втрата потужності, Вт
NTOOC	2, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 36, 40, 50, 63, 80, 100	500, 660	0,41–7,00
NTOO	4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 36, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	500, 660	0,37–9,60
NTO	6, 10, 16, 20, 25, 32, 36, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	500, 660	1,03–15,2
NT1	80, 100, 125, 160, 200, 224, 250	500, 660	6,20–18,3
NT2	125, 160, 200, 224, 250, 300, 315, 355, 400	500, 660	9,00–26,0
NT3	315, 355, 400, 425, 500, 630	500, 660	21,7–62,0
NT4	800, 1000	380	62,0–75,0

Продовження дод. 5

Таблиця 20

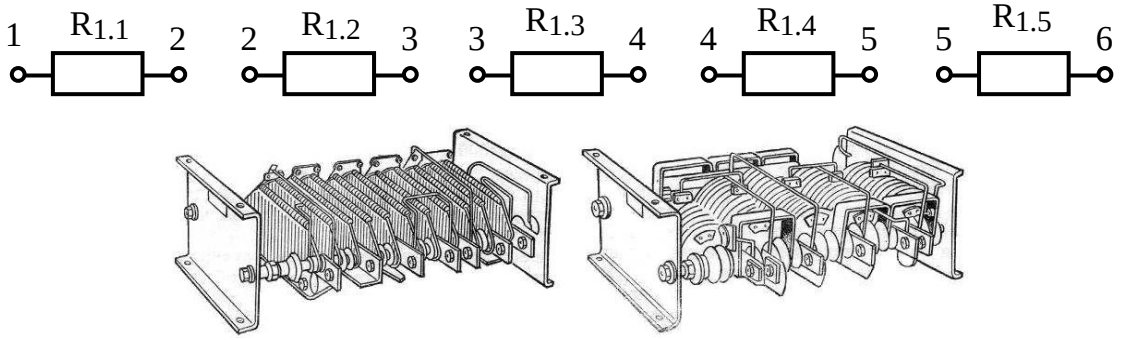
Нормалізовані ящики резисторів типа НФ11А

Номер по каталогу	Тривалий струм, А	Загальний опір, Ом	Кількість ступенів	Опір ступені, Ом	Кількість затискачів
2ТД.750.020-35	26,8	7,15	11	0,65	12
2ТД.750.020-36	21,8	11,0	11	1,0	12
2ТД.750.020-37	17,7	16,0	11	1,5	12
2ТД.750.020-38	15,0	23,1	11	2,1	12
2ТД.750.020-39	13,4	28,6	11	2,6	12

Таблиця 21

Нормалізовані ящики резисторів типу НФ1А

Номер по каталогу	Трив. струм	Пост. часу	Загал. опір	Опір ступенів, Ом					Кільк. затис.
				1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	
2ТД.754.054-01	228	265	0,096	0,0215	0,017	0,017	0,0215	0,019	6/4
2ТД.754.054-02	204	365	0,118	0,026	0,0215	0,0215	0,026	0,0285	6/4
2ТД.754.054-03	165	330	0,190	0,042	0,0345	0,0345	0,042	0,038	6/4
2ТД.754.054-04	127	330	0,318	0,0635	0,0635	0,0635	0,0635	0,0635	6/4
2ТД.754.054-05	114	270	0,395	0,079	0,079	0,079	0,079	0,079	6/4
2ТД.754.054-06	102	365	0,480	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	6/4
2ТД.754.054-07	82	300	0,780	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	6/4
2ТД.754.054-08	64	330	1,280	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	6/4
2ТД.754.054-09	57	270	1,600	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	6/4
2ТД.754.054-10	51	350	2,000	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	6/4
2ТД.754.054-11	41	240	3,100	0,455	0,477	0,477	0,455	0,455	8/6
2ТД.754.054-12	36	220	4,000	0,6	0,596	0,596	0,6	0,6	8/6

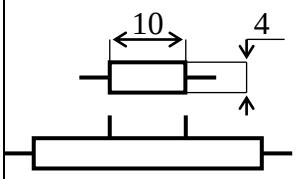
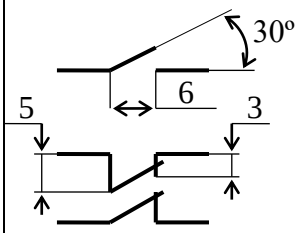
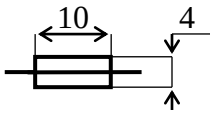
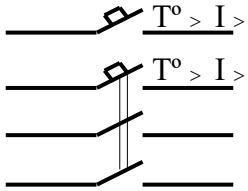
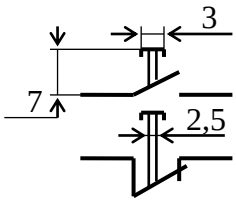
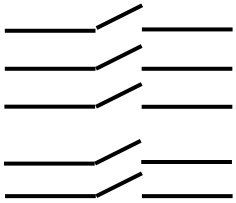
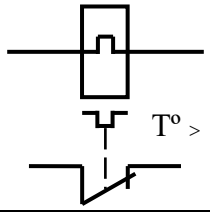
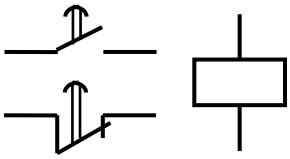


Зовнішній вигляд стандартних ящиків і схема з’єднання секцій

Додаток 6

Таблиця 22

Графічні умовні позначення у схемах електричних принципових

№	Назва елемента	Позна-чення	Графічне зображення
1.	Опір, пускорегулювальний реостат	R	
2.	Контакт: нормально розімкнений (1NC), нормально розімкнений (1NC)	K	
3.	Запобіжник, плавка вставка	FU	
5.	Автоматичний вимикач: однополюсний (1NO), триполюсний (3NO)	QF, SF	
6.	Кнопка без фіксації: нормальнозамкнений (1NC), нормальнорозімкнений контакт (1NO)	SB	
7.	Контактор, магнітний пускач: триполюсний (3NO), двополюсний (2NO)	KM	
8.	Реле електротеплове	KK	
9.	Реле часу: затримка в разі замикання, затримка в разі розмикання	KT	

10.	Реле напруги	KV	
11.	Реле струму	KA	I >
12.	Реле проміжне	KL	
13.	Кінцевий вимикач: нормальнозамкнений (1NC) і нормальнорозімкнений контакт (1NO)	SQ	
14.	Машина, асинхронний двигун: з «короткозамкненим роторм», з «фазовим» ротором	M	
15.	Електромагнітне гальмо	YB	
16.	Перемикач, командоконтролер	SA	
17.	Сигнальна лампа	HL	
18.	Напівпровідниковий тиристор, силовий	VS	
19.	Напівпровідниковий діод, силовий	VD	
20.	З’єднувачі: штир, гніздо, з’єднання розбірне	X XP XA XB	

Навчально-методичне видання

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА
Електропривод будівельних машин

Методичні вказівки
до виконання курсової роботи
для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

Укладачі: **КРАВЧЕНКО** Ігор Миколайович,
ОСТАПУЩЕНКО Ольга Павлівна

Випусковий редактор *Т. В. Івченко*
Комп'ютерне верстання *Д. М. Ніколаєвич*

Підписано до друку 29.01.2023. Формат 60 x 84 1/16
Ум. друк. арк. 2,56. Обл.-вид. арк. 2,75.
Електронний документ. Вид. № 24/ІІІ-24

Видавець і виготовлювач:
Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002