

Розробка
електроприводу
ЖЕРНОКЛЬОВ механізму підйому
Олександр мостового крана проф. Титюк В.К.
Володимирович вантажопідйомністю
50 т в умовах ДТЕК
«Криворізька ТЕЦ»

ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

Розділ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОМЕ- ХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ

1.1 Класифікація режимів роботи кранів і їх механізмів

Вантажопідйомні крани є масовими загальнопромисловими механізмами, вони застосовуються практично у всіх галузях промисловості, транспорту і будівництва. Оскільки, в залежності від області застосування інтенсивність роботи кранів може бути різною, режими роботи кранів та кранових механізмів регламентують-ся.

Для визначення режиму роботи кранових механізмів діє ГОСТ 25835-83, для ви-значення групи режиму роботи крана - ГОСТ 25546-82. Значною мірою ці ГОСТи ув'язані з міжнародним стандартом ISO 4301/1-86.

Режим роботи крана враховується при розрахунку потужності і виборі типу двигуна і апаратури управління.

ГОСТ 25835-83 передбачає шість груп режиму роботи, кожна з яких характеризується певним поєднанням класів використання та навантаження. Класи використання встановлюють залежно від норми часу роботи механізму.

Орієнтовно характеристика класу використання механізму представлена в таблиці 1.1, орієнтовна характеристика класів навантажування в таблицях 1.2, 1.3.

Таблиця 1.1 - Орієнтовні класи використання кранових механізмів

Клас використання	Використання у часі
АО	Рідке
A1	Нерегулярне
A2	Регулярне малої інтенсивності
A3	Регулярне середньої інтенсивності
A4	Нерегулярне інтенсивне (двозмінна робота)
A5	Інтенсивне при трьохзмінній роботі
A6	Вельми інтенсивне при трьохзмінній роботі

Таблиця 1.2 - Орієнтовні класи навантаження кранових механізмів

Клас навантаження	Характеристика діючих навантажень	
	Механізм підйому крана	Механізм горизонтального пересування
B1	Переважають мінімальні навантаження; максимальні навантаження рідкісні, наприклад, при монтажних і ремонтних роботах	Рідкі пуски і гальмування, значні робочі і холості пробіги; малі маси вантажів; виробництва з малою інтенсивністю роботи та великими площами обслуговування
B2	Переважають середні та мінімальні навантаження; максимальні навантаження відносно рідкі	Рідкі, але регулярні пуски і гальмування; невеликі робочі і холості пробіги; незначні маси вантажів; виробництва постійною, але обмеженою інтенсивністю роботи і площами обслуговування
B3	Переважають середні та мінімальних навантаження; мінімальні навантаження носять епізодичний характер; характерно для виробництв з різноманітними масами вантажів	Регулярні пуски і гальмування; малі робочі і холості пробіги; порівняно великі маси вантажів; виробництва з високою інтенсивністю роботи і малими площами обслуговування
B4	Переважають максимальні навантаження і близькі до максимальних; середні навантаження носять епізодичний характер; характерно для виробництв з обмеженими площами обслуговування відносно постійною масою вантажу	Часті пуски і гальмування з дуже рідкісним виходом на сталий режим; великі маси вантажів; виробництва з високою інтенсивністю роботи з обмеженими площами обслуговування

Таблиця 1.3 - Групи режимів роботи кранових механізмів

Клас використання	Норма часу роботи механізму, год	Клас навантаження			
		B1	B2	B3	B4
АО	До 800	1М	1М	1М	1М
A1	Від 800 до 1600	1М	1М	2М	3М
A4	Від 6300 до 12500	3М	4М	5М	6М
A5	Від 12500 до 25000	4М	5М	6М	-
A6	Від 25000 до 50000	5М	6М	-	-

На практиці групу режиму роботи механізмів часто встановлюють по групі режиму роботи крана.

1.2 Область навантажень і вимоги до механічних характеристик кранових електроприводів

Електропривод вантажопідіймальних кранів має ряд особливостей, що відрізняють його від електроприводів інших загальнопромислових і спеціальних механізмів:

- механічні характеристики електропривода розташовані у всіх чотирьох квадрантах; бажано забезпечити плавний перехід приводний електричної машини з рухового режиму роботи у генераторний режим при спуску;

- відносно невисокий діапазон регулювання швидкості (у більшості випадків не вище 10:1 при однозонне регулювання швидкості);

- відсутність високих вимог до жорсткості механічних характеристик;

- відсутність високих вимог до швидкодії;

- температура навколишнього середовища змінюється від -40 до $+40$ ° С. У металургійних технологічних цехах інтервал зміни температури навколишнього середовища становить від -10 до $+50$ ° С;

- відносна вологість повітря характеризується середнім рівнем 90% при температурі навколишнього середовища $+25$ ° С;

- осадження пилу з повітря 5 г/м² на добу;

- осадження парів кислот з повітря 500 мг/м² на добу;

- механічні дії: вібрації і удари, викликані пересуванням механізмів; характеризуються частотою 1-50 Гц і прискоренням 5 м/с²; одиночні повторювані удари з прискоренням до 30 м/с².

- часта відсутність кваліфікованого обслуговування;

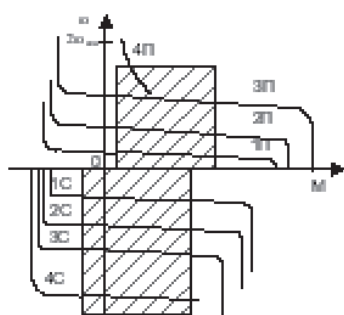
Електроприводи кранових механізмів за характером навантажень можна розділити на дві групи: з переважно активним статичним моментом і переважно з реактивним статичним моментом.

До першої групи належать електроприводи вантажних лебідок та стрілових лебідок з неврівноваженою стрілою, а до другої групи - електроприводи механізмів горизонтального пересування.

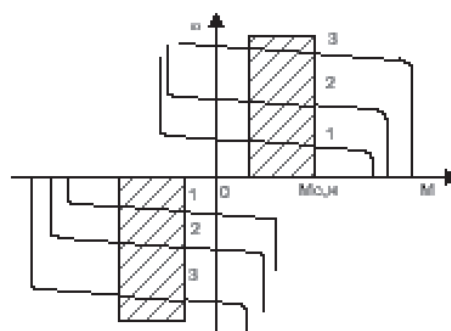
Бажані механічні характеристики електроприводів механізмів підйому і горизонтального пересування представлені на рис. 1.1. Електропривод повинен забезпечувати жорсткі механічні характеристики у всьому діапазоні навантажень. Для виконання операцій з вибору слабину вантажного каната необхідно мати характеристики зниженою швидкістю. Для точної установки вантажу необхідна характеристика 1С. Характеристики, на яких здійснюється опускання вантажу, знаходяться як у четвертому (гальмівний спуск), так і в третьому (силовий спуск) квадрантах.

Для кранів з великою висотою підйому для підвищення продуктивності необхідно піднімати і опускати легкі вантажі або порожній гак зі швидкістю більше номінальної (характеристики 4). Тому електропривод повинен забезпечувати двозонне регулювання швидкості.

Електропривод механізмів горизонтального пересування має жорсткі характеристики у всьому діапазоні навантажень. Для гальмування з вищих швидкостей на нижчі швидкості електропривод повинен забезпечувати автоматичний перехід з рухового в гальмівний режим з обмеженням гальмівного моменту.



а) для механізмів підйому



б) для механізмів горизонтального пересування

Рисунок 1.1 - Бажані механічні характеристики електропривода кранових механізмів.

Крановий візок обладнано механізмами підйому вантажу й пересування візка. У мостового крана (рис. 1.2) механізм підйому вантажу являє собою вантажну лебідку. Він складається з таких частин: двигун 14, муфту 13, гальмо 4, редуктор 12, вантажний барабан 3, поліспаст 1 з важелем обмежника підйому вантажу 5, осягну з гаком 6. Механізм пересування візка складається з електродвигуна 8, редуктора 10, муфти 9, коліс 2 і гальма 7. Для подачі електроенергії до електропривода візок має кабель, намотуваний на спеціальний барабан 11.

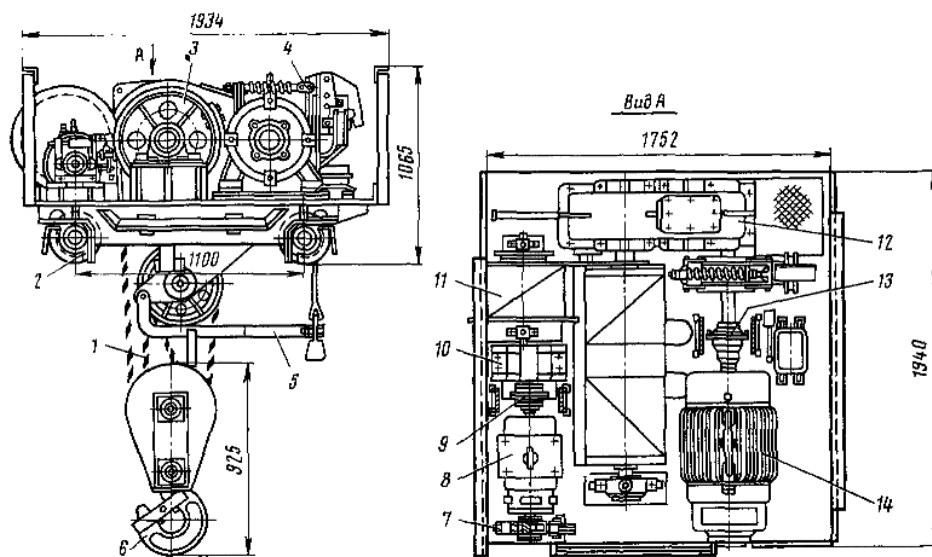


Рисунок 1.2 - Вантажний візок мостового крана

При виконанні циклічних операцій по переміщенню вантажів у межах певних траєкторій відбувається підйом вантажу на деяку висоту, наступне його опускання, горизонтальне переміщення в поздовжньому й поперечному напрямку щодо кранових шляхів. При цьому відбуваються витрати електроенергії на підйом вантажу за винятком рекуперуємої енергії при опусканні вантажу й електроенергії на втрати при горизонтальнім переміщенні. Крім того, у вантажопідйомному циклі відбуваються розгони до номінальної швидкості механізму підйому, пересування крана й візка. На ці цілі також витрачається

енергія. Крім того, при регулюванні швидкості, гальмуванні є певні витрати енергії в ланцюгах електроприводів.

Витрати енергії на розгін пропорційні квадрату кінцевої швидкості крана й візка механізму підйому й прямо пропорційні масі переміщуваного вантажу. Тому об'єктивним критерієм енергоспоживання є питомий (середній) витрата енергії в годину на переміщення 1 т вантажу за один цикл роботи крана (квт-год/цикл).

1.3 Конструкція і характеристики мостових кранів загального призначення

За конструктивними ознаками мостові крани загального призначення класифікують таким чином:

1. За типом спирання на крановий шлях їх ділять на підвісні та опорні. Підвісними називають крани, підвішені до нижніх полиць двотаврових балок, верхні полиці яких прикріплені до стельових конструкцій будівель. Своїми ходовими колесами ці крани спираються на внутрішню сторону нижніх полиць двотаврових балок, до яких вони підвішені і переміщаються по цим полкам.

Опорні крани спираються ходовими колесами на рейки і переміщаються по рейках, закріпленим на підкранових балках, що встановлюються на виступах горішньої частини колон цеху, естакади.

2. По конструкції моста крани ділять на одно-(кран-балки) і двобалочні. У однобалочних кранів міст складається з однієї, а у двобалочних - з двох головних балок, з'єднаних з кінцевими балками, в яких розміщуються ходові колеса.

3. По виду приводу розрізняють крани з ручним і електричним приводом механізмів підймання вантажу і пересування крана. У кранах з ручним приводом в якості механізму підйому і переміщення вантажу використовують ручні пересувні черв'ячні талі, а в якості приводу механізму пересування крана - трансмісію (вал, що з'єднує провідні ходові колеса) з тяговим колесом і проходить

через нього нескінченної тяговим ланцюгом. Крани з ручним приводом механізмів застосовують для підйому і переміщення невеликих вантажів з малими швидкостями при виконанні різних допоміжних підйомно-транспортних операцій, при ремонтах обладнання і т. п.

Найбільшого поширення набули мостові крани з електричним приводом, у яких в якості механізму підйому і переміщення вантажу використовують електричні талі, а також механізми типу електричних лебідок, встановлені на спеціальних самохідних кранових візках, що переміщаються уздовж моста крана за допомогою механізму, що складається з електродвигуна, редуктора і ходових коліс візка. Міст крана пересувається також за допомогою електродвигунів, передавальних обертання ходовим колесам або безпосередньо через редуктори, або через редуктор і трансмісію.

Однобалочні мостові крани опорного типу з електричним приводом піднімають і переміщують вантаж за допомогою електричної талі, яка пересувається уздовж головної балки на колесах, що спираються на нижню полицю цієї балки. Механізм пересування крана складається з приводу, трансмісії і ходових коліс, встановлених в кінцевих балках і спираються на крановий шлях (на малюнку не показаний). При великих прольотах кранів їх головні балки підсилюють горизонтальними фермами, що збільшують несучу здатність однобалочні моста.

Двобалочний мостовий кран опорного типу (рис. 1.3) має міст, що складається з двох головних пролітних балок і з'єднаних з ними кінцевих балок, в яких встановлені ходові колеса.

Цими колесами кран спирається на кранові рейки. По верхньому поясу головних балок моста по візкових рейках переміщається кранова візок в напрямку, перпендикулярному напрямку руху крана.

Візок забезпечується механізмами головного та допоміжного підйомів, а також механізмом власного пересування по мосту крана. Механізм

пересування моста крана вздовж цеху виконаний з роздільним приводом до кожного з ведучих коліс крана і встановленим на майданчиках.

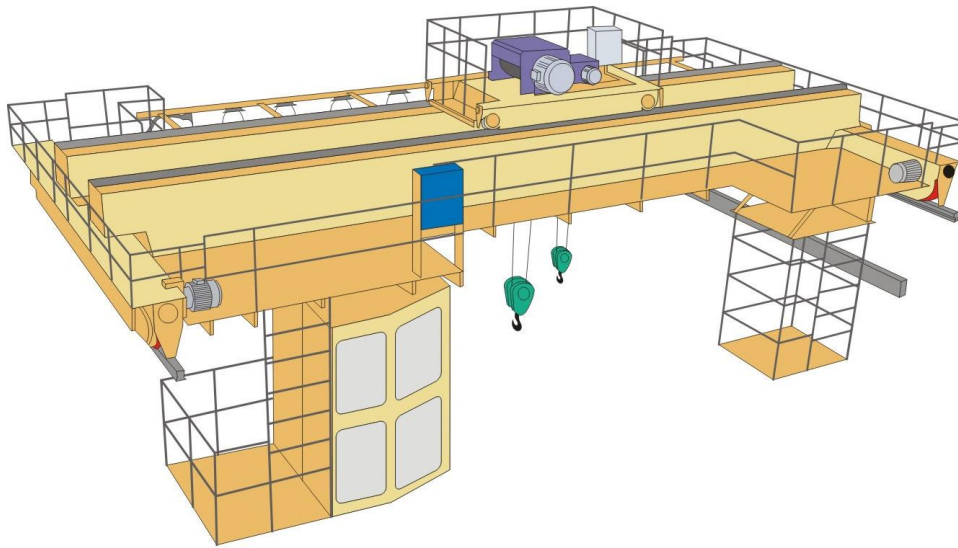


Рисунок 1.3 - Двобалочний мостовий кран опорного типу

Схема розташування електромеханічного обладнання на металевих конструкціях крана приведена на рис.1.4.

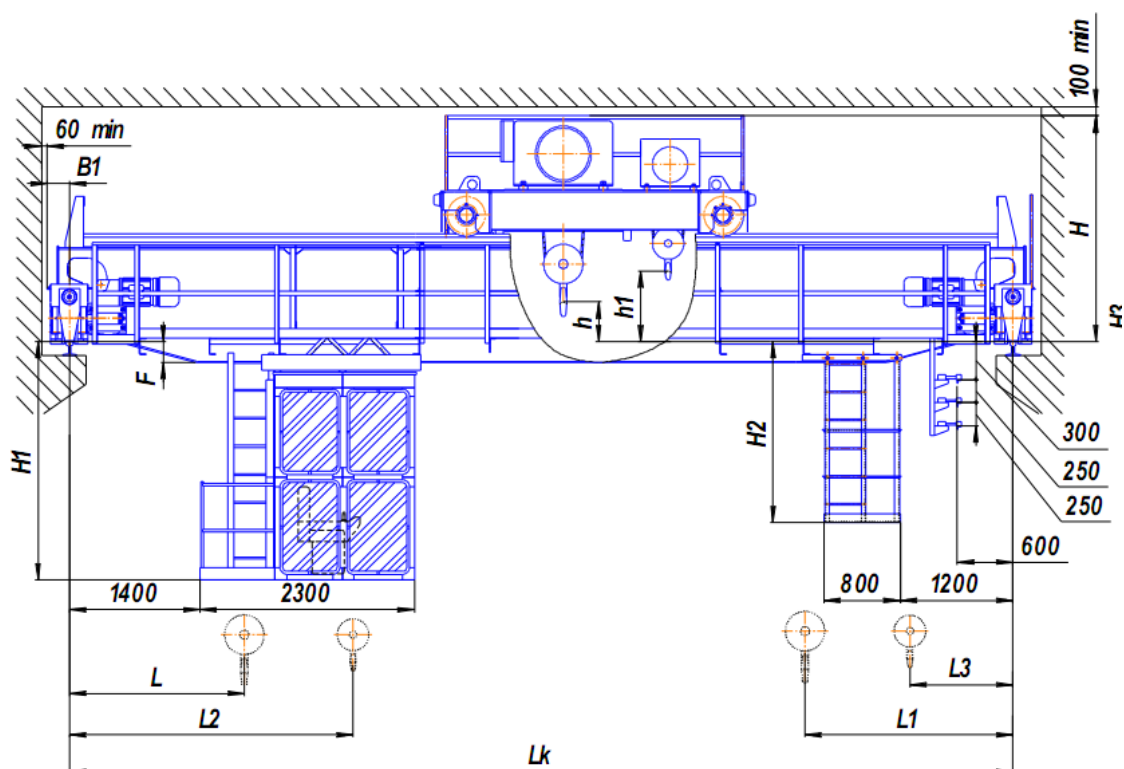


Рисунок 1.4 - Схема розташування електромеханічного обладнання мостового крана

Управління всіма механізмами крана здійснюється з кабіни, прикріпленою до мосту крана. Електродвигуни всіх механізмів крана живляться від цехових тролей, виготовлених в більшості випадків з кутової сталі і прикріплених на ізоляторах до стіни будівлі. По цим троліям ковзають черевики струмознімачів, прикріплених до металоконструкції моста крана. Для обслуговування струмознімачів і тролей до мосту крана кріплять допоміжну кабіну (колиску), в яку входять (так само, як і в кабіну) з майданчика I на мосту. Струмopідвід до електродвигунів візки виконаний у вигляді гнучкого кабелю.

У деяких конструкціях кранів живлення електродвигунів візків здійснюється від тролей прокладених вздовж однієї з головних балок моста. У цих випадках струмopідвід до електродвигунів візки виконується струмознімачами, встановленими на рамі візка.

В даний час набуває поширення струмopідвід до електродвигунів візки за допомогою спеціальної кабеленесучої каретки, що переміщається разом з крановою візком уздовж моста крана. Застосування такої каретки дозволяє розвантажити кабелі від зусиль натягу і уникнути різких перегинів кабелів, що є основною причиною їх пошкоджень в процесі експлуатації.

Металоконструкції мостів і кранів. Міст двобалочних кранів в плані являє собою раму, що складається з двох головних (пролітних) і двох кінцевих балок, в яких розміщують ходові колеса крана.

Головні балки найчастіше мають коробчасту зварену конструкцію прямокутної форми, утворену чотирма стінками із сталевих листів, або з гнутих елементів, рідше - з гратчастих ферм. Така конструкція має більшу стійкість проти згинаючих зусиль у вертикальній і горизонтальній площинах. Вертикальна стінка або ферма головної балки, звернена всередину моста, називається основною, інша, зовнішня - допоміжною. Допоміжну стінку іноді виконують у вигляді безроскосної ферми (в стінці роблять вирізи - вікна прямокутної

форми з відбортовкою), що дозволяє зменшити масу моста крана. Горизонтальні листи або ферми головної балки називають відповідно верхнім і нижнім поясами.

Усередині головних балок перпендикулярно їх поздовжньої осі, через певні проміжки встановлюють великі і малі (по висоті) діафрагми-вертикальні сталеві листи, які приварюють зсередини по трьом сторонам - до вертикальних стінок і верхнього поясу. Висота великих діафрагм майже дорівнює висоті стінки. Іноді в них роблять отвори з закругленими кутами. Між нижньою крайкою великої діафрагми і нижнім поясом балки є зазор. Діафрагми додають стійкість вертикальним стінкам, є опорами для візкових рейок, запобігають місцевий вигин верхнього поясу, в цілому - підвищують просторову жорсткість балки. Усередині головних балок, у яких відношення висоти до ширини менше 3, розміщують електроапаратуру.

Для компенсації великих прогинів головних балок, що виникають при підйомі максимальних вантажів, цим балках заздалегідь додають вигин вгору, який називають будівельним підйомом. Для цього при виготовленні кранових мостів відповідним чином розкроюють вертикальні листи головних балок.

На верхньому поясі головної балки кріплять рейку 3 для пересування кранової візки, який називають візкового. На кінцях цього рейки встановлюють упори для обмеження крайніх положень візка.

До допоміжних (зовнішнім) стінкам головних балок по всій їх довжині крен робітники і перехідні площадки, необхідні для встановлення та обслуговування обладнання, електроапаратури, тролєїв. Майданчики складаються з кронштейнів, що приварюються до стінок балок, суцільного настилу і поручнів.

До металоконструкцій мостів відносять, окрім того, сходи для спуску і виходу з кабін кранів, а також сходи та перила для переходу по кінцевий балці з одного боку моста на іншу.

Кінцеві балки незалежно від конструкції головних балок моста мають коробчасту конструкцію прямокутної форми. На кінцях цих балок кріплять буksi для установки ходових коліс крана або осі балансірів (в яких встановлюють ходові колеса); тут же розміщують кінцеві вимикачі обмежувачів пересування кранів і буфера. У середині кінцевих балок мостових кранів, що працюють на відкритому повітрі, знаходяться протиугінні пристрої - механізми, які утримують кран від уgonу вітром.

Головні балки з кінцевими з'єднують за допомогою накладок, на зварюванні або - опорних листів, на високоміцних болтах.

При поставці моста крана двома блоками у вигляді півмилі (одна головна балка з двома половинами кінцевих балок), кінцеві балки скріплюють монтажними накладками.

Кранові візки. Візки різних по конструкції мостових кранів мають також різний конструктивне виконання, але всі вони складаються з наступних елементів: - рами, що спирається колесами на візкові рейки шляху, прокладеного по головним балкам моста крана; - механізму (одного або двох - головного і допоміжного) підймання вантажу ; - механізму пересування візка по мосту крана.

Відстань по горизонталі між осями рейок візкового шляху називається колією візка, а між вертикальними осями передніх і задніх коліс візка - її базою.

Електродвигун через горизонтальний редуктор приводить в обертання барабан, на який намотуються дві гілки каната здвоєного поліспасти з крюковою підвіскою. Вал електродвигуна з'єднаний із вхідним валом редуктора за допомогою зубчастої муфти з проміжним валом. Одна з половин цієї муфти виконана у вигляді шків колодкового гальма. Механізм пересування візка складається з приводу, що включає електродвигун, редуктор і гальмо, передавального пристрою - зубчастих муфт з проміжними валами, і ходової частини - коліс.

На рамі візка змонтовані, крім того, кінцевий вимикач механізму підйому вантажу, що відключає його при досягненні крюковою підвіскою крайніх верхнього і нижнього положень, лінійка, що впливає в крайніх положеннях візка на кінцеві вимикачі, установлені на мосту крана і обмежують шлях її пересування, а також зрівняльний блок поліспасти (на рисунку не видно).

Корпуси рам візків виготовляють зварними з прокату або гнутих профілів з листа (найчастіше П-образного перетину), настил - з листа, в якому для проходу канатів роблять вирізи. Складальні одиниці механізмів підйому і пересування встановлюють на металевих підкладках.

Запобіжні пристрої механізмів пересування і підйому вантажів. Ці пристрої необхідні для забезпечення безпеки при роботі механізмів мостових кранів. До запобіжних пристроїв механізмів пересування відносять обмежувачі пересування кранів та візків, буфера, упори та протиугонні пристрої. Запобіжні пристрої механізмів підйому вантажів включають обмежувачі вантажопідйомності і обмежувачі висоти підйому підвіски крюка.

Обмежувачі пересування кранів та візків призначені для автоматичного відключення електродвигунів механізмів пересування при досягненні мостом крана або візком крайніх положень на кранових або візкових шляхах. Обмежувачі пересування складаються з кінцевих вимикачів, що є елементами схем керування електродвигунами, і лінійок, що впливають на важелі цих вимикачів. При підході моста крана до кінцевого положенню скіс лінійки набігає на ролик, закріплений на кінці важеля вимикача, і повертає важіль у напрямку, показаному стрілкою; при цьому контакти розмикаються, вимикаючи електродвигун механізму пересування, і кран зупиняється. При зворотному русі лінійка сходить з ролика і важіль вимикача займає початкове положення.

Схема обмежувача пересування кранової візки з таким же вимикачем аналогічна наведеної вище з тією різницею, що вимикач встановлений на мосту крана і щодо візка він нерухомий, а переміщається лінійка, закріплена на рамі візка.

На кінцях кранових і візкових шляхів встановлюють тупикові упори, що фіксують крайні положення кранів та візків, а на кінцевих балках кранів, балансує і рамах візків - буфера, призначені для пом'якшення ударів крана і візків про упори, а також кранів один про одного.

Застосовують еластичні, пружинні, пружинно-фрикційні й гідравлічні буфера. Для запобігання потрапляння сторонніх предметів під колеса кранів та візків, перед колесами встановлюють щитки, зазор між якими і поверхнею головки рейки має бути не більше 10 мм.

У механізмах підймання вантажів застосовують різні обмежувачі вантажопідйомності, в тому числі - торсіонні, основним робочим елементом яких є торсіонний (гнучкий) валик. Один кінець цього валика закріплений нерухомо в опорі, інший - через важіль прикріплений до зрівняльного блока вантажного поліспаста, і крім того, з'єднаний з рухливим контактом потенціометра, включеного в ланцюг управління роботою електродвигуна механізму підйому. При підйомі вантажу зусилля на зрівняльному блоці, пропорційне масі вантажу, створює момент, що закручує валик на кут, величина якого пропорційна цьому зусиллю, а отже - масі вантажу. Закручуючись, валик повертає на такий же кут рухливий контакт потенціометра. Якщо маса вантажу, що піднімається перевищує допустиму величину, зміна опору ланцюга управління викликає відключення електродвигуна механізму підйому і його зупинку.

Кінематична схема механізму підйому кранового візка зображено на рис. 1.5.

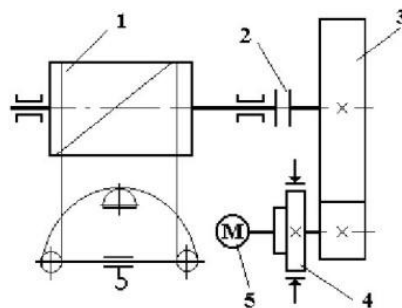


Рисунок 1.5 – Кінематична схема механізму підйому

Кранові колії. В якості кранових в візкових рейок використовують залізничні рейки вузької колії типів Р18, Р24 і Р38, широкої колії типів Р43, Р50 і Р65, спеціальні кранові рейки типів КР50, КР70, КР80, КР100 і КР120, про також сталь квадратного перетину із закругленими кромками. В якості кранових колій для підвісних кранів застосовують двотаврові балки.

1.4 Обґрунтування і вибір системи електропривода

Електропривод вантажопідіймальних кранів має ряд особливостей, що відрізняють його від електроприводів інших загальнопромислових та спеціальних механізмів:

- механічні характеристики електропривода розташовані у всіх чотирьох квадрантах; бажано забезпечити плавний перехід приводний електричної машини з рухового режиму роботи в генераторний режим при спуску;
- відносно невисокий діапазон регулювання швидкості (в більшості випадків не вище 10:1 при однозонному регулюванні швидкості);
- відсутність високих вимог до жорсткості механічних характеристик; в відсутність високих вимог до швидкодії;
- температура навколишнього середовища змінюється від -40 до $+40$ ° С. У металургійних цехах інтервал зміни температури навколишнього середовища становить від -10 до $+50$ ° С;
- відносна вологість повітря характеризується середнім рівнем 90% при температурі навколишнього середовища $+25$ ° С;
- осадження пилу з повітря 5 г/м² на добу;
- осадження парів кислот з повітря 500 мг/м² на добу;
- механічні дії: вібрації і удари, викликані пересуванням механізмів; характеризуються частотою 1 "50 Гц і прискоренням 5 м/с²; одиночні повторювані удари з прискоренням до 30 м/с².
- часта відсутність кваліфікованого обслуговування; в жорсткі вимоги щодо простоти експлуатації та надійності роботи.

Електроприводи кранових механізмів за характером навантажень можна розділити на дві групи: з переважно активним статичним моментом і переважно з реактивним статичним моментом.

До першої групи відносяться електроприводи вантажних лебідок та стрілових лебідок з неврівноваженою стрілою, а до другої групи - електроприводи механізмів горизонтального пересування.

Бажані механічні характеристики електроприводів механізмів підйому і горизонтального пересування було наведено вище на рис. 1.1. Електропривод повинен забезпечувати жорсткі механічні характеристики у всьому діапазоні навантажень. Для виконання операцій з вибору слабину вантажного каната необхідно мати характеристику зниженій швидкості 1 П. Для точної установки вантажу необхідна характеристика 1С. Характеристики, на яких здійснюється опускання вантажу, знаходяться як у четвертому (гальмівний спуск), так і в третьому (силовий спуск) квадрантах.

Електропривод механізмів горизонтального пересування мусить мати жорсткі характеристики у всьому діапазоні навантажень. Для гальмування з вищих швидкостей на нижчі швидкості електропривод повинен забезпечувати автоматичний перехід з рухового в гальмівний режим з обмеженням гальмівного моменту.

До механізмів горизонтального переміщення відносять механізми пересування кранів і вантажних візків, а також механізми повороту. Всі ці механізми мають реактивний (тобто не залежний від напрямку руху) момент навантаження.

Ідеальний електропривод механізму горизонтального переміщення повинен забезпечувати жорсткі механічні характеристики в руховому і гальмівному режимах. На відміну від механізму підйому гальмівної режим механізмів горизонтального переміщення займає лише невелике час циклу і виникає, як правило, при переході з вищих швидкостей на нижчі.

В гальмівному режимі електропривод механізмів горизонтального переміщення може працювати також при русі під ухил (що буває при несправності рейкових шляхів) або при русі по вітру.

Багато механізмів горизонтального переміщення мають великий приведений момент інерції, тому, щоб уникнути підвищених динамічних навантажень на металоконструкції і механізми електропривод повинен обмежувати прискорення при пуску і гальмуванні.

У зв'язку з великим моментом інерції електродвигуни таких механізмів вибираються з урахуванням підвищених пускових втрат, тому статичний момент на валу електродвигунів в сталому режимі не перевищує, як правило, 50% номінального моменту.

Маса переміщуваного вантажу, як правило, надає невеликий вплив на статичний момент електроприводу механізму пересування, тому маса металоконструкції крана зазвичай більше маси вантажу.

Маса вантажу та маса вантажного візка мостового крана вже сумірні, а маса вантажного візка баштового крана набагато менше маси вантажу. Тому маса переміщуваного вантажу надає значний вплив на завантаження механізмів.

Алгоритм керування гальмом в електроприводах механізмів горизонтального переміщення простіше, ніж в електроприводах механізмів підйому. З "за реактивного моменту навантаження зняття гальма в більшості випадків можна проводити, не чекаючи, поки момент електродвигуна зросте до значення статичного моменту. Основною вимогою є накладення гальма при швидкості, близькій до нульової, для зниження динамічних навантажень і зменшення зносу гальмівних накладок.

У якості приводного двигуна на кранових механізмах традиційно використовується асинхронний електропривод.

Частота обертання асинхронного двигуна визначається формулою:

$$n_2 = 60 \cdot f_1 / p$$

із якої слідують можливі методи регулювання асинхронного двигуна:

- частотне регулювання;
- регулювання методом зміни числа полюсів;

- реостатне регулювання;
- регулювання зміною величини напруги.

Частотне регулювання дозволяє використовувати найбільш надійні і дешеві асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором. Але для зміни частоти джерела живлення потрібна наявність джерела електричного струму змінної частоти. В якості останнього використовують синхронні генератори зі змінною частотою обертання або перетворювачі частоти - електромагнітні, статичні. Частотне регулювання використовується в тих випадках, коли необхідно змінювати частоту обертання в широких межах.

Регулювання частоти f_1 і величини вихідної напруги U_1 здійснюється в АІН за рахунок використання алгоритмів високочастотного ШІМ - керування. Частота ШІМ звичайно становить від 2 до 12 кГц, тобто в багато раз перевищує вихідну частоту АІН.

Форма кривої вихідної напруги при цьому являє собою високочастотну двохполярну послідовність імпульсів.

Частота імпульсів визначається частотою ШІМ, тривалість імпульсів протягом періоду вихідної частоти АІН промодельована за синусоїдальним законом. Форма кривої вихідного струму (струму АД), практично синусоїдальна.

До силових ключів АІН ШІМ пред'являються вимоги високої швидкодії й малих динамічних втрат.

У гальмовому режимі ЕП АІН з режиму інвертування переходить у режим випрямлення (працює міст діодів зворотного струму, через керовані ключі подається енергія порушення АД). Полярність напруги на вході АІН зберігається, а струм змінює напрям. Тому реалізація гальмового режиму здійснюється додатковим введенням силових елементів, або зворотним керуванням випрямлячем для рекуперації енергії в мережу, або керованим ключем і гальмовими резисторами в ланцюзі постійної напруги для здійснення електродинамічного гальмування.

Істотними перевагами аналізованої системи ЕП з АІН є:

- практично необмежений діапазон регулювання частоти й швидкості;
- нечутливість до потужності (у границях припустимої) і кількості приєднаних АД;
- можливість роботи в режимі холостого ходу, при відключених АД;
- високе, близьке до 1 значення коефіцієнта потужності мережі ($\cos \varphi$) у всіх режимах роботи;
- синусоїдальність вихідного струму, плавне обертання АД на швидкостях близьких до нульового;

- високі динамічні показники ЕП, обумовлені високою швидкістю ШІМ керування.

Відмінною особливістю сучасного етапу розвитку кранових електроприводів є значне розширення застосування частотно регульованого приводу. Кранова привід з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором при живленні від перетворювача частоти (ПЧ) має високі енергетичні та експлуатаційні показники завдяки:

- поліпшеним динамічним характеристикам допомогою плавного пуску і зупинки механізмів;
- великому діапазону регулювання і високої точності підтримки швидкості шляхом адаптації ПЧ до характеристик двигуна і досконалим алгоритмам векторного керування, що дозволяє реалізовувати як розімкнені, так і замкнуті системи регулювання швидкості кранових механізмів;
- збільшенню терміну служби допомогою зменшення динамічних навантажень на металоконструкцію і механізми підйомного крана і скорочення експлуатаційних витрат;
- істотного скорочення споживаної електроенергії з-за відсутності пускових кидків струму, виключенню реостатів при регулюванні швидкості, зниження споживаної з мережі реактивної потужності та можливості повернення енергії в живильну мережу за допомогою рекуператорів;
- підвищенню надійності кранових приводів допомогою виключення рележно - контакторної апаратури;
- збільшенню продуктивності кранових механізмів за допомогою оптимізації циклограма роботи.

1.5 Розрахунок потужності і вибір електродвигуна механізму пересування візка

1.5.1 Вихідні дані

Вантажопідйомність на крюку, кг	$Q_1 = 32000$
Вага траверси, кг	$Q_2 = 6000$
Вага каната, кг	$J_t = 350$
Швидкість підйому, м/с	$V = 0,33$
Кількість поліспастів	$a = 2$

Кратність поліспастів	$m = 4$
ККД блоків поліспастів	$\eta_{bl} = 0,97$
ККД механізма	$\eta_{bl} = 0,903$
Діаметр барабана, м	$D_b = 0,827$
Передавальне число механізму	$i = 32,42$
Час розгону, с	$t = 2$

1.5.2 Розрахунок зусилля в канаті.

Максимальне зусилля в канаті S обчислюємо за формулою

$$S = \frac{(Q_2 + Q_1 + J_t)}{a \cdot \eta_{bl} \cdot m} = 4942 \text{ кг}$$

1.5.3 Розрахунок статичного моменту на валу двигуна

Статичний моменту на валу двигуна M_{st} дорівнює

$$M_{st} = \frac{S \cdot a \cdot D_b \cdot g}{2 \cdot i \cdot \eta} = 1370 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

1.5.4 Розрахунок динамічного моменту на валу двигуна

Динамічний моменту на валу двигуна M_d дорівнює

$$M_d = \frac{\delta(2 \cdot \sum J) \cdot N_{dv} \cdot g}{375t} + \frac{0.975(J + \sum Q) \cdot V^2 \cdot g}{N_{dv} \cdot t \cdot \eta \cdot \eta_{bl}} = 696 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де δ – коефіцієнт впливу мас механізмів, (1,1 – 1,25)

$\sum J$ –сумарний маховий момент роторів двигунів, гальмівних шківів, і з'єднувальних муфт;

N_{dv} – швидкість обертання ротора двигуна, 960 об/хв

1.5.5 Розрахунок повного моменту та потужності електроприводу

Розрахункове значення максимального моменту двигуна при запуску механізма підйому дорівнюватиме

$$M_{max} = \frac{M_{ст} + M_d}{f_t \cdot f_h \cdot f_u \cdot f_\omega} = 2551 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Розрахункова потужність електроприводу підйому може бути обчислена за таким виразом:

$$P_0 = \frac{(Q_2 + Q_1 + J_t) \cdot g \cdot V}{\eta \cdot \eta_{bl}} = 142 \text{ кВт}$$

У механізмі підйому встановлено два двигуни. Двигун вибирається по номінальній потужності та мусить забезпечувати необхідну перевантажувальну здібність.

Перший критерій - номінальна потужність двигуна повинна бути більшою ніж

$$P_{\text{ном}} \geq P_0/2 \geq 71 \text{ кВт}$$

Другий критерій – перевантажувальна здібність двигуна повинна забезпечувати максимальний розрахунковий момент :

$$M_{\text{ном}} = \frac{M_{\text{max}}}{2 \cdot \lambda_{\text{max}}} = \frac{2551}{2 \cdot 2} = 638 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

1.5.6 Вибір приводного електродвигуна.

У якості приводного двигуна механізму пересування візка обираємо короткозамкнутий асинхронний двигун типу K21F 315 S6 TWS, технічні характеристики якого наведено у табл.1.

Таблиця 1.4 - Характеристики електродвигуна K21F 315 S6 TWS

№	Характеристика	Значення
1	Номінальна потужність, кВт	88
2	Номінальна частота обертання, об/хв	990
3	ККД, %	92
4	Номінальний коефіцієнт потужності	0,84
5	Номінальний струм, А	173
6	Номінальний момент, Н · м	853
7	Кратність максимального моменту	2,0

1.5.7 Розрахунок та вибір перетворювача частоти.

За технічним завданням потужність ПЧ повинна перевищувати потужність електродвигуна не менш ніж на 20 %. Тоді потужність ПЧ складе

$$P_{пч} \geq 1,2 \cdot P_d \geq 1,2 \cdot 71 = 106 \text{ кВт}$$

За номінальною потужністю обираємо перетворювач частоти За номінальним струмом обираємо перетворювач частоти SV1100 iP5a-4 виробництва LS Industrial Systems потужністю 110 кВт у кількості 2 шт.

Розділ 2 РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЦЕХОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ ДТЕК «КРИВОРІЗЬКА ТЕЦ»

2.1 Розрахунок електричних навантажень

Розрахунок електричних навантажень проводиться за допомогою методу коефіцієнту максимуму. Підраховуємо загальну потужність споживачів власних потреб підстанції ГЗП-4. Результати зводимо до таблиці 2.1.

Сумарна розрахункова потужність трансформаторів власних потреб підстанції визначається:

$$S_{роз} = K_{см} \cdot S_{спож} = 0,8 \cdot 417,14 = 333,712 \text{ кВА} \quad (2.1)$$

де $K_{см} = (0,8 \div 0,85)$ – коефіцієнт збігу максимуму навантаження.

Розрахункова потужність трансформатора:

$$S_{тр.роз.} = \frac{S_{роз} \cdot 0,75 \cdot K_{розв}}{K_{нав}} = \frac{333,712 \cdot 0,75 \cdot 1,15}{1,5} = 191,88 \text{ кВА} \quad (2.2)$$

де $K_{нав}$ - коефіцієнт перевантаження трансформатора;

$K_{розв}$ - коефіцієнт, що враховує зростання електричних навантажень протягом майбутніх 5 років і становить 15% від загальної розрахункової потужності власних потреб підстанції;

0,75 – коефіцієнт, що враховує забезпечення 75% навантаження одним трансформатором при виході з ладу другого.

Виходячи з розрахункового навантаження власних потреб підстанції і категорії споживачів встановлюємо 2 двохомоткових трансформатора типу ТМ-250/6, дані яких відображено у табл. 2.2.

Таблиця 2.1 Потужності споживачів

№ п/п	Найменування споживача	Потужність споживача Спож, кВА
1	Обдуг вимкненого Т-1	2,2
2	Обдуг вимкненого Т-2	2,2
3	Освітлення ВРП-150кВ	3,55
4	Освітлення ВРП-150кВ	4,4
5	Освітлення ВРП-150кВ	2,3
6	Освітлення ВРП-150кВ	3,55
7	Освітлення ВРП-150кВ	2,3
8	Освітлення ГЩУ	2,3
9	Освітлення пішохідної доріжки	2,1
10	Освітлення ЗРП-35кВ	2,2
11	Охолодження Т-1	2,1
12	Охолодження Т-2	2,1
13	Зварювальний пост КРП-6кВ	1,32
14	Зварювальний пост ВРП-150кВ	4,4
15	Зварювальний пост Т-1 та Т-2	7,05
16	Зварювальний пост ЗРП-35кВ	2,25
17	РПН - Т-1	1,74
18	РПН - Т-2	1,33
19	Обігрів ЗРП-35кВ	1,3
20	Обігрів коридору	2,1
21	Обігрів ОД та КЗ на ВРП-150кВ	2,3
22	ВАЗП-1	3,52
23	ВАЗП-2	5,28
24	Калорифер	2,64
25	Опалення ГЩУ(ліва сторона)	2,21
26	Опалення ГЩУ(права сторона)	2,65
27	Опалення побутового приміщення	2,2
28	Вентиляція ЗРП-6кВ	5,25
29	Вентиляція ЗРП-35кВ	5,3
30	Блокування	2,15
31	Телемеханіка	2,05
32	АВР-35 та 6кВ	2

33	Розподільчий щиток ЗРП-35кВ	2,25
34	Кран №1	160
35	Кран №2	160
36	Опалення крана №1	2,35
37	Освітлення крана №2	2,2
ВСЬОГО		417,14

Таблиця 2.2 Каталожні дані трансформаторів

Тип трансформатора	S _{ном} , кВА	U _{ном}		U _к , %	Втрати, кВт		I _х , %
		ВН	НН		ΔP _{xx}	ΔP _{кз}	
ТМ-250/6	250	6,0	0,4	4,5	0,82	3,7	2,3

На основі даних каталогу обчислюємо опір обмоток трансформатора та втрати холостого ходу:

Втрати реактивної потужності:

$$\Delta Q_{xx} = 0,01 \cdot I_{xx} \cdot S_{тр.ном} = 0,01 \cdot 2,3 \cdot 250 = 5,75 \text{ кВар}, \quad (2.3)$$

$$\Delta Q_k = 0,01 \cdot U_k \cdot S_{тр.ном} = 0,01 \cdot 4,5 \cdot 250 = 11,25 \text{ кВар}, \quad (2.4)$$

Коефіцієнт завантаження трансформаторів:

$$K_{зг} = \frac{S_{тр.розр}}{n \cdot S_{тр.ном}} \cdot 100\% = \frac{191,88}{2 \cdot 250} \cdot 100 = 38\% \quad (2.5)$$

При відключенні або виході з ладу одного з трансформаторів, другий повинен забезпечити добове навантаження власних потреб підстанції. При цьому коефіцієнт заповнення добового графіку навантаження підстанції:

$$\alpha = \frac{S_{сеп}^{сут}}{1,4 S_H} \leq 0,75 \quad (2.6)$$

$$\alpha = \frac{143,91}{1,4 \cdot 250} = 0,41, \text{ що задовольняє ПУЕ.}$$

У післяаварійному режимі трансформатор, що залишився в роботі буде перевантажений у період максимуму на $\frac{333,712 - 250}{250} \cdot 100\% = 33\%$, що менше 40%- рівня, який встановлено ПУЕ.

2.2 Розрахунок струмів короткого замикання

Для проектованої підстанції необхідно вибрати електричні апарати, шини і кабелі, які при напрузі вище 1000 кВ перевіряють на стійкість до струмів короткого замикання. Тому перед вибором електроустаткування РП передуює розрахунок струмів короткого замикання. При необхідності передбачаються заходи для обмеження струмів короткого замикання (установка реакторів тощо).

Розрахункова схема для визначення струмів короткого замикання приведена на рис.3.1. Розрахункові точки короткого замикання прийняті з умов визначення значень струмів короткого замикання, що протікають через відповідні струмові частини та електричні апарати.

Для мережі 6 кВ розраховуються струми трифазного короткого замикання, а в мережі напругою 150 кВ – струми трифазного та однофазного короткого замикання

Струми двофазного короткого замикання визначаються для перевірки гнучких струмопровідників на зхльостування та термічну стійкість апаратів на генераторній напрузі.

Розрахунок проводиться у відносних одиницях для нормального стану схеми для шини 6 кВ, що живиться від одного силового трансформатора (менший сумарний опір короткого замикання мережі).

Базисний струм ступені на i -тій ступені:

$$I_{б1} = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_{ср1}} = \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 157,5 \cdot 10^3} = 366,57 \text{ А} \quad (2.7)$$

$$I_{б2} = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_{ср2}} = \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 10^3} = 9164,29 \text{ А} \quad (2.8)$$

$$I_{б3} = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_{ср3}} = \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 0,42 \cdot 10^3} = 137464,35 \text{ А} \quad (2.9)$$

де $S_б$ - базисна потужність; $S_б = 100 \text{ МВА}$;

$U_{ср2}$ - середнє значення напруги, що на 5% перевищує номінальне значення напруги мережі на i -тій ступені.

Опір ланцюга від джерела живлення до шин підстанції (опір системи):

$$X_{*c} = \frac{S_6}{S_{K3}''} = \frac{100}{4000} = 0,025 \text{ в. о.}, \quad (2.10)$$

де $S_{K3}'' = 4000 \text{ МВА}$ - потужність короткого замикання на шинах 150 кВ підстанції, МВА.

Опір живильної лінії 150 кВ:

$$X_{*6, \text{плеп}} = X_0 \cdot \frac{S_6}{U_{cp1}^2} \cdot l_{\text{плеп}} = 0,4 \cdot \frac{100}{(157,5)^2} \cdot 72 = 0,116 \text{ в. о.} \quad (2.11)$$

Опір лінії споживачів:

$$X_{*6, \text{клеп}} = X_0 \cdot \frac{S_6}{U_{cp2}^2} \cdot l_{\text{клеп}} = 0,4 \cdot \frac{100}{(6,3)^2} \cdot 0,7 = 0,141 \text{ в. о.} \quad (2.12)$$

$$X_{*6, \text{клеп}0,4} = X_0 \cdot \frac{S_6}{U_{cp2}^2} \cdot l_{\text{клеп}} = 0,4 \cdot \frac{100}{(0,42)^2} \cdot 0,15 = 3,401 \text{ в. о.} \quad (2.13)$$

де X_0 -активний і індуктивний опір на 1км лінії Ом/км;

$l=72 \text{ км}$ - довжина лінії електропередачі.

Опір трифазного двохобмоточного трансформатора при $r \approx 0$ та $X_{н.т\%} \approx U_{к\%}$

$$X_{*6, \text{тр}} = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{тр.ном}}} = \frac{18}{100} \cdot \frac{100}{63} = 0,286 \text{ в. о.} \quad (2.14)$$

$$X_{*6, \text{ТСН}} = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{тр.ном}}} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{100}{0,25} = 18 \text{ в. о.} \quad (2.15)$$

де U_k - напруга короткого замикання трансформатора.

Відносний опір реактора, приведений до базисних умов:

$$X_{*6, \text{реакт}} = \frac{X_{\text{реакт}}}{100} \cdot \frac{I_6 \cdot U_{\text{реакт.ном}}}{I_{\text{реакт.ном}} \cdot U_6} = \frac{4}{100} \cdot \frac{9,16 \cdot 6}{1 \cdot 6,3} = 0,349 \text{ в. о.}, \quad (2.16)$$

Вихідні дані реактора:

$X_{\text{реакт}} = 4\%$ - опір реактора;

$I_{\text{реакт.ном}} = 1000 \text{ А}$ - номінальний струм реактора;

$U_{\text{реакт.ном}} = 6 \text{ кВ}$

Струм короткого замикання від системи (періодична складова) у точці К1 (початкова величина I_{K1}):

$$I_{K1} = \frac{I_{62}}{X_{*6, c} + X_{*6, \text{плеп}} + X_{*6, \text{реакт}} + X_{*6, \text{тр}} + X_{*6, \text{ТСН}}} = \frac{9164,29}{0,025 + 0,116 + 0,349 + 0,286 + 18} = 488,085 \text{ А} \quad (2.17)$$

Ударний струм короткого замикання (миттєве значення) у точці $K1$:

$$I_y = K_y \cdot \sqrt{2} I_{K1} = 1,92 \cdot \sqrt{2} \cdot 488,085 = 1325 \text{ A} \quad (2.18)$$

K_y -ударний коефіцієнт для часу 0,01с:

$$K_y = 1 + e^{\frac{-t}{T_{ac}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,115}} = 1,92 \quad (2.19)$$

$T_{ac} = 0,115$ с - постійна часу згасання аперіодичної складової струму короткого замикання

Періодична складова за час t у точці $K1$:

$$I_{nt1} = I_{K1} \cdot \cos \omega t = 488,085 \cdot \cos(314 \cdot 0,01) = 487 \text{ A} \quad (2.20)$$

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с}, \quad (2.21)$$

де ω - циклічна частота, рад/с;

f - частота мережі, $f=50$ Гц.

Аперіодична складова у точці $K1$:

$$i_{at1} = \sqrt{2} \cdot I_{K1} \cdot e^{\frac{-t}{T_{ac}}} = \sqrt{2} \cdot 488,085 \cdot e^{\frac{-0,01}{0,115}} = 633 \text{ A} \quad (2.22)$$

Струм короткого замикання на шинах 0,4кВ (за трансформатором власних потреб) в точці $K2$.

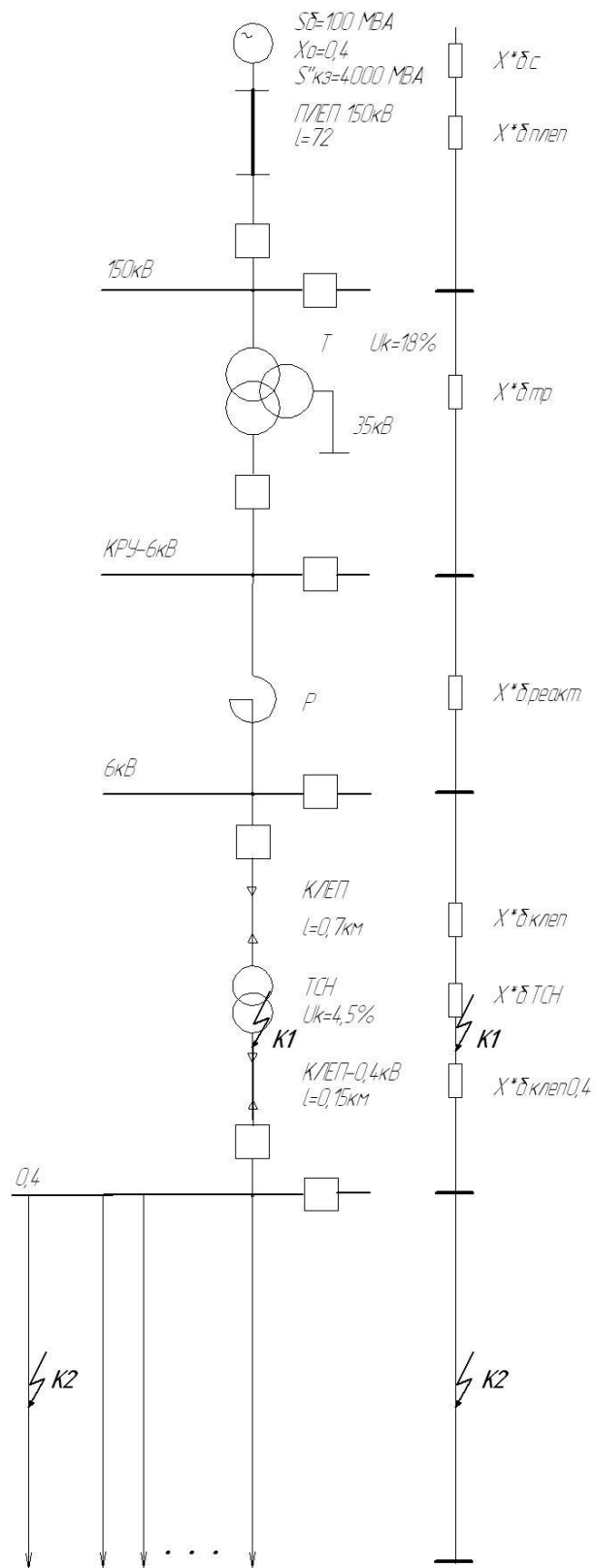


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема для визначення струмів короткого замикання

Опір мережі до точки К2:

$$\begin{aligned} X_{*K2} &= X_{*б.с} + X_{*б,плеп} + X_{*б.реакт} + X_{*б.тр} + X_{*б.ТСН} + X_{*б,клеп} = (2.23) \\ &= 0,025 + 0,116 + 0,349 + 0,286 + 18 + 3,401 \\ &= 22,177 \text{ в. о.} \end{aligned}$$

Початкове значення струму короткого замикання від системи:

$$I_{K2} = \frac{I_{б3}}{X_{*K2}} = \frac{137464,35}{22,177} = 6199 \text{ А}, \quad (2.24)$$

де $I_{б3}$ - базисний струм короткого замикання

Періодична складова струму короткого замикання для точки К2:

$$I_{nt2} = I_{K2} \cdot \cos \omega t = 6199 \cdot \cos(314 \cdot 0,01) = 6189 \text{ А} \quad (2.25)$$

Аперіодична складова струму короткого замикання згасає з постійною часу T_{ac} і для любого моменту часу t визначається:

$$i_{at2} = \sqrt{2} \cdot I_{K2} \cdot e^{\frac{-t}{T_{ac}}} = \sqrt{2} \cdot 6199 \cdot e^{\frac{-0,01}{0,05}} = 919 \text{ А} \quad (2.26)$$

Ударний струм короткого замикання (миттєве значення):

$$I_{y2} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K2} = 1,85 \cdot \sqrt{2} \cdot 6199 = 16218 \text{ А} \quad (2.27)$$

K_y -ударний коефіцієнт для часу 0,01с:

$$K_y = 1 + e^{\frac{-t}{T_{ac}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,065}} = 1,85 \quad (2.28)$$

$T_{ac} = 0,065$ с постійна часу згасання аперіодичної складової струму на шинах 0,4кВ.

Струми підживлення точок короткого замикання від електродвигунів (АД та СД) не враховані через те, що двигуни знаходяться на відстані далі аніж 150 метрів від шин підстанції та комутаційної апаратури і, як наслідок, не мають суттєвого впливу на сумарний струм к.з в точках К1, К2.

2.3 Вибір провідникової та комутаційної апаратури

Визначення робочих струмів для вибору електричних апаратів провідників

Розрахунковий робочий струм $I_{рн}$ живлячої лінії у номінальному режимі дорівнює:

$$I_{р.ном} = \frac{n_{тр} \cdot S_{тр.ном}}{n_{ліній} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{н1}} = \frac{2 \cdot 250}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 24,06 \text{ А} \quad (2.29)$$

Розрахунковий робочий струм автоматичного вимикача на вводі:

$$I_{р.ном2} = \frac{S_{тр.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 360,84 \text{ А} \quad (2.30)$$

Обираємо автоматичні вимикачі типу А3790 400А 380В 50Гц.

Розрахунковий струм вводу у важкому(форсованому) режимі при відключенні одного із вводів:

$$I_{р.форс1} = \frac{S_{тр.розр}}{\sqrt{3} \cdot U_{н}} = \frac{191,88}{\sqrt{3} \cdot 6} = 18,46 \text{ А} \quad (2.31)$$

Розрахунковий робочий струм у тяжкому режимі по низькій стороні 0,4кВ:

$$I_{р.форс2} = 1,3 \cdot I_{р.ном2} = 1,3 \cdot 360,84 = 469,09 \text{ А} \quad (2.32)$$

Для вводів обираємо автоматичні вимикачі типу А3790 630А 380В 50Гц

Розрахунковий робочий струм секційного вимикача дорівнює робочому струму секції:

$$I_{р.секц.} = \frac{S_{тр.розр}}{2\sqrt{3} \cdot U_{н2}} = \frac{191,88}{2\sqrt{3} \cdot 0,4} = 138,48 \text{ А} \quad (2.33)$$

Обираємо автоматичний вимикач типу А3790 160А 380В 50Гц

Номінальний струм кранових механізмів:

$$I_{нК1,2} = \frac{S_{ном.К1,2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 230,94 \text{ А} \quad (2.34)$$

де $S_{ном.К1,2}$ - номінальна встановлена потужність кранових механізмів.

Обираємо автоматичний вимикач типу А3790 280 А 380В 50Гц

Розрахунковий струм споживачів:

$$I_{рi} = \frac{S_i}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (2.35)$$

$$U_{ном} = 0,4\text{кВ}$$

В автоматичних вимикачах категорії А розчіплювач спрацьовує при досягнення струму 3-5 номінальних значень (застосовуються для захисту

електропроводок великої протяжності). Розрахунки для більшої зручності заносимо до таблиці 3.2.

2.3.1 Вибір кабелів 0,4 кВ.

Економічно доцільний переріз кабелю:

$$q_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{138,48}{1} = 138,48 \approx 139 \text{ мм}^2 \quad (2.36)$$

Розрахунковий робочий струм кабелю:

$$I_{тр.доп} = K_1 K_2 K_3 I_{н.тр.доп.} = 1 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 139 = 159,85 \text{ А}, \quad (2.37)$$

де K_1 - поправочний коефіцієнт, що враховує число працюючих кабелів, що лежать поруч при прокладці в землі без труб (приймаємо $K_1 = 1$);

K_3 - коефіцієнт допустимого перевантаження кабелів у форсованому режимі;

Таблиця 3.2 Розрахунковий струм споживачів

№ п/ п	Найменування споживача	S_i , кВА	I_{pi} , А	Обраний автоматичний вимикач	
				тип	Струм, А
1	Обдуг вимкненого Т-1	2,2	5,50	А-3124	25
2	Обдуг вимкненого Т-2	2,2	5,50	А-3124	25
3	Освітлення ВРП-150кВ	3,55	8,88	А-3124	40
4	Освітлення ВРП-150кВ	4,4	11,00	А-3124	50
5	Освітлення ВРП-150кВ	2,3	5,75	А-3124	25
6	Освітлення ВРП-150кВ	3,55	8,88	А-3124	40
7	Освітлення ВРП-150кВ	2,3	5,75	А-3124	25
8	Освітлення ГЩУ	2,3	5,75	А-3124	25
9	Освітлення пішохідної доріжки	2,1	5,25	А-3124	25
10	Освітлення ЗРП-35кВ	2,2	5,50	А-3124	25
11	Охолодження Т-1	2,1	5,25	А-3124	25
12	Охолодження Т-2	2,1	5,25	А-3124	25
13	Зварювальний пост КРП-6кВ	1,32	3,30	А-3124	15
14	Зварювальний пост ВРП-150кВ	4,4	11,00	А-3124	50
15	Зварювальний пост Т-1 та Т-2	7,05	17,63	А-3124	80
16	Зварювальний пост ЗРП-35кВ	2,25	5,63	А-3124	25
17	РПН - Т-1	1,74	4,35	А-3124	20
18	РПН - Т-2	1,33	3,33	А-3124	15
19	Обігрів ЗРП-35кВ	1,3	3,25	А-3124	15

20	Обігрів коридору	2,1	5,25	A-3124	25
21	Обігрів ОД та КЗ на ВРП-150кВ	2,3	5,75	A-3124	25
22	ВАЗП-1	3,52	8,80	A-3124	40
23	ВАЗП-2	5,28	13,20	A-3124	60
24	Калорифер	2,64	6,60	A-3124	30
25	Опалення ГЦУ(ліва сторона)	2,21	5,53	A-3124	25
26	Опалення ГЦУ(права сторона)	2,65	6,63	A-3124	25
27	Опалення побутового приміщення	2,2	5,50	A-3124	25
28	Вентиляція ЗРП-6кВ	5,25	13,13	A-3124	60
29	Вентиляція ЗРП-35кВ	5,3	13,25	A-3124	60
30	Блокування	2,15	5,38	A-3124	25
31	Телемеханіка	2,05	5,13	A-3124	25
32	АВР-35 та 6кВ	2	5,00	A-3124	25
33	Розподільчий щиток ЗРП-35кВ	2,25	5,63	A-3124	25
34	Кран №1	160	400,00	A3790	504
35	Кран №2	160	400,00	A3790	504
36	Опалення кранової установки	2,35	5,88	A-3124	25
37	Освітлення кранової установки	2,2	5,50	A-3124	25

K_2 - поправочний коефіцієнт, що враховує температуру оточуючого середовища, якщо вона відмінна від номінальної:

$$K_2 = \sqrt{\frac{\theta_{\text{доп}} - \theta_{\text{н.с.}}}{\theta_{\text{доп}} - \theta_{\text{ном}}}} = \sqrt{\frac{65-15}{65-15}} = 1, \quad (2.38)$$

Перевірка на термічну стійкість кабелю:

$$A_k = A_n + \frac{B_k}{q^2} = 500 + \frac{107 \cdot 10^6}{3 \cdot 150^2} = 6585 \text{ Дж/мм}^4, \quad (2.39)$$

По тим же кривим нагрівання знаходимо кінцеву температуру:

$$\theta_k = 94^\circ < \theta_{\text{доп}} = 200^\circ\text{C (для алюмінієвих жил кабелю)}$$

Мінімальний переріз провідника (за умовами термічної стійкості):

$$q_{\min} = \frac{1}{c} \sqrt{B_k} = \frac{1}{90} \sqrt{107 \cdot 10^6} = 115 \text{ мм}^2, \quad (2.40)$$

Прокладаємо три кабелі марки ААБ 3х150 з $i_{\text{тр.доп.}} = 385 \text{ А}$.

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Розділ 3. АНАЛІЗ РОЗІМКНЕНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕК-ТРО-ПРИВОДА ТЕХНОЛОГІЧНОГО МЕХАНІЗМУ

3.1 Складання схеми заміщення і розрахунок її параметрів

3.1 Складання схеми заміщення і розрахунок її параметрів

Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна має наступний вигляд:

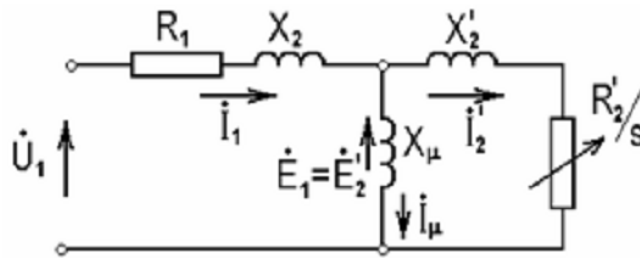


Рисунок 3.1 – Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

де R_1 , X_1 – активний та індуктивний опір фази статора АД;

R_2 , X_2 – активний та індуктивний опір фази ротора АД;

X_m – індуктивний опір контуру намагнічування АД;

За паспортними даними знаходимо параметри схеми заміщення. Для спрощення розрахунків допустимо знехтувати активним опором контуру намагнічування.

Номінальна кутову швидкість:

$$\omega_{\text{ном}} = n_{\text{ном}} \cdot \frac{\pi}{30} = 102,90 \text{ 1/c}$$

Кутова швидкість холостого ходу:

$$\omega_0 = n_0 \cdot \frac{\pi}{30} = 104,97 \text{ 1/c}$$

Номінальне ковзання:

$$s_n = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{ном}}}{\omega_0} = 0,02$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_{\text{ном}} = 1000 \cdot \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} = 796,89 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Визначаємо номінальний струм статора за формулою:

$$I_{1\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{3 \cdot U_{1\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \cos\varphi_{\text{н}}} = 173,6 \text{ А}$$

,

де $P_{\text{н}}$ – номінальна потужність двигуна;

$U_{1\text{н}}$ – номінальна фазна напруга;

$\eta_{\text{н}}$ – номінальний к.к.д.;

$\cos\varphi_{\text{н}}$ – номінальний коефіцієнт потужності;

Визначаємо струм статора при 75% навантаженні:

$$I_{1p} = \frac{p_* \cdot P_{\text{н}}}{3 \cdot U_{1\text{н}} \cdot \eta_{p_*} \cdot \cos\varphi_{p_*}} = 133,87 \text{ А}$$

,

де $p_* = P/P_{\text{н}}$ – коефіцієнт завантаження двигуна;

η_{p_*} – ККД при частковому завантаженні;

$\cos\varphi_{p_*}$ – коефіцієнт потужності при частковому завантаженні;

Сучасні асинхронні двигуни проектуються таким чином, що найбільший ККД досягається при завантаженні на 10-15% менше номінального. Двигуни розраховуються так, тому що більшість з них в силу стандартної дискретної шкали потужностей працюють з деяким недозавантаженням. Тому ККД при номінальному навантаженні і навантаженні $p_* = 0,75$ практично рівні між собою, тобто:

$$\eta_{\text{н}} = \eta_{0,75}$$

Коефіцієнт потужності при тому ж навантаженні $p_* = 0,75$ сильно відрізняється від коефіцієнта потужності при номінальному навантаженні, причому ця відмінність в значній мірі залежить від потужності двигуна і для відомих серій асинхронних двигунів з достатньою для практики точністю підпорядковується залежності, приведеній на рисунку 3.3.

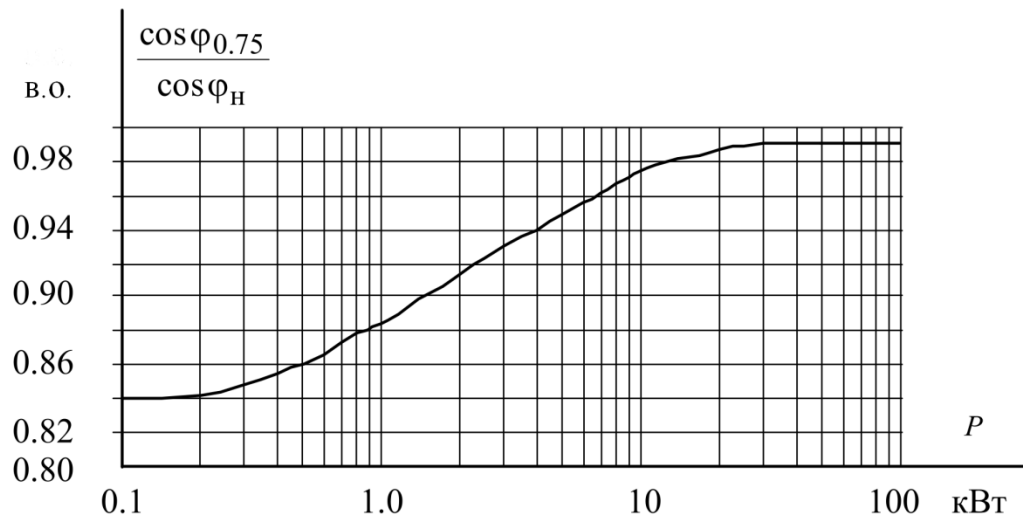


Рисунок 3.3 - Залежність $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_n$ від потужності асинхронного двигуна

З вище приведеної залежності маємо, що для двигуна пересування візка:

$$\cos \varphi_{0,75} \approx \cos \varphi_n;$$

Визначаємо струм холостого ходу:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1p}^2 - [p_* \cdot I_{1n} \cdot (1 - s_n) / (1 - p_* \cdot s_n)]^2}{1 - [p_* \cdot (1 - s_n) / (1 - p_* \cdot s_n)]^2}} = 44.33 \text{ A}$$

де I_{1n} – номінальний струм статора;

I_{1p} – струм статора при 75% навантаженні;

s_n – номінальне ковзання;

Визначаємо критичне ковзання:

$$s_k = s_n \frac{(\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - [1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (k_m - 1)]})}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (k_m - 1)} = 0,079$$

де k_m – перевантажувальна здатність двигуна;

β – коефіцієнт, значення якого лежить у межах 0,6-2,5 (для асинхронних двигунів серії 4A $\beta = 1.3$);

Визначаємо коефіцієнт C_I :

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_I \cdot I_{1H}} = 1.0232$$

де k_I – кратність пускового струму;

Визначаємо коефіцієнт A_I :

$$A_1 = \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_m \cdot P_H} = 0.4217$$

Активний опір ротора, приведений до обмотки статора АД:

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + 1/s_H) \cdot C_1} = 0.0295 \text{ Ом}$$

Активний опір обмотки статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 0.0493 \text{ Ом}$$

Визначимо параметр γ , який дозволяє знайти індуктивний опір короткого замикання R_{2k} :

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2)^2 - \beta^2} = 12.5832$$

Тоді:

$$X_{кн} = \gamma \cdot R_2' \cdot C_1 = 0.3803 \text{ Ом}$$

Для того, щоб виділити з індуктивного опору короткого замикання L_{2k} опори розсіювання фаз статора L_1 та ротора L_2 , скористаємося співвідношеннями, які справедливі для серійних асинхронних двигунів.

Індуктивний опір розсіювання фази роторної обмотки, приведеної до статорної, може бути розрахований за формулою:

$$X_2' = 0.58 \cdot X_{кн} / C_1 = 0.2156 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір розсіювання фази статорної обмотки може бути розрахований за наступною формулою:

$$X_1 = 0.42 \cdot X_{кн} = 0.1597 \text{ Ом}$$

ЕРС ланки намагнічування E_m , наведена потоком повітряного зазору в обмотці статора у номінальному режимі, дорівнює:

$$E_m = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi_H - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} - X_1 \cdot I_{1H})^2} = 197.48$$

Тоді індуктивний опір контуру намагнічування буде дорівнювати:

$$X_{\mu} = E_m / I_0 = 4.4552 \text{ Ом}$$

3.2 Особливості частотного керування асинхронним електроприводом

Для одержання високих енергетичних показників частотно – регульованого асинхронного електродвигуна необхідно застосувати спільне регулювання частоти й прикладеного напруги відповідно до відомого закону Костенко.

Основним завданням частотного керування є дослідження роботи АД при різних зв'язках між каналами керування напругою й частотою живлення статора, називаних законами керування, а також визначення законів, що забезпечують оптимальні умови роботи двигуна в статичних і перехідних режимах.

В 1925 академік Костенко М.П. сформулював загальний закон, що забезпечує оптимальні умови роботи двигуна: щоб забезпечити оптимальний режим роботи АД при всіх значеннях частоти й навантаження, необхідно відносна напруга двигуна змінювати пропорційно добутку відносної частоти на корінь квадратний з відносного моменту

$$\gamma = \alpha \cdot \sqrt{\mu} \quad (3.1)$$

де $\mu = M / M_{\text{ном}}$ – відносний електромагнітний момент. Якщо магнітний ланцюг машини слабо насичений і активним опором статора можна зневажити, то АД в цьому випадку буде працювати при практично постійному коефіцієнті потужності, запасі статичної стійкості й абсолютнім ковзанні.

Закон Костенко можна одержати з наступних елементарних міркувань. Якщо припустити, що коефіцієнт перевантажувальної здатності при регулюванні залишається постійним, то критичний момент, що залежить від квадрата величини магнітного потоку, також повинен залишатися постійним і відношення моментів при двох різних частотах буде рівно

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\phi_1^2}{\phi_2^2} \rightarrow \frac{\phi_1}{\phi_2} = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} \quad (3.2)$$

Але якщо зневажити активним опором статора, то напруга статора буде врівноважуватися ЕРС основного магнітного потоку й буде лінійно пов'язане із частотою й величиною магнітного потоку, а відношення напруг дорівнюватиме

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{\phi_1 \cdot f_1}{\phi_2 \cdot f_2} \quad (3.3)$$

Підставляючи (3.2) в (3.3), одержимо закон Костенко

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{f_1}{f_2} \cdot \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} \rightarrow U\alpha \cdot \quad (3.4)$$

Для деяких найпростіших випадків із закону Костенко можна виключити відносний момент. Вважаючи із точністю до ковзання $\omega_1 = \omega$ представимо рівняння механічної характеристики навантаження статечною функцією $M_c \cdot \omega^k$ або, у відносних одиницях, як $\mu\alpha^k$. Тоді вираз (3.1) прийме вигляд

$$\gamma = \alpha^{1+k/2} \quad (3.5)$$

Звідси для типових видів навантаження одержимо

Закон керування	Вид навантаження		
	Статична $M = \text{const}; k$	Вентиляторна $M = c \cdot \omega^2; k =$	Постійна потужність $M \cdot \omega = \text{const}; k =$
	$= 0$	2	-1
	$\gamma = \alpha$	$\gamma = \alpha^2$	$\gamma = \sqrt{\alpha}$

Ці закони керування є фактичним стандартом, закладеним в усі сучасні перетворювачі частоти широкого застосування.

Закон Костенко можна розглядати стосовно до розімкнутих і до замкнених систем керування. Сутністю його є керування напругою (магнітним потоком) машини у функції навантаження на валу без безпосереднього її виміру. Якщо навантаження зменшується, то магнітний потік можна також зменшити, зменшивши напругу, але зберігши при цьому запас статичної стійкості.

Вище було відзначено, що загальне вираження закону Костенко отримане за умови $r_1 \approx 0$. Можна показати, що таке керування, тобто оптимальне

керування з урахуванням активного опору статора реалізується при підтримці на постійному близькому до номінального ковзання рівні абсолютного ковзання $\beta_0 \approx s_{\text{ном}} = \text{const}$.

Таке керування можливо виконати за допомогою зворотного зв'язку по швидкості відповідно до виразу $\omega = \omega_{1\text{ном}} \cdot (\alpha - \beta_0)$.

Для механізмів з активним навантаженням стосовно до номінальних параметрів сіткової напруги одержимо закон частотного керування:

$$\frac{U}{f} = \frac{U_{\text{ном}}}{f_{\text{ном}}} = \frac{220}{50} = 4.5 \quad (3.6)$$

3.3 Розрахунок природних статичних характеристик асинхронного електродвигуна

Для розрахунку необхідних характеристик асинхронного електродвигуна скористаємося символьним методом комплексним методом розрахунку кіл змінного струму.

Комплексний опір ротора

$$Z_2(s) = \frac{r_2}{s} + j \cdot x_2$$

Комплексний опір ланцюгу намагнічування

$$Z_\mu = j \cdot x_\mu$$

Комплексний опір роторного кола схеми заміщення

$$Z_{20}(s) = \frac{Z_2(s) \cdot Z_\mu}{Z_2(s) + Z_\mu}$$

Комплексний опір ланцюгу статора

$$Z_1(s) = r_1 + j \cdot x_1$$

Повний комплексний опір схеми заміщення

$$Z_0(s) = Z_1(s) + Z_{20}(s)$$

Струм статора АД

$$I_1(s) = \frac{U_1}{Z_0(s)}$$

Напруга на затисках роторного кола

$$E_{20}(s) = U - I_1(s) \cdot Z_1(s)$$

Струм ротора АД

$$I_2(s) = \frac{E_{20}(s)}{Z_2(s)}$$

Електромагнітний момент АД

$$M_{\text{эм}}(s) = 3 \cdot (|I_2(s)|)^2 \cdot \frac{r_2}{\omega_0 \cdot s}$$

Активна та реактивна потужності, споживані АД з мережі :

$$P_{\text{АД}}(s) = 3 \cdot \text{Re} \left(U_1 \cdot \hat{I}_1(s) \right); Q_{\text{АД}}(s) = 3 \cdot \text{Im} \left(U_1 \cdot \hat{I}_1(s) \right)$$

Коефіцієнт корисної дії АД:

$$\eta(s) = \frac{M_{\text{эм}}(s) \cdot \omega_0 \cdot (1 - s)}{P_{\text{АД}}(s)}$$

Коефіцієнт потужності АД:

$$k_m(s) = \cos \left(\arg(Z_0(s)) \right)$$

Розрахунки по приведених вище формулах були виконані за допомогою програми MATLAB. Результати розрахунків статичних і енергетичних характеристик електродвигуна приведені нижче на рис.3.4.

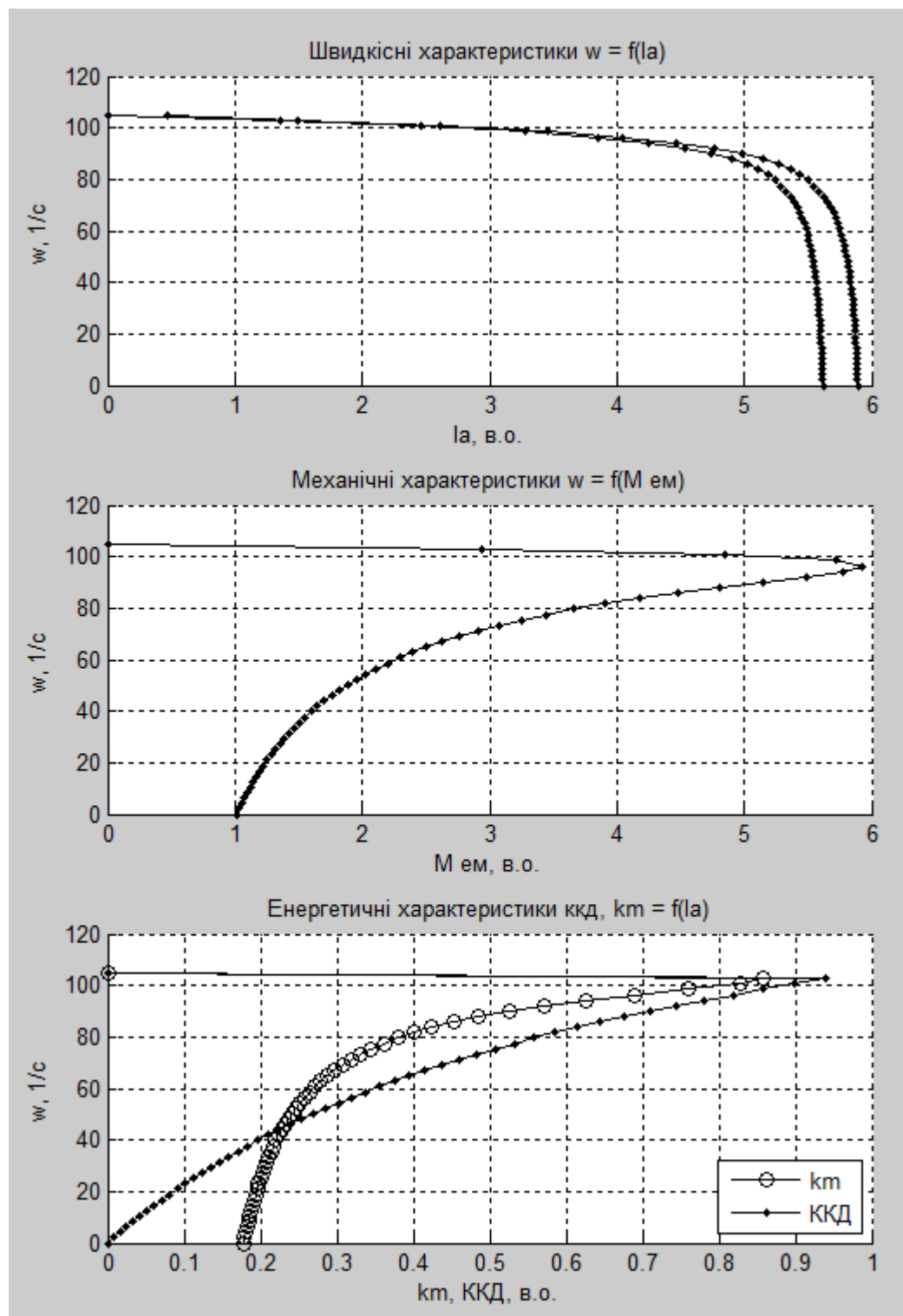


Рисунок 3.4 – Природні статичні та енергетичні характеристики приводного асинхронного електродвигуна.

3.4 Розрахунок статичних характеристик частотно-керованого електроприводу у розімкненій системі керування

Параметри схеми заміщення частотно-керованого асинхронного електроприводу відрізнятимуться від природних характеристик за рахунок впливу опорів згладжуючого дроселя та динамічних опорів силових напівпровідникових ключів. Повний активний опір фази статора обчислюємо за формулою:

$$R_{1\Sigma} = R_1 + R_{\text{др}} = 0.16 \text{ Ом}$$

При частотному керуванні слід враховувати, що індуктивні опори асинхронного двигуна також будуть змінюватися. Індуктивні опори асинхронного двигуна при частоті живлячої мережі f Гц можна обчислити по відомим значенням опорів при частоті живлячої мережі 50 Гц за формулою:

$$X_f = X_{50} \cdot \frac{f}{50}$$

Також при розрахунках характеристик електропривода у розімкненій системі керування необхідно враховувати взаємопов'язане керування напруги та частоти за законом Костенко. Згідно з формулою 3.6 при заданій частоті живлячої мережі f Гц діюче значення фазної напруги складатиме

$$U = 4.5 \cdot f \text{ В}$$

Для розрахунку необхідних характеристик асинхронного електродвигуна скористаємося символьним методом комплексним методом розрахунку кіл змінного струму.

Комплексний опір ротора

$$Z_2(s) = \frac{r_2}{s} + j \cdot x_2$$

Комплексний опір ланцюгу намагнічування

$$Z_\mu = j \cdot x_\mu$$

Комплексний опір роторного кола схеми заміщення

$$Z_{20}(s) = \frac{Z_2(s) \cdot Z_\mu}{Z_2(s) + Z_\mu}$$

Комплексний опір кола статора

$$Z_1(s) = r_1 + j \cdot x_1$$

Повний комплексний опір схеми заміщення

$$Z_0(s) = Z_1(s) + Z_2(s)$$

Струм статора АД

$$I_1(s) = \frac{U_1}{Z_0(s)}$$

Напруга на затисках роторного кола

$$E_{20}(s) = U - I_1(s) \cdot Z_1(s)$$

Струм ротора АД

$$I_2(s) = \frac{E_{20}(s)}{Z_2(s)}$$

Електромагнітний момент АД

$$M_{\text{эм}}(s) = 3 \cdot (|I_2(s)|)^2 \cdot \frac{r_2}{\omega_0 \cdot s}$$

Активна та реактивна потужності, споживані АД з мережі :

$$P_{\text{АД}}(s) = 3 \cdot \text{Re} \left(U_1 \cdot \hat{I}_1(s) \right); Q_{\text{АД}}(s) = 3 \cdot \text{Im} \left(U_1 \cdot \hat{I}_1(s) \right)$$

Коефіцієнт корисної дії АД:

$$\eta(s) = \frac{M_{\text{эм}}(s) \cdot \omega_0 \cdot (1 - s)}{P_{\text{АД}}(s)}$$

Коефіцієнт потужності АД:

$$k_m(s) = \cos \left(\arg(Z_0(s)) \right)$$

Розрахунки по приведених вище формулах були виконані за допомогою програми MATLAB. Результати розрахунків статичних і енергетичних характеристик електродвигуна приведені нижче на рис.3.5 – 3.8.

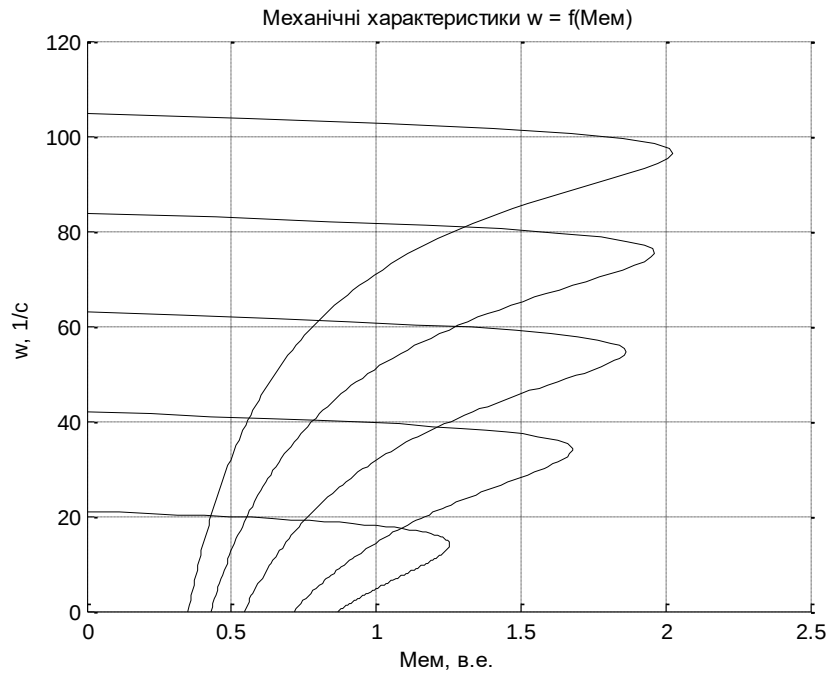


Рисунок 3.5 - Механічні характеристики АД при частотному регулюванні. Частота живлячої напруги – 50, 40, 30, 20, 10 Гц

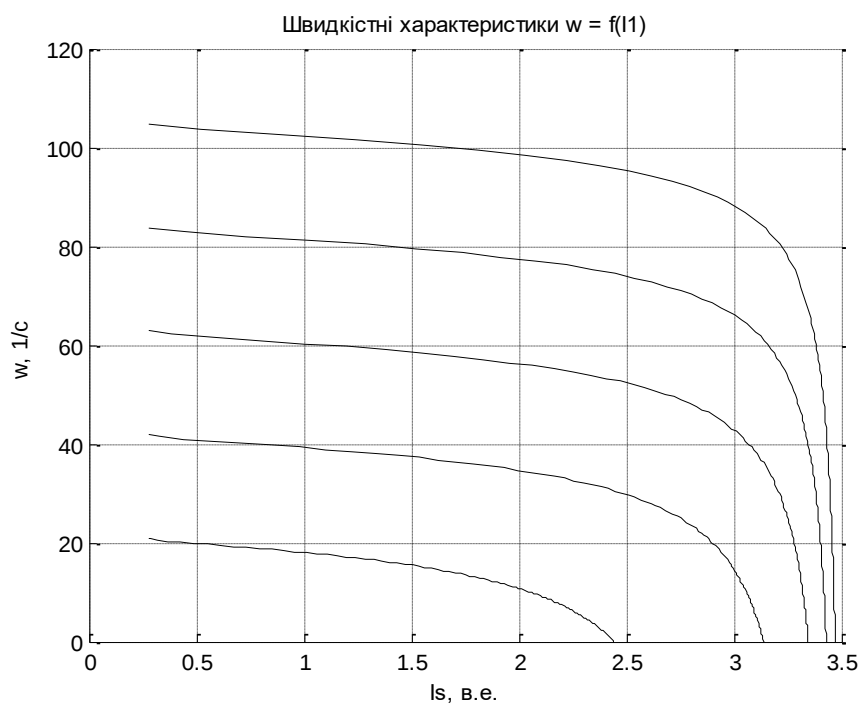


Рисунок 3.6 - Швидкісні характеристики АД по струму статора при частотному регулюванні. Частота живлячої напруги – 50, 40, 30, 20, 10 Гц

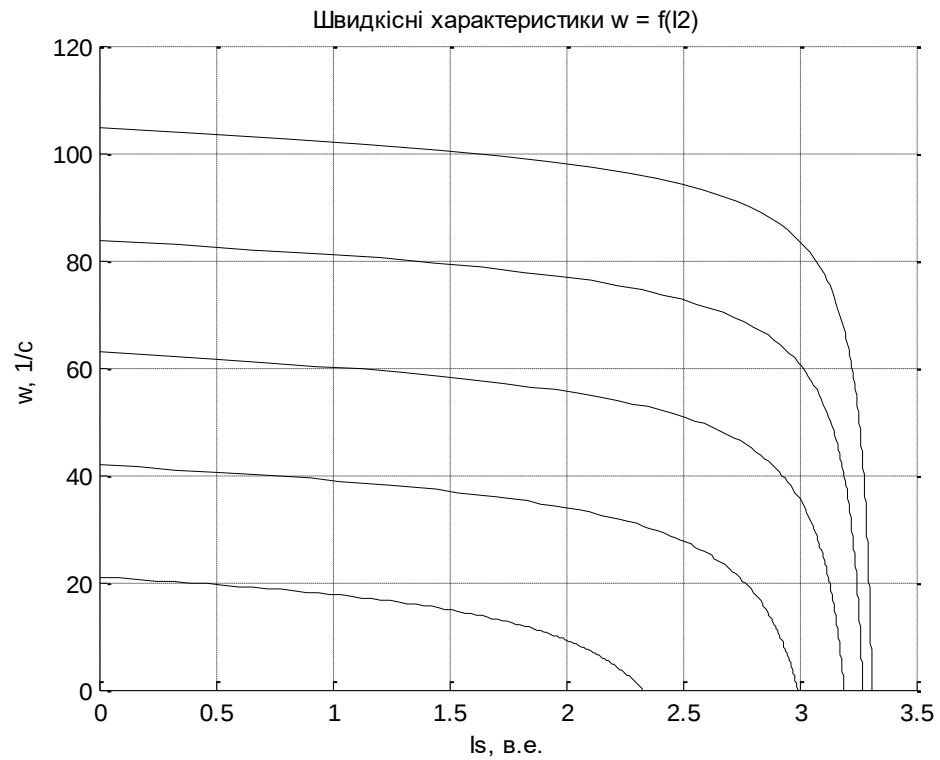


Рисунок 3.7-Швидкісні характеристики АД по ротору при частотному регулюванні. Частота живлячої на-
пруги – 50, 40, 30, 20, 10 Гц

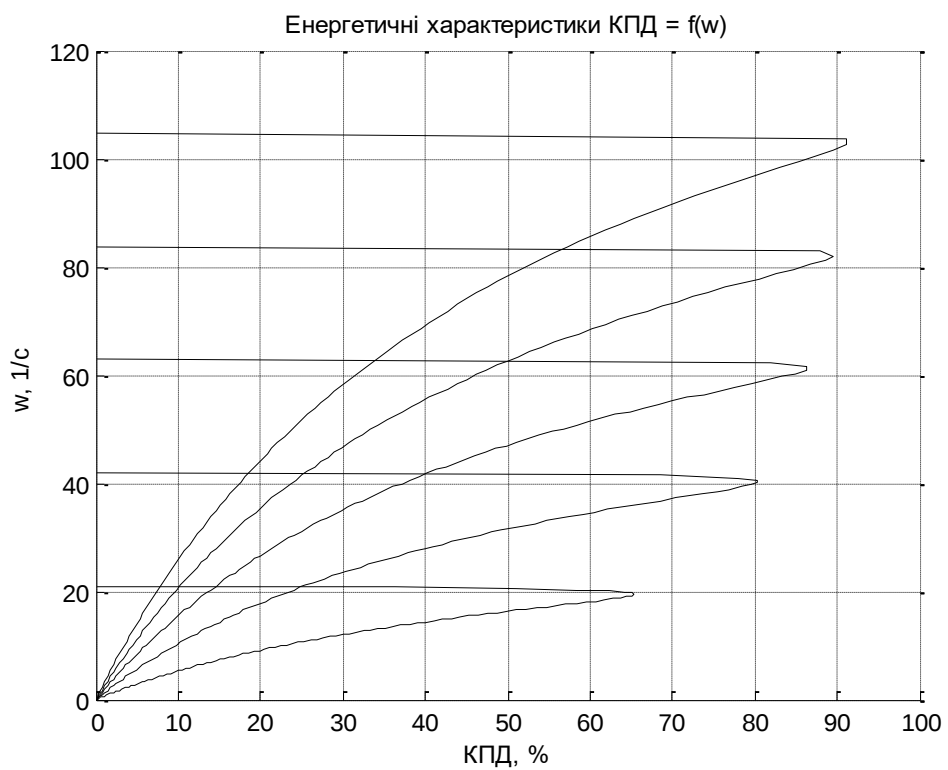


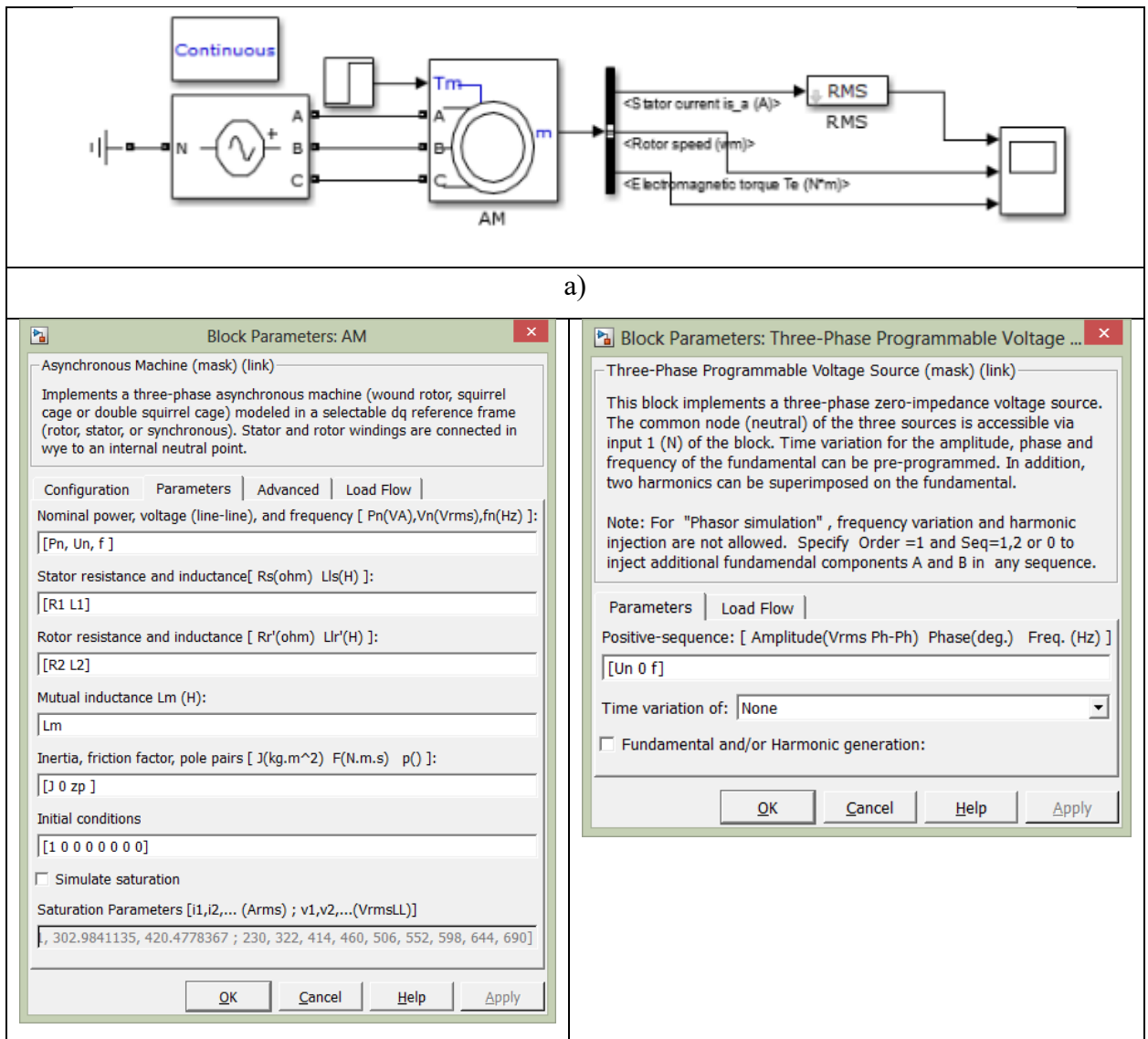
Рисунок 3.5 - Залежність ККД АД при частотному регулюванні. Частота живлячої напруги – 50, 40, 30, 20,
10 Гц

Розділ 4 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ МЕХА- НІЗМУ ПІДЙОМУ МОСТОВОГО КРАНА

4.1 Аналіз віртуальної моделі асинхронного двигуна у середовищі MATLAB/Simulink

Рівняння АД у системі ортогональних координат « α , β , 0» використовуються для створення віртуальної моделі АД у бібліотеці SimPower програми Simulink.

Віртуальна модель АД з використанням елементів бібліотеки SimPower наведена на рис. 4.1, а.

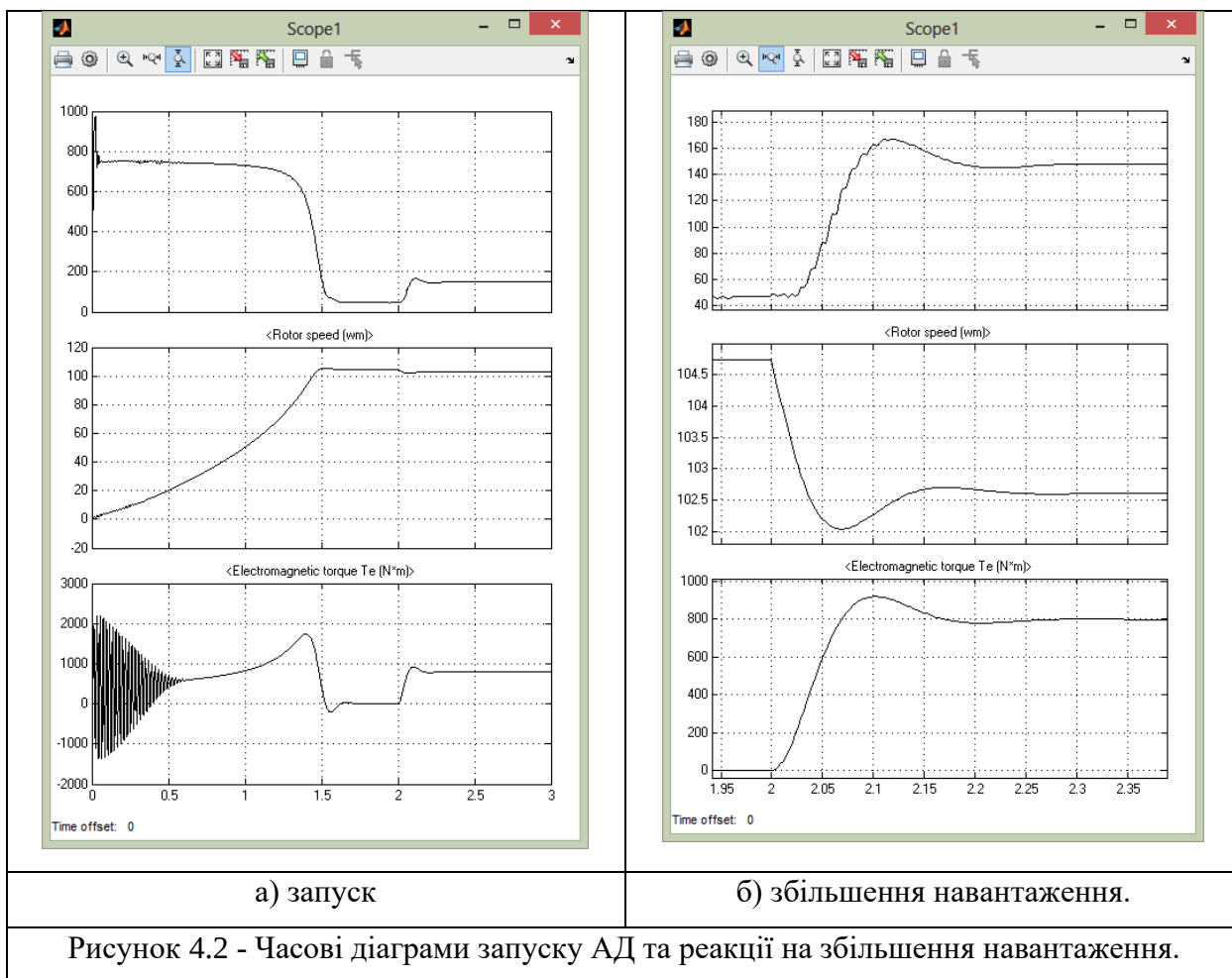


б)	в)
Рисунок 4.1 - Віртуальна модель АД з використанням елементів бібліотеки SimPower	

На рис.4.1.б, в зображено діалогові вікна налаштування параметрів асинхронного двигуна та трифазного джерела живлення відповідно.

Для розрахунку динамічних режимів використовувався метод Дорманда-Прінса з максимальним кроком інтегрування $h = 0.001$ с.

Отримані графіки електромеханічних процесів у моделі з визначеними у п.2.1. параметрами наведено на рис. 4.2. Показано діаграми для струмів статора та ротора, а також швидкість та електромагнітний момент АД при запуску вхолосту. При $t = 2,5$ с момент навантаження АД зростає до номінального $M_{ст} = 220$ Нм. На рис.4.2.б наведено діаграми процесів АД при зростанні навантаження у збільшеному масштабі часу.



Як видно з рис.4.2.б, значення струмів та кутової швидкості при номінальному навантаженні задовільно співпадають з паспортними даними асинхронного двигуна, табл. 4.1.

Табл.4.1. Порівняння результатів моделювання з паспортними та розрахунковими даними АД.

Параметр	Паспортні дані	Експериментальні дані
Струм намагнічування, А	12,03	11,66
Номінальний струм статора, А	41	40,23
Номінальна швидкість, 1/с	76,97	77,084

4.2 Дослідження пускових режимів електроприводу підйому на віртуальній моделі

Важливою проблемою, пов'язаною з підвищенням експлуатаційної надійності кранових механізмів, є зменшення динамічних ударів та поштовхів при запуску електроприводу. Вирішення цієї задачі досягається шляхом плавного запуску механізму візка засобами регульованого електроприводу. За допомогою перетворювача частоти формуємо лінійно зростаючу від нуля до номінальної напругу на затискачах статора. У математичній моделі лінійно зростаючий сигнал формується за допомогою блоку Signal Builder, рис. 4.3.

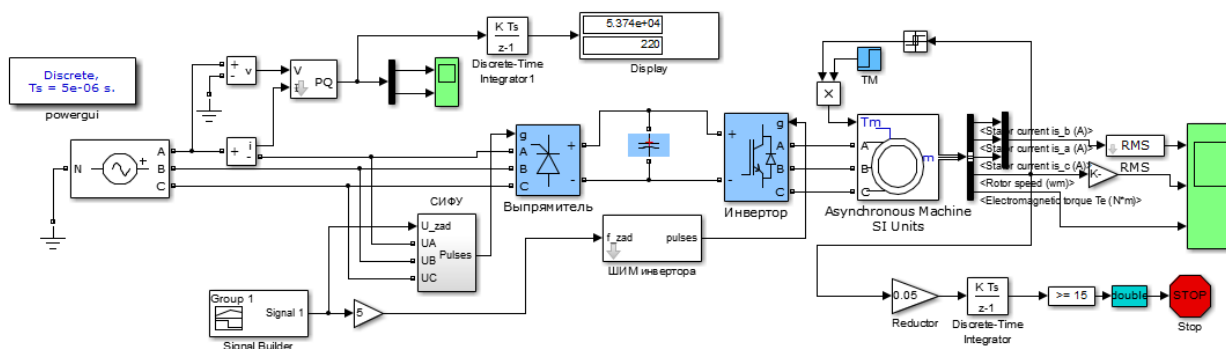
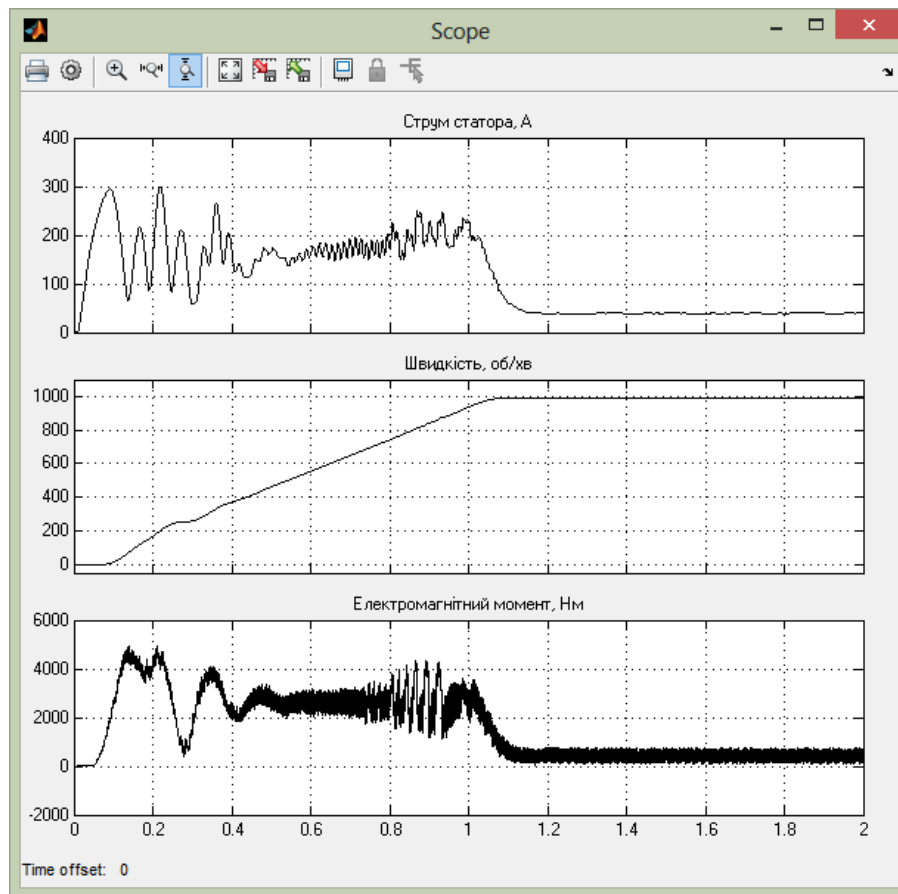


Рисунок 4.3 – Математична модель механізму підйому з плавним запуском електроприводу.

На рисунку 4.4 зображені часові діаграми плавного запуску механізму.

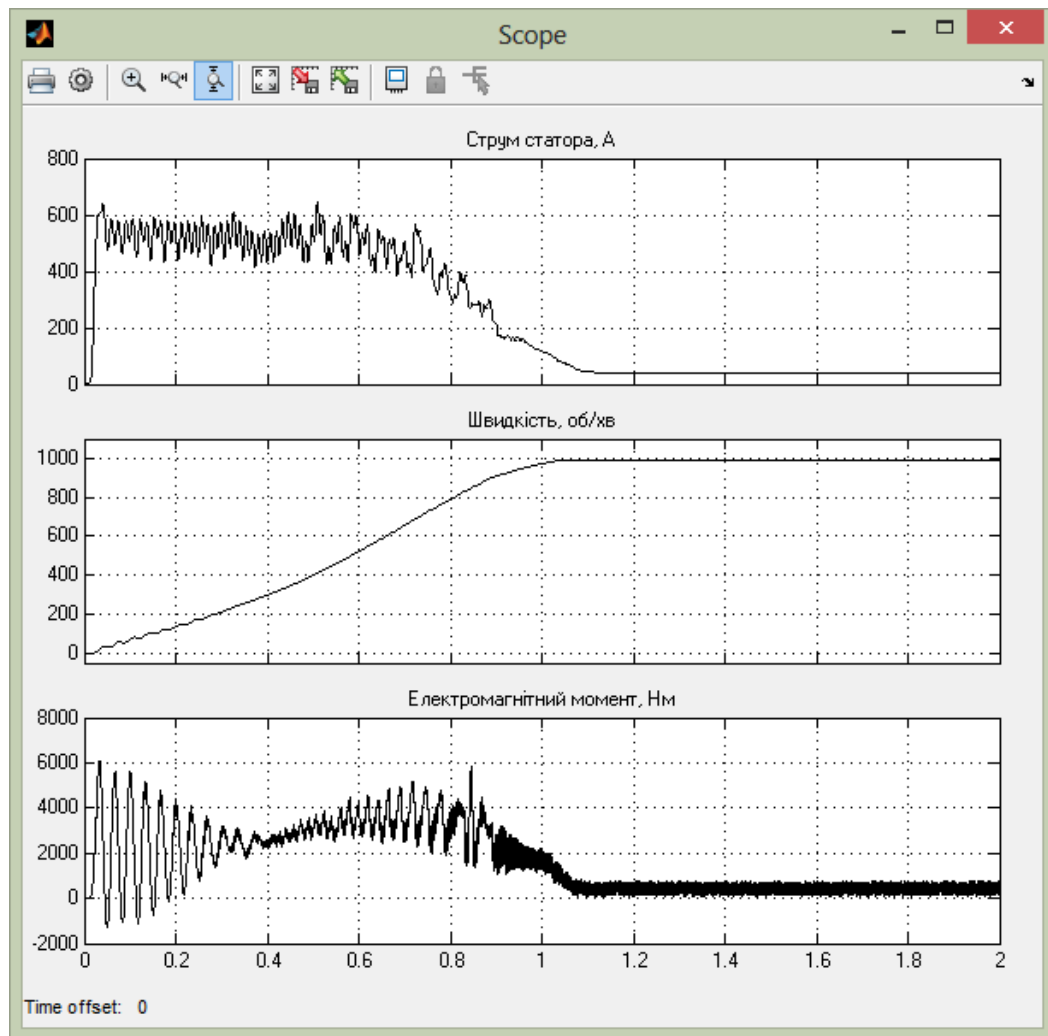


а)

Рисунок 4.4 – Часові діаграми плавного запуску електроприводу підйому при $U_{z0} = 0$ В

З отриманих графіків видно, що візок починає рухатись з деяким запізненням відносно моменту включення, тому що при низьких напругах електромагнітний момент приводного двигуна виявляється замалим. Отож рух починається тільки тоді, коли напруга зростає до необхідного порогового значення.

На рис.4.5 наведено часові діаграми плавного запуску механізму підйому та споживання активної потужності з живлячої мережі за умови, коли початкове значення керуючої напруги перетворювача частоти становить 6 В.



а)

Рисунок 4.5 – Часові діаграми плавного запуску а) та енергоспоживання б) електроприводу підйому при $U_{z0} = 6 \text{ В}$

З наведених діаграм видно, що за рахунок збільшення початкового значення керуючої напруги вдалося зменшити час запуску з 1.2 с до 1 с, а також зменшити енергоспоживання електроприводу підйому на 1,5 %.