

## ВСТУП

Ліфт – це спеціальний транспортний засіб, призначений для перевезення людей та вантажів. За допомогою ліфта стали можливі довгі міжповерхові перевезення, що знайшло широке застосування у висотних будівлях та шахтах. Відмінною особливістю ліфта від інших засобів переміщення є те, що управляти ним може будь-який пасажир, який знаходиться у ліфтовій кабіні. Це стало можливо завдяки розвитку автоматизованої техніки.

Ліфт є найскладнішим електромеханічним обладнанням, отже, до його проектування пред'являються жорсткі вимоги, що регламентуються «Правилами будови і безпечної експлуатації ліфтів», які затверджено наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 1 вересня 2008 р. № 190. Вони регламентують вимоги до будови, виготовлення, монтажу, налагодження, проведення технічного огляду та експертного обстеження, експлуатації, ремонту, реконструкції та модернізації ліфтів, підйомників та їх складових частин.

Існують такі типи ліфтових установок - електричні та гідравлічні. Найбільшого використання отримали, природно, електричні ліфти.

Основою електричного ліфта є його підйомний механізм електропривода. Також існує безліч способів виконання ліфтових систем.

У даній роботі будуть розглянуті існуючі системи ліфтових установок, описано перспективи розвитку, буде розроблено регульований електропривод з використанням безредукторної ліфтової лебідки, побудовано механічні та електромеханічні характеристики вибраного електродвигуна, як підтвердження адекватності результатів проектування.

## 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Різновиди ліфтових установок

Оскільки ліфти знайшли застосування у багатьох галузях сучасної життя, з'явилося багато різновидів ліфтових установок [6].

Класифікація ліфтів:

За призначенням:

- пасажирський - призначений лише для транспортування людей;
- вантажопасажирський – застосовується для переміщення людей та вантажів;

- лікарняний – спеціалізований для використання у медичних закладах для перевезення хворих;

- вантажний - використовується лише для транспортування вантажів;

- спеціальний (нестандартний) – виготовлений за індивідуальними технічними уподобаннями, застосовується для особливих умов експлуатації.

за типом виконання приводу підйомного механізму:

- електричні – із застосуванням електроприводу постійного чи змінного струму;

- гідравлічні - привід виконаний у вигляді гідроциліндра або лебідки з гідродвигуном обертального типу.

за механізмом передачі руху кабіні:

- канатні – переміщення кабіни за допомогою тягових канатів;

- Ланцюгові, рейкові та гвинтові – переміщення кабіни за допомогою тягових ланцюгів.

за способом передачі руху від канатоведучого органу лебідки тяговим канатам:

- ліфти з барабанною лебідкою;

- ліфти з канатоведучим шківом (КВШ)

за способом впливу канатів на кабінку:

- ліфти з верхньою канатною підвіскою кабіни;
- Вижимні, в яких тягові канати охоплюють кабінку знизу.

за схемою запасування тягових канатів:

- ліфти з прямої, з поліспаотною підвіскою кабіни;
- З канатним мультиплікатором.

за розташуванням машинного приміщення розрізняються ліфти:

- З верхнім машинним приміщенням;
- З нижнім машинним приміщенням.

за конструкцією приводу лебідки:

- Редукторний привід;
- Безредукторний привід;

За швидкістю руху кабіни:

- тихохідні – швидкість руху кабіни до 1 м/с;
- швидкохідні - швидкість руху кабіни 1,4 2 м/с;
- швидкісні - швидкість руху кабіни 2 м/с.

за точністю зупинки кабіни:

- Точна система зупинки;
- Без системи точної зупинки.

Основні параметри технічних характеристик ліфта:

вантажопідйомність;

швидкість руху;

висота підйому кабіни.

Під вантажопідйомністю ліфта розуміють максимальну масу, що знаходиться в кабіні, яку може підняти ліфт.

Місткість кабіни визначається наступним чином:

$$E = \frac{Q}{Q_{II}},$$

де  $Q$  - розрахункова вантажопідйомність кабіни, кг;

$Q_{II}$  - середня маса одного пасажера. Зазвичай розрахункова маса пасажера приймається у середньому 80кг.

Існує стандартний ряд величин 0,25; 0,5; 0,71; 1; 1,4; 1,6; 2; 2,8; 4,5,6; 7; 8 м/с. визначальний номінальну швидкість кабіни, тобто швидкість при нормальному режимі роботи

Зупинна швидкість – швидкість, на якій забезпечується максимальна точність зупинки.

Ревізійна швидкість – це швидкість, яку використовує обслуговуючий персонал для технічного обладнання шахти ліфта з даху кабіни, що рухається. Якщо швидкість ліфта менше 0,7 м/с, ревізія може бути виконана при русі кабіни на номінальній швидкості.

Аналіз швидкісних параметрів показує, що кожного виду механізмів (підйому, повороту і горизонтального переміщення) є межі швидкостей, перевершувати які недоцільно.

Гранична швидкість - аварійна швидкість, коли спрацьовують уловлювачі.

Висота підйому визначається відповідно до конструкції будівлі, але має обмеження у вигляді збільшення втрат корисного об'єму висотних будівель.

Продуктивність ліфта – один із найважливіших параметрів. Вона залежить від висоти будівлі, вантажопідйомності, інтенсивності включення тощо.

## 1.2 Улаштування та принцип дії

Основні частини ліфта: кабіна, противага, електропривод лебідки, обмежувач швидкості, тягові канати, направляючі кабіни, електроустаткування та електричне розведення.

Опис кінематичної схеми (рисунок 1.1). Тягові канати з КВ, огинаючи поліпастний блок на кабіні та противазі, кріпляться до машинного відділення до верхнього перекриття шахти.

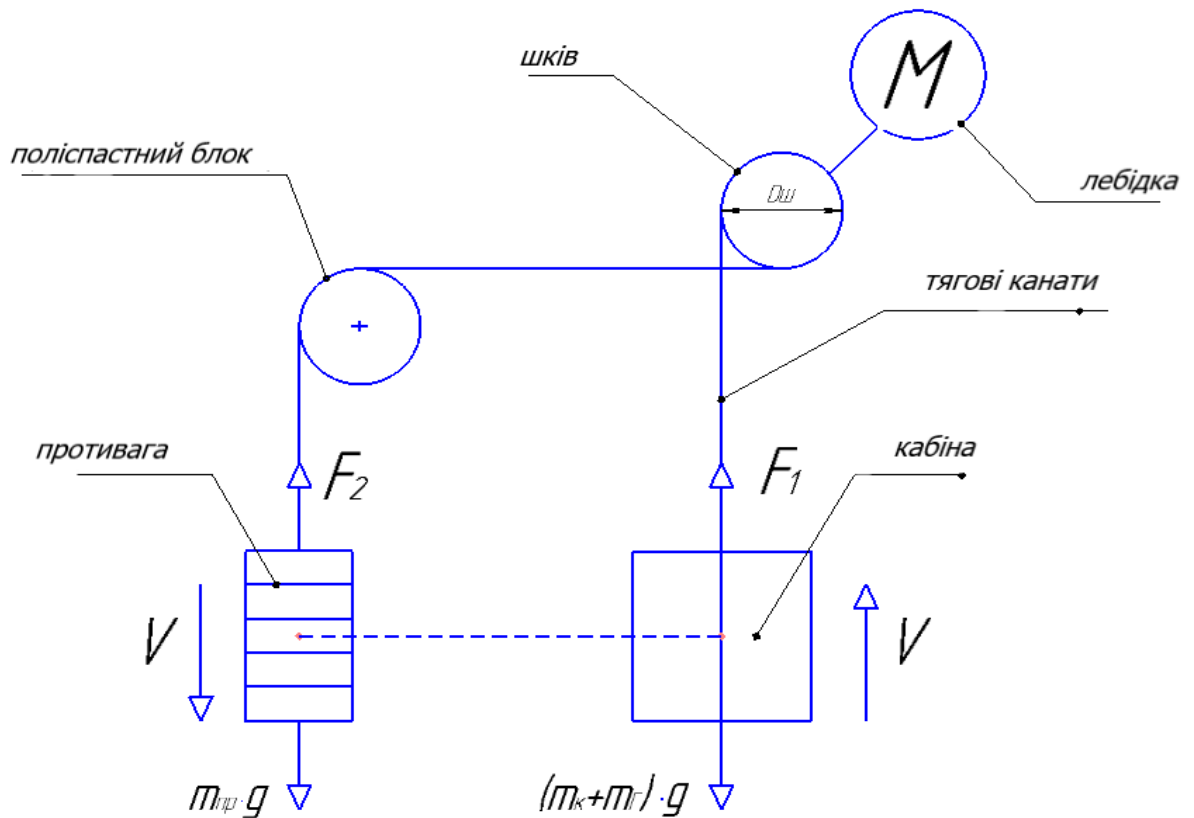


Рисунок 1.1 – Кінематична схема ліфта

За допомогою ліфтової лебідки здійснюється рух кабіни та противаги за допомогою тягових канатів. Також в машинному приміщенні розташовуються гальмівний пристрій, станція управління, що включає пристрій введення, сервоконтролер, пристрої захисту і т.д.

Управління кабіною ліфта доступне будь-якому пасажирові. При натисканні кнопки виклику ліфта, на станцію управління надходить керуючий сигнал. Контролер, отримуючи сигнал, формує завдання: якщо кабіна перебуває в поверсі виклику ліфта, то подається сигнал відкривання дверей; якщо кабіна знаходиться на іншому поверсі, то подається команда на рух кабіни на поверх виклику. Якщо кабіна на момент виклику знаходиться в русі, то завдання формується залежно від того, в який бік рухається ліфт, якщо ліфт рухається в

попутному напрямку, відбувається зупинка на поверсі виклику і ліфт продовжує рух; якщо ліфт рухається у протилежному напрямку (від поверху виклику), то отриманий сигнал зберігається, а команда на рух до даного поверху буде подана після завершення руху вже наявною командою.

Для точної зупинки кабіни та комфортності пасажирів застосовують датчики точної зупинки. Даний датчик знаходиться на певній відстані від поверху, залежно від номінальної швидкості кабіни. Сигнал із датчика точної зупинки переводить електропривод на знижену частоту обертання. Далі подається команда на зупинку, а в момент поєднання рівня підлоги кабіни та поверху здійснюється зупинка, включається гальмо, двері відчиняються. У нашому випадку застосування безредукторної лебідки та перетворювача частоти виключають ступінчасту зупинку або розгін завдяки широкому діапазону регулювання швидкості. [7]

Ліфт відноситься до електроустаткування підвищеної безпеки. Щоб унеможливити замикання пасажирів у кабіні, раптових зупинок поза рівнем поверху, рух кабіни здійснюється при справності всіх рівнів системи, блокувальних, запобіжних пристроїв. За будь-яких неполадок рух ліфта неможливий, оскільки сигнали із запобіжних пристроїв розмикають системи кнопочного керування в кабіні та на поверхах (крім аварійної кнопки та кнопки для зв'язку з диспетчером).

Основним елементом ліфта є механізм підйому – електропривод ліфтової лебідки.

Переміщення пасажирів проводиться в кабіні ліфта. Кабіна є невеликим приміщенням без вікон та інших відкритих частин. У кабіні є блокувальні пристрої, які унеможливають рух з відкритими стулками дверей.

Для боротьби з поперечним розгойдуванням кабіни під час руху застосовують спеціальні напрямні, які встановлюються на всю висоту ліфтової шахти. При аварійному режимі ці напрямні забезпечують гальмування кабіни за

допомогою уловлювачів з подальшим утриманням кабіни до зняття з уловлювачів. Але поняття «обриву» ліфта давно відійшло у минуле, оскільки сучасне обладнання практично виключає можливість обриву. Однак, забезпечення безпеки перевезення пасажирів завжди залишалось і залишається головним пріоритетом, тому механізм аварійної зупинки кабіни завжди існуватиме. Принцип роботи уловлювачів: при швидкості досягнення швидкості кабіни вище за граничну швидкість спрацьовує обмежувач швидкості, який посилає сигнал на спрацювання уловлювачів. Уловлювачі встановлюються з боків каркаса кабіни (проти ваги) і приводяться в дію канатом, що охоплює шків обмежувача швидкості.

Прямок - це нижня частина шахти ліфта, там розміщується захисне обладнання: упори або буфери для обмеження швидкості кабіни.

Станція керування знаходиться у машинному приміщенні. Машинне відділення може розташовуватися на верхньому поверсі будівлі або в підвалі. Електричне з'єднання обладнання ліфтової кабіни зі станцією управління забезпечується за допомогою підвісного кабелю, змонтованого на ліфтовій шахті.

Більшість датчиків теж встановлюється в ліфтовій шахті. Серед них: датчик точної зупинки, датчики уповільнення, влаштування контролю дверей кабіни.

На рисунку 1.2 представлено схему розміщення ліфтового обладнання. Шафа керування, електропривод, лебідка - розташовуються в машинному приміщенні. Кабіна, противага, канати, напрямні, уловлювачі та датчики - розташовуються в ліфтовій шахті.

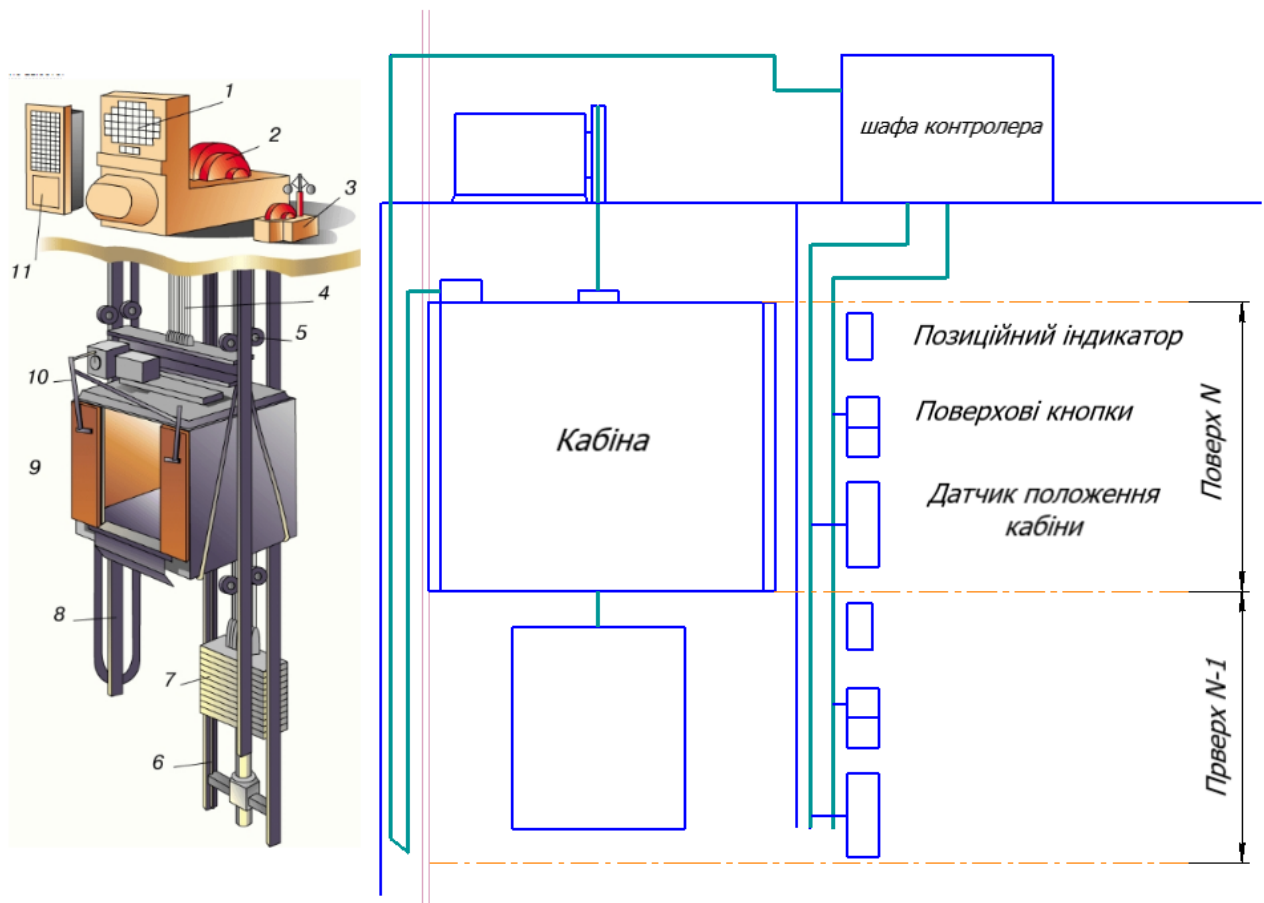


Рисунок 1.2 – Технологічна схема обладнання

На рисунку прийняті такі позначення:

1 – станція управління, у роботі буде використовуватися перетворювач частоти;

2 – електродвигун, у нашій роботі використовуватиметься тихохідний асинхронний двигун із короткозамкненим ротором;

3 – система управління гальмом;

4 – трос підвісу кабіни;

5 – напрямні ролики;

6, 8 - напрямні рейки;

7 - противага;



9 – кабіна;

10 – привід дверей кабіни;

1.3 Складання переліку вимірюваних технологічних змінних та керуючих впливів, визначення необхідної точності вимірювання та управління

Так як головним елементом ліфтового обладнання є електропривод лебідки, то майже всі змінні стани будуть пов'язані саме з ним, перерахуємо основні з них [11]:

- вага кабіни, що постійно змінюється, залежно від кількості пасажирів, отже, постійно змінюється момент на валу двигуна;

- положення кабіни у шахті ліфта, отже, кут повороту шківів, струми, що змінюються, і напруги на двигуні;

- швидкість пересування ліфтової кабіни.

Таким чином, щоб з високою точністю керувати кабіною ліфта нам необхідно оперувати даними змінними.

Управління здійснюється на кілька рівнів. Для керування електроприводом лебідки використовується перетворювач частоти, що реалізує векторне управління асинхронним двигуном, що дозволяє керувати швидкістю двигуна в дуже широкому діапазоні, що забезпечує плавний розгін і зупинку кабіни. Управління можна здійснювати автономно за допомогою тільки перетворювача частоти, але така система є ненадійною і не використовується в ліфтових установках. Формування завдання для електроприводу здійснюється за допомогою мікроконтролера або сервоконтролера спеціального виконання, що у свою чергу повідомляється зі станцією оператора ПЕОМ. Саме контролер, отримуючи сигнали з датчиків, формує найкраще завдання на рух головного електроприводу та електроприводу дверей. А також сигнали про несправності та аварії негайно відправляються на станцію диспетчера.

1.4 Визначення основних вимог до ведення технологічного процесу, формулювання критерію якості та мети управління

Головне завдання управління кабіною ліфта є забезпечення комфортного руху і точність зупинки на необхідному рівні поверху.

Основні критерії якості [10]:

- плавність руху. Згідно з регламентом, для комфортного перевезення людей потрібно величина прискорення кабіни не більше  $2 \text{ м/с}^2$ .

Фізичний ефект на тіло людини залежить від часу прискорення. За тривалості прискорення менше  $0,4 \text{ с}$ . організм людини задовільно переносить прискорення до  $30\text{-}40 \text{ м/с}$ . Отже, під час управління рухом кабіни допускається короткочасне високе прискорення чи уповільнення.

Комфортабельність ліфта визначає не лише прискорення, а й іншими факторами. Розглянемо кожен із них:

Час очікування ліфта – час, на який пасажир очікує ліфт на сходовому майданчику. Якщо будівля висотна, то має сенс включити в керування функцію підвищеної швидкості руху порожньої кабіни. У нашому випадку будівля невисока, тому достатньо руху кабіни з номінальною швидкістю.

Плавність та точність зупинки здійснюється за допомогою датчиків точної зупинки. При досягненні поверху зупинки подається сигнал на зниження швидкості, а оскільки ми використовуємо безредукторний електропривод з векторним керуванням за допомогою перетворювача частоти, то можливість налаштування плавної зупинки не складе труднощів.

Наявність шумів при пересуванні також є показником комфортності. Порівняно з редукторними приводами, безредукторний електропривод має мінімальний рівень шуму механічних частин.

### 1.5 Основні вимоги до електроприводу

Оскільки електропривод є головним органом ліфтового обладнання, то перед проектуванням необхідно сформулювати основні вимоги до електроприводів ліфтових установок пасажирського виконання. [9]:

- Надійність, високий рівень безпеки;
- Малошумність;
- Простота експлуатації;
- Обмеження прискорення кабіни;
- Плавність початку руху та зупинки;
- Наявність ревізійної швидкості;
- Точність зупинки на рівні поверху.

### 1.6 Ліфтові лебідки

Ліфтовою лебідкою називають механізм для приведення в рух кабіни ліфта. Контроль якості та безпеки ліфтових лебідок забезпечується «Правилами будови і безпечної експлуатації ліфтів».

Існують такі вимоги:

Лебідка та частини її конструкції повинні витримувати максимальні навантаження під час експлуатації ліфта.

Барабанні лебідки та лебідки із зірочкою допускається використовувати на швидкості не більше 0,63 м/с. Використання противаги у поєднанні з такими лебідками – заборонено.

Між гальмівним шківом і канатоведущим органом лебідки має бути не розмикається кінематичний зв'язок;

Лебідка обладнана струбциною, щоб переміщати кабіну при відключенні електроживлення;

Штурвал може бути знімного або незнімного виконання. Неприпустиме застосування кривошипної рукоятки. Знімний штурвал повинен зберігатися у машинному приміщенні;

На штурвалі має бути відповідне маркування, що показує приналежність до конкретної лебідки;

На лебідці обов'язково вказується напрямок кабіни при повороті штурвала;

У машинному приміщенні має бути можливість контролю положення кабіни.

Найбільш поширений привід у ліфтовій індустрії – електропривод на основі асинхронного двигуна. Асинхронні двигуни є найнадійнішими в експлуатації, а з появою перетворювачів частоти, асинхронний привід зробив крок далеко вперед у сфері управління швидкістю обертання. Частотне та векторне керування дозволяє отримувати вражаючі діапазони регулювання. Враховуючи всі ці переваги, електропривод на основі асинхронного двигуна поступово витіснив використання приводів із двигунами постійного струму. Асинхронний двигун за своїми якостями поступається тільки синхронному двигуну з постійними магнітами, але розвиток приводом на основі цих двигунів тільки почався і пройде ще чимало часу, коли синхронні двигуни зможуть витіснити асинхронні на світовому ринку.

На кшталт застосовуваного канатоведущого органу розрізняють лебідки барабанного типу (рисунок 1.3, а), з канатоведущим шківом (рисунок 1.3, б) із зірочкою. Як канатовідний орган сучасних ліфтів зазвичай застосовують канатоведучий шків, що обумовлюється причинами, розглянутими нижче. За характером кінематичного зв'язку між двигуном і канатоведущим органом лебідки поділяють на безредукторні (рисунок 1.4) та редукторні. Редукторними називаються лебідки, у яких канатоведучий орган рухається від двигуна через редуктор. Редуктор - це механізм, що перетворює рух зі зміною частоти

обертання та моментів. За допомогою редуктора можна зменшити частоту обертання його робочого органу щодо частоти обертання приводного механізму, а також збільшити момент на робочому органі.

Безредукторні лебідки (рисунок 1.4) застосовуються у високошвидкісних ліфтах чи ліфтах підвищеної комфортності. Канатоведучий та гальмівний шківів розміщуються на валу тихохідного електродвигуна. Для використання безредукторної лебідки застосовують перетворювачі частоти для безступінчастого регулювання швидкості кабіни в широкому діапазоні. Це дозволяє якісно підвищити плавність пуску та зупинки.

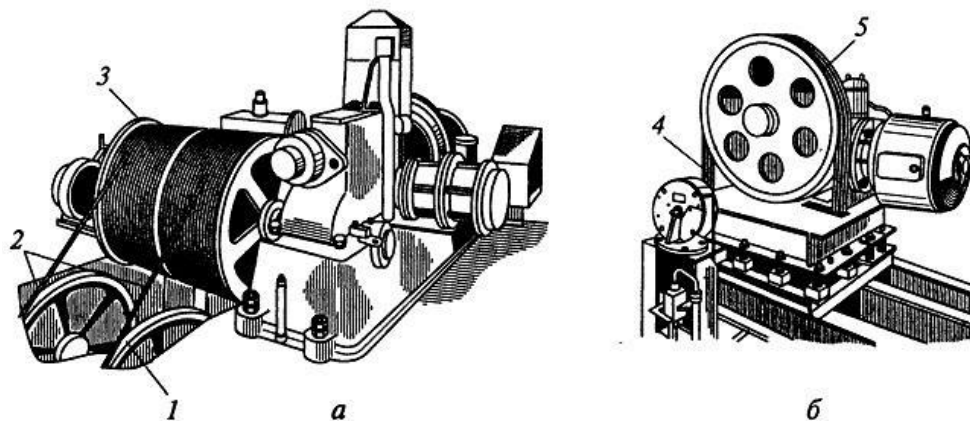


Рисунок 1.3 - Лебідки: а - барабанного типу; б - з канатоведучим шківом;  
1 - блок, що відхиляє; 2, 4 - канати; 3 - барабан; 5 - канатоведучий шків

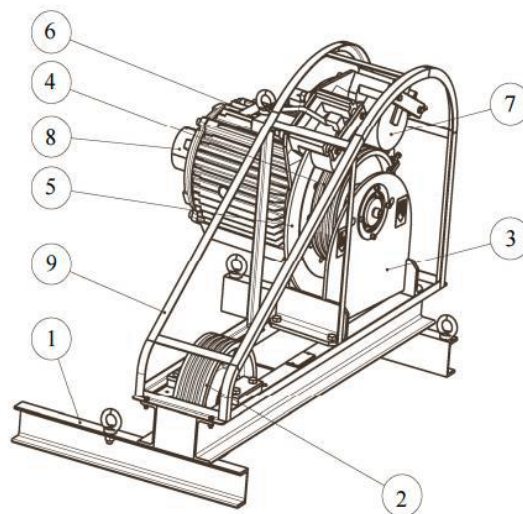


Рисунок 1.4 Безредукторна лебідка з тихохідним асинхронним електродвигуном змінного струму:

1 - рама; 2 - відвідний блок; 3 - опора приводу; 4 - канатоведучий шків; 5 - гальмівний диск; 6 - електродвигун; 7 — електромагнітне гальмо; 8 – датчик зворотного зв'язку за швидкістю (енкодер); 9 – ПЧ та блок гальмівних резисторів

### 1.7 Тихохідні (низькошвидкісні, високомоментні) асинхронні двигуни

В даний час у ліфтовій індустрії більшість електроприводів ліфтових лебідок виконують із двошвидкісного асинхронного двигуна з КЗ, редуктора, гальмівного пристрою та релейно-контакторної схеми управління.

Основним недоліком можна назвати низьку надійність релейно-контакторних схем управління, які призводять до відхилення параметрів налаштування, що позначається на асинхронному двигуні у вигляді збільшення кидків струму при пуску. Недоліком механічної частини є жорсткі механічні характеристики та високі динамічні моменти, що виникають через ту саму недосконалу систему управління [5].

У зв'язку з прогресом у розвитку напівпровідникових приладів та мікропроцесорної техніки, з'явилися системи частотно-регульованого електроприводу змінного струму. Це спричинило тенденцію до переходу від редукторного електроприводу до безредукторного з урахуванням системи перетворювач частоти – асинхронний двигун. Основними перевагами безредукторного електроприводу є:

- 1) Відсутність редуктора – тобто суттєве зменшення механічної частини;
- 2) Висока комфортність – підвищення комфортності через зменшення шумів, плавність пуску та зупинки;
- 3) Низький рівень шуму та вібрацій – за рахунок виключення редуктора зменшилися механічні шуми та вібрації при переміщенні кабіни.

Найефективнішим напрямком розвитку безредукторних електроприводів та безредукторних ліфтових лебідок є застосування низькошвидкісного високомоментного асинхронного двигуна (тихохідного асинхронного двигуна – ТАД).

Електропривод, виконаний на основі тихохідного асинхронного двигуна, відрізняється від загальнопромислових приводів. Основними показниками ТАД є низька номінальна швидкість обертання валу (50 - 300 об/хв), суттєво високий момент, низька частота напруги статора, зменшення кратності пускових струмів у 2-3 рази.

Крім того, застосування для керування ТАД цифрової системи на базі сучасних мікропроцесорів та мікроконтролерів дає можливість реалізації гнучких алгоритмів керування електроприводом ліфтової лебідки та забезпечує необхідні характеристики електроприводу, задану точність позиціонування кабіни на початку руху та при повному зупиненні та більш високу комфортабельність ліфта.

#### 1.7.1. Аналіз тихохідного асинхронного двигуна

Як було сказано раніше, застосування двигунів загальнопромислового призначення з метою забезпечення роботи на дуже низькій частоті обертання та забезпеченні високих моментів є вкрай неефективним. Щоб вирішити це завдання, необхідно створення спеціального двигуна, що має відмінні риси від двигунів серійного виробництва.

Однією з головних особливостей роботи двигуна за відносно малих частот (нижче 5-10 Гц), є втрати в обмотках статора та ротора.

Механічні втрати та втрати в сталі становлять малу частину завдяки малій частоті живлення та низької частоти обертання, отже, у практичних розрахунках цими втратами можна знехтувати.

Тому основними вимогами до сталі є не питомі втрати, а можливість

роботи магнітної системи при підвищених індукціях з найменшим струмом намагнічування. Це дозволяє знизити втрати в міді статора за рахунок зниження споживаного перетворювача струму [3].

Для підвищення перевантажувальної здатності двигуна повинні бути вжиті заходи щодо зниження активних та індуктивних опорів ротора та статора. У роторі зменшення індуктивного опору  $X_R$  досягається за рахунок зменшення висоти паза та за рахунок його розкриття. Крім того, зменшення  $R_R$  і  $X_R$  досягається за рахунок вибору числа пазів ротора більшим, ніж прийняте у загальнопромислових двигунах співвідношенням:

$$\frac{Z_R}{Z_S} \geq 1,2$$

Кількість полюсів статора вибирається із умови, щоб частота живлення було не нижче 4 Гц. Конструкція паза статора повинна забезпечувати оптимальне поєднання провідності розсіювання та провідності основного потоку з метою максимізації робочого моменту. Паз має бути максимально широким та мати максимально допустиме розкриття.

Кількість пазів статора має забезпечувати значення  $q$  щонайменше 2.

Конструкція обмотки має забезпечувати найменшу довжину лобових частин. Це досягається оптимальним укороченням двошарової обмотки або застосуванням «розвалки» при одношаровій обмотці». Основні співвідношення чисел пазів статора та ротора високомоментного асинхронного двигуна, живиться від низькочастотного перетворювача частоти, наведені в таблиці.

Таблиця – Основні співвідношення чисел пазів

$2p$	$Z_s$	$Z_r$	$q$
6	54	66	3
6	72	86	4
8	72	86	3
8	96	114	4
10	60	74	2



10	90	108	3
12	72	86	2
12	108	130	3

## 2. ВИБІР СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЛІФТОВОЇ УСТАНОВКИ

### 2.1 Літературний огляд на тему дипломного проекту

Значна роль у здійсненні комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів, ліквідації ручних вантажно-розвантажувальних робіт належить підйомно-транспортному машинобудуванню. Істотне скорочення важкої праці під час перевантажувальних робіт здійснюється головним чином шляхом автоматизації вантажозахоплювальних операцій, точної установки вантажів, а також автоматизації процесів керування вантажопідйомними машинами. Оскільки ці завдання вирішуються за допомогою електроприводу, значення вдосконалення і впровадження сучасних електроприводів постійно зростає.

У ліфтовому електроприводі в даний час широко застосовують як повністю тиристорні системи регулювання, так і різні некеровані та керовані напівпровідникові випрямлячі, а також окремі напівпровідникові силові прилади, що дозволяє при порівняно невисоких витратах отримувати системи з досить значним регулюванням швидкості переміщення механізмів. Для скорочення експлуатаційного персоналу застосовують системи керування вантажопідйомними машинами, зокрема кранами, по радіоканалу (дистанційно). У цих системах максимальний ефект досягається також за умови забезпечення сталого регулювання швидкості.

Основна увага приділяється новим методам вибору електроустаткування для ліфтів з урахуванням вже введеної нової класифікації навантаження механізмів та електрообладнання, а також новим системам керування, включаючи різними системами регулювання швидкості.

Ліфтові механізми підйому з активним навантаженням. У загальному випадку цикл роботи цих механізмів визначається технологічним процесом, але на вибір приводних двигунів істотно впливають динамічні режими: пуск, реверс, гальмування.

Переважає більшість ліфтових машин, що виготовляються вітчизняною промисловістю, має електричний привід механізмів, і тому ефективність дії та продуктивність цих машин значною мірою залежать від якісних показників електроустаткування, що використовується. Сучасний ліфтовий електропривод за останній час зазнав істотної зміни в структурі та застосовуваних системах управління.

Для найбільш масових ліфтів загального призначення починають широко застосовуватися електроприводи на основі короткозамкнених двигунів, значна частина кранів виготовляється з керуванням з підлоги, а швидкохідні ліфти для важких режимів роботи комплектуються різними тиристорними системами, що забезпечують глибоке регулювання швидкості, плавність пуску і гальмування економії енергоресурсів.

## 2.2 Формулювання вимог до автоматизованого електроприводу та системи автоматизації

При виборі структури електроприводу слід зважати на особливості технологічного процесу, вимоги надійності, гнучкості в управлінні, зручності налагодження. До електроприводів ліфтових механізмів підйому, які в більшості випадків керуються оператором, пред'являються жорсткі вимоги до простоти їх експлуатації та надійності за умови забезпечення необхідного діапазону регулювання швидкості. Діапазон регулювання при підйомі та опусканні номінального вантажу визначається мінімальною швидкістю при посадці вантажів. Величина цього діапазону залежить від технологічного процесу та номінальної вантажопідйомності крана. Важливою вимогою для

електроприводів зазначеного класу є плавна зміна швидкості в перехідному процесі, що різко знижує ривок  $i$ , отже, зменшує амплітуду розкачування вантажу.

Для виконання зазначених вимог система керування електроприводом повинна бути напів-або повністю автоматичною, особливо під час роботи в перехідних режимах.

Основні вимоги до системи електроприводу мостового крана можна сформулювати так:

1. На перших положеннях контролера підйому двигун повинен розвивати такий пусковий момент, щоб виключалася можливість спуску номінального вантажу при напрузі мережі живлення 90% номінального і в той же час бажана мінімальна швидкість становила при найменшому навантаженні не більше 30% номінального значення.

2. При переміщенні рукоятки командоконтролера у напрямку зниження швидкості остання не повинна підвищуватись навіть короткочасно. Це в першу чергу стосується перемикання з першого положення в нульове, коли запізнення механічного гальмування не повинно призводити до підвищення малої швидкості спуску.

3. Система електричного гальмування повинна мати необхідний запас, що забезпечує надійне уповільнення вантажу, що дорівнює 125% номінального, при напрузі мережі живлення 90% номінального.

4. Рух вантажу має відбуватися тільки у напрямку, що встановлюється командоапаратом, та при несправностях у схемі. В останньому випадку вантаж може залишатися нерухомим.

Вибір системи електроприводу для кранових механізмів складає основу аналізу порівняльних показників.

Економічна оцінка систем електроприводу повинна базуватися на принципі мінімальних витрат, пов'язаних із початковими витратами,

експлуатаційними витратами на ремонт, а також витратами енергії, що споживається з мережі на розгін та гальмування ліфтових механізмів за період експлуатації до капітального ремонту (10 років).

Економічна оцінка може бути здійснена розрахунком за певною методикою.

Вибирається система, що має найкращі економічні показники. Якщо економічні показники систем, що порівнюються, близькі (розбіжність не перевищує 15%), то проводиться додаткова оцінка за масогабаритними показниками та умовами розміщення електрообладнання.

Істотною вимогою до електроприводу механізму підйому є забезпечення надійного гальмування під час активного моменту навантаження. При цьому з метою енергозбереження доцільно застосовувати рекуперативне гальмування, особливо при потужностях двигунів понад 30 кВт.

### 2.3 Визначення можливих варіантів та вибір раціональної системи електроприводу

Для регульованих кранових електроприводів з діапазоном регулювання швидкості більше 20:1 найбільш застосовні такі системи електроприводу:

1. Система з тиристорним перетворювачем напруги (система ТП-Д);
2. Система з тиристорним регулятором напруги (ТРН-АД);
3. Система з перетворювачем частоти (система ПЧ-АД);
4. Система з асинхронним двигуном та імпульсним регулятором у ланцюгу випрямленого струму без рекуперації енергії ковзання (система АД-ІР);
5. Система з асинхронним двигуном та імпульсним регулятором у ланцюгу випрямленого струму з рекуперацією енергії ковзання в мережу (система АД-ІР-І).

У цій роботі виконано порівняльний аналіз енергетичних та економічних

показників названих систем кранових електроприводів, причому ефективнішою вважається та система електроприводу, яка споживає менше електроенергії при виконанні одиниці механічної роботи технологічного циклу. У цикл роботи входять етапи підйому вантажу, переміщення його на необхідну відстань, опускання вантажу та пауза для стропування. Задана стандартна тривалість включення  $T_B=40\%$ , причому у циклі роботи є ділянки руху зі зниженою швидкістю.

При визначенні раціональних меж застосування системи електроприводу слід оцінювати як енергетичні показники порівнюваних систем, а й річні наведені витрати.

Виходячи з того, що розглядається нами ліфтовий механізм, який здійснює підйом і переміщення вантажів у ремонтно-механічних та складальних цехах, відноситься до середнього режиму роботи з потужністю двигуна механізму підйому більше 55 кВт і діапазоном регулювання  $D$ , то на підставі викладеного можна обґрунтовано прийняти як раціональну систему електроприводу підйому ліфту систему ПЧ-АД.

## 2.4 Проектування функціональної схеми автоматизованого електроприводу

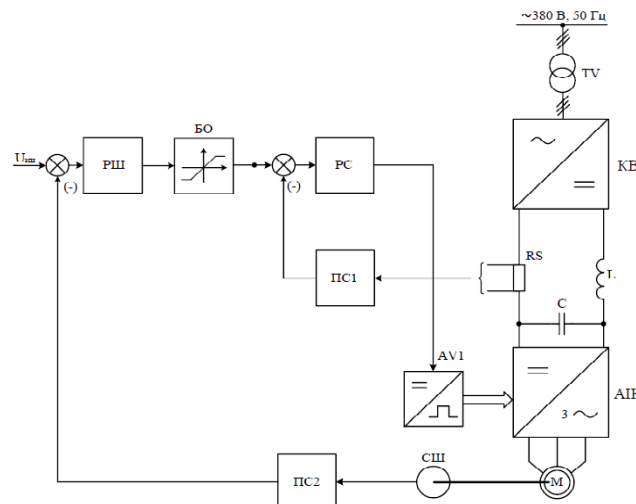


Рисунок 2.1 Функціональна схема системи частотно-керованого електропривода

БО – блок обмеження;

ПС1, ПС2 – перетворювачі сигналу;

AV1 – пристрій керування;

RS – шунт.

Система керування виконана двоконтурною з регуляторами швидкості (РШ) та струму (РС). Сигнал зворотного зв'язку за струмом береться з сенсора струму (RS), який знаходиться в колі постійного струму.

Регулятор швидкості забезпечує формування сигналу керування контуру струму. Сенсор зворотного зв'язку за швидкістю (СШ) забезпечує формування контуру швидкості. Застосування зворотніх зв'язків забезпечує бажану статичну точність швидкості обертання та динаміку привода.

### 3. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА

3.1 Розрахунок навантажень та побудова механічної характеристики та навантажувальної діаграми ліфтового механізму

Технологічні параметри механізму:

номінальна швидкість підйому 0,35 м/с;

максимальна висота підйому 16,5 м;

тривалість включення 40%.

Технологічний процес є циклом, що складається з: підйому кабіни, опускання вантажу, завантаження, підйому вантажу на висоту шести метрів, опускання вантажу, розвантаження.

Статична потужність при підйомі вантажу:

$$P_{ср}^{\uparrow} = \frac{g \cdot (m_{ном} + m_{к}) \cdot v_{ном}}{1000 \cdot \eta_{пном}} = \frac{9,81 \cdot (20000 + 600) \cdot 0,35}{1000 \cdot 0,8} = 88,413 \text{ кВт}$$

где  $m_{к}$  - маса підвіски, кг

$m_{ном}$  - номінальна маса вантажу, кг

$v_{ном}$  - номінальна швидкість підйому (опускання) вантажу, м/с

$\eta_{пном}$  - номінальний ККД кінематичної схеми, що дорівнює добутку її окремих елементів

$g$  - прискорення сили тяжіння, м/с<sup>2</sup>

Статична потужність при опусканні вантажу:

$$P_{ср}^{\downarrow} = \frac{g \cdot (m_{ном} + m_{к}) \cdot v_{ном}}{1000 \cdot \eta_{пном}} \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta_{пном}}\right) = \frac{9,81 \cdot (20000 + 600) \cdot 0,35}{1000 \cdot 0,8} \cdot \left(2 - \frac{1}{0,8}\right) = 53047 \text{ Вт}$$

Статична потужність при підйомі:

$$P_{ск}^{\uparrow} = \frac{g \cdot m_k \cdot 2v_{ном}}{\eta_n} = \frac{9,81 \cdot 600 \cdot 0,7}{0,28} = 11036 \text{ Вт}$$

$\eta_n$  - ККД передачі, величина якого залежить як від кінематичного ланцюга, так і від величини завантаження і визначається як

$$\eta_n = \frac{1}{\frac{1}{\eta_{ном}} + \frac{\alpha}{k_3} - \alpha} = \frac{1}{\frac{1}{0,85} + \frac{0,07}{0,029} - 0,07} = 0,28$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт, що приймається рівним 0,07

$k_3$  - коефіцієнт завантаження

$$k_3 = \frac{m_k}{m_{ном} + m_k} = \frac{600}{20000 + 600} = 0,028$$

Статична потужність при опусканні гака:

$$P_{ск}^{\downarrow} = P_{ск}^{\uparrow} (2\eta_n - 1) = 11036 (2 \cdot 0,28 - 1) = -4856 \text{ Вт}$$

Розрахуємо тепер час виконання технологічних операцій:

$$t_{гр}^{\uparrow} = \frac{H}{v_{ном}} = \frac{16,5}{0,35} = 47,1 \text{ с}$$

$$t_{кр}^{\uparrow} = \frac{H}{2 \cdot v_{ном}} = \frac{16,5}{2 \cdot 0,35} = 23,6 \text{ с}$$

$$t_p = 2 \cdot 47,1 + 2 \cdot 23,6 = 141,5 \text{ с}$$

Розрахуємо час циклу:



$$PB = \frac{t_p}{t_u} \cdot 100\% = 40\%$$

$$t_u = \frac{t_p}{PB} = \frac{141,5}{0,4} = 353,8c$$

Оскільки  $t_{ц} = 5,89$  хв  $< 10$  хв, то режим роботи повторно-короткочасний.

Сумарний час пауз:

$$\Sigma t_0 = t_{ц} - t_p = 353,8 - 141,5 = 212,3 c$$

$$\Sigma t_0 = t_{01} + t_{02} + t_{03} + t_{04}$$

Примем  $t_{01} = t_{03} = 53 c$

$$t_{02} = t_{04} = 53 c$$

За результатами розрахунків будуємо швидкісну та навантажувальну діаграми механізму.

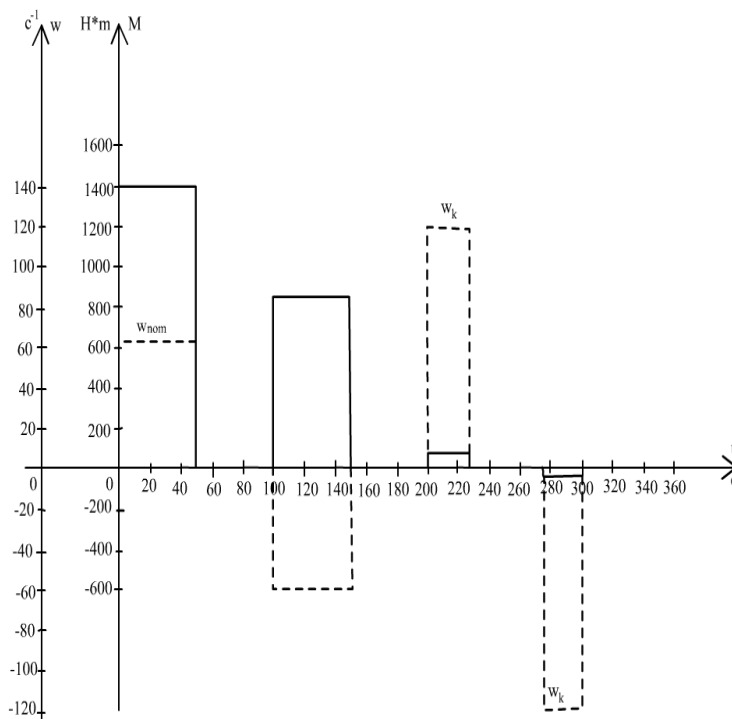


Рисунок 3.1. Швидкісна та навантажувальна діаграми механізму

### 3.2 Попередній вибір електродвигуна за потужністю

Визначаємо еквівалентну потужність. Статична еквівалентна потужність за робочий період:

$$P_{ce} = \sqrt{\frac{(P_{ск}^{\uparrow 2} + P_{ск}^{\downarrow 2}) \cdot t_{кр}^{\uparrow} + (P_{зр}^{\uparrow 2} + P_{зр}^{\downarrow 2}) \cdot t_{зр}^{\uparrow}}{2 \cdot t_{кр}^{\uparrow} + 2 \cdot t_{зр}^{\uparrow}}} =$$

$$\sqrt{\frac{(11036^2 + 4856^2) \cdot 23,57 + (11036^2 + 4856^2) \cdot 47,1}{14,5}} = 59730 \text{ Вт}$$

Перерахуємо цю потужність на ТВ=100%:

$$P_{ce} (ТВ = 100\%) = P_{ce} (ТВ = 40\%) \cdot \sqrt{\frac{40}{100}} = 59730 \cdot 0,63 = 45331 \text{ Вт}$$

### 3.3 Вибір номінальної швидкості двигуна та типорозміру двигуна

$$P_{розр} = P_{ce} \cdot K_{зап} = 45331 \cdot 1,2 = 54397,2 \text{ Вт}$$

де  $K_{зап} = 1,05$  - коефіцієнт запасу

З формули знаходимо  $n_{ном}$  :

$$j_{ред} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{ном}}{v_{ном} \cdot 60 \cdot i}$$

$$n_{ном} = \frac{j_{ред} \cdot v_{ном} \cdot 60 \cdot i}{\pi D} = \frac{32,4 \cdot 0,35 \cdot 60 \cdot 4}{3,14 \cdot 1,45} = 597 \text{ об/мин}$$

З [1] відповідно до прийнятого  $P_{розр}$  вибираємо двигун так, щоб  $P_n \geq P_{розр}$ .

Вибираємо двигун 4АН280М10У3 на синхронну швидкість  $n_0 = 600$  об/хв.

Параметри вибраного двигуна з [1]:

- номінальна потужність  $P_n = 55$  кВт,
- Номінальна напруга  $U_n = 380/220$  В,

- номінальне ковзання  $s_{\text{НОМ}} = 0,5\%$ ,
  - номінальний ккд  $\eta_{\text{НОМ}} = 90,5\%$ ,
  - номінальний коефіцієнт потужності  $\cos \varphi_{\text{НОМ}} = 0,81\%$ ,
- кратність максимального моменту  $M_{\text{max}} / M_{\text{НОМ}} = 2$ ,
- кратність пускового моменту  $M_n / M_{\text{НОМ}} = 1$ ,
- критичне ковзання  $s_k = 10\%$ ,
  - кратність пускового струму  $I_{\text{п}}/I_{\text{НОМ}} = 5$ ,
  - момент інерції двигуна  $J_{\text{дв}} = 4,0 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

Параметри схеми заміщення двигуна у відносних одиницях:

$$X_{\mu}^* = 2.3;$$

$$R_1^* = 0,03;$$

$$X_1^* = 0,14;$$

$$R_2'^* = 0,035;$$

$$X_2'^* = 0,17.$$

Розрахуємо параметри електродвигуна:

Опір фази, Ом

$$Z_{\phi} = \frac{U_{\phi H}}{I_{1H}},$$

где  $I_{1H}$  - номінальний фазний ток статора, А,

$$I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{\phi H} \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H},$$

$$I_{1H} = \frac{55000}{3 \cdot 220 \cdot 0,905 \cdot 0,81} = 114 \text{ А}$$

$$Z_{\phi} = \frac{220}{114} = 1.92 \text{ Ом.}$$

$$X_{\mu} = X_{\mu}^* \cdot Z_{\phi} = 2.3 \cdot 1.92 = 4.42 \text{ Ом;}$$

$$R_1 = R_1^* \cdot Z_{\phi} = 0,036 \cdot 1.92 = 0.069 \text{ Ом;}$$

$$X_1 = X_1^* \cdot Z_\phi = 0,14 \cdot 1,92 = 0,26 \text{ Ом};$$

$$R'_2 = R_2^* \cdot Z_\phi = 0,035 \cdot 1,92 = 0,067 \text{ Ом};$$

$$X'_2 = X_2^* \cdot Z_\phi = 0,17 \cdot 1,92 = 0,32 \text{ Ом};$$

Індуктивний опір короткого замикання, Ом

$$X_K = X_1 + X'_2 = 0,26 + 0,29 = 0,55 \text{ Ом}.$$

### 3.4 Побудова навантажувальної діаграми електроприводу

Навантажувальна діаграма електроприводу використовується для попередньої перевірки двигуна нагріву і перевантажувальної здатності. Спочатку визначимо сумарний момент інерції електроприводу у разі підйому груза ( $J_1$ ), ( $J_2$ ).

З метою обмеження динамічних навантажень, забезпечення надійного зчеплення механізмів пересування з рейками та канатів зі шківками в підйомнику, а також формування необхідних перехідних процесів прискорення механізмів обмежується. Лінійне прискорення приймаємо:  $a_{\text{доп}} = 0,2 \text{ м/с}^2$ .

Номинальна швидкість двигуна:

$$\omega = \frac{\pi n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 597}{30} = 62,48 \text{ с}^{-1},$$

Радіус приведення:

$$\rho = \frac{v_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{0,35}{62,48} = 5,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{рад}}$$

Допустиме кутове прискорення (уповільнення):

$$\varepsilon_{\text{доп}} = \frac{a_{\text{доп}}}{\rho} = \frac{0,2}{5,6 \cdot 10^{-3}} = 35,7 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.$$

Приймаємо момент інерції барабана заданим:  $J_6 = 1200 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

Момент інерції електроприводу під час підйому вантажу:

$$J_1 = \delta \cdot J_{\partial} + \frac{J_{\bar{\sigma}}}{J_{ред}^2} + (m_{ван} + m_2) = 1,2 \cdot 6,4 + \frac{1200}{32,4^2} + (20000 + 600) \cdot (5,6 \cdot 10^{-3})^2 = 9,46 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

де  $\delta = 1,2$  - коефіцієнт, що враховує момент інерції частин механізму, що обертаються.

Момент інерції електроприводу при підйомі:

$$J_1 = \delta \cdot J_{\partial} + \frac{J_{\bar{\sigma}}}{J_{ред}^2} + m_2 \cdot \rho^2 = 1,2 \cdot 6,4 + \frac{1200}{32,4^2} + 600 \cdot (5,6 \cdot 10^{-3})^2 = 8,82 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Час розгону при підйомі та опусканні гака:

$$t_{m,к}^{\uparrow} = t_{m,к}^{\downarrow} = \frac{2 \cdot v_{ном}}{a_{дон}} = \frac{2 \cdot 0,35}{0,2} = 3,5 \text{ с}$$

$$t_{m,сп}^{\uparrow} = t_{m,сп}^{\downarrow} = \frac{v_{ном}}{a_{дон}} = \frac{0,35}{0,2} = 1,75 \text{ с}$$

Динамічний момент електроприводу  $M_{дин}$  визначимо, ухвалюючи лінійний закон зміни швидкості.

$$M_{дин} = J \frac{dw}{dt} = J \cdot \varepsilon_{дон},$$

Динамический момент электропривода  $M_{дин}$ :

$$M_{дин1} = J_1 \cdot \varepsilon_{дон} = 9,46 \cdot 35,71 = 337,81 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{дин2} = J_2 \cdot \varepsilon_{дон} = 8,82 \cdot 35,71 = 315 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

На кожному інтервалі навантажувальної діаграми момент двигуна будемо розраховувати за такою формулою:  $M = M_c + M_{дин} = M_c + J\varepsilon_{дон}$

Розрахуємо статичні моменти на всіх етапах циклу:

$$M_{c,к}^{\uparrow} = \frac{P_{c,к}^{\uparrow}}{2 \cdot \omega_{ном}} = \frac{11036}{2 \cdot 62,48} = 88,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c,к}^{\downarrow} = \frac{P_{c,к}^{\downarrow}}{2 \cdot \omega_{ном}} = \frac{-4856}{2 \cdot 62,48} = -38,86 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c, \varepsilon p}^{\uparrow} = \frac{P_{c, \varepsilon p}^{\uparrow}}{\omega_{ном}} = \frac{88413}{62.48} = 1415 H \cdot m$$

$$M_{c, \varepsilon p}^{\downarrow} = \frac{P_{c, \varepsilon p}^{\downarrow}}{\omega_{ном}} = \frac{53047}{62.48} = 850 H \cdot m$$

Електромагнітний момент при розгоні та опусканні:

$$M_1 = M_{c, \kappa}^{\downarrow} - M_{дин2} = -38.86 - 315 = -353.86 H \cdot m$$

$$t_1 = t_{m, \kappa}^{\uparrow} = 3.5 c$$

Електромагнітний момент при опусканні гака із постійною швидкістю:

$$M_2 = M_{c, \kappa}^{\downarrow} = -38.86 H \cdot m$$

$$t_2 = t_{m, \kappa}^{\uparrow} - 2 \cdot t_1 = 31.4 - 2 \cdot 3.7 = 24 c$$

Електромагнітний момент при гальмуванні та опусканні:

$$M_3 = M_{c, \kappa}^{\downarrow} + M_{дин2} = -38.86 + 315 = 276.14 H \cdot m$$

$$t_1 = t_{m, \kappa}^{\uparrow} = 3.5 c$$

Електромагнітний момент при розгоні та підйомі вантажу:

$$M_4 = M_{c, \varepsilon p}^{\uparrow} + M_{дин1} = 1415 + 337.81 = 1752.81 H \cdot m$$

$$t_4 = t_{m, \varepsilon p}^{\uparrow} = 1.75 c$$

Електромагнітний момент під час підйому вантажу з постійною швидкістю:

$$M_5 = M_{c, \varepsilon p}^{\uparrow} = 1415 H \cdot m$$

$$t_5 = t_{\varepsilon p}^{\uparrow} - 2 \cdot t_4 = 47.14 - 2 \cdot 1.75 = 43.64 c$$

Електромагнітний момент при гальмуванні та підйомі:

$$M_6 = M_{c, \varepsilon p}^{\uparrow} - M_{дин1} = 1415 - 337.81 = 1077.2 H \cdot m$$

$$t_6 = t_{m, \varepsilon p}^{\uparrow} = 1.75 c$$

Електромагнітний момент при розгоні та опусканні вантажу:

$$M_7 = M_{c,zp}^{\downarrow} - M_{\text{дин}1} = 850 - 337.81 = 512.2 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$t_7 = t_{m,zp}^{\uparrow} = 1.75 \text{ с}$$

Електромагнітний момент під час опускання вантажу з постійною швидкістю:

$$M_8 = M_{c,zp}^{\downarrow} = 850 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$t_8 = t_5 = 43.64 \text{ с}$$

Електромагнітний момент при гальмуванні та опусканні вантажу:

$$M_9 = M_{c,zp}^{\downarrow} + M_{\text{дин}1} = 850 + 337.81 = 1187.81 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$t_9 = t_{m,zp}^{\uparrow} = 1.75 \text{ с}$$

Електромагнітний момент при розгоні та підйомі:

$$M_{10} = M_{c,\kappa}^{\uparrow} + M_{\text{дин}2} = 88.3 + 315 = 403.3 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$t_{10} = t_{m,\kappa}^{\uparrow} = 3.5 \text{ с}$$

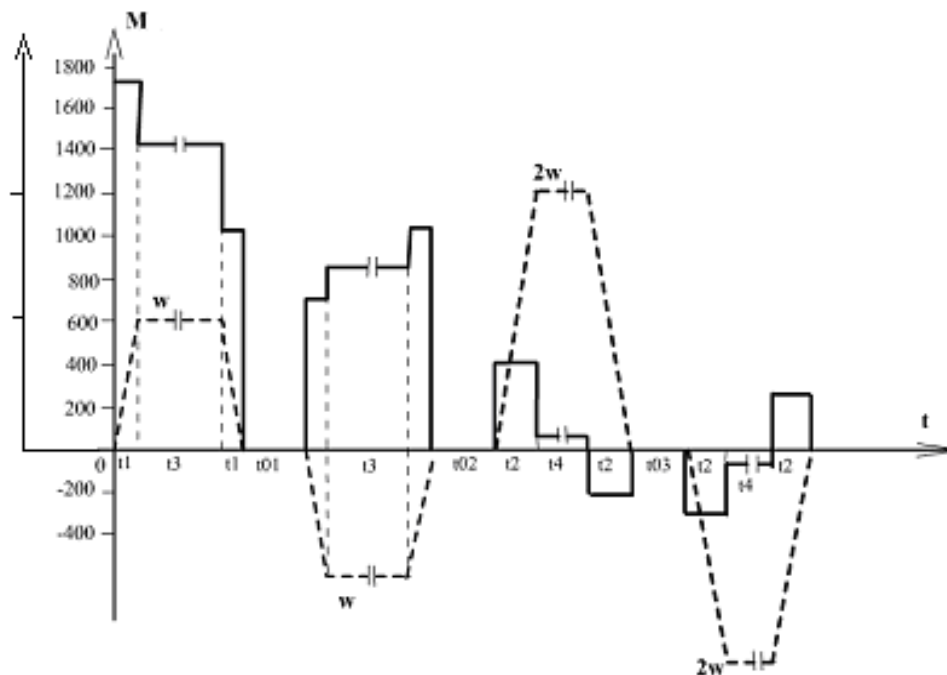


Рисунок 3.2. Навантажувальна та швидкісна діаграми електроприводу

Електромагнітний момент під час підйому з постійною швидкістю:

$$M_{11} = M_{c,k}^{\uparrow} = 88.3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$t_{11} = t_2 = 24 \text{ с}$$

Електромагнітний момент при гальмуванні та підйомі гака:

$$M_{12} = M_{c,k}^{\uparrow} - M_{\text{дин}2} = 88.3 - 315 = -226.7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$t_{12} = t_{m,k}^{\uparrow} = 3.5 \text{ с}$$

За результатами розрахунків будемо діаграму електроприводу.

### 3.5 Перевірка двигуна з нагрівання та перевантажувальної здатності

Спрощена навантажувальна діаграма електроприводу використовується для перевірки двигуна по нагріванню та здатності до перевантаження. Електропривод працює у циклічному режимі зі змінним навантаженням. Для перевірки двигуна нагрівання використовуємо метод еквівалентного моменту. Умовою правильного вибору двигуна з нагрівання буде:

$$M_e \leq M_{\text{ном}}$$

У повторно-короткочасному режимі еквівалентний момент визначається лише для робочих ділянок.

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n t_{p,i} \cdot M_{p,i}^2}{\alpha_0 \cdot \sum_{i=1}^m t_{n,m,i} + \sum_{i=1}^N t_{y,i}}}$$

де

$M_{pi}$  - момент на  $i$ -му інтервалі,

$t_{pi}$  - тривалість роботи на  $i$ -му інтервалі - кількість робочих інтервалів у

циклі, - кількість інтервалів спуску та гальмування, - кількість інтервалів встановленого руху,

$t_{n.z.i}$  - тривалість пуску (гальмування) на  $i$ -му інтервалі,

$\alpha_0$  - коефіцієнт, що враховує погіршення охолодження під час пуску (гальмування),



$t_{y,i}$  - тривалість руху, що встановився, на  $i$ -му інтервалі.

$$M_e = \sqrt{\frac{(1,75(1752,81^2 + 1077,2^2 + 512,2^2 + 1187,81^2) + 43,64(1415^2 + 850^2))}{0,7 \cdot 2 \cdot (1,75 + 3,7) + 2(43,64 + 24)} + \frac{3,7((-353,7)^2 + 274,16^2 + 403,3^2 + (-226,7)^2)}{0,7 \cdot 2 \cdot (1,75 + 3,7) + 2(43,64 + 24)}} = 912,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$\alpha_o = \frac{1 + \beta_o}{2} = \frac{1 + 0,4}{2} = 0,7$$

де  $\beta_o$  - коефіцієнт погіршення умов охолодження самовентильованого двигуна при відключенні.

Цей еквівалентний момент знайдено при  $TB=40\%$ , перерахуємо його на  $TB=100\%$ :

$$M_e = (TB = 100\%) = M_e (TB = 40\%) \cdot \sqrt{\frac{40}{100}} = 576,9 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{w_{ном}} = \frac{55000}{62,48} = 880 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

По наближеній навантажувальній діаграмі також перевіряється двигун перевантажувальної здатності, т.к. максимальний момент у навантажувальній діаграмі дорівнює 1752, то:

$$\frac{M_{\max}}{M_{ном}} = \frac{1752}{880} = 1,99 < \lambda_m = 2,0$$

Отже, двигун за перевантажувальною здатністю підходить.

## 4. ПРОЕКТУВАННЯ СИЛОВОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ І ВИБІР КОМПЛЕКТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

4.1 Визначення можливих варіантів та обґрунтування вибору типу комплектного перетворювача

Як комплектний перетворювач можна використовувати перетворювач частоти зі скалярним керуванням, або з векторним керуванням. Так як у нас перетворювач має забезпечувати невеликий діапазон регулювання, то для наших цілей підходить частотний перетворювач зі скалярним керуванням.

Силова частина перетворювача повинна мати у своєму складі такі компоненти: випрямляч, інвертор, фільтр, резистор гальмування, вузли захисту.

Так як амплітуда напруги та частота регулюється перетворювачем в інверторі, випрямляч може бути виконаний на діодах, а при некерованому випрямлячі схема повинна мати гальмівний резистор.

Виходячи із струму та потужності обраного нами двигуна, вибираємо перетворювач.

В даний час існує багато перетворювачів, які відповідають нашим вимогам, наприклад, Hitachi, Siemens, ABB та багато інших.

Принципових відмінностей між ними немає, єдина їхня відмінність це їхня ціна та якість.

Вибираємо комплектний перетворювач фірми АВВ типу ACS 601-0070-3.

Технічні дані вибраного перетворювача:

номінальна потужність, 55кВт;

номінальний вихідний струм перетворювача, 115А;

струм короткочасного навантаження, 123А;

трифазна напруга живлення, 380, 50Гц

маса перетворювача, 50 кг;

$f_k = 1$  кГц.

#### 4.2 Розрахунок параметрів та вибір елементів силового ланцюга

Силовий ланцюг, вибраного нами перетворювача частоти має наступний склад:

випрямляч - як елементи випрямляча використовуються діоди;

інвертор - як ключі інвертора використовується комплект IGBT транзисторів зі зворотними діодами, регулювання частоти на виході інвертора здійснюється шляхом зміни частоти перемикання ключів інвертора, а регулювання величини напруги на виході інвертора здійснюється за рахунок широтно-імпульсної модуляції;

блок гальмування - використовується для резистивного частотного гальмування;

LC - фільтр - для фільтрації напруги;

анодні реактори - використовуються для фільтрації комутаційних перешкод та обмеження швидкості наростання струму короткого замикання.

ланцюги захисту від перенапруг;

струмообмежуючий опір;

З вище сказаного, силова схема електроприводу має вигляд, показаний на рисунку 4.1.

Схема силової частини електроприводу представлена на рисунку 4.1 і

включає наступні силові елементи:

L1...L3 - струмообмежувальні реактори, призначені для обмеження швидкості наростання струму;

R<sub>Г</sub> - гальмівний опір;

C - ємність випрямляча;

VT1...VT6 - транзистори силового блоку інвертора ;

R<sub>CO</sub> - струмообмежуючий опір;

VD1...VD6 - діоди випрямляча.

VD7...VD12 - зворотні діоди інвертора;

ДС - датчик струму;

ЦЗП - ланцюги захисту від перенапруг;

L<sub>др</sub> - згладжуючий дросель.

Як силові ключі рекомендується використовувати модулі IGBT, до складу якого входять біполярні транзистори з ізольованими затворами та зворотні діоди.

Попередній вибір:

Номінальний фазний струм статора:

$$I_{ном} = 114 \text{ A}$$

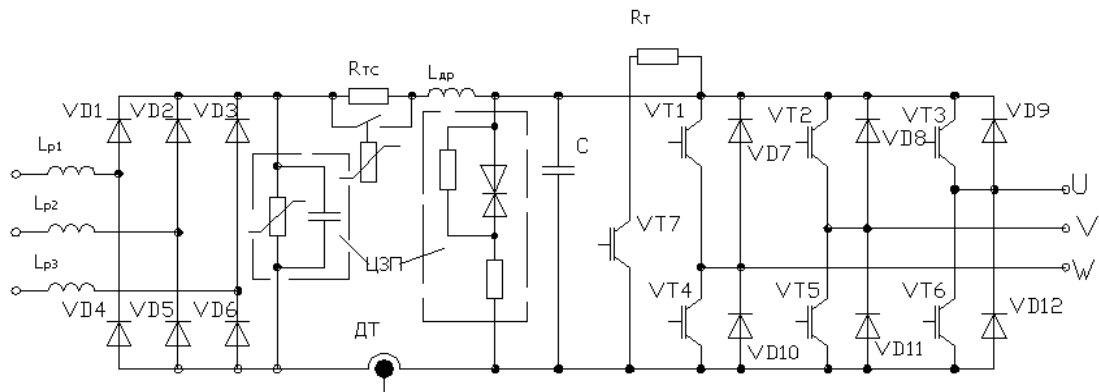


Рисунок 4.1. Принципова схема силового ланцюга електроприводу

Середній струм через силовий ключ:

$$I_{н.ср.} \geq k_3 \cdot I_{max},$$

де  $k_3$  - коефіцієнт запасу, що враховує перевантаження струму при комутації ключа,  $k_3 = 2$ ; - амплітудне значення струму в плечі силового ланцюга інвертора:

$$I_{max} = \sqrt{2} \cdot I_{ном} = \sqrt{2} \cdot 114 = 164.2 \text{ А}$$

де  $I_{ном}$  - номінальний струм двигуна, А.

Вираз для  $I_{н.ср.}$  набуде вигляду:

$$I_{н.ср.} \geq 2 \cdot 164,2 = 322,4 \text{ А.}$$

Робоча напруга на силовому ключі:

$$U_{роб.} \geq U_{max} + \Delta U_{п.н.},$$

де  $U_{max}$  - амплітудне значення напруги в силовому ланцюзі інвертора, В;

$\Delta U_{п.н.}$  - комутаційна перенапруга на ключі, В.

$$U_{max} = \sqrt{2} \cdot U_{л} = \sqrt{2} \cdot 380 = 537,4 \text{ В,}$$

де  $U_{л} = 380 \text{ В}$  - лінійна напруга мережі.

З урахуванням рекомендацій приймається значення перенапруги

$$\Delta U_{п.н} = 600 \text{ В.}$$

Вираз набуває вигляду:

$$U_{\text{роб.}} \geq 537,4 + 600 = 1137,4 \text{ В.}$$

Виходячи з отриманих результатів за каталогом [2] вибираються силові модулі IRGPH50KD2 у вигляді напівмосту зі зворотними діодами.

Максимально допустима напруга, що прикладається до вентиля, не повинна перевищувати допустимого значення імпульсної напруги, що повторюється.:

$$k_{\text{зн}} \cdot k_c \cdot U_{\text{обр.м}} \leq U_{\text{DRM}}$$

де:

$$k_{\text{зн}} - \text{коефіцієнт запасу за напругою, } k_{\text{зн}} = (1,3 \div 1,5);$$

$k_c$  - коефіцієнт, що враховує можливе підвищення напруги в мережі;

$$k_c = 1,1.$$

$U_{\text{обр.м}}$  - максимальна зворотна напруга на вентилі;

$$U_{\text{обр.м}} = \sqrt{6} \cdot U_{\phi},$$

де  $U_{\phi}$  - значення напруги мережі живлення,  $U_{\phi} = 220 \text{ В}$ ;

$$U_{\text{обр.м}} = \sqrt{6} \cdot 220 = 538,88 \text{ В.}$$

$$1,4 \cdot 1,1 \cdot 538,88 = 829,87 \leq (1200)$$

Зробимо вибір конденсаторів силового фільтра:

Сумарна ємність конденсаторів силового фільтра:

$$C = \frac{U_d T_H}{3 R_H \Delta U_c},$$

де  $U_d$  - середнє значення випрямленої напруги, В;

$T_H = 0,001$  - постійне часу навантаження (частота комутації транзисторів),

$c$ ;  $R_H = 0,069 \text{ Ом}$  - активний опір навантаження, Ом;

$\Delta U_c$  - допустиме підвищення напруги на конденсаторі.

Середнє значення випрямленої напруги:  $U_d = k_{cx} \cdot U_\phi = 2,34 \cdot 220 = 514,8 \text{ В}$ ,  
де  $U_\phi = 220 \text{ В}$  - фазна напруга мережі;  $k_{cx} = 2,34$  - коефіцієнт схеми для  
трифазного випрямляча.

Допустиме підвищення напруги на конденсаторі:

$$\Delta U_c = 0,1 \cdot U_d = 0,1 \cdot 514,8 = 51,5 \text{ В.}$$

Активний опір навантаження:  $R = 3R_H \cdot 1/2 = 3 \cdot 0,069/2 = 0,1 \text{ Ом.}$

Вираз набуде вигляду:

$$C = \frac{514,8 \cdot 0,001}{3 \cdot 0,1 \cdot 51,5} = 33 \cdot 10^{-3} \text{ Ф.}$$

Визначається максимальна допустима напруга на конденсаторі:

$$U \geq \sqrt{2} \cdot U_d$$

$$U \geq \sqrt{2} \cdot 514,8 = 762,8 \text{ В.}$$

На основі результатів отриманих виразів вибираються конденсатори  
силового фільтра.

### 4.3 Вибір датчиків регульованих координат електроприводу

Датчик струму для частотного керування асинхронним двигуном з IR-  
компенсацією треба вибрати на основі вимірювання миттєвих значень струмів у  
фазах АД, потім сформуванати сигнал діючого значення фази струму.

$$i_\alpha = i_a$$

$$i_\beta = \frac{i_b - i_c}{\sqrt{3}}$$

$$I_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{i_\alpha^2 + i_\beta^2}$$

Вибираємо 3 датчики струму виробництва фірми LEM на основі елементів

Холла серії HAS по номінальному струму статора ( $I_H = 114 \text{ A}$ ).

Основні технічні дані датчика струму типу HAS 120 S/SP1:

- Номінальний первинний струм,  $I_{PN} = 120 \text{ A}$ ;
- Діапазон перетворення,  $\pm 360 \text{ A}$ ;
- Напряга живлення,  $+5 \text{ В}$ .

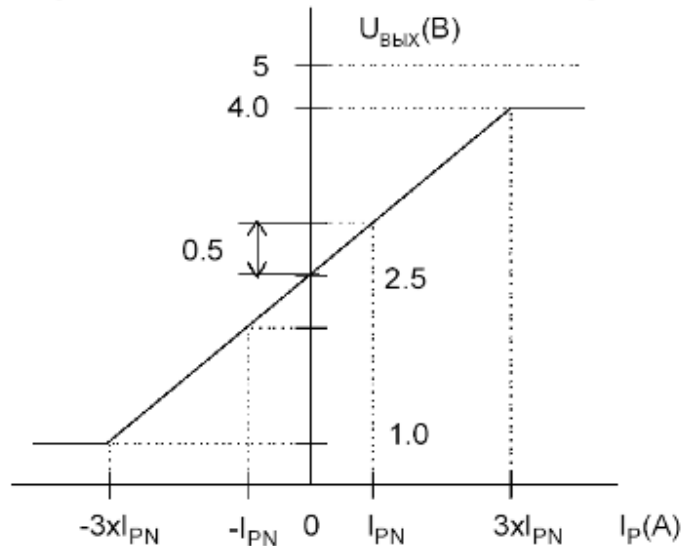


Рисунок 4.2. Характеристика датчиків струму серії HAS

## 5. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

### 5.1 Розробка математичної моделі автоматизованого електроприводу

В даний час сформувався новий підхід до побудови систем асинхронного електроприводу з перетворювачем частоти, заснований на повних диференціальних рівняннях асинхронного двигуна записаних на базі теорії узагальненої електричної машини. Такий підхід дозволяє побудувати структуру системи керування частотним електроприводом, звану системою частотного керування, та здійснити аналіз та синтез асинхронного електродвигуна найпростішими методами. Для цієї мети керовані координати електроприводу, змінені в нерухомій системі координат, перетворюються до системи координат,



що обертається, в якій координати електроприводу розглядаються як векторні величини. З цих величин, розташованих у вигляді проекцій на осі координат, що обертаються, шляхом координатних перетворень виділяються пропорційні або постійні величини координат електроприводу, які використовуються як сигнали управління в системі електроприводу. Диференціальні рівняння для узагальненої машини записуються у різних системах координат. Прийняті осі координат  $\alpha$ ,  $\beta$  нерухомі щодо статора та осі  $d$ ,  $q$  - нерухомі щодо ротора. Запис рівнянь у цих осях є окремим випадком математичного опису процесів машини. У загальному випадку рівняння записуються щодо довільних координатних осей, наприклад  $u$ ,  $v$  які обертаються зі швидкістю  $w_k$ , з яких можна отримати будь-які окремі випадки роботи електричної машини. Якщо прийняти вісь  $u$  за дійсну, а вісь  $v$  за уявну, то диференціальні рівняння можуть бути записані у векторній формі.

Характеристики повинні відповідати заданим умовам навантаження та розвантаження. Оскільки операції чергуються, характеристики повинні змінюватися штучним шляхом ручного або автоматичного управління параметрами, або завдяки властивості самоврядування. Всі агрегати в необхідній мірі властивостями самоврядування не володіють, тому характеристики необхідно змінювати штучно за допомогою систем автоматичного управління, так як при ручному управлінні його необхідна якість не забезпечується. Системи управління повинні безперервно забезпечувати такі характеристики агрегатів, у яких продуктивність механізму максимальна.

$$\left. \begin{aligned}
 U_{1u} &= i_{1u} R_1 + \frac{d\psi_u}{dt} - \omega_k \psi_{1g}; \\
 U_{1v} &= i_{1g} R_1 + \frac{d\psi_g}{dt} - \omega_k \psi_{1u}; \\
 0 &= i_{2u} R_2 + \frac{d\psi_{2u}}{dt} - (\omega_k - \omega_{эл}) \psi_{2g}; \\
 0 &= i_{2g} R_2 + \frac{d\psi_{2g}}{dt} - (\omega_k - \omega_{эл}) \psi_{2u}; \\
 M &= p_{II} L_{12} (i_{1g} i_{2u} - i_{1u} i_{2g}); \\
 \psi_{1u} &= L_1 i_{1u} + L_{12} i_{2u}; \\
 \psi_{1g} &= L_1 i_{1g} + L_{12} i_{2g}; \\
 \psi_{2u} &= L_2 i_{2u} + L_{12} i_{1u}; \psi_{2g} = L_2 i_{2g} + L_{12} i_{1g}
 \end{aligned} \right\}$$

Математична модель двофазного асинхронного двигуна в осях  $u$ - $v$  вигляд:

$$\left. \begin{aligned}
 \omega_k &= 0; \\
 \bar{U}_1 &= \bar{i}_1 R_1 + \frac{d\bar{\psi}_1}{dt}; \\
 0 &= \bar{i}_2 R_2 + \frac{d\bar{\psi}_2}{dt} - j\omega_{эл} \bar{\psi}_2; \\
 \bar{M} &= p_{II} L_{12} \operatorname{Im}(\bar{i}_1 \cdot \bar{i}_2^*) = p_{II} L_{12} (i_{1\beta} i_{2\alpha} - i_{1\alpha} i_{2\beta});
 \end{aligned} \right\}$$

$\omega_k$  - швидкість системи координат ;

$i_v, i_u$  - складові струму ;

$\psi_v, \psi_u$  - потокозчеплення;

$R_l$  - опір статора;

$M$  - електромагнітний момент двигуна;

$L_1, L_2$  - індуктивності фаз статора та ротора ;

$L_{12}$  - індуктивність взаємоіндукції;

$U_l$  - напруга на статорі.

Усі змінні цієї моделі змінюються із частотою струму статора.

Імітаційна модель двофазного асинхронного двигуна в осях  $\alpha, \beta$  має

ВИГЛЯД:

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_{1\alpha}}{dt} &= K_1(U_{1\alpha} - i_{1\alpha}R_1) + K_3i'_{2\alpha} + K_2e_{1\beta} \\ \frac{di_{1\beta}}{dt} &= K_1(U_{1\beta} - i_{1\beta}R_1) + K_3i'_{2\beta} - K_2e_{1\alpha} \\ \frac{di'_{2\alpha}}{dt} &= -K_2(U_{1\alpha} - i_{1\alpha}R_1) - K_5i'_{2\alpha} - K_4e_{1\beta} \\ \frac{di'_{2\beta}}{dt} &= -K_2(U_{1\beta} - i_{1\beta}R_1) - K_5i'_{2\beta} - K_4e_{1\alpha} \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{J}(M - |M_c| \text{sign}\omega) \end{aligned} \right\}$$

$$M = K_6(i_{\beta}i'_{2\alpha} - i_{1\alpha}i'_{2\beta});$$

$$e_{1\alpha} = \omega_{\text{эл}}(L_2i'_{2\alpha} + L_{12}i_{1\alpha});$$

$$e_{1\beta} = \omega_{\text{эл}}(L_2i'_{2\beta} + L_{12}i_{1\beta});$$

$$\omega_{\text{эл}} = p_{\text{п}}\omega; K_1 = \frac{L_2}{L_1L_2 - L_{12}^2}; K_2 = \frac{L_{12}}{L_1L_2 - L_{12}^2}; K_3 = K_2R_2';$$

$$K_4 = \frac{L_1}{L_1L_2 - L_{12}^2}; K_5 = K_4R_2'; K_6 = \frac{3}{2}p_{\text{п}}L_{12};$$

$$U_{1\alpha} = U_{1m} \cos[\varphi_{\text{эл}}(t)];$$

$$U_{1\beta} = U_{1m} \sin[\varphi_{\text{эл}}(t)];$$

$$\varphi_{\text{эл}} = 2\pi f_{1\text{НОМ}} \int \alpha(t) dt;$$

$$\alpha(t) = \frac{f_1(t)}{f_{1\text{НОМ}}}$$

Динамічні властивості системи ПЧ-АД як об'єкта управління менш сприятливі, ніж динамічні властивості регульованих електроприводів постійного струму, через відсутність незалежного каналу регулювання потоку, аналогічного обмотці збудження двигуна з незалежним збудженням. Так, при живленні від джерела напруги потікозчеплення  $\psi_1, \psi_2, \psi_m$  складно залежать від

напруги  $U_1$ , частоти  $f_1$  та абсолютного ковзання  $s_a$ .

## 5.2 Розрахунок параметрів об'єкта управління.

Визначимо коефіцієнти  $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$ , для двофазної моделі АД, для цього розрахуємо необхідні параметри :

індуктивність статора

$$L_1 = \frac{x_1 + x_\mu}{2\pi f} = \frac{0,26 + 4,42}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0149 \text{ Гн}$$

індуктивність ротора

$$L_2 = \frac{x_2' + x_\mu}{2\pi f} = \frac{0,29 + 4,42}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,015 \text{ Гн} \quad L_{12} = \frac{x_\mu}{2\pi f} = \frac{4,42}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,014 \text{ Гн}$$

еквівалентна індуктивність ланцюга статора:

$$L_\sigma = L_1 - \frac{L_{12}^2}{L_2} = 0,0149 - \frac{0,014^2}{0,015} = 0,0019 \text{ Гн}$$

$$K_1 = \frac{L_2}{L_1 L_2 - L_{12}^2} = \frac{0,015}{0,0149 \cdot 0,015 - 0,014^2} = 545,45 \frac{1}{\text{Гн}}$$

$$K_2 = \frac{L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} = \frac{0,014}{0,0149 \cdot 0,015 - 0,014^2} = 509,09 \frac{1}{\text{Гн}}$$

$$K_3 = K_2 R_2' = 509,09 \cdot 0,067 = 34,1 \frac{1}{\text{с}}$$

$$K_4 = \frac{L_1}{L_1 L_2 - L_{12}^2} = \frac{0,0149}{0,0149 \cdot 0,015 - 0,014^2} = 541,81,6 \frac{1}{\text{Гн}}$$

$$K_5 = K_4 R_2' = 541,81 \cdot 0,067 = 36,3 \frac{1}{\text{с}}$$

$$K_6 = \frac{3}{2} p_{\Pi} L_{12} = \frac{3 \cdot 3 \cdot 0,014}{2} = 0,063 \text{ Ом}$$

$$R_\sigma = R_1 + R_2' (L_{12}^2 / L_2^2) = 0,069 + 0,067 \cdot \frac{0,014^2}{0,015^2} = 0,127 \text{ Ом}$$

$$T_\sigma = \frac{L_\sigma}{R_\sigma} = \frac{0,0019}{0,127} = 0,0149 \text{ с}$$

$$\psi_1 = \frac{E_{\text{НОМ}}}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{НОМ}}} = \frac{217}{314} = 0,69 \text{ Вб.}$$

## 5.3 Визначення структури та параметрів керуючого пристрою

При регулюванні напруги АД за законом  $\psi_1 = const$  забезпечується сталість модуля жорсткості механічних характеристик  $\beta$ .

Структурна схема автоматизованого електроприводу представлена на рисунку 5.2.

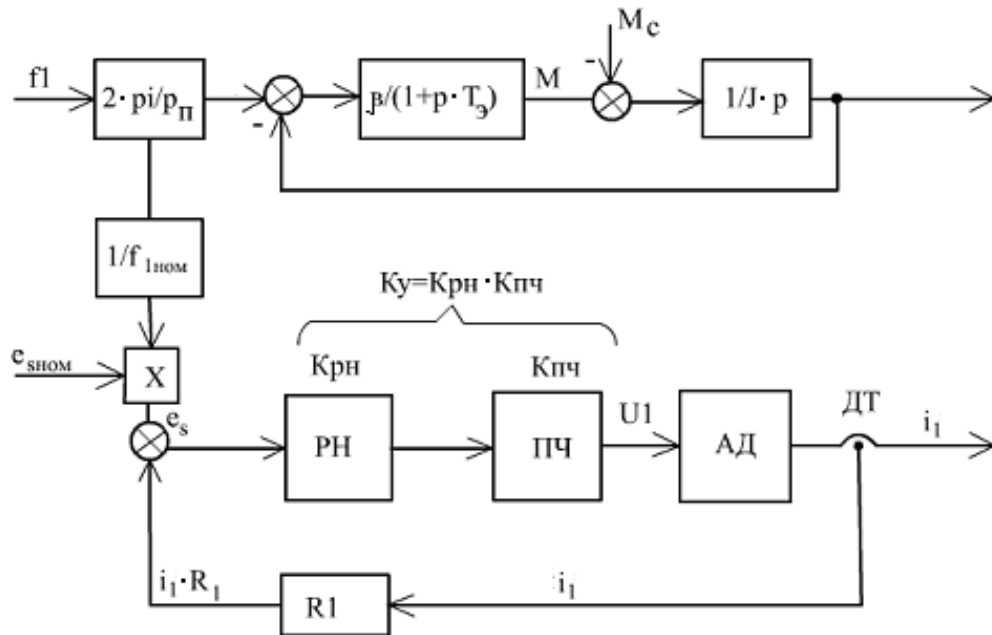


Рисунок 5.2. Структурна схема автоматизованого електроприводу  
У такій системі САУ має забезпечити амплітуду вихідної напруги ПЧ:

$$U_{1m} = \sqrt{2} \cdot K_{\phi} \cdot (\alpha \cdot e_{sн\text{ом}} + i \cdot R_1)$$

де  $K_y$  - коефіцієнт посилення системи управління ;

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{н\text{ом}}} - \text{відносна частота;}$$

$e_{sн\text{ом}}$  - сигнал номінальної ЕРС статора:

$$e_{sн\text{ом}} = \frac{E_{sн\text{ом}}}{K_y},$$

$E_{sн\text{ом}}$  - чинне номінальне значення ЕРС статора;

$i_1$  - сигнал струму статора:

$$i_1 \cdot R_1 = \frac{I_1 \cdot R_1}{K_y}$$

$I_1$  - действующее значение тока статора.

## 6. АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ І СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

### 6.1 Розробка програмного забезпечення для комп'ютерного моделювання автоматизованого електроприводу

Комп'ютерне моделювання проектованої установки виробляємо серед математичного моделювання MATLAB 6.0, з використанням бібліотеки Simulink. Модель побудована з урахуванням отриманих рівнянь.

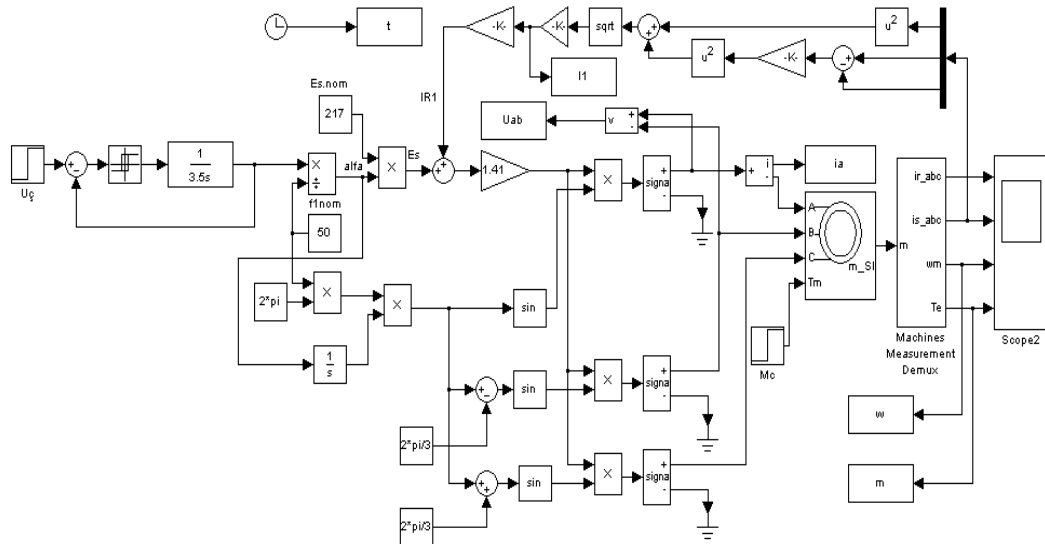


Рисунок 6.1. Імітаційна модель електроприводу

На рисунку 6.1 показана схема моделювання електроприводу, що складається з асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором та перетворювача частоти.

Реалізація задатчика інтенсивності.

Блок Saturation забезпечує лінійне наростання сигналу, релейний блок виконує функцію обмеження сигналу, коефіцієнт  $-K$  служить регулювання інтенсивності наростання, тобто досягнення необхідної швидкості двигуна з певним прискоренням. На вхід задатчика інтенсивності подається ступінчастий сигнал управління  $U$ , який підсумовується з вихідним сигналом інтегратора. На виході задатчика отримуємо сигнал керування, який надходить на регулятор

частоти та функціональний перетворювач.

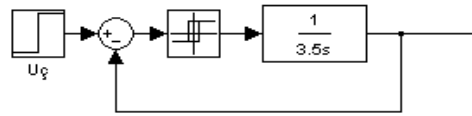


Рисунок 6.2. Схема реалізації задатчика інтенсивності

6.2 Розрахунок та визначення показників якості перехідних процесів

Швидкість при пуску відпрацьовується з перерегулюванням, що дорівнює:

$$h_{\omega} = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} \cdot 100\% = 1,7\%.$$

Час регулювання  $t_D = 1,77\tilde{n}$ .

Зробимо моделювання перехідних процесів для механізму підйому крана.

В результаті моделювання були отримані такі графіки перехідних процесів:



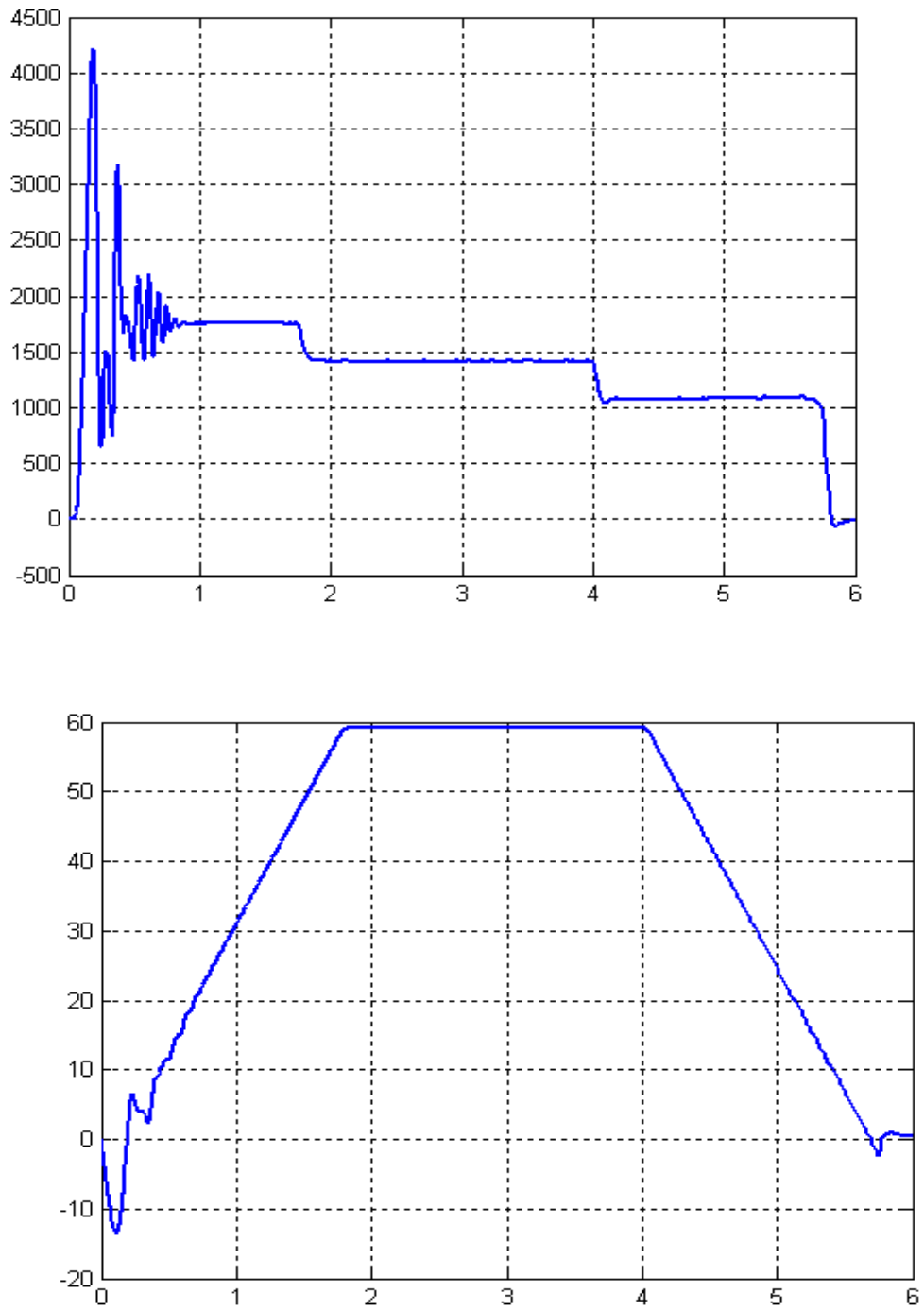


Рисунок 6.3. Підйом вантажу

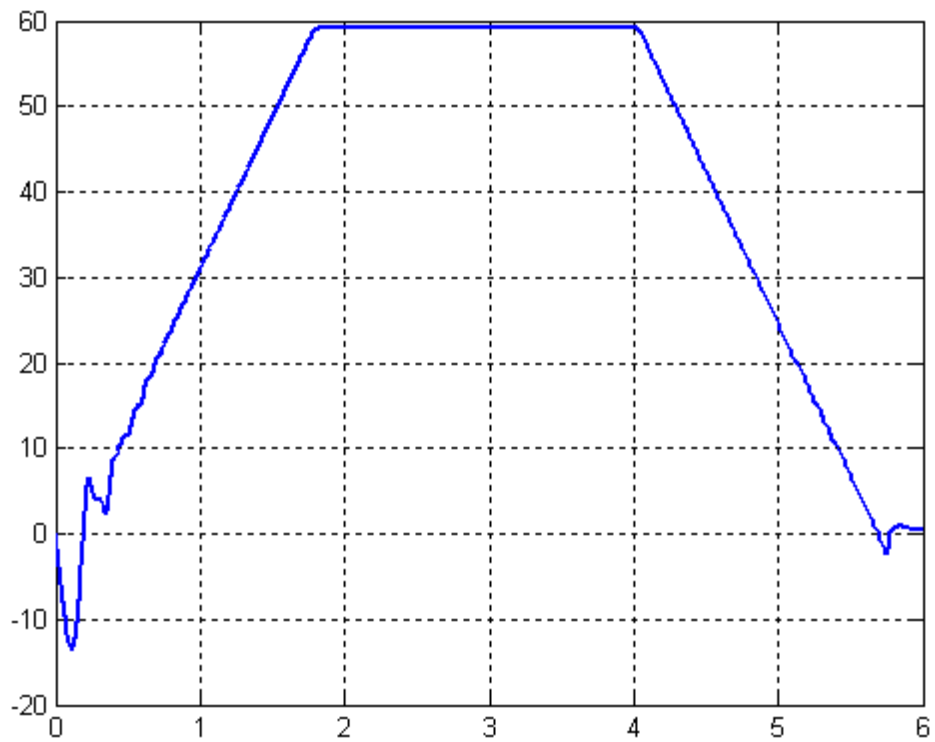
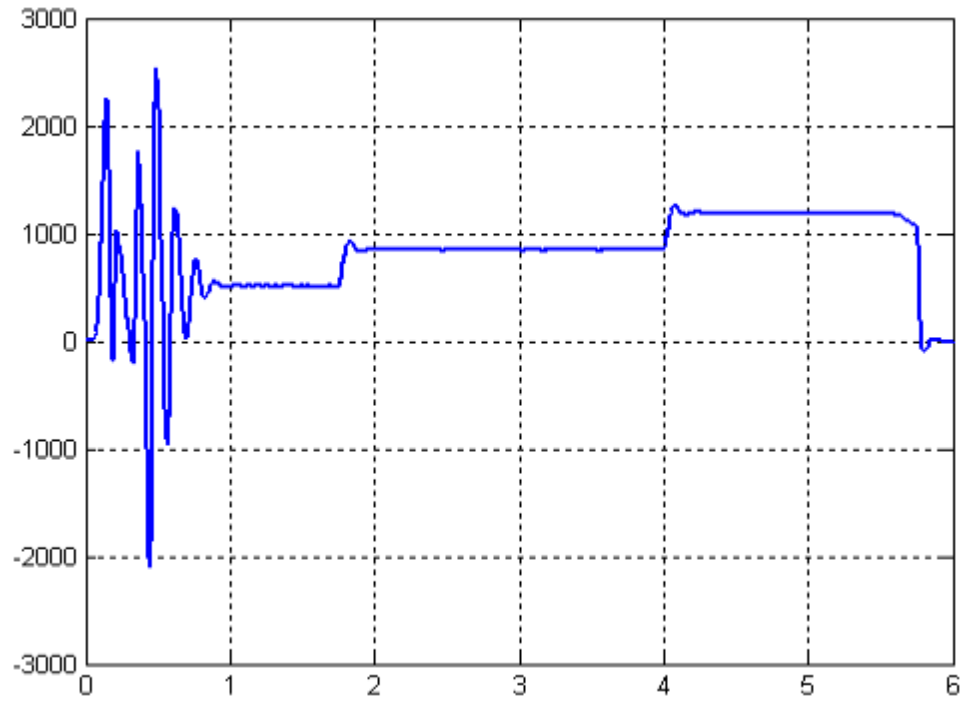


Рисунок 6.4. Опускання вантажу

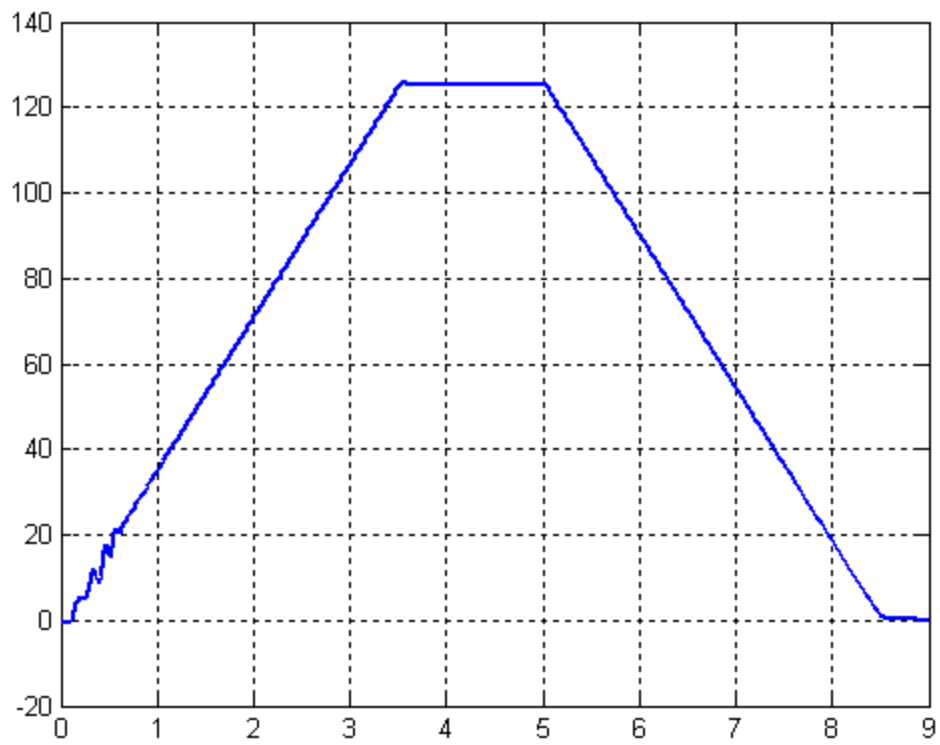
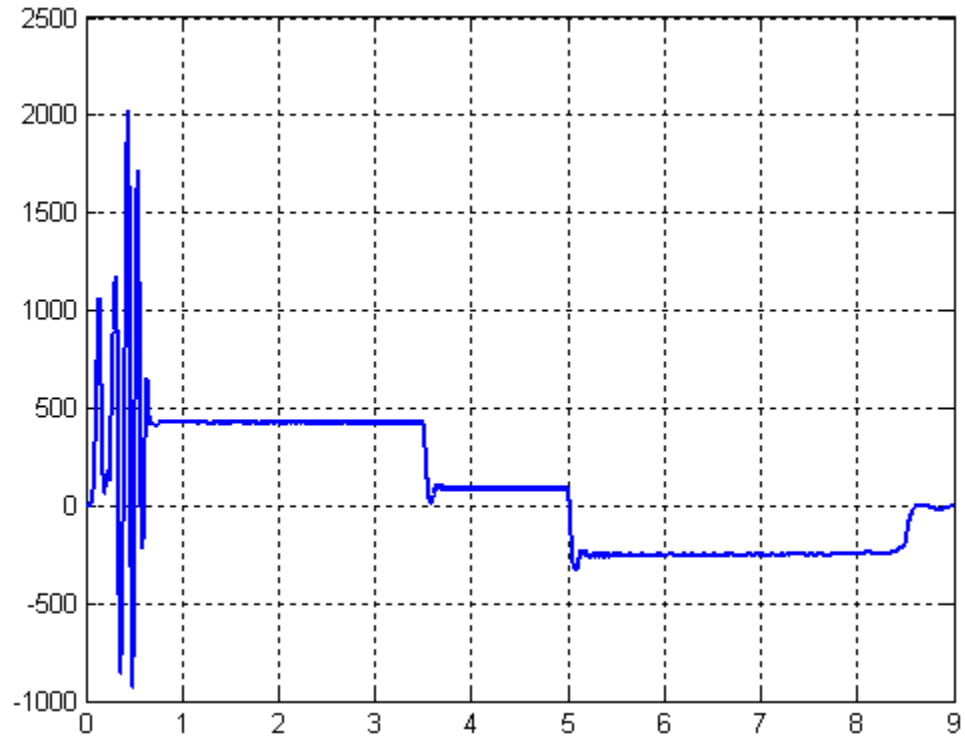


Рисунок 6.5. Підйом кабіни

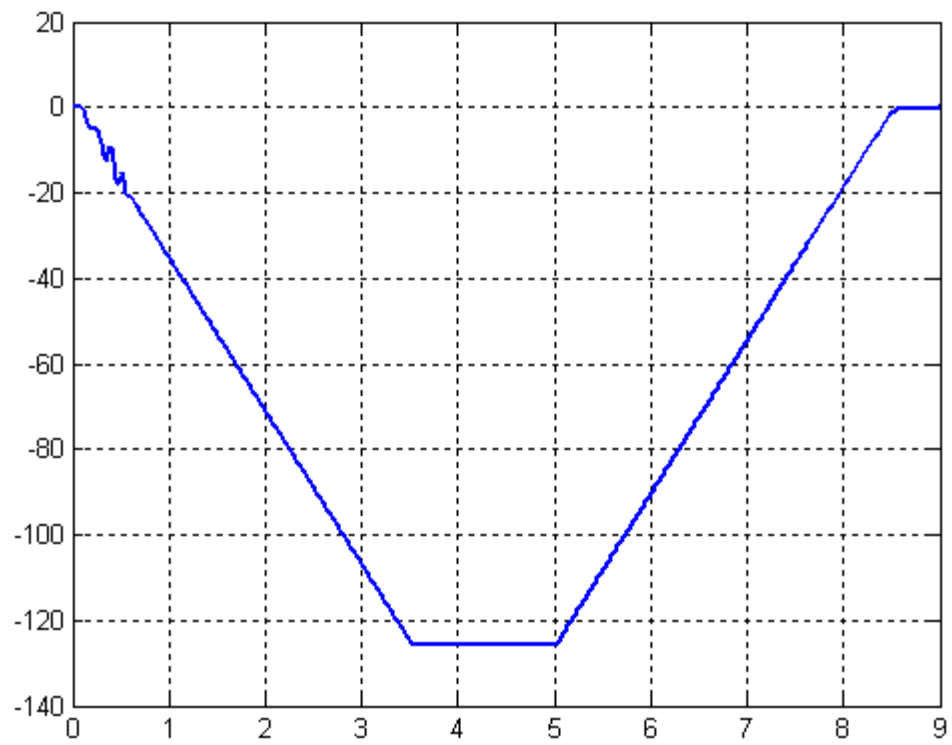
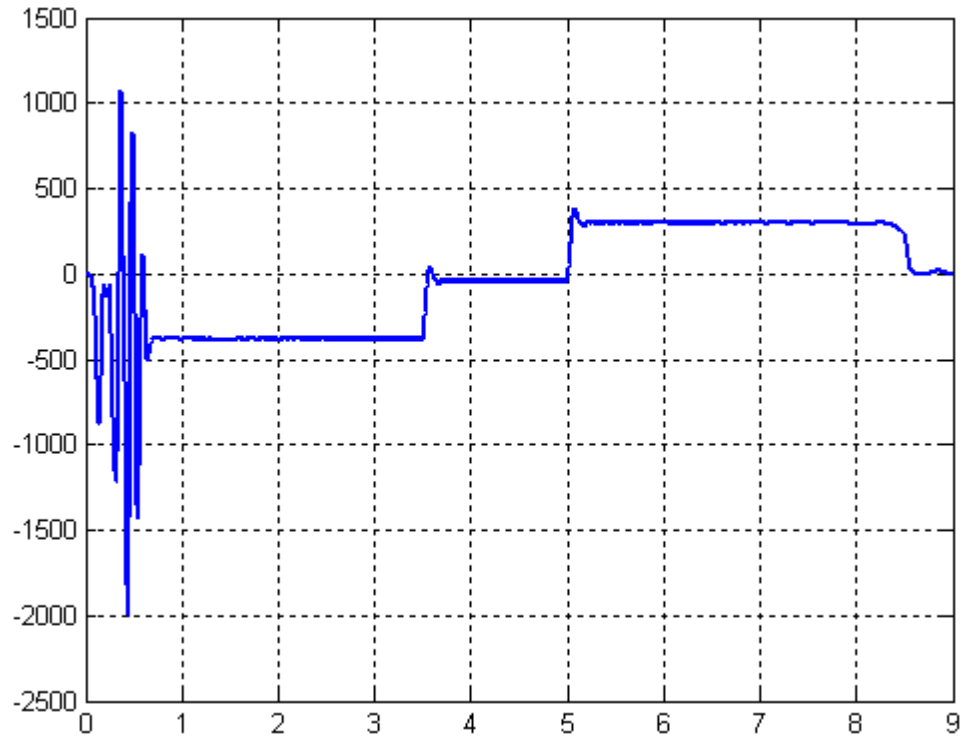


Рисунок 6.6. Опускання кабіни

### 6.3 Побудова статичних характеристик електроприводу

Побудуємо природну механічну характеристику асинхронного двигуна у чотирьох квадрантах.

Для побудови механічної характеристики скористаємося формулою Клосса:

$$M = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1 + a \cdot S_k)}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S} + 2 \cdot a \cdot S_k},$$

Формулою Чекунова:

$$M = \frac{M_k \cdot [2 + (S^2 - S_k^2) \cdot K_s]}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S}},$$

де  $M_k = \lambda_M \cdot M_{НОМ} = 2 \cdot 880 = 1760 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ;  $S_k = 0,095$ :

$$M = \frac{R_1}{R_2} = \frac{0,069}{0,067} = 1,03;$$

$$K_s = \frac{\frac{\lambda_n}{\lambda_m} \left( \frac{1}{S_k} + S_k \right) - 2}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S}} = \frac{1 \left( \frac{1}{0,1} + 0,1 \right) - 2}{1 - 0,1^2} = 3,08.$$

Останньою формулою доцільно користуватися лише для ковзань  $S < S_k$ . В області ковзань  $l \geq S > S_k$  задовільні результати дає попередня формула.

Для більш точної побудови скористаємось наступною програмою в середовищі Matlab 6.0:

```
for s=-1:0.0003:1 s<0.1=s/0.1+0.1/s+0.21;=62.8*(1-
s);=3882.56/m;(M,w);on;on=62.8*(1-s);=1760*(2+(s^2-
0.1^2)*3.08)/(s/0.1+0.1/s);(M,w, 'm');on;on=s=w
```

M=M

end

Статична характеристика представлена рисунку 6.7.

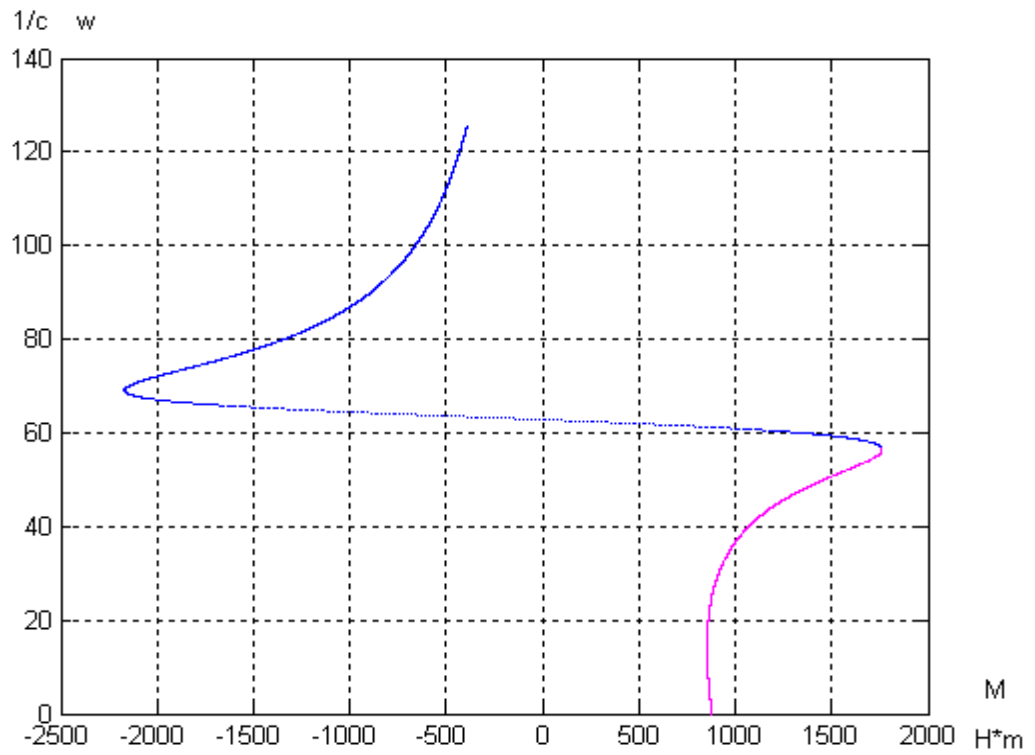


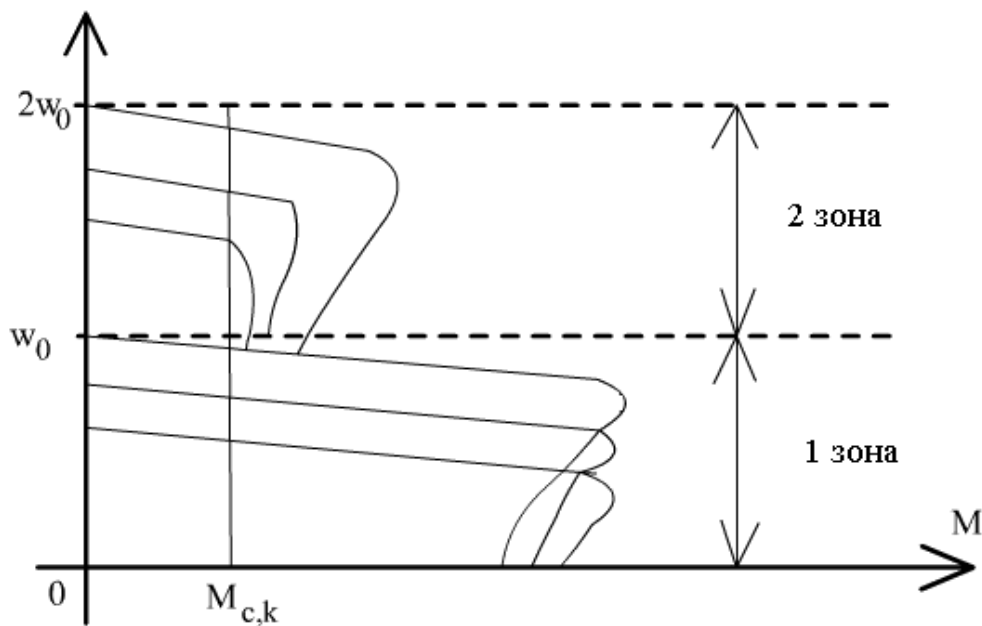
Рисунок 6.7. Природна механічна характеристика

## 7. КІНЦЕВА ПЕРЕВІРКА ДВИГУНА ПО НАГРІВУ З ОБЛІКОМ ТОЧНОЇ НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ДІАГРАМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Так як обрано закон частотного регулювання зі стабілізацією потоку статора, остаточну перевірку двигуна можна провести за еквівалентним моментом.

За завданням для підйому кабіни треба мати швидкість  $w_k = 2w_{ном}$ . За завданням для підйому треба мати швидкість ( $w > w_{ном}$ ) АД працює при  $f_1 = var$  и  $U_1 = const$ , отже, двигун працює зі змінним магнітним потоком і для перевірки АТ по нагріванню не можна скористатися методом еквівалентного моменту. Можна застосувати або метод середніх втрат, або метод еквівалентного струму.

У першій зоні можна використовувати методику розрахунку перехідних процесів при  $\psi_1 = const$ . У другій зоні, де  $\psi_1 = var$ , розроблено оригінальну методику професора Фіраго розрахунку перехідних процесів, яка й застосована в проекті.



1 зона:  $f > f_{ном}$ ;  $U_1 = const$ ;  $\psi_1 = var$ ;

2 зона:  $\psi_1 = const$ .

Електропривод працює у циклічному режимі зі змінним навантаженням. Для перевірки двигуна нагріву використовуємо методику професора Фіраго за методом середніх втрат.

$$U_1 = const;$$

$$f_1 > f_{1.НОМ}$$

$$1 \leq \alpha = \frac{f_1}{f_{1.НОМ}} \leq \alpha_{MAX}$$

Прийmemo  $R_1 = 0$ .

Механічні характеристики:

$$\begin{cases} M = \frac{2 \cdot M_{К.НОМ}}{\alpha^2 \cdot \left( \frac{s_a}{s_{К.НОМ}} + \frac{s_{К.НОМ}}{s_a} \right)} \\ w = w_{0.НОМ} \cdot (\alpha - s_a) \end{cases}$$

$$M_{К.НОМ} = \frac{3 \cdot U_{1.НОМ}}{2 \cdot w_{0.НОМ} \cdot x_{К.НОМ}};$$

$$s_{К.НОМ} = \frac{R_2'}{x_{К.НОМ}}$$

$$x_{К.НОМ} = x_{1.НОМ} + x_{2.НОМ}'$$

Рівняння лінеаризованих механічних характеристик АД:

$$w = \alpha \cdot w_{0.НОМ} - \alpha^2 \cdot \frac{M}{\beta_e}$$

$$\beta_e = \frac{2 \cdot M_{К.НОМ}}{w_{0.НОМ} \cdot s_{К.НОМ}}$$

$$w_{0.НОМ} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1.НОМ}}{p_n}$$



$p_n$  - число пар полюсов АД

Механічні перехідні процеси на лінеаризованих механічних характеристиках:

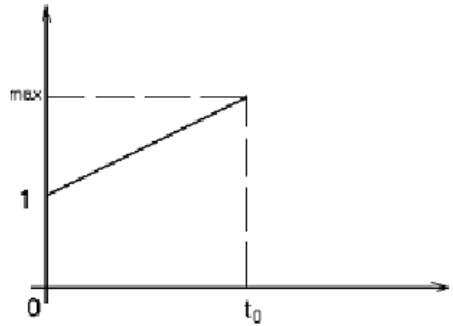


Рисунок 7.1. Лінеаризована механічна характеристика.

$$\varepsilon_0 = \frac{\alpha_{КОН} - 1}{t_0} \cdot \frac{1}{c}$$

Рівняння швидкості:

$$w = w_{0.КОН} \cdot e^{-\frac{\tau_1 \cdot t}{1 + \varepsilon_0 \cdot t}} \cdot \left[ B_1 \cdot \ln(1 + \varepsilon_0 \cdot t) + \frac{B_2}{1 + \varepsilon_0 \cdot t} - \frac{B_3}{(1 + \varepsilon_0 \cdot t)^2} - B_4 \cdot t + B_5 \right]$$

$$\tau_1 = \frac{1}{T_{me}}, \quad T_{me} = \frac{J}{\beta_e}$$

$T_{me}$  - електромеханічна постійна електроприводу часу на природній механічній характеристиці.

$$B_1 = \frac{1}{2 \cdot \theta^3 \cdot (1 + \theta)} \cdot \left[ \frac{\theta^2 + (1 + \theta)^2}{1 + \theta} - 2 \cdot \Delta v_c \right]$$

$$\theta = \varepsilon_0 \cdot T_{me};$$

$$\Delta v_c = \frac{\Delta w_{ce}}{w_{0НОМ}}$$

$\Delta w_{ce}$  - статичне падіння швидкості на природній характеристиці.

$$\Delta w_{ce} = \frac{M_c}{\beta_e}$$

$$B_2 = \frac{1}{\theta^3} \cdot \left(1 + \theta - \frac{\Delta v_c}{2}\right)$$

$$B_3 = \frac{1}{4 \cdot \theta^3}$$

$$B_4 = \frac{\Delta v_c}{2 \cdot T_{me}} \cdot \frac{\theta^2 + (1 + \theta)^2}{\theta^2};$$

$$B_5 = \Delta v_{HAЧ} + \frac{2 \cdot \Delta v_c - 4 \cdot \theta - 3}{4 \cdot \theta^2}$$

$$\Delta v_{HAЧ} = \frac{w_{HAЧ}}{w_{0.HOM}}$$

Рівняння електромагнітного моменту:

$$M = \beta_e \cdot w_{0.HOM} \left\{ \frac{1}{1 + \varepsilon_0 \cdot t} - \frac{1}{(1 + \varepsilon_0 \cdot t)^2} \cdot e^{-\frac{\tau_1}{1 + \varepsilon_0 \cdot t}} \cdot \left[ B_1 \cdot \ln(1 + \varepsilon_0 \cdot t) + \frac{B_3}{(1 + \varepsilon_0 \cdot t)^2} - B_4 \cdot t + B_5 \right] \right\}$$

Втрати потужності в режимі, що встановився при даних  $M_c$  и  $\alpha$  :

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР}$$

$$\Delta P_{ПОСТ} = \Delta P_{СТ.1.HOM} \cdot \alpha^{1.5} + \Delta P_{MX.HOM} \cdot \alpha^2 + \frac{\Delta P_{\mu.HOM}}{\alpha^2}$$

$$\Delta P_{ПЕР} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{M_c}{\beta_e} \cdot \alpha^2$$

Втрати потужності у перехідному процесі при лінійному завданні  $\alpha$  :

$$\Delta P_{ПОСТ}(t) = \Delta P_{СТ.1.HOM} \cdot (1 + \varepsilon_0 \cdot t)^{1.5} + \Delta P_{MX.HOM} \cdot (1 + \varepsilon_0 \cdot t)^2 + \frac{\Delta P_{\mu.HOM}}{(1 + \varepsilon_0 \cdot t)^2}$$

$$\Delta P_{ПЕР}(t) = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{M^2(t)}{\beta(t)} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{M^2(t)}{\beta_e} \cdot (1 + \varepsilon_0 \cdot t)^2$$

Середні втрати потужності за час перехідного процесу, де

$$1 \leq \alpha \leq \alpha_{MAX};$$

$$\Delta P_{CP.П.П} = \frac{1}{t_{П.П}} \cdot \left[ \int_0^{t_{П.П}} \Delta P_{ПОСТ}(t) dt + \int_0^{t_{П.П}} \Delta P_{ПЕР}(t) dt \right]$$

$$\Delta P_{СТ.1.НОМ} = (0,015 - 0,02) \cdot \frac{P_{НОМ}}{\eta_{НОМ}} = \frac{0,02 \cdot 55000}{0,905} = 0,51 \text{кВТ}$$

$$\Delta P_{МХ.НОМ} \approx 0,06 \cdot \Delta P_{НОМ} = 0,06 \cdot 5,8 = 0,3 \text{кВТ}$$

$$\Delta P_{НОМ} = \frac{P_{НОМ} \cdot (1 - \eta_{НОМ})}{\eta_{НОМ}} = \frac{55000 \cdot (1 - 0,905)}{0,905} = 5,8 \text{кВт}$$

$$\Delta P_{\mu НОМ} = 3 \cdot I_{\mu НОМ}^2 \cdot R_1 = 0,51 \text{кВТ}$$

$$I_{\mu НОМ}^2 \approx I_{1.НОМ} \cdot \sqrt{1 - \cos \varphi_{НОМ}}$$

Втрати потужності на інтервалі зміни частоти

$$0 \leq \alpha \leq 1:$$

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР}$$

$$\Delta P_{ПОСТ} = \Delta P_{СТ} + \Delta P_{МХ.} + \Delta P_{\mu.}$$

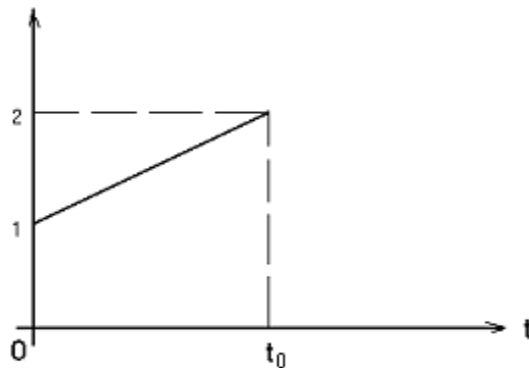


Рисунок 7.1. Лінеаризована механічна характеристика на інтервалі зміни частоти  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

$$\Delta P_{CT.CP} = \frac{\Delta P_{CT.HOM}}{t_0} \cdot \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \alpha^{1.5}(t) dt = 0.4 \cdot \Delta P_{CT.HOM} \cdot \frac{\alpha_2^{2.5} - \alpha_1^{2.5}}{\alpha_2 - \alpha_1}$$

$$\Delta P_{MX.CP} = \frac{\Delta P_{MX.HOM}}{t_0} \cdot \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \alpha^2(t) dt = \frac{1}{3} \cdot \Delta P_{MX.HOM} \cdot (\alpha_2^2 + \alpha_1 \cdot \alpha_2 + \alpha_1^2)$$

$$\Delta P_{ПЕР.CP} = \frac{1}{t_{П.П}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_0^{t_{П.П}} M^2(t) dt$$

$$\beta = \frac{2 \cdot M_K}{w_{0.HOM} \cdot s_{ка}} = \frac{1825 \cdot 2}{62,8 \cdot 0,12} = 484$$

Для  $\psi_1 = const$ :

$$s_{ка} = \frac{R_2''}{x'_{K.HOM}} = \frac{0,067}{055} = 0,12$$

$$M_K = \frac{3 \cdot E_{s.HOM}^2}{2 \cdot w_{0.HOM} \cdot x'_{K.HOM}} = \frac{3 \cdot 205^2}{2 \cdot 62,8 \cdot 0,55} = 1825 H \cdot м$$

$$\Delta P_{\mu} = \Delta P_{\mu.HOM} = 0,51 \text{ кВт}$$

На ділянці 1 ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ):

$$\Delta P_{CT.CP} = \frac{\Delta P_{CT.HOM}}{t_0} \cdot \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \alpha^{1.5} = 0,4 \cdot \Delta P_{CT.HOM} \cdot \frac{\alpha_2^{2.5} - \alpha_1^{2.5}}{\alpha_2 - \alpha_1} = 0,4 \cdot 1,2 = 0,48 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{MX.CP} = \frac{\Delta P_{MX.HOM}}{t_0} \cdot \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \alpha^2(t) dt = \frac{1}{3} \cdot \Delta P_{MX.HOM} \cdot (\alpha_2^2 + \alpha_1 \cdot \alpha_2 + \alpha_1^2) = 0,1 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{ПЕР.CP} = \frac{1}{t_{П.П}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_0^{t_{П.П}} M^2(t) dt = \frac{1}{1,75} \left(1 + \frac{0,069}{0,067}\right) \frac{1}{484} \cdot 1792^2 \cdot 1,75 = 13,47 \text{ кВт}$$

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР} = 0,48 + 0,1 + 0,51 + 13,47 = 14,56 \text{ кВт}$$

На ділянці 2 ( $\alpha = 1$ )

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР} = 2 + 8,4 = 10,4 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{ПОСТ} = \Delta P_{CT.1.HOM} \cdot \alpha^{1.5} + \Delta P_{MX.HOM} \cdot \alpha^2 + \frac{\Delta P_{\mu.HOM}}{\alpha^2} = 1,2 + 0,3 + 0,51 = 2 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{ПЕР} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{M_c}{\beta_e} \cdot \alpha^2 = \left(1 + \frac{0,069}{0,067}\right) \frac{1415^2}{484} \cdot 1^2 = 8,4 \text{кВт}$$

На ділянці 3 ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )

$$\Delta P_{СТ.СР} = \frac{\Delta P_{СТ.НОМ}}{t_0} \cdot \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \alpha^{1.5}(t) dt = 0,4 \cdot \Delta P_{СТ.НОМ} \cdot \frac{-\alpha_1^{\frac{5}{2}}}{-\alpha} = 0,48 \text{кВт}$$

$$\Delta P_{ПЕР.СР} = \frac{1}{t_{П.П}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_0^{t_{П.П}} M^2(t) dt = \frac{1}{1,75} \left(1 + \frac{0,069}{0,007}\right) \frac{1}{484} \cdot 1070^2 \cdot 1,75 = 4,8 \text{кВт}$$

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР} = 0,48 + 0,1 + 0,51 + 4,8 = 5,89 \text{кВт}$$

На ділянці 4 ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )

$$\Delta P_{ПЕР.СР} = \frac{1}{t_{П.П}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_0^{t_{П.П}} M^2(t) dt = \frac{1}{1,75} \left(1 + \frac{0,069}{0,067}\right) \frac{1}{484} \cdot 512^2 \cdot 1,75 = 1 \text{кВт}$$

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР} = 0,48 + 0,1 + 0,51 + 1 = 2,09 \text{кВт}$$

На ділянці 5 ( $\alpha = 1$ )

$$\Delta P_{ПЕР} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{M_c}{\beta_e} \cdot \alpha^2 = \left(1 + \frac{0,069}{0,067}\right) \frac{830^2}{484} \cdot 1^2 = 2,9 \text{кВт}$$

$$\Delta P_{ПОСТ} = \Delta P_{СТ.1.НОМ} \cdot \alpha^{1.5} + \Delta P_{МХ.НОМ} \cdot \alpha^2 + \frac{\Delta P_{\mu.НОМ}}{\alpha^2} = 1,2 + 0,3 + 0,51 = 2 \text{кВт}$$

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР} = 2 + 2,9 = 4,9 \text{кВт}$$

На ділянці 6 ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )

$$\Delta P_{СТ.СР} = \frac{\Delta P_{СТ.НОМ}}{t_0} \cdot \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \alpha^{1.5}(t) dt = 0,4 \cdot \Delta P_{СТ.НОМ} \cdot \frac{-\alpha_1^{\frac{5}{2}}}{-\alpha} = 0,48 \text{кВт}$$

$$\Delta P_{ПЕР.СР} = \frac{1}{t_{П.П}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_0^{t_{П.П}} M^2(t) dt = \frac{1}{1,75} \left(1 + \frac{0,069}{0,067}\right) \frac{1}{484} \cdot 1077^2 \cdot 1,75 = 4,9 \text{кВт}$$

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР} = 0,48 + 0,1 + 0,51 + 4,8 = 6 \text{кВт}$$

На ділянці 7 ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )

$$\Delta P_{ПЕР.СР} = \frac{1}{t_{П.П}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_0^{t_{П.П}} M^2(t) dt = \frac{1}{1,75} \left(1 + \frac{0,069}{0,067}\right) \frac{1}{484} \cdot 403^2 \cdot 1,75 = 0,68 \text{кВт}$$

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР} = 0,48 + 0,1 + 0,51 + 0,68 = 1,77 \text{кВт}$$

Втрати потужності у перехідному процесі при лінійному завданні  $\alpha$

$$\Delta P_{\text{ПОСТ}}(t) = \Delta P_{\text{СТ.1.НОМ}} \cdot (1 + \varepsilon_0 \cdot t)^{1.5} + \Delta P_{\text{МХ.НОМ}} \cdot (1 + \varepsilon_0 \cdot t)^2 + \frac{\Delta P_{\mu.\text{НОМ}}}{(1 + \varepsilon_0 \cdot t)^2}$$

$$\Delta P_{\text{ПЕР}}(t) = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{M^2(t)}{\beta(t)} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{M^2(t)}{\beta_e} \cdot (1 + \varepsilon_0 \cdot t)^2$$

$$\Delta P_{\text{СР.П.П}} = \frac{1}{t_{\text{П.П}}} \cdot \left[ \int_0^{t_{\text{П.П}}} \Delta P_{\text{ПОСТ}}(t) dt + \int_0^{t_{\text{П.П}}} \Delta P_{\text{ПЕР}}(t) dt \right] = 4.7 \text{кВт}$$

На ділянці 8 ( $\alpha = 2$ )

Потери потужності в установившемся режимі при даних  $M_c$  и  $\alpha$ :

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ПОСТ}} + \Delta P_{\text{ПЕР}} = 4.7 + 0.56 = 5.26 \text{кВт}$$

$$\Delta P_{\text{ПОСТ}} = \Delta P_{\text{СТ.1.НОМ}} \cdot \alpha^{1.5} + \Delta P_{\text{МХ.НОМ}} \cdot \alpha^2 + \frac{\Delta P_{\mu.\text{НОМ}}}{\alpha^2} = 1.2 \cdot 2^2 + 0.3 \cdot 4 + \frac{0.5}{4} = 4.7 \text{кВт}$$

$$\Delta P_{\text{ПЕР}} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{M_c}{\beta_e} \cdot \alpha^2 = \left(1 + \frac{0.069}{0.067}\right) \frac{1}{484} \cdot 183^2 \cdot 2^2 = 0.56 \text{кВт}$$

На ділянці 9 ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )

$$\Delta P_{\text{ПЕР.СР}} = \frac{1}{t_{\text{П.П}}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_0^{t_{\text{П.П}}} M^2(t) dt = \frac{1}{1.75} \left(1 + \frac{0.069}{0.067}\right) \frac{1}{484} \cdot 226^2 \cdot 1.75 = 0.2 \text{кВт}$$

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ПОСТ}} + \Delta P_{\text{ПЕР}} = 0.48 + 0.1 + 0.51 + 0.2 = 1.29 \text{кВт}$$

При ( $1 \leq \alpha \leq 2$ ):

$$\Delta P_{\text{СР.П.П}} = \frac{1}{t_{\text{П.П}}} \cdot \left[ \int_0^{t_{\text{П.П}}} \Delta P_{\text{ПОСТ}}(t) dt + \int_0^{t_{\text{П.П}}} \Delta P_{\text{ПЕР}}(t) dt \right] = 3.7 \text{кВт}$$

На ділянці 10 ( $1 \leq \alpha \leq 2$ )

$$\Delta P_{\text{ПЕР.СР}} = \frac{1}{t_{\text{П.П}}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_0^{t_{\text{П.П}}} M^2(t) dt = \frac{1}{1.75} \left(1 + \frac{0.069}{0.067}\right) \frac{1}{484} \cdot (-353)^2 \cdot 1.75 = 0.52 \text{кВт}$$

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ПОСТ}} + \Delta P_{\text{ПЕР}} = 0.48 + 0.1 + 0.51 + 0.52 = 1.61 \text{кВт}$$

при ( $1 \leq \alpha \leq 2$ )

$$\Delta P_{CP.П.П} = \frac{1}{t_{П.П}} \cdot \left[ \int_0^{t_{n,n}} \Delta P_{ПОСТ}(t) dt + \int_0^{t_{n,n}} \Delta P_{ПЕР}(t) dt \right] = 4,4 \text{ кВт}$$

На ділянці 11 ( $\alpha = 2$ )

$$\Delta P_{ПОСТ} = \Delta P_{СТ.1.НОМ} \cdot \alpha^{1,5} + \Delta P_{МХ.НОМ} \cdot \alpha^2 + \frac{\Delta P_{\mu.НОМ}}{\alpha^2} = 1,2 \cdot 2^2 + 0,3 \cdot 4 + \frac{0,5}{4} = 4,7 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{ПЕР} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{M_c}{\beta_e} \cdot \alpha^2 = \left(1 + \frac{0,069}{0,067}\right) \frac{1}{484} \cdot (-34)^2 \cdot 2^2 = 0,04 \text{ кВт}$$

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР} = 4,7 + 0,04 = 4,74 \text{ кВт}$$

На ділянці 12 ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )

$$\Delta P_{ПЕР.СР} = \frac{1}{t_{П.П}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \int_0^{t_{n,П}} M^2(t) dt = \frac{1}{1,75} \left(1 + \frac{0,069}{0,067}\right) \frac{1}{484} \cdot 276^2 \cdot 1,75 = 0,32 \text{ кВт}$$

$$\Delta P = \Delta P_{ПОСТ} + \Delta P_{ПЕР} = 0,48 + 0,1 + 0,51 + 0,32 = 1,41 \text{ кВт}$$

при ( $1 \leq \alpha \leq 2$ )

$$\Delta P_{CP.П.П} = \frac{1}{t_{П.П}} \cdot \left[ \int_0^{t_{n,n}} \Delta P_{ПОСТ}(t) dt + \int_0^{t_{n,n}} \Delta P_{ПЕР}(t) dt \right] = 3,9 \text{ кВт}$$

Для перевірки АД з нагрівання застосовуємо метод середніх втрат:

$$\Delta P_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta P_{n,i} \cdot t_i + \sum_{j=1}^Q \Delta P_{T,j} \cdot t_j + \sum_{k=1}^L \Delta P_k \cdot t_k}{\sum_{i=1}^N \beta_{OX,i} \cdot t_i + \sum_{j=1}^Q \beta_{OX,j} \cdot t_j + \sum_{k=1}^L \beta_{OX,k} \cdot t_k + \beta_0 \sum_{s=1}^M t_{0,s}}$$

$$= \frac{574,42}{290,31} = 1,97 \text{ кВт}$$

Для АД с захистом IP44  $\beta_0 \approx 0,3$ .

$\Delta P_{n,i}$  - середні сумарні втрати потужності на і-му інтервалі розгону,

$t_i$  - час і-го інтервалу, де  $\Delta P_{n,i} = const$ ,

$\Delta P_{T,j}$  - середні сумарні втрати потужності на j-му інтервалі гальмування,

$t_j$  - час j-го інтервалу, де  $\Delta P_{T,j} = const$ ,

$\Delta P_k$  - втрати потужності в встановленому русі на  $k$ -му інтервалі,

$t_k$  - час  $k$ -го інтервалу, де  $\Delta P_k = const$ ,

$t_s$  - час паузи на  $s$ -му інтервалі,

$M$  - число пауз у циклі.

Для повторно короткочасного режиму роботи АД  $\Delta P_{НОМ}$  наводиться до розрахункового  $T_{Врасч}=100\%$

$$\Delta P_{НОМ}(ПВ = 100) = \frac{P_{НОМ}(ПВ = 100) \cdot (1 - \eta_{НОМ})}{\eta_{НОМ}} = \frac{55000(1 - 0.905)}{0.905} = 5.8 \text{ кВт}$$

Двигун проходить по нагріванню, якщо

$$\Delta P_{CP} \leq \Delta P_{НОМ}(ПВ = 100\%)$$

$$1,9 \leq 5,8.$$



## 8. ВИБІР І ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧОЇ УСТАНОВКИ

### 8.1 Формалізація умов роботи установки

Так як у даному проєкті розглядається установка, керована оператором, то потреби у повній автоматизації виробничої установки немає. Оператор здійснює операції з перевантаження вантажів за допомогою пульта управління, параметри якого вибираються виходячи з вимог, що пред'являються до встановлення та системи керування. Серед різноманітної підйомно-транспортної техніки можна знайти приклади, коли керування електроприводом бажано здійснювати з командного пункту, віддаленого від основного поста (кабіни) керування на значні відстані, які можуть сягати десятків і навіть сотень метрів.

Найбільш просте рішення при створенні системи дистанційного керування електроприводами кранових механізмів ґрунтується на введенні додаткових малогабаритних проміжних реле, що дають імпульси на включення та відключення потужних контакторів. Малогабаритні реле у свою чергу управляються з виносного командного посту по проводах у вигляді відповідних перемикачів командоапаратів. Зазначений принцип побудови схем дистанційного керування не знайшов широкого застосування, оскільки вимагає виведення за межі крана практично тієї ж кількості проводів, щоправда, малого перерізу, що й на командоапарати за безпосереднього управління з кабіни. Наявність багатожильного кабелю, що зв'яже командний пункт з кабіною, обмежує можливості дистанційного керування по радіусу дії, зручності

обслуговування та надійності.

## 8.2 Розробка функціональної схеми, логічної схеми

Керуючі імпульси генераторів Г задаються командоапаратом КА. Кожен генератор має кілька фіксованих частот, діапазон яких зазвичай вибирається в межах 300-5000 Гц. При перемиканні командоапарата в генераторі виникає керуючий сигнал певної частоти, який разом із сигналами інших генераторів подається на підсумовувач підсилювач У. Посилений сумарний сигнал управління, що включає складові різних частот, надходить в радіопередавальне пристрій РП.

Для зменшення впливу індустриальних і атмосферних перешкод у передавачі переважно застосовування частотної модуляції, яка має більшу стійкість до перешкод, ніж амплітудна модуляція.

Промодулированые сигналом управління високочастотні коливання випромінюються передавальною антеною. Передавачі дистанційного керування працюють у діапазоні ультракоротких хвиль, що охоплюють широку смугу частот 25-75 МГц, завдяки чому при ширині смуги частот кожного передавача 200 кГц у безпосередній близькості один від одного може працювати без взаємних перешкод велика кількість передавачів дистанційного керування.

Прийняті на крані високочастотні коливання надходять радіоприймальний пристрій П (рисунок 8.1, а, б). Для кращої відбудови від перешкод схему приймача введений гетеродин ГТ. Посилені високочастотні коливання разом з коливаннями гетеродина подаються на змішувач, і одержуваний на виході сигнал постійної проміжної частоти виділяється за допомогою смугового фільтра Ф. Далі сигнал проміжної частоти посилюється підсилювачем УПЧ і надходить в частотний детектор ЧД, де радіосигнал перетворюється в первинний сум.

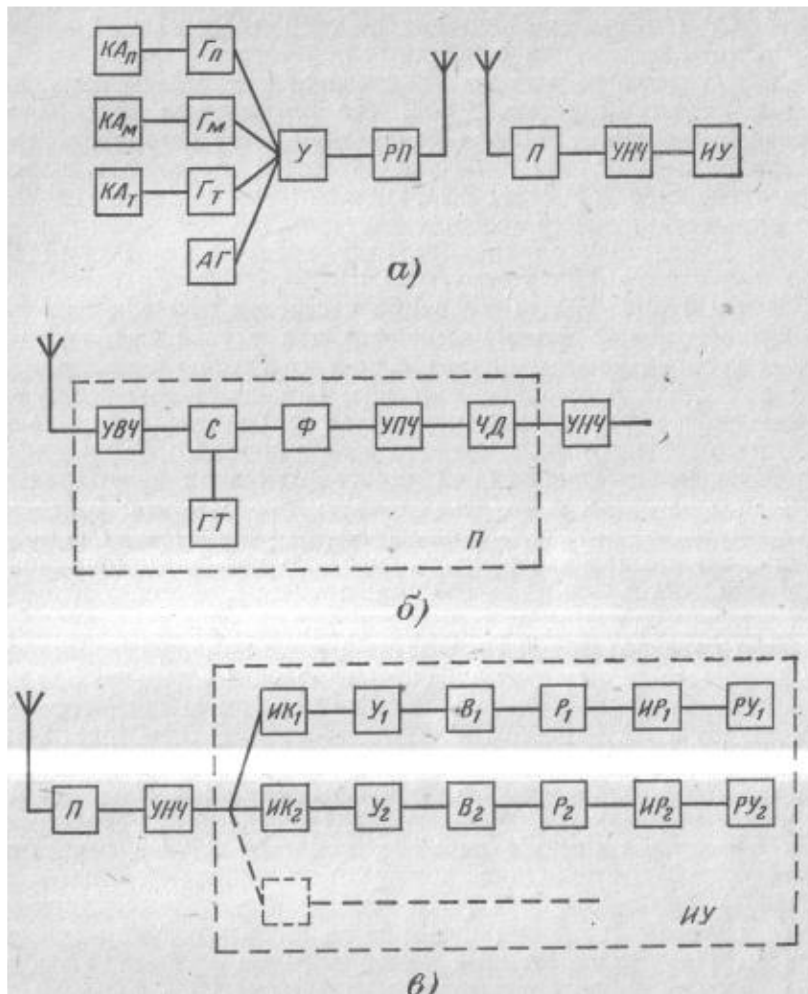


Рисунок 8.1. Дистанційне радіокерування електроприводами підйомно-транспортного механізму

Цей сигнал за допомогою підсилювача низької частоти УНЧ посилюється і подається до виконавчого пристрою ІУ (рисунок 8.1 в), в якому є ряд паралельно включених виборчих контурів ІК.

Кожен контур приймає одну складову сумарного сигналу тієї частоти, яку він налаштований. Смуга пропускання контурів та інтервал між сусідніми частотами обрані так, щоб забезпечити деякий запас надійності для випадку найнесприятливіших умов роботи, що призводять до зміни частот командогенераторів або розладу контурів. Прийнятий відповідним контуром сигнал управління передається в підсилювач змінного струму, на виході якого включений випрямляч. Випрямлений сигнал повинен бути достатнім для

спрацьовування чутливого реле Р, яке своїм замикаючим контактом включає потужніше проміжне реле ИР. Проміжне реле ИР у свою чергу включає відповідні реле РУ у схемі управління крана.

Рисунки 8.2, а - л ілюструють процеси, які у різних елементах схеми під час передачі управляючих сигналів. На рисунку 8.2 а показана форма сигналу на виході командогенератора  $\Gamma_1$ , який включається в момент  $t_0$ . Для наочності надалі передбачається, що працює лише один генератор  $\Gamma_1$  із частотою сигналу  $f_1$ .

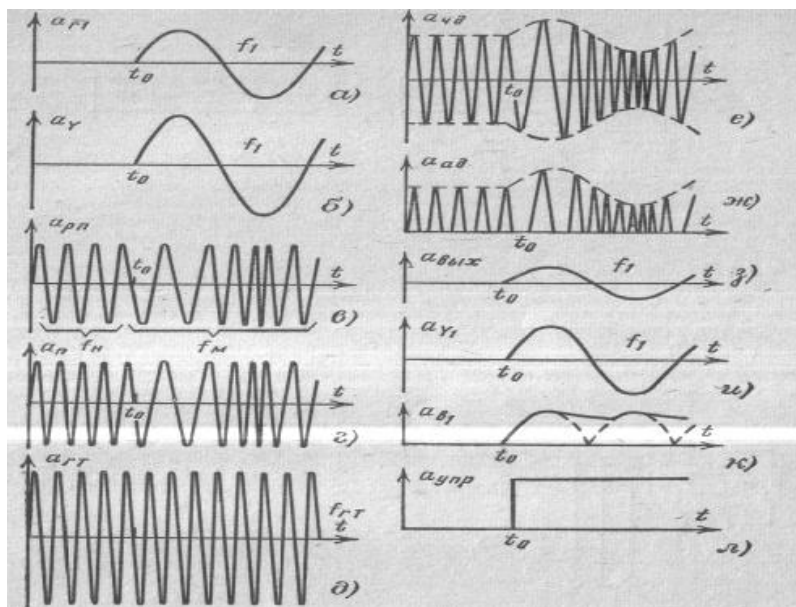


Рисунок 8.2. Характер проходження сигналу керування через елементи схеми рисунку 8.1

У цьому випадку і на виході підсилювача, що підсумовує  $У$  (рисунок 8.2, а) буде сигнал тієї ж форми (рисунок 8.2. б). До включення генератора  $\Gamma_1$  передавач  $РП$  випромінює високочастотні коливання постійної несучої частоти  $f_n$ . При появі на вході передавача сигналу керуючого  $f_1$  несуча частота починає змінюватися поблизу постійного значення  $f_n$  у відповідності з миттєвими значеннями сигналу  $f_1$  (рисунок 8.2, в). Тим самим утворюється деякий спектр модулюючих частот  $f_m$ , межі якого визначаються амплітудою сигналу керуючого  $f_1$ . Промодульовані таким чином коливання несучої частоти через

антену випромінюються у простір.

У разі розглядається варіант, коли дистанційне управління краном здійснюється з одного пульта управління. Якщо їх кілька, то у схемі відповідно є кілька передавачів, кожен з яких характеризується певною частотою, що несе  $f_n$ . Радіоприймач може бути налаштований на будь-яку з цих частот. Причому одночасно з перебудовою приймача повинен перебудовуватися і гетеродин ГТ так, щоб виконувалася умова  $f_{np} = f_{em} - f_n$  де  $f_{np}$  - постійна проміжна частота приймача (рисунок 8.2, г),  $f_{em}$  - частота коливань гетеродина (рисунок 8.2, д), а  $f_n$  - несуча частота передавача.

Таким чином, приймач завжди працює на постійній частоті  $f_{np}$ , що дозволяє застосовувати в ньому досконалі фільтри, що забезпечують високу вибірковість. Якщо сигнал на несучій частоті модульований, його спектр в процесі перетворення несучої частоти в проміжну переноситься на останню (рисунок 8.2, в і г). Пройшовши смуговий фільтр  $\Phi$ , смуга пропускання якого відповідає спектру сигналу на проміжній частоті, і підсилювач УПЧ сигнал надійде в частотний детектор ЧД. На рисунку 8.2, е) показано форму сигналу, отриманого в результаті частотного детектування. Огинаюча високочастотних коливань відтворює форму сигналу керуючого  $f_l$ . У частотному детекторі виконується також амплітудне детектування (рисунок 8.2 ж). Далі сигнал, що включає постійну та високочастотні складові, за допомогою фільтра перетворюється на первинний сигнал управління  $f_l$  (рисунок 8.2, з). На малюнку 8.2, і - л показано перетворення керуючого сигналу у виконавчому пристрої.

Дистанційне керування краном за схемою, наведеною на рисунку 8.1, здійснюється у такому порядку: на початку роботи з допомогою командогенератора захисту АГ (рисунок 8.1) передається команда на включення захисної ліфта. У схемі передбачено нульове блокування, тому генератор АГ (рисунок 8.3) може бути включений тільки при нульовому положенні командоапаратів приводів підйому КАп, мосту КАм та візка КАт (рисунок 8.1,

а). Якщо ця умова виконана, то напруга на генератор може бути подана натисканням пускової кнопки  $Пс$  при включеному вимикачі  $АВ$ , яка потім блокується реле  $Рп$ , що замикає контактом. На виході генератора виникає при цьому сигнал частоти, яка визначається параметрами контуру  $LC$ , який служить командою на включення захисної панелі і подається протягом всієї роботи ліфта.

Схема (рисунок 8.3) забезпечує відключення панелі у разі зникнення живлення з блоків дистанційного керування або при виході з ладу.

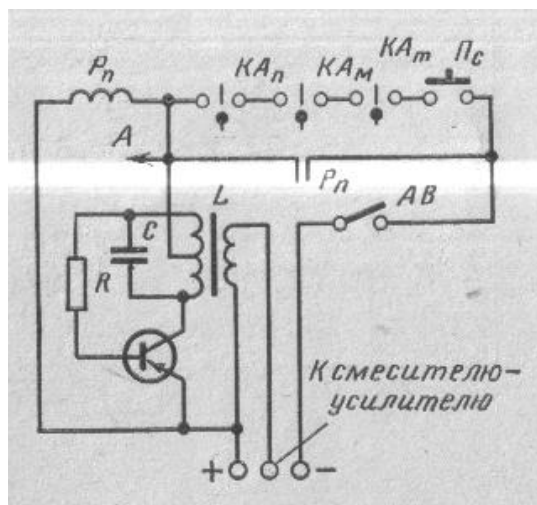


Рисунок 8.3. Схема вмикання генератора захисту

Кожен привід керується з переносного пульта окремим командоапаратом. У розділі 9 на рисунку 9.1 представлена схема командоапарата  $КАп$  і генераторів  $\Gamma_1$  і  $\Gamma_2$  дистанційного керування приводом підйому. Частота сигналів генераторів визначається параметрами контурів  $LC$ .

### 8.3 Вибір апаратів

Для реалізації способу дистанційного керування вибираємо апаратуру фірми НВС Radiomatic. Комплект економічної серії "716 micron" підходить для мінімальних вимог керування електроприводом підйому вантажів. У цієї фірми також є складніші і дорогі комплекти, що дозволяють одночасно керувати декількома електроприводами та кількома координатами.

## 9. ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

У зв'язку з тим, що керування в даному дипломі обрано дистанційним способом, проектується схема командоапарату дистанційного керування приводом підйому. Вибираємо дистанційне обладнання чеської фірми RADOIMATIK серії Spectrum до складу якого входить передавач з 8-ми одиничним рівнем управління за 3 координатами та приймачем, який здійснює прийом на встановлені реле, вони задають рівні частот, необхідні для формування напруги управління.

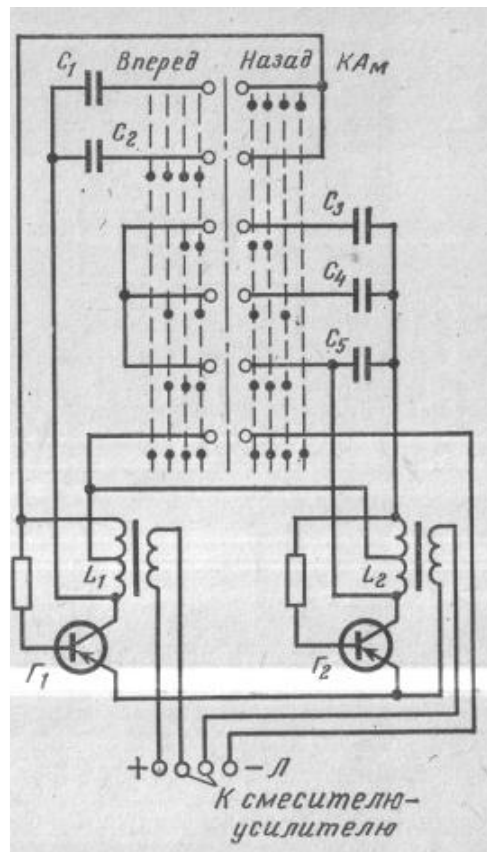


Рисунок 9.1. Схема виконавчого пристрою автоматизованого електроприводу

У цьому схемі індуктивність у процесі регулювання залишається постійної, а фіксовані значення ємностей конденсаторів встановлюються

перемиканням командоапарата. Генератор  $\Gamma_1$  має дві фіксовані частоти, його сигнали визначають напрямок переміщення моста. Інші команди подаються за допомогою генератора  $\Gamma_1$ . При перекладі командоапарата з нульового в положення, що відповідає, наприклад, руху моста "вперед", на генератор  $\Gamma_1$  подається живлення, а в його контур LC включається конденсатор  $C_1$  і на виході з'являється сигнал з частотою  $f_1$ . Цей сигнал надходить потім через підсилювач У до передавального пристрою РП, як це показано на принциповій схемі.

Прийнятий на ліфті радіосигнал перетворюється на вихідний сигнал керування частоти  $f_1$ , посилюється підсилювачем низької частоти УНЧ (розділ 8, рисунок 8.1) і передається у виконавчий пристрій ІУ<sub>1</sub>, схема якого наведена на рисунку 9.1.

Прийнятий вибіркоким контуром ІК<sub>1</sub> (розділ 8, малюнок 8.1) від генератора  $\Gamma_1$  сигнал частоти  $f_1$  посилюється транзисторним підсилювачем ТУ<sub>1</sub>, зібраним за схемою із загальним емітером. Для більшої надійності використаний підсилювач змінного струму. У цьому випадку при пробі транзистора або при будь-яких інших несправностях не виникає помилкової команди, що призводить до порушення нормальної роботи приводу. Посилений змінний сигнал випрямляється випрямлячем Вв і призводить до послідовного спрацьовування чутливого реле Рв і проміжних ІР і РВВ. Реле РУВ включено в ланцюг керування приводом підйому; замикання його контактів рівносильне переведенню рукоятки командоконтролера ККп у положення, що відповідає напрямку руху "вгору" (вперед).

Аналогічно працює схема і при русі "вниз" (назад), в цьому випадку сигнал управління з частотою  $f_1$  визначається включенням до контуру LC конденсатора  $C_2$  (рисунок 9.1), буде прийнятий виборчим контуром ІК<sub>2</sub>, що призведе до спрацьовування реле Рн, ІРн, РУН і контактора Н.



## 10. ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ

### 10.1 Вибір апаратів, проводів та кабелів

Електрична енергія підводиться до кранів від загальної мережі змінного струму або перетворювальних установок постійного струму. З допомогою кабелю від окремого рубильника чи автомата здійснюється живлення головних контактних проводів - тролей, прокладених уздовж підкранових колій. Кількість основних контактних проводів при змінному струмі дорівнює трьом, за постійному - двом. У деяких випадках замість головних контактних проводів, наприклад у вибухонебезпечних цехах, застосовується струмопідведення за допомогою гнучкого кабелю. Від головних контактних проводів за допомогою ковзних струмознімачів напруга підводиться до захисної панелі, встановленої в кабіні крана. Контактні проводи виконуються зазвичай з профільованої сталі круглого перерізу, куточка, швелера або рейки. Мідь використовується порівняно рідко і лише як допоміжні тролейі.

Проведення на кранах виконуються проводами ПРГ-500, ПРТО-500, які прокладаються в сталевих тонкостінних трубах, закритих коробах або відкритим способом. Застосовуються для монтажу на кранах також панцирні дроти ПРП, ПРШП та кабелі без джутової ізоляції СРГ-500, СРБГ-500. Кабель СРГ не рекомендується встановлювати на рухомих частинах підйомно-транспортних механізмів, оскільки при вібрації свинцева оболонка кабелю швидко руйнується. Найменшим перетином дроту за умовами механічної міцності є  $25 \text{ мм}^2$ . На панелях керування замість дроту перетином вище  $25\text{-}35 \text{ мм}^2$  застосовуються плоскі шини. Гнучкі струмопроводи, які знаходять деяке застосування на кранах, виконуються шланговим проводом з мідними жилами та гумовою ізоляцією марки ШРПС. Для важких умов експлуатації за значних

механічних зусиль застосовують кабель ГРШС, а також судновий кабель у шланговій оболонці НРШМ.

У цьому проекті ми вибираємо гнучкі струмопроводи марки ШРПС.

Вибір контактних проводів проводиться за допустимим струмом навантаження з подальшою перевіркою дроту падіння напруги. Провід вибирається рівного перерізу по всій довжині переміщення механізму. Під час експлуатації крана напруга на затискачах кранового двигуна не повинна бути нижчою за 85% номінального. При менших напругах у двигунів змінного струму неприпустимо знижується максимальний момент. Крім того, стає ненадійною робота контакторів та гальмівних електромагнітів. Втрати в мережі можуть розподілятися таким чином:

Головні контактні дроти..... 3 - 4%

Магістраль до контактних проводів ..... 4-5%

Мережа в межах крана..... 1 - 3%

Для установок з рідкісними пусками максимально допустиме значення втрат напруги має перевищувати 15%.

Точне визначення розрахункового струму, що протікає контактними проводами, викликає труднощі внаслідок різких коливань навантаження двигунів крана. Існує кілька наближених методів визначення розрахункового струму, що ґрунтуються головним чином на тривалому досвіді експлуатації кранових установок.

Розрахунковий струм можна знайти за формулою:

$$I = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{55 \cdot 10^3}{1,7 \cdot 380 \cdot 0,75} = 113,2 \text{ А}$$

де:  $P = 55 \cdot 10^3$  Вт;

$U_n = 380$  - номінальна напруга мережі, В;

$\cos \varphi$  - середній коефіцієнт потужності двигунів крана при розрахунках приймають  $\cos \varphi = 0,75$ .

Знайдений струм не повинен перевищувати тривалий допустимий струм провідів:  $I \leq I_{\partial}$ .

З довідника [3] слід, що кабелю напруги до 1кВт з чотирма алюмінієвими жилами при допустимому тривалому струмі  $I_{\text{дон}} = 20,6 \text{ А}$ , перетин має бути 4 мм, отже вибираємо кабель АВРГ-3х4+1х2.5.

## 10.2 Складання таблиці переліку елементів електроустаткування

Табл. 10.2 - Перелік елементів виробничої установки

Поз. обозн.	Найменування	Кіл.	Примітка
	Документація		
	Пояснювальна записка	1	
	Електродвигуни		
	4АН280У3	1	
	Резистори		
R7	МЛТ 0,125 ± 5% 20 кОм	1	
R5,R8	МЛТ 0,125 ± 5% 10 кОм	2	
R9	МЛТ 0,125 ± 5% 25 кОм	1	
	Конденсатори		
C2, C3	2,2 мкФ	2	
VD1-VD6	Д212	6	
VT1-VT6	силові модулі IRGPH50KD2	6	
VD30,VD31	стабілітрон типу КС133А	2	

## 11. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 11.1 Вимоги безпеки під час експлуатації ліфтового механізму. Кабіни управління

Кабіна управління або пульт управління повинні бути розташовані в такому місці, щоб оператор міг спостерігати за зачіпкою вантажу, а також за вантажозахоплювальним органом та вантажем протягом повного циклу роботи.

Кабіна ліфту повинна бути підвішена з боку, протилежного до тієї, на якій розташовані головні тролейні дроти. Винятки допускаються в тих випадках, коли тролейні дроти недоступні для випадкового дотику до них з кабіни, з посадкового майданчика або сходів.

### 11.2 Вимоги безпеки до механізмів та апаратів управління

Апарати управління вантажопідйомної машини повинні бути виконані та встановлені таким чином, щоб управління було зручним і не ускладнювало спостереження за вантажозахоплювальним органом та вантажем, а напрям руху рукояток, важелів та маховиків був раціональним та відповідав напрямку руху.

Умовне позначення напрямів рухів, що викликаються, повинно бути вказано на механізмах і апаратах і зберігатися протягом терміну їх експлуатації.

Окремі положення важелів, рукояток чи маховиків управління повинні фіксуватися та мати позначення. Зусилля фіксації в нульовому положенні або в положенні "вимкнено" має перевищувати зусилля фіксації у проміжних положеннях.

Кнопки для реверсивного пуску кожного механізму повинні мати блокування, що унеможливорює одночасне включення реверсивних контактів.

Пускові апарати ручного управління, що застосовуються на вантажопідйомних машинах, керованих з підлоги, повинні мати пристрої для

самоповернення в нульове положення. При використанні в цих випадках контакторів утримання їх у включеному положенні має бути можливим тільки при безперервному натисканні на кнопку пуску.

Підвіска апаратів управління повинна проводитися на сталевому тросику такої тривалості, яка дозволяла б особі, яка керує механізмом, перебувати на безпечному відстані від вантажу, що піднімається. Апарат управління має бути розташований на висоті від 1000 до 1500 мм від підлоги.

У вантажопідійомних машинах з електричним приводом при контрольному керуванні включення контактора захисної панелі повинно бути можливим лише в тому випадку, якщо всі контролери перебувають у нульовому положенні. Контакти нульового блокування магнітних контролерів з індивідуальним нульовим захистом у ланцюг контактора захисної панелі (вступного пристрою) можуть не включатися. В цьому випадку в кабіні управління повинна бути встановлена світлова сигналізація, яка інформує про вмикання або вимкнення магнітного контролера.

### 11.3 Вимоги безпеки до приладів та пристроїв безпеки

Вантажопідійомні машини з машинним приводом повинні бути обладнані пристроями (кінцевими вимикачами) для автоматичної зупинки механізму підйому вантажозахоплювального органу у його крайніх верхньому та нижньому положеннях. Кінцевий вимикач нижнього положення вантажозахоплювального органу може і не встановлюватися, якщо за умовами експлуатації механізму не потрібно опускати кабінку нижче за рівень, встановлений проектом (паспортом)

Зазначені пристрої повинні встановлюватися за необхідності обмеження ходу будь-якого іншого механізму вантажопідіймальної машини з електричним приводом, наприклад механізму повороту, висування телескопічної частини вантажопідіймальної машини, механізму вантажозахоплювального органу,

підйому кабіни.

Кінцеві вимикачі, що встановлюються на вантажопідіймальній машині, повинні включатися в електричну схему так, щоб була забезпечена можливість руху у зворотному напрямку. Подальший рух у тому самому напрямку допускається для механізму з метою підходу до посадкового майданчика або тупикового упору з найменшою швидкістю, що допускається електричною схемою управління.

Кінцевий вимикач механізму підйому вантажу повинен бути встановлений так, щоб після зупинки захватного органу при підйомі без вантажу зазор між вантажозахоплювальним органом і упором був у електроталей не менше 50 мм, а у всіх інших вантажопідіймальних машин не менше 200 мм.

Кінцевий вимикач механізму пересування повинен бути встановлений таким чином, щоб відключення останнього відбувалося на відстані до упору, що становить не менше половини шляху гальмування механізму. При встановленні взаємних обмежувачів ходу механізмів пересування мостових та консольних пересувних кранів, що працюють на одному шляху, вказана відстань повинна бути зменшена до 500 мм.

Після дії обмежувача вантажопідйомності можливе опускання вантажу або включення інших механізмів для зменшення вантажного моменту.

У механізмів, що мають дві або більше вантажні характеристики, повинен бути застосований обмежувач вантажного моменту, що має пристрій для перемикання його на роботу відповідно до вибраної характеристики.

При відключенні електродвигуна підйому вантажу або стріли має зніматися напруга з котушок електромагніту гальма або обмоток двигуна гідроштовхача.

#### 11.4 Вимоги безпеки до електроустаткування

Електричне обладнання вантажопідіймальних машин, струмопровід та заземлення повинні відповідати "Правилам улаштування електроустановок", за винятком випадків, особливо обумовлених у цих Правилах.

Подача напруги на вантажопідійомну машину від зовнішньої мережі повинна здійснюватися через вступний пристрій, що має ручний або дистанційний привід для зняття напруги.

Ввідний пристрій (захисна панель) мостових та консольних кранів повинен бути обладнаний індивідуальним контактним замком з ключем (ключ-марка), без якого не може бути подана напруга на кран.

Для подачі напруги на головні тролейні дроти або гнучкий кабель повинен бути встановлений вимикач у доступному для вимкнення місці.

Вимикач, що подає напругу на головні тролейні дроти або гнучкий кабель, повинен мати пристрій для замикання його у відключеному положенні. На корпусі вимикача має бути вказано реєстраційний номер крана, на який подається напруга.

Електрична схема керування електродвигунами вантажопідіймальної машини повинна виключати:

самозапуск електродвигунів після відновлення напруги в мережі, що живить вантажопідійомну машину;

пуск електродвигунів за заданою схемою прискорення;

пуск електродвигунів контактами запобіжних пристроїв (контактами кінцевих вимикачів та блокувальних пристроїв).

Електропроводка кранів має прокладатися в коробках, трубах, металорукавах.

Короба та труби повинні прокладатися таким чином, щоб у них не могла накопичуватися волога від конденсації парів, що містяться у повітрі.

Виведення проводів із коробів та труб до електродвигунів, опорів тощо. повинен виконуватись у гнучких рукавах. Гнучкі рукави мають бути закріплені на опорних поверхнях через 500 – 700 мм.

Введення металорукавів в електрообладнання та комунікаційні апарати має здійснюватися за допомогою затискних муфт.

Ізоляція проводів у місцях виходу з труб, коробів, металорукавів та введення в електрообладнання та комунікаційні апарати має бути захищена від перетирання ізоляційними втулками.

З'єднання проводів під час прокладання електропроводок повинно проводитися лише у набірних затискачах.

Електропроводка повинна бути доступна для огляду під час експлуатації, захищена в тих місцях, де можливі її пошкодження при ремонті механічної частини механізму, захищена від псування ізоляції, від попадання на неї мастила або перегріву від випромінювання. Провід та кабелі повинні приєднуватися до апаратів, приладів та установчої апаратури за допомогою наконечників або спеціальних затискачів.

Одножильні дроти перетином до 10 кв. мм та багатожильні до 2,5 кв. мм можуть приєднуватися без наконечників, при цьому кінці багатожильних дротів повинні бути пропаяні або спресовані.

Паяння та лудіння кінців проводів повинні проводитися припоєм із вмістом олова не нижче 30 %. Застосовувати кислоти як флюс при паянні проводів категорично забороняється.

Оброблені та олов'яні кінці проводів повинні бути окольцовані полівінілхлоридними або поліетиленовими трубками завдовжки не менше 30 мм.

Усі кінці проводів повинні мати чітке та міцне маркування відповідно до монтажної електричної схеми. Маркування повинно наноситися чорнилом, що не змивається, або електрографічним способом.



Перед монтажем електрообладнання має бути оглянуто з метою виявлення зовнішніх пошкоджень та перевірено на опір ізоляції.

Кабіна керування та машинне приміщення повинні мати електричне освітлення.

Освітлення на вантажопідіймальних машинах з електричним приводом при відключенні електрообладнання вантажопідіймальної машини повинно бути підключеним.

Ланцюги освітлення та сигнального приладу, включені до вступного пристрою, повинні мати власний вимикач. Ліфтові механізми повинні бути обладнані низьковольтним ремонтним освітленням напругою не більше 42 В. Живлення мережі ремонтного освітлення повинно здійснюватись від трансформатора або акумулятора, встановлених на крані.

Використання металоконструкцій крана як робочого струмопроводу для живлення ланцюгів освітлення, керування або інших напругою більше 42 В не дозволяється.

Установка в кабіні керування вантажопідіймальної машини пускових опорів електродвигунів не дозволяється.

Електричні опалювальні прилади, що встановлюються в кабіні вантажопідіймальної машини, повинні бути безпечними у пожежному відношенні, а їх струмопровідні частини огорожені. Електричні опалювальні прилади повинні приєднуватись до електричної мережі після вступного пристрою. Корпус опалювального приладу має бути заземлений.

У механізмів з електричним приводом при живленні від зовнішньої мережі їх металоконструкції, а також усі металеві частини електрообладнання (корпусу електродвигунів, кожухи апаратів, металеві оболонки проводів і кабелів, захисні труби тощо), що не входять в електричний ланцюг, але можуть виявитися під напругою внаслідок псування ізоляції, повинні бути заземлені відповідно до "Правил пристрою електроустановок".

Корпус кнопочового апарату управління вантажопідіймальної машини, що керується з підлоги, повинен бути виконаний або з ізоляційного матеріалу, або заземлений не менше ніж двома провідниками. Як один із заземлюючих провідників може бути використаний тросик, на якому підвішений кнопочовий апарат.

Опір кожного ступеня ізоляції після монтажу виготовленого або капітально відремонтованого крана повинен бути не менше 10 МОм. Ізоляція електрообладнання та електропроводки повинна бути розрахована на випадок докладання до них напруги від вантажу при пошкодженні або перекритті щаблів захисної ізоляції.

Заземлювальні затискачі повинні встановлюватися у зварних конструкціях на бобишках або перехідних платівках. Контактні поверхні повинні бути зачищені до блиску та покриті протикорозійним мастилом.

Приєднання провідників заземлення до контактних поверхонь повинно бути болтовим з установкою шайб, що контрастують, для запобігання самовідгвинчування при вібрації.

Провідники заземлення повинні бути прокладені в місцях, доступних для огляду. У місцях приєднання провідників до металоконструкції крана (у бобишок чи перехідних пластинок) має бути нанесений знак "Земля".

Металеві корпуси виносних апаратів управління повинні заземлюватися не менше ніж двома провідниками.

Під'єднання заземлювальних провідників до металорукав має бути виконане пайкою або хомутом.

Металеві секції коробів електропроводок крана повинні утворювати безперервний електричний ланцюг по всій довжині прокладки (мають бути прихоплені зварюванням у трьох-чотирьох точках по периметру стику секції). Заземлення коробів не потрібне у разі безпосереднього приварювання секції до металоконструкції крана.

### 11.5 Вимоги безпеки до огорож

Легкодоступні частини вантажопідійомної машини, що знаходяться в русі, і які можуть бути причиною нещасного випадку, повинні бути закриті міцно укріпленими металевими знімними огороженнями, що допускають зручний огляд і мастило. Обов'язковій огорожі підлягають:

а) зубчасті, черв'якові та ланцюгові передачі;

б) сполучні муфти, розташовані у місцях проходу;

в) барабани, розташовані поблизу робочого місця або в проходах, при цьому огорожа барабанів не повинна ускладнювати спостереження за навивкою каната на барабан;

г) вал механізму пересування при частоті обертання 50 об/хв і більше (при частоті обертання менше 50 об/хв цей вал має бути огорожений у місці люка для виходу на галерею).

Огорожі підлягають також вали інших механізмів вантажопідіймальних машин, якщо вони розташовані в місцях, призначених для проходу персоналу, що обслуговує.

Усі неізольовані струмопровідні частини електрообладнання вантажопідійомної машини, у тому числі вмикачів контакторних панелей та ящиків опору при розташуванні, що не виключає випадковий до них дотик осіб, що знаходяться в кабіні, на галереях, майданчиках вантажопідіймальної машини, а також біля них повинні бути огорожені. Огорожі також підлягають неізольовані струмопровідні частини вимикачів, що подають напругу на головні тролейні дроти або кабель живлення.

Контакторні панелі та ящики опору, з яких автоматично знімається напруга при виході в місцях їх розташування, а також встановлюються у спеціальних апаратних кабінах, замкнених під час експлуатації вантажопідійомної машини, можуть не обмежуватися.

Головні тролейні дроти, розташовані вздовж колії, та їх струмоприймачі повинні бути недоступні для випадкового до них дотику зі сходів, посадкових майданчиків та інших майданчиків, де можуть знаходитися люди, що повинно забезпечуватись відповідним розташуванням або огорожею проводів та струмоприймачів.

Тролейні дроти, розташовані на вантажопідйомній машині, не відключаються контактом блокування люка (тролеї вантажного електромагніта, тролейі напругою понад 42 В), повинні бути огорожені або розташовані між фермами механізму на доступній відстані для обслуговуючого персоналу.

У місцях можливого дотику вантажних канатів з головними або допоміжними тролейними проводами ліфтового механізму, розташованого ярусом нижче, повинні бути встановлені відповідні пристрої.

## ВИСНОВОК

Відповідно до завдання в даному дипломному проекті мало бути виконане проектування асинхронного автоматизованого електроприводу з перетворювачем частоти для ліфтових механізмів.

У процесі проектування приводу було виконано ряд розділів, зазначених у завданні.

Відповідно до завдання, у першому розділі були проведені аналіз технологічного процесу, розглянуто взаємозв'язок оператора та установки, а також побудовано розрахункову схему механічної частини електроприводу, внаслідок чого визначилися особливості як установки в цілому, так і її складових частин.

У другому розділі було здійснено інформаційний пошук, у результаті визначили найбільш економічний і якісний спосіб управління тяговим приводом. За результатами пошуку, аналізу технологічного процесу та відповідно до завдання було сформульовано вимоги до електроприводу та системи автоматизації, обрано найбільш раціональну систему електроприводу.

У третьому розділі були побудовані навантажувальні діаграми механізму та електроприводу, обраний двигун та проведена його перевірка.

У четвертому розділі здійснили проектування та розрахунок силової схеми автоматизованого електроприводу.

Далі в розділі 5 була спроектована система керування приводом підйому, синтезовані регулятори, визначені параметри об'єкта керування та пристрою, що управляє.

У розділі 6 було розроблено комп'ютерну модель автоматизованого електроприводу, що імітує режими підйомів крана.

У розділі 7 була проведена остаточна перевірка двигуна на нагрів.

Проектування системи автоматизації було виконано у розділі 8.

У розділі 9 було виконано проектування схеми дистанційного керування.

Проектування системи електропостачання та захисту було виконано у розділі 10. Також було зроблено вибір кабелю та автоматичних вимикачів.

Техніці безпеки та охорони праці присвячено розділ 11. У ньому були розглянуті основні частини ліфтового механізму та правила безпечної експлуатації механізмів такого типу.

В цілому, після виконання всіх вищезгаданих розділів було виявлено, що показники спроектованої системи відповідають завданню, а застосування розробленої установки доцільне через зручність її управління.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3552 – 97 Ліфти пасажирські та вантажні. Терміни та визначення. – Чинний з 01.07.1998. – К.: Держбуд України, 1997.
2. Схиртладзе, А.Г. Автоматизация технологических процессов: Учебное пособие / А.Г. Схиртладзе, С.В. Бочкарев, А.Н. Лыков. - Ст. Оскол: ТНТ, 2013. - 524 с.
3. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие для студ.высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; под ред. И.Я. Браславского.– М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256с.
4. Справочник по лифтовым механизмам: В 2-х т. Под общей ред. проф. Гохберга М.М.-М.:Машиностроение, 1988.-559 с.
5. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 560 с.
6. Соколов М.М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. - М.: Энергия, 1976 – 487 с.
7. Справочник по электрическим машинам: В 2 т. Т. 2/ Под общ. ред. И.П. Копылова. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 688 с.
8. Система автоматизованого електропривода виробничих установок: Навч. посібник / І. С. Шевченко. – К. : ІСДО, 1994. – 256с.
9. Пілецький В. Т. Вибір електроприводів реверсивних тиристорних перетворювачів постійного струму / В. Т. Пілецький. – К.: ІСДО, 1994. – 148с.
10. Федосеев В. И. Безопасная эксплуатация лифтов : справочное пособие / В. И. Федосеев, Г. К. Гончаров. – М. : Стройиздат, 1987. – 256 с.