

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний аграрний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Допущений до захисту:

Завідувач кафедри

проф. Матвійчук В.А.

(вчене звання, прізвище, ініціали)

(Підпис)

“ ____ ” _____ 2021 р.

ОБґРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ПІДЙОМНИКА

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 141 – Електроенергетика,
електротехніка і електромеханіка

Виконав: студент групи ЕІ-20-Мз
Луць Руслан Миколайович

(підпис)

- Керівник: к. т. н., доцент
- Ярошенко Леонід Вікторович

(підпис)

2021

ЗМІСТ

Завдання на кваліфікаційну роботу	2
Анотація	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ПІДЙОМНИКА ТА РЕЖИМІВ ЇХ РОБОТИ.....	11
1.1 Технічні характеристики автомобільних підйомників та їхні кінематичні схеми	11
1.2 Кінематична схема двох-стійкового автомобільного підйомника та принцип його роботи.....	18
1.3 Тахограма роботи двох-стійкового автомобільного підйомника	29
1.4 Висновок і постановка завдань досліджень	29
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР ПРИВОДНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА АВТОМОБІЛЬНОГО ПІДЙОМНИКА	29
2.1 Визначення статичних моментів опору механізму автомобільного підйомника та побудова тахограм його роботи	29
2.2 Попередній розрахунок потужності приводного електродвигуна.....	33
2.3 Побудова навантажувальної діаграми електропривода електромеханічного підйомника автомобілів	37
2.4 Перевірка вибраного електродвигуна за нагріванням, умовами пуску та його перевантажувальною здатністю	42
2.5 Побудова механічних характеристик приводного електродвигуна ..	43
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ АВТОМОБІЛЬНОГО ПІДЙОМНИКА.....	48
3.1 Розробка структурної схеми системи керування електроприводом..	48
3.2 Обґрунтування вибору та розрахунок основних елементів силового кола системи електроприводу	49
3.2.1 Обґрунтування вибору та перетворювального пристрою	49
3.2.2 Розрахунок параметрів та вибір силового трансформатора.....	54
3.2.3 Розрахунок параметрів силового кола перетворювача.....	57

3.2.4	Визначення необхідної індуктивності згладжуючого дроселя	58
3.2.5	Розрахунок та вибір основних елементів захисту силового кола...	59
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА, РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР РЕГУЛЯТОРІВ..... 63		
4.1	Розробка структурної схем електропривода автомобільного підйомника	63
4.2	Вибір та розрахунок регуляторів та основних елементів їх контурів	64
4.3	Розрахунок передавальних функцій динамічних ланок системи електропривода підйомника автомобілів	69
4.3.1	Розрахунок передавальних функцій електродвигуна та перетворювача частоти.....	69
4.3.2	Обґрунтування вибору та розрахунок сенсорів.....	72
РОЗДІЛ 5 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА АВТОМОБІЛЬНОГО ПІДЙОМНИКА		
5.1	Визначення стійкості та якісних показників роботи системи електроприводу автомобільного підйомника	75
5.2	Математичне моделювання перехідних процесів розробленої системи керування електропривода	78
РОЗДІЛ 6 РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ МОНТАЖУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ..... 86		
6.1	Вимоги до монтажу електродвигунів	86
6.2	Підготування електродвигунів до монтажу	87
6.3	Установка електродвигуна на опорну підставу	90
6.4	Вивіряння передач	93
РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКОЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ РОБОТИ..... 96		
РОЗДІЛ 8 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА..... 103		
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ		
ЛІТЕРАТУРА		
ДОДАТКИ (ілюстративний матеріал)..... 110		

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Обґрунтування системи електроприводу електромеханічного автомобільного підйомника» виконана студентом групи ЕІ-20-Мз. Луцем Русланом Миколайовичем у Вінницькому національному аграрному університеті на кафедрі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки інженерно-технологічного факультету, рік захисту 2021. Робота містить 110 аркушів, 14 таблиць, 22 рисунки, список літератури - 28 найменувань.

Обґрунтовано вибір системи електроприводу підйому автомобілів на базі перетворювача частоти та асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором зі зворотнім зв'язком за швидкістю, що дозволяє сформувати необхідні характеристики привода, розраховані та вибрані потужність двигуна, елементи силового перетворювача, апарати захисту та керування, елементи системи керування. Проведено моделювання розрахованої системи, здійснено також дослідження системи електроприводу на стійкість та якість, розроблено алгоритми монтажу електромеханічного обладнання. Розрахована економічна ефективність розробки та розглянуті питання охорони праці.

SUMMARY

Master's qualification work on "Substantiation of the electric drive system of the electromechanical car lift" was performed by a student of the group EI-20-Mz. Luts Ruslan Mykolayovych at Vinnytsia National Agrarian University at the Department of Electrical Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Faculty of Engineering and Technology, year of defense 2021. The work contains 110 sheets, 14 tables, 22 figures, bibliography - 28 titles.

The choice of electric drive system for lifting cars based on frequency converter and induction motor with short-circuited rotor with speed feedback is justified, which allows to form the necessary drive characteristics, calculated and selected engine power, power converter elements, protection and control elements. Modeling of the calculated system is carried out, research of the electric drive system on stability and quality is carried out, algorithms of installation of the electromechanical equipment are developed. The economic efficiency of development is calculated and labor protection issues are considered.

ВСТУП

На даний час різноманітні технологічні процеси здійснюються виробничими пристроями, машинами і комплексами з використанням систем електропривода, що за допомогою перетворення і передачі енергії робочій машині або виконавчому органу забезпечують цілеспрямовану роботу останніх. Невпинний розвиток електротехніки, електроніки та мікропроцесорної техніки, що триває протягом останніх років, приводить до істотних змін у теорії і практиці застосування електричного приводу. Це насамперед стосується появи і розвитку нових електронних пристроїв та технічних пристроїв автоматизації, які швидко розширили області і об'єми застосування керованого електропривода виробничих машин і механізмів.

Автомобільний підйомник являє собою конструкцію, що складається з опорної системи і механізму приводу. Опорна система складається з вертикальних колон числом від однієї до чотирьох, шарнірно закріплених лап, механізму переміщення кареток і приводу. Працює пристрій наступним чином: автомобіль заганяється на майданчик, лапи підводяться під пороги або інші силові елементи кузова. Каретки піднімаються уздовж стоек, використовуючи останні в якості направляючих.

Електромеханічні підйомники мають один або кілька електродвигунів, зусилля від яких за допомогою механічних передач різного типу передаються до опорних пристроїв, що вертикально переміщуються вздовж напрямних стоек. Застосовуються електромеханічні напільні підйомники одностійкові вантажопідйомністю до 1,5 т, двох-, трьох-, чотирьох- і шестистійкові вантажопідйомністю до 14 і більше тон. У цих підйомниках використовують різні типи механічних передач, а саме: гвинтові, ланцюгові, тросові, карданні, важільно-шарнірні.

Актуальність теми. Підйомники з електромеханічним приводом - найдоступніший серед всіх подібних пристроїв. Зважаючи на надійність конструкції, найбільш широкого застосування набули електромеханічні

підйомники із гвинтовими передачами, у яких зусилля передається або на гвинти, або на вантаже-несучі гайки. Електропривод таких підйомників працює у повторно-короткочасному режимі.

Основним структурним елементом автоматизації електромеханічні підйомника автомобілів є регульований електропривод, до ключових завдань якого залежно від режимів функціонування в технологічному циклі відносять забезпечення заданої точності руху виконавчих органів та обмеження динамічних навантажень електричного і механічного обладнання, що при проектуванні високопродуктивних, надійних і точних машин без урахування впливу на динаміку електроприводу пружних механічних коливань фізично неправомірно та економічно недоцільно.

При проектуванні електромеханічних приводів технологічних машин використовуються методи синтезу, які ґрунтуються на задачах оптимізації з метою мінімізації реакції електроприводу у перехідних режимах при дії сил пружного зв'язку, як зовнішнього збурення (задачі фільтрації, динамічні навантаження, інерційне демпфування та ін.). Для вирішення підвищеного обсягу завдань, що ставляться перед системами керування, необхідно розширити технологічні можливості цих систем та спростити їх, що в кінцевому підсумку дозволить підвищити продуктивність праці, як на основних і допоміжних операціях з ремонту і обслуговування автомобілів.

Зв'язок роботи з науковими темами, програмами, планами. Розробки, теоретичні та експериментальні дослідження проводились у рамках виконання ініціативної госпдоговірної тематики.

Мета роботи: підвищення ефективності роботи електроприводу електромеханічного автомобільного підйомника за рахунок удосконалення електропривода механізму підйому та підвищення надійності його роботи при зменшенні експлуатаційних витрат.

Об'єкт дослідження: електромеханічного автомобільного підйомника з системою керування регулятор частоти – асинхронний двигун.

Предмет дослідження: технологічний процес роботи регульованого електроприводу електромеханічного автомобільного підйомника.

Методи дослідження: у ході розробки, обґрунтування та проведення запланованих досліджень застосовувались методи системного аналізу, прогнозування та інтерполяції.

Наукова новизна роботи:

- обґрунтовано методику удосконалено системи електропривода електромеханічного автомобільного підйомника шляхом заміни електропривода з двигуном постійного струму на автоматизований електропривод з перетворювачем частоти та асинхронним двигуном, що має коротко-замкнений ротор та системою керування зі зворотним зв'язком по кутовій швидкості вале електродвигуна, що дозволяє отримати необхідні приводні характеристики;

- Обґрунтований вибір для приводу підйомника короткозамкненого асинхронного двигуна та трифазного регулятора частоти, розраховані параметри схеми заміщення приводного електродвигуна та отримані його електромеханічні та механічні характеристики,

- для розробленого електроприводу розраховано і вибрано приводний двигун за потужністю, а також елементи силового перетворювача та системи керування та захисту;

- виконано моделювання перехідних процесів та розрахунок динаміки електропривода для вибраної системи електроприводу;

- досліджено розроблену системи електроприводу на стійкість та визначені показники якості її роботи.

Практична цінність: за результатами проведених обґрунтувань та теоретичних і експериментальних досліджень, здійснені необхідні розрахунки даного типу електроприводу для застосування в умовах ТОВ «Вінницьке АТП 10556» у якому планується відкриття дільниці з ремонту і обслуговування легкових автомобілів.

Апробація роботи: матеріали та отримані результати магістерської роботи висвітлювались та обговорювались у ході студентської науково–практичної конференції, що проходила на базі Вінницького національного аграрного університету у 2021 р.

РОЗДІЛ 1 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ПІДЙОМНИКА ТА РЕЖИМІВ ЇХ РОБОТИ

1.1 Технічні характеристики автомобільних підйомників та їхні кінематичні схеми

Автопідйомники - це обладнання, без якого важко уявити повноцінну роботу автосервісу, вони використовуються для забезпечення робіт з технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів шляхом їх підняття на необхідну висоту, дозволяючи отримати зручний доступ до механізмів і агрегатів автомобілів, що розташовані у його нижній частині і під днищем. Вони застосовуються при діагностиці і ремонті автомобілів, полегшуючи виконання таких операцій, як шиномонтаж, кузовні та слюсарні роботи, стайлінг, розвал-сходження та ін. Вони можуть використовуватися окремо або спільно з іншим обладнанням та інструментом дозволяючи економити простір авто-майстерень та гаражів.

Автопідйомники служать для підйому автомобіля над рівнем підлоги на висоту, яка забезпечує зручність проведення робіт знизу та збоку автомобіля. Як правило, максимальна висота підйому становить 1,3...1,8 м, час підйому 0,3...2,0 хв.

Робочі місця при оснащенні постів підйомниками розміщуються на підлозі приміщення. Для забезпечення можливості проведення одночасно роботи з усіх боків автомобіля пости з підйомниками в окремих випадках оснащують спеціальними помостами-балконами, які або піднімаються разом з автомобілем, або встановлені поруч із підйомником. Конструкція робочого поста при цьому ускладнюється, а його площа різко зростає.

В автотранспортних підприємствах застосовуються стаціонарні і пересувні гаражні підйомники. Гаражні підйомники мають ряд переваг у порівнянні з оглядовими канавами й естакадами. Вони дозволяють регулювати висоту підйому автомобіля, що значно полегшує працю робітників,

забезпечуючи їх безпеку. Недоліки – ускладнене застосування при потоковому методі технічного обслуговування, бо неможливе одночасне виконання робіт зверху та знизу автомобіля.

При оснащенні постів підйомниками поліпшуються санітарно-гігієнічні умови праці, забезпечуються природне освітлення, достатня вентиляція, чистота, вільне переміщення на робочих місцях. Однак вимоги до техніки безпеки ускладнюються – автомобіль треба ретельно закріплювати на підйомнику спеціальними упорами, для запобігання від мимовільного опускання підйомника варто встановлювати спеціальні підставки, штанги, фіксатори й т. д.

Підйомники застосовують на тупиковому та проїзному паралельному, універсальному і спеціалізованому постах з технічного обслуговування і ремонту. Компонування таких постів у потокові лінії незручні. Перекидачі використовують тільки на спеціалізованих постах для робіт знизу автомобіля (зварювання, фарбування) на великих СТОА.

Залежно від призначення робочого поста або конструкції автомобіля використовують підйомники з різними опорними пристроями: під колеса, під мости або під кузов (рис. 1.1). Конструкція опорного пристрою також впливає на зручність підходу до нижніх частин автомобіля.



Рис. 1.1 - Гаражні підйомники з різними опорними пристроями

Застосовують підйомники різної конструкції. Одні підйомники вимагають розміщення їхніх вузлів нижче рівня підлоги. Тому ці підйомники можна розміщувати лише на першому поверсі. Інші встановлюють на підлозі

із кріпленням або на колесах. Такі підйомники можна розміщувати на міжповерхових перекриттях; з ними легко проводити при необхідності перепланування зон робочих постів. Наразі найбільш поширені підйомники із гідравлічним та електромеханічним приводом.

Залежно від типу приводу автомобільних підйомників та принципу дії їх можна розділити на:

- електрогідравлічні автомобільні підйомники, які безперечними лідерами у застосуванні, завдяки своїй високій надійності, безшумності та плавності ходу, вони досить конкурентоспроможні з огляду на порівняно невелику вартість;

- електромеханічні підйомники, хоча їх конструкція вимагає щоденного обслуговування, але завдяки двом основним перевагам - низькій вартості та високій швидкості піднімання обслуговуваних автомобілів, вони досі використовуються на більшості сучасних станцій технічного обслуговування;

- підйомники із пневматичним приводом розраховані на підняття автомобілів що мають споряджену масу до 6 тон, вони є досить надійними при правильній експлуатації і тому є вельми поширеними.

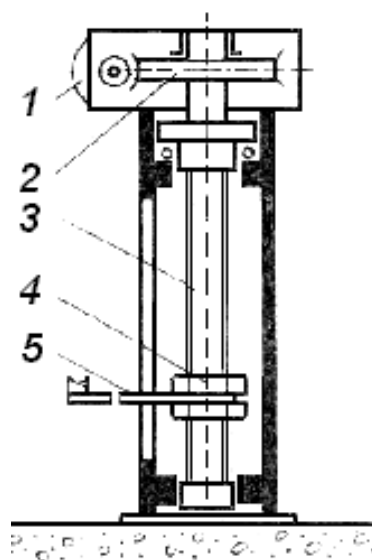
Електромеханічні підйомники (рис. 1.2) мають один або кілька електродвигунів, зусилля від яких за допомогою механічних передач різного типу передаються до опорних пристроїв, що вертикально переміщуються вздовж напрямних стійок. Застосовуються електромеханічні напільні підйомники одно-стійкові вантажопідйомністю до 1,5 т, двох-, трьох-, чотирьох- і шестистійкові вантажопідйомністю до 14 і більше тонн. У цих підйомниках використовують різні типи механічних передач, а саме: гвинтові, ланцюгові, тросові, карданні, важільно-шарнірні і т. п.

Зважаючи на надійність конструкції, все більш широке застосування набули електромеханічні підйомники із гвинтовими передачами, у яких зусилля передається або на гвинти, або на вантажонесучі гайки.



Рис. 1.2. Напільний електромеханічний дво-стояковий підйомник

На схемі (рис. 1.3) приведена конструктивна схема однієї стійки такого підйомника, у якого зусилля від електродвигуна *1* передається через редуктор *2* на вертикальний гвинт *3*. При обертанні гвинтів вантажо-несучі гайки *4* переміщуються вертикально, спричиняючи підйом або опускання опорного пристрою *5* з автомобілем.



1 – електродвигуна; *2* – редуктор; *3* - вертикальний гвинт; *4* - вантажонесуча гайка; *5* - опорний пристрій

Рисунок 1.3 - Конструктивна схема стійки електромеханічного підйомника

Такі підйомники застосовують у вигляді комплектів пересувних стійок з пультом керування, що забезпечує синхронну їхню роботу. Залежно від маси автомобіля можна використовувати різну кількість стійок.

Одно-стоякові електромеханічні підйомники (див. рис. 1.4) спроектовано спеціально для невеликих приміщень в якості основного чи допоміжного механізму. Автомобільний підйомник одно-стояковий складається з опори, вертикальної стойки, рухомої каретки з жорстко закріпленими лапами і приводного механізму з електричним двигуном. Пристрій закріплюється на підлозі з твердим покриттям анкерними болтами, опорна конструкція розташовується на поверхні або в ніші.



Рисунок 1.4 – Одно-стояковий електромеханічний підйомник

Головними перевагами цих систем є висока універсальність і мобільність. Найчастіше їх можна зустріти на невеликих СТО і сервісах гаражного типу. Ці механізми доступні в стаціонарному і пересувному варіантах. Перші мають вантажопідйомність до 2 тон. Що ж стосується мобільних моделей, то у них показник вантажопідйомності становить 250 кг. Пересувні моделі додатково оснащуються страхувальними пристроями для унеможливлення їх перекидання при підніманні й утриманні автомобіля. Особливості конструкції таких агрегатів дозволяють одночасно використовувати не більше 4 мобільних підйомників для легкових машин.

При використанні цих систем підйом автомобіля здійснюється за колеса або за пороги. Транспорт піднімається з однієї або відразу з двох сторін. Все залежить від кількості наявного обладнання. Підйомні механізми одно-стоякового типу часто використовуються на СТО і авто-мийках. Досить часто ними обладнуються і шино-монтажні майстерні.

Двох-стійковий електромеханічний підйомник (див. рис. 1.5) складається з опорної системи, двох вертикальних колон з підйомним механізмом всередині, кареток з поворотними лапами і приводу. Пристрій працює від промислових електромереж. Конструкція має тільки стаціонарний варіант виконання.



Рисунок 1.5 – Двох-стійковий електромеханічний підйомник

Вони є не менш затребуваними механізмами, ніж одно-стоякові моделі. Їх можна використовувати для виконання різних завдань - ремонту, діагностики та технічного обслуговування. У конструкції цих систем відсутня платформа, що дозволяє залишити шасі в підвішеному стані. Залежно від типу приводу ці механізми можна розділити на електромеханічні і електрогідролічні. Перші більш зручні у використанні, а другі відрізняються підвищеним рівнем безпеки, надійності і довговічності. У таких систем показник вантажопідйомності становить до 8 тон. На СТО, як правило, використовуються п'ятитонні моделі.

Залежно від типу розподілу вантажу прийнято виділяти симетричні і асиметричні механізми. Асиметричні двох-стійкові підйомники мають коротші передні «лапи», які дозволяють піднімати автомобілі із ширшою базою і відкривати при цьому їхні передні двері, але вони мають меншу стійкість а їх вантажопідйомність на перевищує 4 тони. На підставі такої ознаки, як метод синхронізації, ці підйомники можуть бути класифіковані на моделі з нижнім або верхнім типом приводу.

Чотирьох-стійковий електромеханічний підйомник (див. рис. 1.6) складається із чотирьох колон, вантажної платформи або двох роздільних трапів, підйомного механізму і приводу. Чотирьох-стійковий автопідйомник оснащується системами синхронізації, що забезпечують його роботу і виключають перекіс рами. Можливе використання обладнання в складі комплексів об'єктивного контролю технічного стану вантажних автомобілів.

Усі моделі в обов'язковому порядку оснащуються системами безпеки, що виключають можливість падіння платформи при поломці механізму підйому. Частина обладнання має можливість регулювання ширини колії за рахунок переміщення трапів в певному діапазоні.



Рисунок 1.6 - Чотирьох-стійковий електромеханічний підйомник

Головною їх особливістю є висока вантажопідйомність. Найчастіше їх можна зустріти на вантажних СТО. Вони класифікуються залежно від вантажопідйомності і довжини платформи. Системи, у яких розміри не перевищують 5000 мм, відмінно підходять для підйому легкових авто. Основними їх перевагами є простота і надійність, демократична ціна, можливість обслуговування автотранспорту з довгою базою, використання для підйому вантажних автомобілів. З недоліків можна виділити тільки не дуже зручну перемичку і великі розміри.

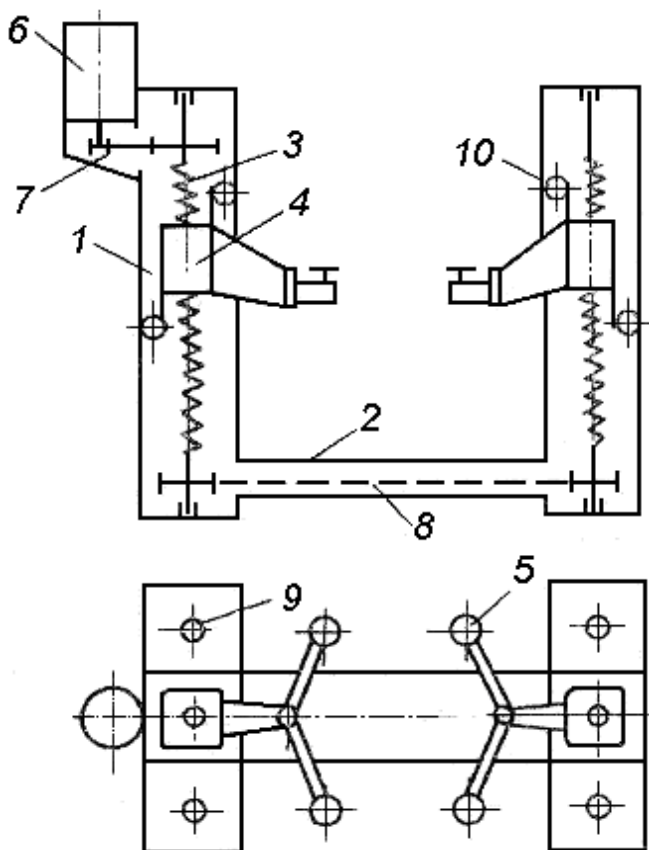
1.2 Кінематична схема двох-стійкового автомобільного підйомника та принцип його роботи

Двох-стійковий автомобільний підйомник має стаціонарну жорстко зафіксовану конструкцію, яка кріпиться до поверхні підлоги за допомогою спеціальних анкерних болтів. Такий автомобільний підйомник служить для піднімання і утримання обслуговуваних автомобілів в піднятому фіксованому положенні на певній висоті. Передні кронштейни повертаються на кут до 180 градусів, що дозволяє обслуговувати транспортні засоби з короткою базою.

Загальний вид двох-стійкового підйомника приведений на рис. 1.5 а його кінематична схема на рис. 1.7. Залежно від конкретної моделі такого підйомника його дві стойки що обладнані кронштейнами дозволяють піднімати автомобілі вагою понад 5 тон.

Двох-стійковий підйомник легкових автомобілів (див. рис. 1.7.) містить дві стойки коробчастого поперечину 1. У кожній стойці на підшипниках встановлено ходовий гвинт 3 по якому переміщається вантажо-несуча гайка 4 з розсувними підхватами 5. Ходові гвинти 3 отримують обертовий рух від приводного електродвигуна 6 через зубчатий редуктор 7, що встановлюється на одній зі стоек 1. Синхронність підняття обох підхватів 5 підйомника, що піднімаються гвинтом 3 з гайкою 4, забезпечується ланцюговою передачею 8,

що йде від однієї стійки до іншої. Зазвичай ланцюгова передача 8 для синхронізації знаходиться знизу, як на схемі. Підйомник встановлюється на підлозі за допомогою анкерних болтів 9. Для розвантаження ходові гвинтів 3 від згинаючих зусиль встановлюються упорні ролики 10.



1 – стійка; 2 – поперечка; 3 – гвинт; 4 – гайка; 5 – підхват;
 6 – електродвигун; 7 – редуктор; 8 – ланцюгова передача; 9 – анкерний болт; 10 – опорний ролик

Рисунок 1.7 – Кінематична схема двох-стійкового підйомника

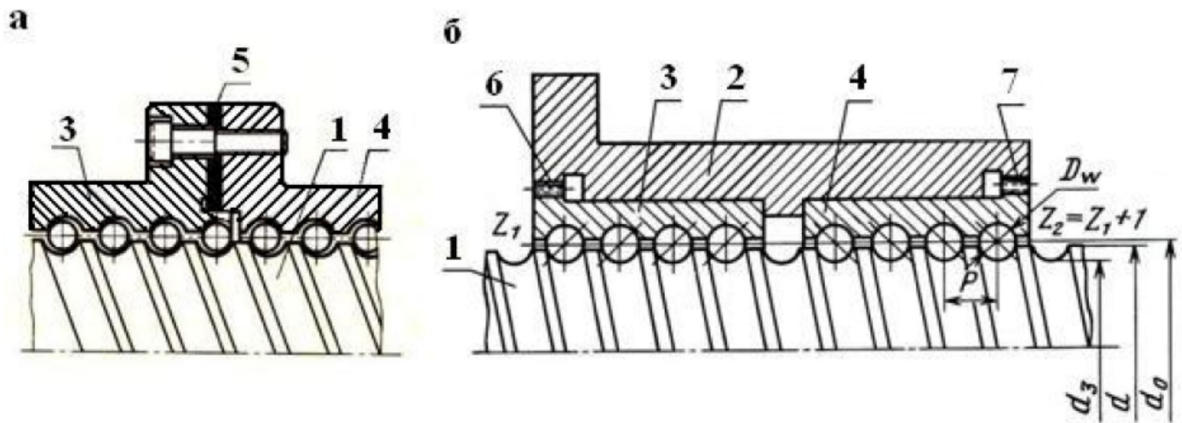
Гвинтова передача, що встановлена у даному автомобільному підйомнику служить для перетворення обертового руху гвинта 3 у поступальний рух гайки 4 із підхватами 5. Поперечний переріз кулькової гвинтової передачі приведено на рис. 1.8.

Гвинтова передача або передача гвинт-гайка широко застосовується в різних машинах, механізмах і верстатах для перетворення обертального руху

в лінійне переміщення. При цьому успішно вирішуються відразу два завдання - отримання виграшу у силі і забезпечення високої точності переміщень. Широке поширення гвинтової передачі зумовлено відносною простотою у виготовленні і дешевизною її елементів при високій несучій здатності і компактності.

Кулькова гвинтова передача складається з гвинта і гайки з нарізаними гвинтовими канавками криволінійного профілю, що служать доріжками для кульок або роликів. В якості ведучої ланки використовують як гвинт, так і гайку. У ходових гвинтах найбільш широко застосовують гвинтові передачі з кульками (КГП). Переваги кулькової передачі: порівняно високий ККД ($\approx 0,9$); висока осьова несуча здатність при малих габаритах; рівномірне поступальне переміщення з високою точністю; значний ресурс роботи. Недоліки: складність конструкції гайки; необхідність високої точності виготовлення і захисту передачі від забруднень; не має самогальмування. Гвинтова передача може бути також само-гальмуючою, однак величина ККД такої передачі не перевищуватиме 50 %.

Найбільшого поширення в гвинтових кулькових передачах отримала різьба з напівкруглим профілем, що дозволяє створювати конструкції КГП з регульованим натягом (рис. 1.8). Попередній натяг служить для усунення осьового зазору у з'єднанні гвинт - гайка, підвищення осьової жорсткості і точності переміщення веденої ланки КГП. Конструктивно натяг при канавках напівкруглого профілю здійснюється за допомогою встановлення двох гайок, розміщених в одному корпусі з подальшим відносним осьовим їх зміщенням. Зсув гайок відбувається установкою прокладок між ними (рис. 1.8 а) або їх відносним кутовим поворотом (рис. 1.8б). З'єднання гайок 3 і 4 з корпусом 2 виконано зубчастими муфтами 6 і 7, у яких зовнішні зуби нарізані на фланцях, а внутрішні - у корпусі.



1 - гвинт; 2 - корпус гайки; 3, 4 - гайки; 5 - прокладки; 6, 7 - зубчасті муфти

Рисунок 1.8 - Конструкція кулькової гвинтової передачі з регульованим натягом:

При обертанні гвинта кульки рухаються по гвинтових канавках, поступально переміщують гайку і, викочуючись з канавок різьблення, через канал повернення повертаються в початкове положення. Таким чином, під час роботи рух кульок відбувається по замкнутій траєкторії всередині гайки. Найбільш поширена конструкція КГП, у якій канал повернення з'єднує два сусідніх витка (див. рис.1.9). Число робочих витків в гайці від 1 до 6.

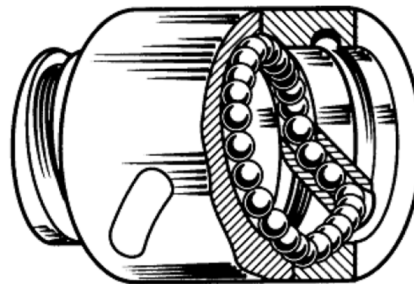


Рисунок 1.9 - Пристрій повернення кульок в гайці кочення

Передавальне число кулькової гвинтової передачі можна визначити як відношення кутової швидкості ведучого валу (гвинта) ω_1 до лінійної швидкості руху гайки (підхватів автомобіля) V_n :

$$i = \omega_1 / V_n = 2\pi / H, \quad (1.1)$$

де, H – хід гвинта, м/рад. [5].

Величина ходу гвинта H це осьове переміщення гайки (із підхватами автомобіля) за один оберт гвинта має розмірність такого передавального числа – м/рад.

Для забезпечення надійної передачі обертового руху в різноманітних механічних конструкціях використовується з'єднувальні муфти різного функціонального призначення, вони можуть відрізнятися як конструктивно, так і за основним призначенням, будь то гасіння ударних навантажень, передача крутного моменту, компенсація не-співвісності або захист обладнання у випадку пікових навантажень, для запобігання надмірних навантажень в окремих ланках механізмів чи елементах конструкції виконавчих механізмів і запобігання перевантаження приводного електродвигуна при випадкових пошкодженнях елементів механічної передачі за рахунок роз'єднання ведучого і веденого валів.

Зубчасті редуктори - механізми, що складаються з однієї або декількох зубчастих передач, розміщених в корпусі і які служать для зменшення частоти обертання і збільшення обертового моменту. Переваги зубчастих редукторів: малі габарити, високий ККД (0,94...0,99), висока здатність навантаження, довговічність і надійність, простота в експлуатації, сталість передавального відношення. Недоліки: необхідність високої точності виготовлення, шум при роботі на великих швидкостях.

Визначальною характеристикою редуктора є передавальне відношення, яке для понижуючого редуктора розраховується як відношення кутової швидкості вхідного валу до кутової швидкості вихідного валу:

$$i = \omega_{вх} / \omega_{вих}. \quad (1.2)$$

Редуктор складається з корпусу (литого чавунного або зварного сталюого), в якому поміщають елементи передачі - зубчасті колеса, вали, підшипники і т. д. В окремих випадках в корпусі редуктора розміщують також пристрої для змащування зачеплень і підшипників (наприклад, всередині

корпусу редуктора може бути розміщений шестеренний масляний насос) або пристрої для охолодження (наприклад, змійовик з охолоджувальною водою в корпусі черв'ячного редуктора).

Редуктор проектується або для приводу певної машини, або за заданим навантаженням (моменту на вихідному валу) і передавальному числу без зазначення конкретного призначення.

Втрати потужності у редукторі враховуються коефіцієнтом корисної дії що - є відношення корисної потужності, що знімається з вихідного валу до потужності, що підводиться до вхідного валу редуктора.

Головні технічні характеристики автомобільного двох-стійкового підйомника П-97МК система електроприводу якого підлягає удосконаленню приведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики підйомника легкових автомобілів П-97МК

Параметр	Значення
Вантажопідйомність, т	3,5
Ширина проїзду, мм	2486
Висота підйому, мм	1880
Загальна ширина, мм	3370
Загальна висота, мм	2860
Час піднімання, с	50
Час опускання, с	4,0
Мінімальна висота підхоплення, мм	110
Потужність приводного електродвигуна, кВт	2,2
Напруга живлення, В	380

Розроблені також підйомники з верхньою синхронізацією у яких рівна підлога, тоді синхронізуюча ланцюгова передача розташована у по верхній перемичці між стойками. Це дещо ускладнює конструкцію підйомника (тоді під перемичкою встановлюється кінцевий вимикач, що обмежує підйом

автомобіля) але одночасно робить його конструкцію жорсткішою. Кожна зі стоек підйомника обладнана страхувальною засувкою-храповиком, що запобігає мимовільному спуску підхватів підйомника.

На рисунках 1.10 і 1.11 зображений підйомник легкових автомобілів П-97МК, що встановлений на дільниці з ремонту і обслуговування легкових автомобілів у ТОВ «Вінницьке АТП 10556».

На рисунку 1.12 вказані габаритні та експлуатаційні розміри даного автомобільного підйомника а у таблиці 1.2 приведені вказані їхні абсолютні величини.

Таблиця 1.2 – Габаритні розміри підйомника легкових автомобілів П-97МК

Розмір	A	B	C	D	E	F	G	H*	H1*
мм	2995	2415	2765	3095	2650	48	2600	2650	2680



Рисунок 1.10 – Підйомник для автомобілів на дільниці з ремонту і обслуговування легкових автомобілів у ТОВ «Вінницьке АТП 10556»



Рисунок 1.11 – Підйомник для автомобілів на дільниці з ремонту і обслуговування легкових автомобілів у ТОВ «Вінницьке АТП 10556»

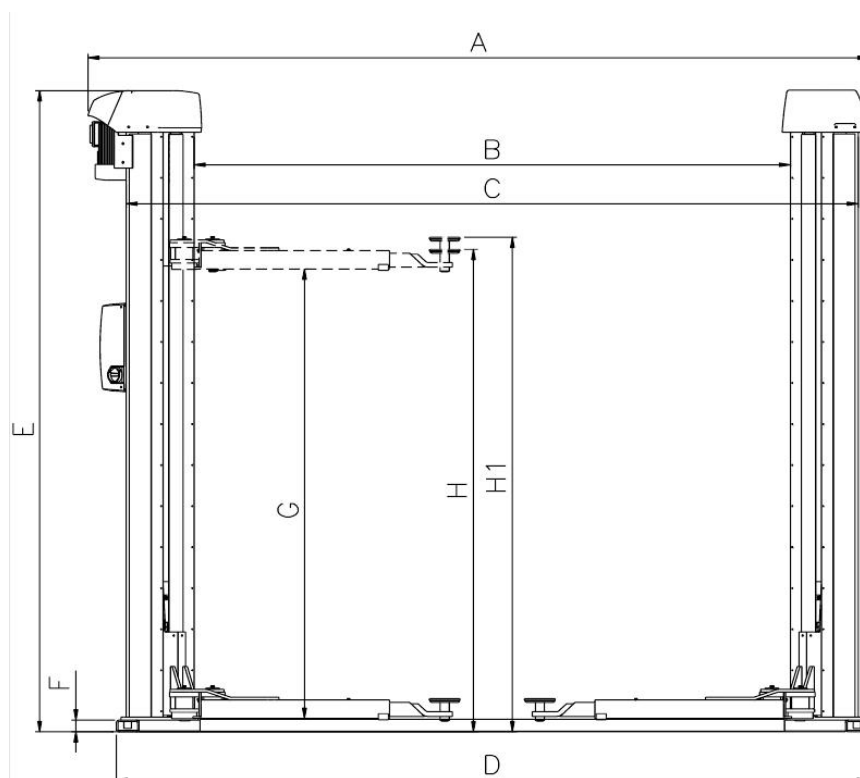
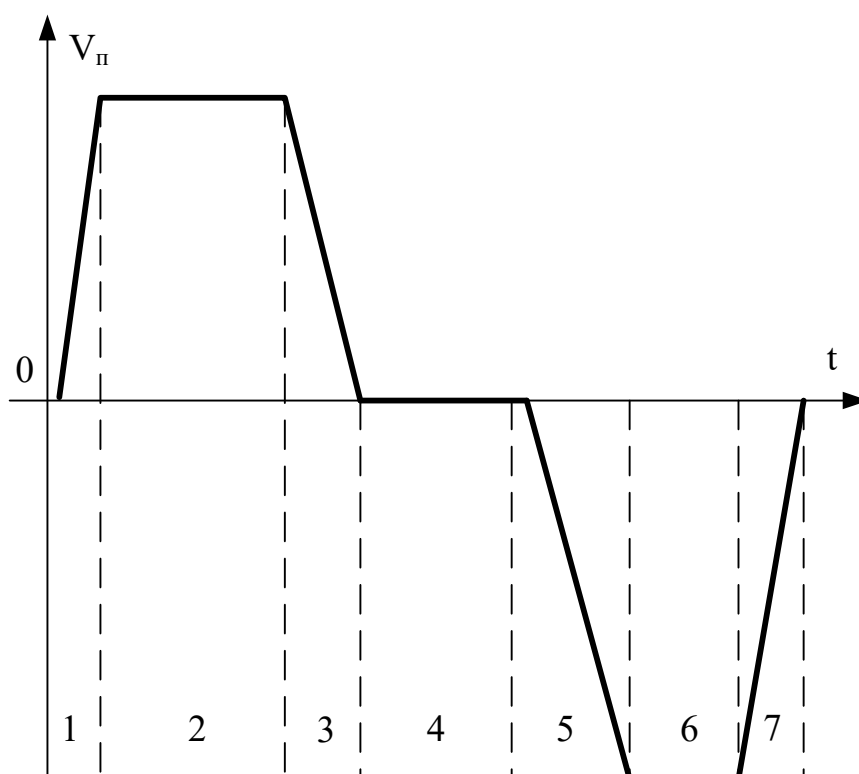


Рисунок 1.12 – Габаритні розміри підйомника легкових автомобілів П-97МК

1.3 Тахограма роботи двох-стійкового автомобільного підйомника

Узагальнена тахограма роботи електроприводу підйомника легкових автомобілів П-97МК за цикл одного підйому-опускання представлена на рисунку 1.13. Вона містить такі складові ділянки: розгону приводного двигуна, підйому автомобіля, зупинки приводного двигуна, час виконання операцій із обслуговування автомобілів, розгін приводного електродвигуна у зворотний бік та опускання підхватів, зупинки приводного двигуна.



*1 - розгін приводного електродвигуна; 2 - підйом підхватів автомобіля;
3 – зупинка приводного двигуна; 4 – простій для виконання основних операцій
5, 6 - розгін приводного двигуна у зворотний бік та опускання підхватів
автомобіля; 7 – зупинка приводного двигуна*

Рисунок 1.13 - Тахограма роботи електроприводу автомобільного підйомника П-97МК

Виходячи із розглянутих характеристик автомобільного підйомника сила статичного опору, що розвивається на ходовому гвинті може бути виражена узагальненою формулою [5]:

$$F_c(\omega) = F_0 + (F_{c,ном} - F_0) \cdot (v/v_{ном})^x, \quad (1.3)$$

де F_0 - сила опору від тертя в елементах механічних передач;

$F_{c,ном}$ - номінальна сила статичного опору при номінальній швидкості переміщення $v_{ном}$;

x – показник степеню, для даного типу механізмів можна прийняти рівним $x = 1$.

Тоді механічна характеристика автомобільного підйомника відповідно до виразу (1.3) матиме вигляд приведений на рисунку 1.14.

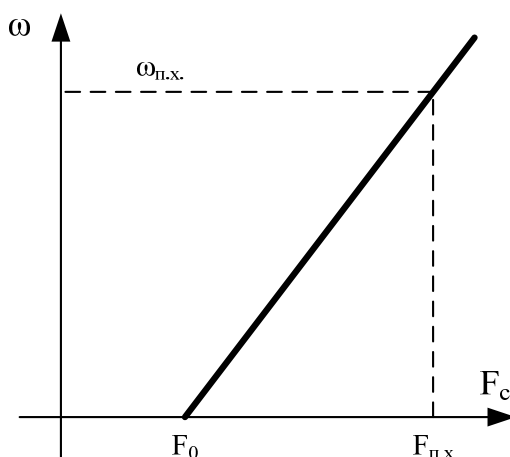


Рисунок 1.14 - Механічна характеристика підйомника легкових автомобілів

1.4 Висновок і постановка завдань досліджень

У розглянутих і проаналізованих електромеханічних автомобільних підйомниках для забезпечення технологічних вимог необхідно здійснювати точне регулювання швидкості переміщення підхватів автомобілів та

підтримувати заданий рівень продуктивності чи вихідного зусилля а також забезпечити реверсне переміщення підхватів автомобілів.

Для реалізації вказаного технологічного процесу роботи електромеханічного підйомника легкових автомобілів П-97МК можна застосувати такі системи електропривода: тиристорний перетворювач з двигуном постійного струму (ТП ДПС), широтно-імпульсний перетворювач з двигуном постійного струму (ШП ДПС), перетворювач частоти з асинхронним двигуном (ПЧ АД), тиристорний регулятор напруги з асинхронним двигуном (ТПН АД), яким властиві широкі регулювальні властивості та достатній рівень автоматизації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз режимів роботи електроприводу електромеханічного автомобільного підйомника;
- обґрунтувати та вибрати систему електропривода підйомника;
- розрахувати необхідну потужність та вибрати приводний електродвигуна підйомника;
- обґрунтувати, вибрати та побудувати електричну принципову, функціональну та структурну схеми системи керування електроприводу та розрахувати її основні елементи;
- здійснити моделювання перехідних процесів системи електроприводу та дослідити динаміку перехідних процесів електропривода.

РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР ПРИВODНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА АВТОМОБІЛЬНОГО ПІДЙОМНИКА

2.1 Визначення статичних моментів опору механізму автомобільного підйомника та побудова тахограм його роботи

Проаналізувавши технологічний процес роботи автомобільного підйомника П-97МК можна зробити висновок, що приводний електродвигун його підйимального механізму працює у повторно-короткочасному номінальному режимі роботи у ході якого нетривалі періоди роботи з незмінним номінальним навантаженням (при підйомі чи опусканні обслуговуваного автомобіля) чергуються з періодами зупинки (відключення) коли автомобіль обслуговується на підйомнику чи опущений на підлогу. При розрахунку необхідної потужності приводного електродвигуна механізму переміщення підхватів автомобіля необхідно враховувати його навантаження відповідно до механічної характеристики, особливості механіки електропривода та сили тертя кочення у механічних передачах та інших механізмах, а також особливості режиму роботи електропривода та технологічні вимоги.

Для попереднього вибору приводного електродвигуна, виходячи з технологічних вимог до підйомника, побудуємо тахограму роботи механізму та його навантажувальну діаграму (графік залежності статичних навантажень механізму від часу).

Визначимо час роботи електропривода підйомника при номінальному навантаженні під час підйому обслуговуваного автомобіля [2]:

$$t_{\text{п}} = \frac{H_1}{V_{\text{п}}}, \quad (2.1)$$

де H_1 – висота підйому автомобіля (максимальна висота $H_1 = 1,9$ м);

V_{π} – швидкість підйому (виходячи із технологічних вимог $V_{\pi} = 0,038$ м/с),

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$t_{\pi} = \frac{1,9}{0,038} = 50 \quad (\text{с}).$$

Визначимо час роботи електропривода підйомника при опусканні обслуговуваного автомобіля:

$$t_o = \frac{H_1}{V_o}, \quad (2.2)$$

де V_o – швидкість опускання автомобіля (виходячи із технологічних вимог $V_o = 0,05$ м/с),

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$t_o = \frac{1,9}{0,05} = 38. \quad (\text{с}).$$

Отже, робочий цикл складається з часу підйому автомобіля при роботі виробничого механізму з номінальним навантаженням, часу опускання також при номінальному навантаженні та тривалість зупинки, тому загальна тривалість циклу роботи t_{π} становитиме:

$$t_{\pi} = t_{\pi} + t_o + t_3, \quad (2.3)$$

де t_3 – тривалість зупинки,

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$t_{\pi} = 50 + 38 = 88(\text{с}).$$

Розрахуємо необхідну потужність для приведення у рух механізму підйому при підйомі обслуговуваного автомобіля [7]:

$$P_n = F_n \cdot V_n, \quad (2.4)$$

де F_n – сила статичного опору підйому виробничого механізму (враховуючи формулу (1.3) та максимальну дозволена вагу автомобіля [7], прийmemo $F_n = 71$ кН),

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$P_n = 71 \cdot 0,038 = 2,7 \text{ (кВт)}.$$

Розрахуємо необхідну потужність для приведення у рух механізму підйому при опусканні обслуговуваного автомобіля [7]:

$$P_o = F_o \cdot V_o, \quad (2.5)$$

де P_o – сила статичного опору при опусканні виробничого механізму (з аналогічних міркувань прийmemo $P_o = 55$ кН),

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$P_o = 55 \cdot 0,05 = 2,75 \text{ (кВт)}.$$

Отримані навантажувальні діаграми підйомника автомобілів приведені на рисунку 2.2.

Враховавши визначені величини часу роботи електропривода на окремих періодах, та отримані раніше значення швидкостей руху робочого органу підйомника на цих же періодах будуємо тахограму роботи електропривода електромеханічного підйомника автомобілів, яка приведена на рисунку 2.3.

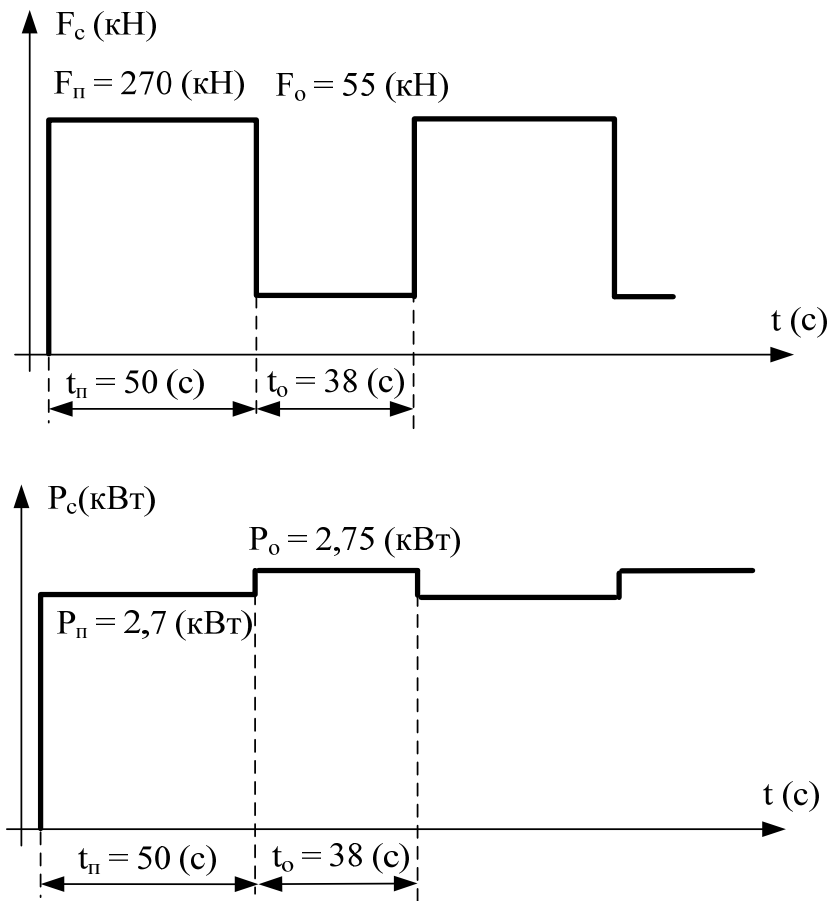


Рисунок 2.2 – Навантажувальні діаграми електромеханічного підйомника автомобілів

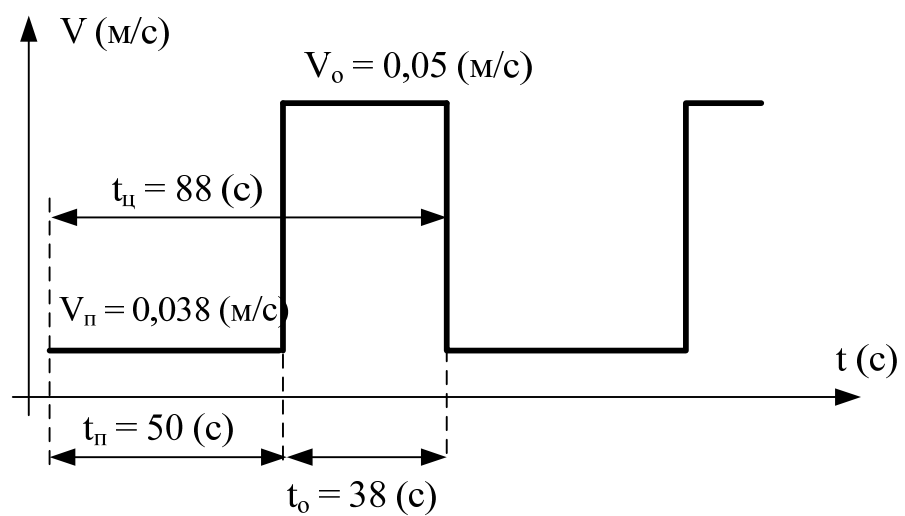


Рисунок 2.3 – Тахограма роботи електропривода електромеханічного підйомника автомобілів

Отже, як видно з рисунка 2.3 цикл роботи електромеханічного підйомника автомобілів містить час підйому, час опускання та час зупинок. Оскільки час пуску та гальмування підйомника є досить малим порівняно із вказаними періодами, то він у наведеній тахограмі роботи не врахований, але при розрахунках динаміки електропривода, його значення обов'язково буде враховане.

2.2 Попередній розрахунок потужності приводного електродвигуна та його вибір

При розрахунку потужності приводного електродвигуна можна припустити, що номінальній кутовій швидкості електродвигуна відповідає приведена лінійна швидкість усталеного руху підхватів автомобільного підйомника.

Спочатку знаходимо необхідну середню потужність за цикл роботи підйомника [3]:

$$P_{\text{сеп}} = \frac{P_{\text{п}} \cdot t_{\text{п}} + P_{\text{о}} \cdot t_{\text{о}}}{t_{\text{ц}}}, \quad (2.6)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$P_{\text{сеп}} = \frac{2,7 \cdot 50 + 2,75 \cdot 38}{88} = 2,722 \quad (\text{кВт}).$$

Для забезпечення стійкої роботи приводного електродвигуна з електромеханічним підйомником автомобілів необхідно врахувати можливі короткочасні перевантаження і створити певний запас потужності електричного двигуна, шляхом врахування коефіцієнта запасу K_3 :

$$P_{\text{роз}} = K_3 \cdot P_{\text{сеп}}, \quad (2.7)$$

де K_3 - коефіцієнт запасу потужності (відповідно до рекомендацій [7] приймаємо $K_3 = 1,1 \dots 1,2$);

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$P_{\text{роз}} = 1,2 \cdot 2,722 = 2,97 \dots 3,26 \text{ (кВт)}$$

Розрахуємо необхідну кутову швидкість обертання приводного електродвигуна за номінальної швидкості опускання підйомника автомобілів (враховуємо максимальну швидкість).

Спочатку визначаємо передавальне число гвинтової передачі механізму підйому:

$$i_{\text{гп}} = 2\pi/H, \quad (2.8)$$

де H – хід гвинта (згідно формули (1.1) приймаємо $H = 5(\text{мм/рад}) = 0,005(\text{м/рад})$),

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$i_{\text{гп}} = 6,28/0,005 = 1256.$$

Кутова швидкість ходового гвинта:

$$\omega_{\text{гп}} = V_{\text{з.х.}} \cdot i_{\text{гп}}, \quad (2.9)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$\omega_{\text{гп}} = 0,05 \cdot 1256 = 62,5(\text{с}^{-1})$$

Зважаючи на те, що ходовий гвинт приводиться в рух через зубчасту передачу механічного редуктора, швидкість приводного електродвигуна збільшується з урахуванням передавального числа редуктора:

$$\omega_{\text{ном}} = \omega_{\text{гп}} \cdot i_{\text{р}}, \quad (2.10)$$

де i_p – передавальне число зубчатої передачі механічного редуктора (виходячи з необхідності забезпечення частоти обертів приводного асинхронного двигуна близької до синхронної, прийmemo $i_p = 4,8$),

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$\omega_{\text{НОМ}} = 62,5 \cdot 4,8 = 300 (\text{с}^{-1})$$

Тоді, частота обертання валу приводного електродвигуна:

$$n_{\text{НОМ}} = \frac{60 \cdot \omega_{\text{НОМ}}}{2 \cdot \pi}, \quad (2.11)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$n_{\text{НОМ}} = \frac{60 \cdot 300}{2 \cdot 3,14} = 2866 (\text{об} / \text{хв}).$$

Враховуючи отриману розрахункову потужність та необхідну кутову швидкість приводного валу, вибираємо з довідників [2] асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу RA100L2, паспортні дані якого приведені у таблиці 2.1.

Розрахуємо номінальний момент обраного електродвигуна:

$$M_{\text{НОМ}} = 9550 \cdot \frac{P_{\text{НОМ}}}{n_{\text{НОМ}}}, \quad (2.12)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$M_{\text{НОМ}} = 9550 \cdot \frac{3}{2895} = 9,89 (\text{Н} \cdot \text{м})$$

Розрахуємо максимальний (критичний) момент обраного електродвигуна:

$$M_{\max} = \lambda \cdot M_{\text{ном}}, \quad (2.13)$$

де λ – перевантажувальна здатність електродвигуна (з табл. 2.1 - $\lambda = 2,4$),

Таблиця 2.1. – Паспортні дані приводного електродвигуна RA100L2

Назва параметру, розмірність	величина
Номінальна потужність P_n , кВт	3,0
Номінальна напруга живлення U_n , В	220/380
Номінальна сила струму статора I_n , А	6
Режим роботи	S1
Кратність пускового струму	7
Номінальна частота обертання n_n , об/хв	2895
Номінальний коефіцієнт потужності $\cos\varphi_n$	0,86
Номінальний ККД, $\eta_{\text{ном}}$	0,83
Кратність максимального моменту $\lambda = M_{\max}/M_n$, Н·м	2,4
Кратність пускового моменту $M_{\text{п}}/M_n$, Н·м	1,8
Момент інерції ротора двигуна J_d , кг·м ²	0,0038

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$M_{\max} = 2,4 \cdot 9,89 = 23,75 (\text{Н} \cdot \text{м})$$

Розрахуємо пусковий момент обраного електродвигуна:

$$M_{\text{п}} = k_{\text{п}} \cdot M_{\text{ном}}, \quad (2.14)$$

де k_n – кратність пускового моменту електродвигуна ($k_n = 1,8$),

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$M_{\text{п}} = 1,8 \cdot 9,89 = 17,8 (\text{Н} \cdot \text{м})$$

2.3 Побудова навантажувальної діаграми електропривода електромеханічного підйомника автомобілів

Щоб перевірити правильність вибору потужності приводного електродвигуна, розрахуємо і побудуємо уточнену навантажувальну діаграму електродвигуна при врахуванні динамічних навантажень та коефіцієнта корисної дії механізмів підйомника.

Для цього приведемо моменти опору механізмів підйомника до кутової швидкості валу електродвигуна та визначимо величини динамічного моменту і прискорення електропривода при врахуванні перевантажувальної здатності електродвигуна, та визначимо загальний приведений обертовий момент.

Приведений момент опору механізму при підйомі автомобіля:

$$M_{\text{п}} = \frac{P_{\text{п}}}{V_{\text{п}} \cdot i_{\text{г.п.}} \cdot i_{\text{к.п.}} \cdot \eta_{\text{к.п.}} \cdot \eta_{\text{г.п.}}}, \quad (2.15)$$

де $\eta_{\text{к.п.}}$ – ККД зубчатої передачі редуктора;

$\eta_{\text{г.п.}}$ – ККД гвинтової передачі механізму підйому,

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$M_{\text{п.х.}} = \frac{2700}{0,01 \cdot 1256 \cdot 4,8 \cdot 0,86 \cdot 0,94} = 10,5 (\text{Н} \cdot \text{м})$$

Приведений момент статичних опорів при опусканні автомобіля:

$$M_{\text{о}} = \frac{P_{\text{о}}}{V_{\text{о}} \cdot i_{\text{г.п.}} \cdot i_{\text{к.п.}} \cdot \eta_{\text{к.п.}} \cdot \eta_{\text{г.п.}}}, \quad (2.16)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$M_{\text{з.х.}} = \frac{2750}{0,05 \cdot 1256 \cdot 4,8 \cdot 0,86 \cdot 0,94} = 5,2 (\text{Н} \cdot \text{м})$$

Розрахуємо приведений до кутової швидкості валу електродвигуна момент інерції механізму підйому:

$$J_{\Sigma} = J_{\text{д}} + J_{\text{ш1}} + J_{\text{ш2}} \cdot \frac{1}{i_{\text{к.п.}}^2} + (J_{\text{зм}} + J_{\text{г.п.}}) \cdot \frac{1}{i_{\text{к.п.}}^2 \cdot i_{\text{п}}^2}, \quad (2.17)$$

де $J_{\text{д}}$ – момент інерції електродвигуна ($J_{\text{д}} = 0,0038 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$);

$J_{\text{ш1}}$ – момент інерції шестерні на валу електродвигуна (див. рис. 1.7) ($J_{\text{ш1}} = 0,001 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$);

$J_{\text{ш2}}$ – момент інерції шестерні на ходовому гвинту (див. рис. 1.7) ($J_{\text{ш2}} = 0,008 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$);

$J_{\text{зм}}$ – момент інерції з'єднувальних муфт ($J_{\text{п}} = 0,08 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$);

$J_{\text{г.п.}}$ – момент інерції гвинтової передачі механізму підйому ($J_{\text{г.м.}} = 0,001 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$),

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$J_{\Sigma} = 0,0038 + 0,001 + 0,008 \cdot \frac{1}{1,6^2} + (0,08 + 0,15) \cdot \frac{1}{1,6^2 \cdot 3^2} = 0,018 \text{ (кг}\cdot\text{м}^2\text{)}.$$

Розрахуємо величину кутового прискорення приводу у ході його розгону та гальмування при підйомі, з урахуванням часу розгону та гальмування електропривода підйомника:

$$|\varepsilon_{\text{п}}| = \frac{V_{\text{п}} \cdot i_{\text{г.п.}} \cdot i_{\text{к.п.}}}{\Delta t_{\text{пп}}}, \quad (2.18)$$

де $\Delta t_{\text{пп}}$ – тривалість перехідних процесів у ході розгону та гальмування приводу у разі підйому автомобіля (виходячи із технологічних вимог приймаємо $\Delta t_{\text{пп}} = 0,3 \text{ с}$).

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$|\varepsilon_{\text{п.х.}}| = \frac{0,01 \cdot 1256 \cdot 4,8}{0,3} = 201 \text{ (с}^{-2}\text{)}.$$

Розрахуємо величину кутового прискорення приводу у ході його розгону та гальмування при опусканні, з урахуванням часу розгону та гальмування електропривода підйомника:

$$|\varepsilon_o| = \frac{V_o \cdot i_{г.п.} \cdot i_{к.п.}}{\Delta t_{по}}, \quad (2.19)$$

де $\Delta t_{по}$ – тривалість перехідних процесів у ході розгону та гальмування приводу у разі опускання автомобіля (виходячи із технологічних вимог приймаємо $\Delta t_{по} = 0,3$ с).

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$|\varepsilon_o| = \frac{0,05 \cdot 1256 \cdot 4,8}{0,5} = 603 \text{ (с}^{-2}\text{)}$$

Розрахуємо приведенй до кутової швидкості валу електродвигуна динамічний момент при розгоні та гальмуванні у разі підйому автомобіля:

$$M_{д.п.} = J_{\Sigma} \cdot |\varepsilon_{п}|, \quad (2.20)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$M_{д.п.} = 0,018 \cdot 201 = 3,7 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Розрахуємо приведенй до кутової швидкості валу електродвигуна динамічний момент при розгоні та гальмуванні у разі опускання автомобіля::

$$M_{д.о.} = J_{\Sigma} \cdot |\varepsilon_o|, \quad (2.21)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$M_{д.о.} = 0,018 \cdot 603 = 10,8 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Розрахуємо сумарний приведений обертовий момент електродвигуна при розгоні з навантаженням у разі підйому автомобіля:

$$M_{\Sigma 1} = M_{\Pi} + M_{д.п.}, \quad (2.22)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$M_{\Sigma 1} = 10,5 + 3,7 = 14,2 \text{ (Н·м)}$$

Розрахуємо сумарний приведений обертовий момент електродвигуна при гальмуванні з навантаженням у разі підйому автомобіля:

$$M_{\Sigma 2} = M_{\Pi} - M_{д.п.}, \quad (2.23)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$M_{\Sigma 2} = 10,5 - 3,7 = 6,8 \text{ (Н·м)}$$

Розрахуємо сумарний приведений обертовий момент електродвигуна при розгоні з навантаженням у разі опускання автомобіля:

$$M_{\Sigma 3} = M_{o} + M_{д.о.}, \quad (2.24)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$M_{\Sigma 3} = 5,2 + 10,8 = 16 \text{ (Н·м)}$$

Розрахуємо сумарний приведений обертовий момент електродвигуна при гальмуванні з навантаженням у разі опускання автомобіля:

$$M_{\Sigma 4} = M_{o} - M_{д.о.}, \quad (2.25)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$M_{\Sigma 4} = 5,2 - 10,8 = -5,6 \text{ (Н·м)}$$

Отримана таким чином тахограма та навантажувальна діаграма приведена на рис. 2.4.

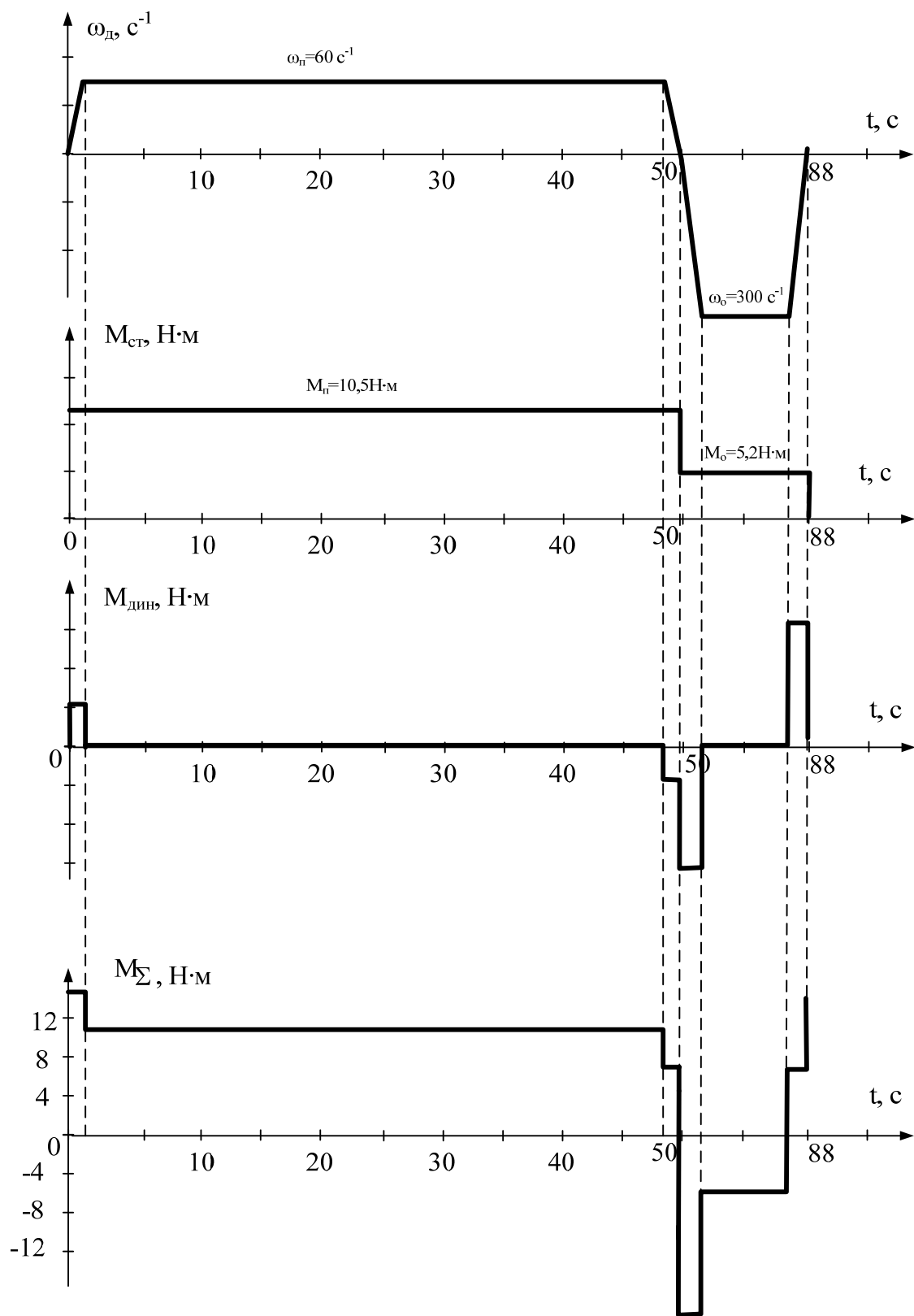


Рисунок 2.4 – Тахограма та навантажувальна діаграма електропривода автомобільного підйомника

2.4 Перевірка вибраного електродвигуна за нагріванням, умовами пуску та його перевантажувальною здатністю

Перевірку приводного електродвигуна за нагріванням здійсимо використовуючи метод еквівалентного моменту. За навантажувальною діаграмою розраховуємо еквівалентний дійсному за нагріванням момент за час циклу роботи електропривода. Для запобігання перегріву приводного електродвигуна необхідно, щоб його номінальний момент був не меншим від еквівалентного моменту.

Величина еквівалентного моменту за цикл роботи буде рівною[4]:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i^2 \cdot t_i)}{\sum_{i=1}^{12} t_i}} \quad (2.26)$$

Розпишемо формулу (2.26) для циклу роботи автомобільного підйомника:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{(M_{\Sigma 1}^2 + M_{\Sigma 2}^2) \cdot t_{\text{п1}} + M_{\text{п}}^2 \cdot (t_{\text{п}} - 2t_{\text{п1}}) + M_{\text{о}}^2 \cdot (t_{\text{о}} - 2t_{\text{п2}}) + (M_{\Sigma 3}^2 + M_{\Sigma 4}^2) \cdot t_{\text{п2}}}{t_{\text{ц}}}} \quad (2.27)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{(14,2^2 + 6,8^2) \cdot 0,3 + 10,5^2 \cdot 49,4 + 5,2^2 \cdot 9 + (16^2 + 5,6^2) \cdot 0,5}{60}},$$

$$M_{\text{екв}} = 9,7 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Необхідна умова $M_{\text{екв}} \leq M_{\text{н}}$ для вибраного електродвигуна виконується, оскільки $9,7 \text{ Н} \cdot \text{м} \leq 9,89 \text{ Н} \cdot \text{м}$, тому вибраний електродвигун відповідає умовам нагрівання при роботі із заданим механізмом.

Виразуємо величину запасу при нагріванні:

$$\Delta = \frac{M_{\text{НОМ}} - M_{\text{ЕКВ}}}{M_{\text{НОМ}}} \cdot 100\% \quad (2.28)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$\Delta = \frac{9,89 - 9,7}{9,89} \cdot 100\% = 2,0\%$$

Відповідно до вимог, цей запас не повинен перевищувати 15...20%.

Перевірку правильності вибору електродвигуна за його механічним перевантаженням та пусковою здатністю можна провести по формулі:

$$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{НОМ}}} \leq \lambda \quad (2.29)$$

Враховуючи що розраховане значення максимального $M_{\text{max}} = 23,75(\text{Н} \cdot \text{м})$ та пускового $M_{\text{п}} = 17,8(\text{Н} \cdot \text{м})$ моментів електродвигуна перевищують максимальний $M_{\text{m}} = 16(\text{Н} \cdot \text{м})$ (див. рис. 2.1) та пусковий $M_{\text{п}} = 14,2(\text{Н} \cdot \text{м})$, моменти на навантажувальній діаграмі (відповідно). Тому обраний приводний електродвигун відповідає за перевантажувальною здатністю та умовами пуску умовам роботи автомобільного підйомника.

2.5 Побудова механічних характеристик приводного електродвигуна

Щоб побудувати механічну характеристику обраного приводного електродвигуна скористаємося спрощеною формулою Клосса, яка підходить для розрахунку та побудови механічних характеристик досить потужних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором [10].

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_{\max}}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}, \quad (2.30)$$

де M_{\max} – максимальний (критичний) момент електродвигуна;

s – ковзання електродвигуна;

s_k – величина критичного ковзання.

Для розрахунків скористаємося необхідними паспортними даними електродвигуна.

Величина номінального ковзання :

$$s_H = \frac{n_0 - n_{\text{ном}}}{n_0}, \quad (2.31)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$s_H = \frac{3000 - 2895}{3000} = 0,035$$

Величина критичного ковзання :

$$s_k = s_H \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}). \quad (2.32)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$s_k = 0,035 \cdot (2,4 + \sqrt{2,4^2 - 1}) = 0,162$$

Використовуючи ППП Mathcad здійснимо розрахунок та побудову природної механічної характеристики електродвигуна за спрощеною формулою Клосса 14 [5]:

$$M(s) = \frac{2 \cdot 23,75}{\frac{s}{0,162} + \frac{0,162}{s}} \quad (2.33)$$

Отриману таким чином природну механічну характеристику асинхронного двигуна RA100L2 представлено па рисунку 2.5.

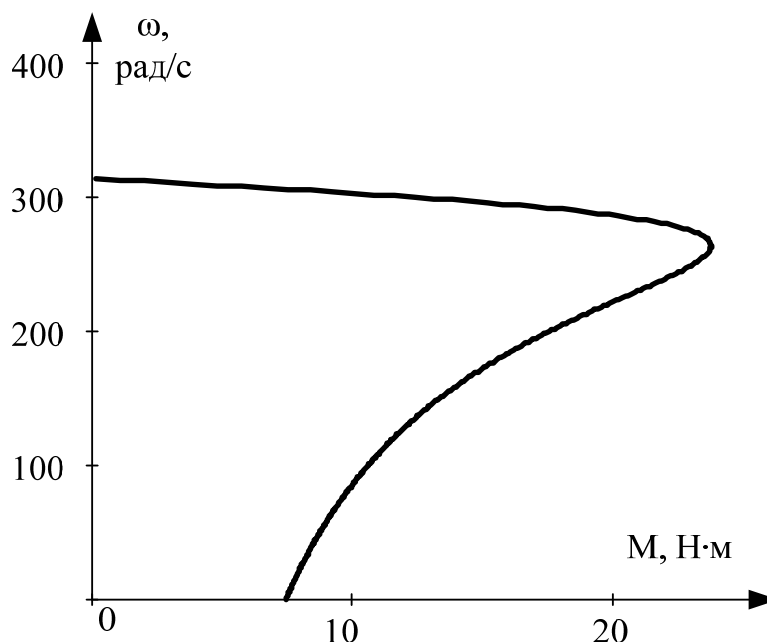


Рисунок 2.5 – Природна механічна характеристика асинхронного двигуна RA100L2

Використовуючи ППП Mathcad 2001i можна також розрахувати та побудувати штучні механічні характеристики даного електродвигуна при регулюванні частоти стуму живлення.

У разі частотного регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна необхідно в формулу механічної характеристики поставити замість номінального ковзання s_n величину:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}, \quad (2.34)$$

Підставляючи у формулу в формулі (2.34) n необхідно змінювати від нуля до n_1 .

Тоді:

$$M(n) = \frac{3 \cdot p \cdot U_{1\phi n}^2 \cdot \frac{C \cdot R'_2}{n_1 - n}}{n_1} \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \left[\left(C_1 \cdot R_1 + C_1^2 \cdot \frac{R'_2}{n_1 - n} \right)^2 + \left(C_1 \cdot X_1 + C_1^2 \cdot X'_2 \right)^2 \right]}. \quad (2.35)$$

При регулювання за умовою $M = const$ необхідно дотримуватись співвідношення

$$\frac{U_{1\phi}}{f_1} = const \quad (2.36)$$

Розраховавши величину цього співвідношення при номінальній напрузі $U_{1\phi n}$ і частоті f_1 , змінюють частоту струму живлення f отримують необхідні значення напруги живлення $U_{1\phi}$, і розраховують механічні характеристики при частотному регулюванні.

Отримані таким чином механічні характеристики електродвигуна при регулюванні частоти струму живлення приведені на рисунку 2.6, природну механічну характеристику двигуна позначено цифрою 1.

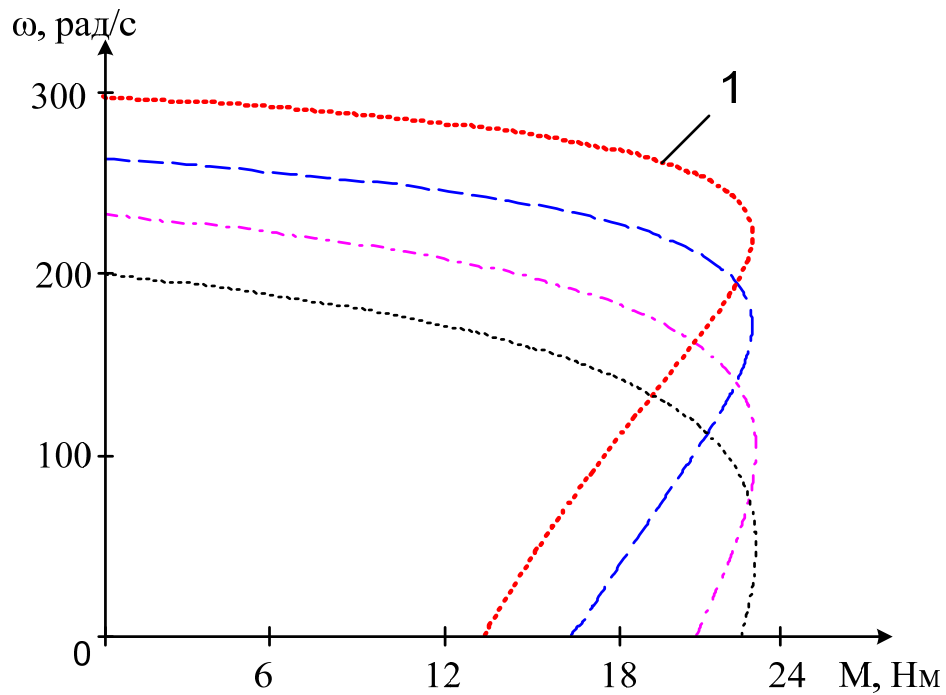


Рисунок 2.6 – Механічні характеристики електродвигуна при регулюванні частоти струму живлення

Висновок: розрахована і побудована навантажувальна діаграма та тахограма роботи електропривода механізму підйому електромеханічного автомобільного підйомника з урахуванням особливостей технологічного процесу, розрахована потужність то вибраний приводний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу RA100L2 що має потужність 3 кВт., також і побудовано тахограму робочого механізму та його навантажувальну діаграму, обраний двигун перевірено за нагріванням, перевантажувальною здатністю та умовами пуску, побудовано природну механічну характеристику асинхронного двигуна та штучні механічні характеристики двигуна при регулюванні частоти струму його живлення.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ АВТОМОБІЛЬНОГО ПІДЙОМНИКА

3.1 Розробка структурної схеми системи керування електроприводом

Як було вказано раніше, за умовами якісного здійснення технологічного процесу, для електроприводу електромеханічного підйомника автомобілів можна застосувати асинхронний двигун із системою керування зміною частоти струму живлення, зі зворотнім зв'язком за кутовою швидкістю валу приводного електродвигуна механізму підйому, що побудована базі промислового контролера. На рисунку 3.1 зображена обрана структурна схема такої системи електропривода.

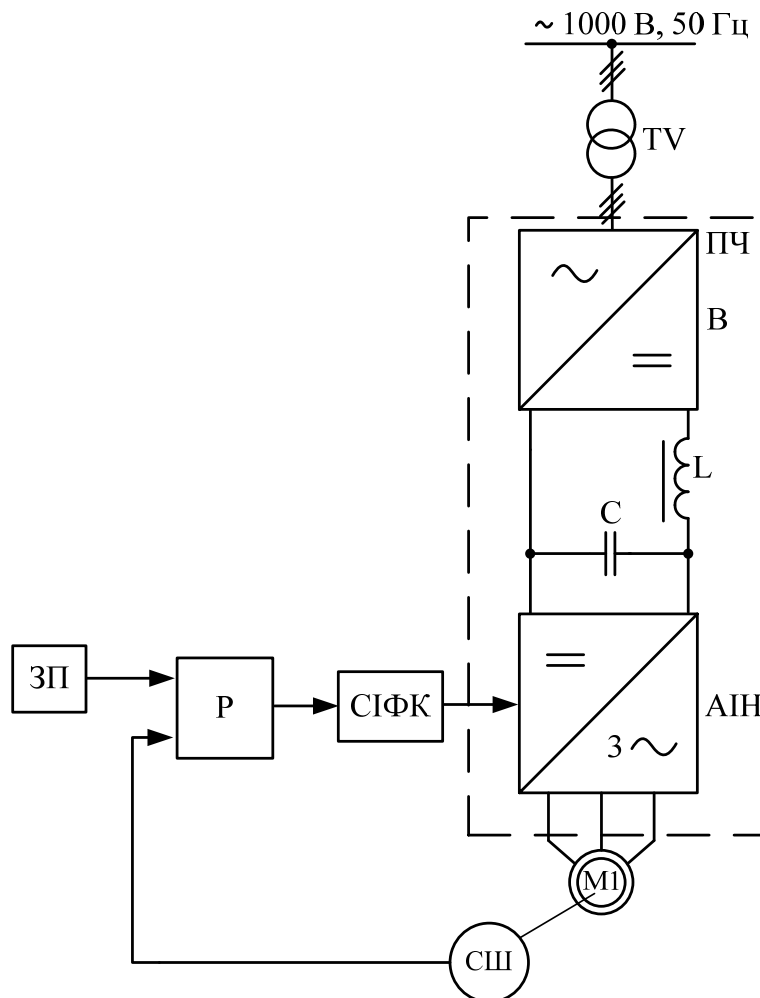


Рисунок 3.1 – Функціональна схема системи електропривода із частотним регулюванням

Електропривід механізму підйому отримує живлення через роздільний трансформатор (ТВ) від мережі змінного струму напругою 1000 В, при цьому робоча напруга системи 380 В. Ця напруга подається на мостовий діодний випрямляч (В), виправлена ним напруга подається до автономний інвертор напруги (АІН) де перетворюється у змінний струм регульованої частоти, який подається до приводного асинхронного двигуна електропривода механізму підйому (М1) автомобільного підйомника.

Контур зі зворотнім зв'язком за швидкістю утворює сенсор швидкості (СШ), який перетворює кутову швидкість приводного електродвигуна механізму підйому у відповідний інформаційний електричний сигнал, що через регулятор Р надходить до входу системи керування (СІФК). Керуючий сигнал що сформований даною системою подається вхід автономного інвертора напруги (АІН). Шляхом відповідної зміни частоти струму живлення АІН регулює кутову швидкість приводного електродвигуна, який приводить у рух механізм підйому автомобілів із необхідною швидкістю.

У даній системі керуванні випрямляч (В) є не керованим, а регулювання частоти струму живлення та напруги здійснює АІН шляхом широко-імпульсної модуляції.

Задаючий пристрій (ЗП) системи керування дозволяє оператору встановлювати необхідну швидкість підйому що відповідає вимогам технологічного процесу роботи підйомника автомобілів.

3.2 Обґрунтування вибору та розрахунок основних елементів силового кола системи електроприводу

3.2.1 Обґрунтування вибору та перетворювального пристрою

Для автоматичної системи керування приводного асинхронного двигуна з коротко-замкнутим ротором у якості перетворювального пристрою можна

обрати нерегульований мостовий випрямляч та автономний інвертор напруги, електрична схема приєднання яких до мережі живлення через трансформатор TV1 приведена на рисунку 3.2

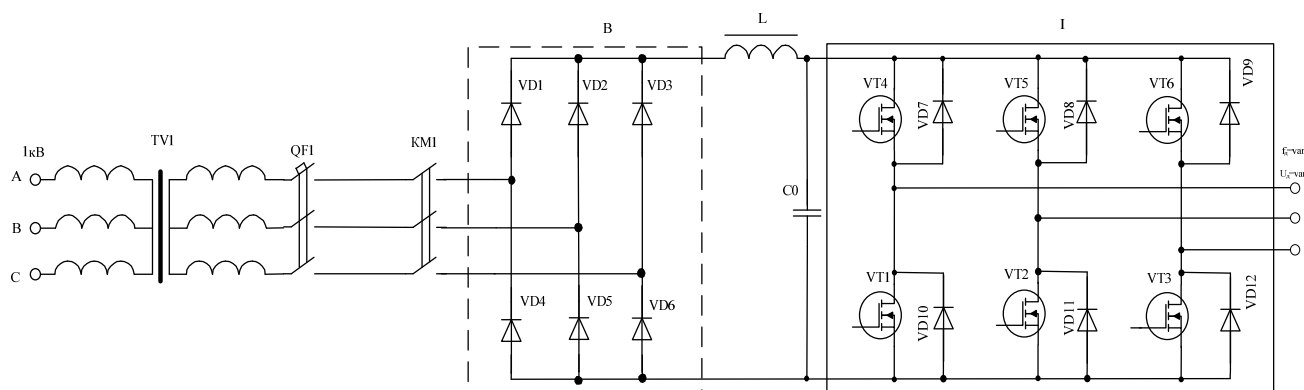


Рисунок 3.2 – Електрична схема нерегульованого мостового випрямляча та автономного інвертора напруги

З мережі змінний струм промислової частоти через трансформатор TV1 подається на вхід зібраного на діодах VD1-6 некерованого трифазного мостового випрямляча В. Для зменшення пульсації випрямленої напруги використовується згладжувальний LC-фільтр. Випрямлений постійний струм зі згладженими пульсаціями подається до автономного інвертора АІН, що побудований на транзисторах VT1-6 MOSFET. АІН перетворює постійний струм у трифазний змінний з регульованою частотою та напругою. АІН повинен на виході забезпечувати регульовану напругу у межах від 0 до 380 В та силу струму не нижче 10 А.

Вибір силових елементів перетворювального пристрою почнемо розрахунку параметрів його силових транзисторів.

Величина середнього значення сили струму транзистора:

$$I_B = \frac{K_B \cdot I_{дн}}{m \cdot K_{ox}}, \quad (3.1)$$

де $I_{дн}$ – номінальна сила струму електродвигуна;

K_B – коефіцієнт, який дозволяє враховувати зростання сили струму у перехідних режимах ($K_B=2$);

K_{ox} – коефіцієнт, що враховує особливості охолодження ($K_{ox} = 0,35$);

m – кількість фаз струму на виході інвертора ($m = 3$),

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$I_B = \frac{2 \cdot 3.6}{3 \cdot 0,35} = 6.86 \quad (\text{А}).$$

Максимальне значення зворотної напруги між електродами транзистора:

$$U_{об.мах} = K_3 \cdot K_{посл} \cdot \sqrt{2} \cdot E_{2л}, \quad (3.2)$$

де K_3 – необхідний коефіцієнт запасу напруги ($K_3 = 1,3$);

$K_{посл}$ – необхідний коефіцієнт запасу напруги, що враховує нерівномірність розподілу напруги між транзисторами ($K_{посл} = 1$);

$E_{2л}$ – величина лінійної ЕРС у вторинній обмотці вхідного трансформатора,

$$E_{2л} = \sqrt{3} \cdot E_{2ф}, \quad (3.3)$$

де $E_{2ф}$ – величина фазної ЕРС на вторинній обмотці вхідного трансформатора, що розраховується за формулою:

$$E_{2ф} = K_y \cdot K_c \cdot K_\alpha \cdot K_R \cdot U_d, \quad (3.4)$$

де K_y – коефіцієнт встановлення, залежить від схеми випрямлення ($K_y = 0,531$);

K_c – величина коефіцієнту запасу за напругою ($K_c = 1,05 \dots 1,1$);

K_α – величина коефіцієнту запасу напруги, що дозволяє враховувати неповне відкриття силових транзисторів ($K_\alpha = 1,17$);

K_R – величина коефіцієнту запасу напруги, який враховує падіння напруги у трансформаторі та транзисторах ($K_R = 1,05$);

U_d – середнє значення виправленої напруги ($U_d = 380$ В).

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$E_{2\phi} = 0,531 \cdot 1,06 \cdot 1,017 \cdot 1,05 \cdot 380 = 227,5 \text{ (В)}.$$

Величина лінійної ЕРС у вторинній обмотці вхідного трансформатора:

$$E_{2л} = \sqrt{3} \cdot 227,5 = 394 \text{ (В)}.$$

Максимальне значення зворотних напруг на силових транзисторах:

$$U_{об.мах} = 1,3 \cdot 1,42 \cdot 394 = 727,4 \text{ (В)}.$$

Максимально-допустима сила струму короткого замикання транзистора:

$$I_{к.з} = \frac{100\%}{U_{к\%}} \cdot I_{2н}, \quad (3.5)$$

де $U_{к\%}$ – величина напруги короткого замикання вхідного трансформатора;

$I_{2н}$ – сила струму у вторинній обмотці вхідного трансформатора,

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$I_{к.з} = \frac{100}{4,5} \cdot 6,0 = 1,3 \text{ (кА)}.$$

Гранично допустима сила струм при врахуванні дії захисних пристроїв:

$$I_{ВН} = \frac{I_{к.з}}{15}, \quad (3.7)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$I_{ВН} = \frac{4,8 \cdot 10^3}{15} = 325,92 \text{ (А)}$$

За результатами розрахунків для проєктованого перетворювального пристрою вибираємо транзистор типу IRF840, що має номінальні параметри які наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні параметри транзистора IRF840.

Назва параметру, розмірність	Величина
Номінальна сила струму витоку I_D , А	8
Імпульсна сила струму I_{mD} , А	32
Напруга керування $U_{кр}$, В	10-20
Максимальна зворотна напруга $U_{зв.мах}$, В	800
Сила струму керування $I_{квр}$, А	0,005
Максимальна зворотна сила струму $I_{об.мах}$, мА	5
Вхідна ємність C_1 , пФ	1225
Вихідна ємність C_2 , пФ	200

Схему керування силовими транзисторами можна побудувати на базі драйвера IR2101. Інші елементи силової схеми підключаються до драйвера IR2101 відповідно до його технічної документації [9].

Таблиця 4.2 – Технічні параметри драйвера IR2101

Назва параметра, розмірність	Значення
Максимальна напруга зміщення, В	600
Вихідна сила струму к. з., мА	200-420
Напруга живлення, В	10-20
Час ввімкнення / вимкнення, нс	625 – 475
Тривалість паузи, мкс	1,2

Для живлення елементів системи автоматичного керування необхідні відповідні блоки живлення зі стабілізованою напругою, які повинні містити трансформатори, випрямлячі на базі діодних мостів, інтегральні стабілізатори зі вхідними та вихідними ємностями і захисні діоди. Для СІФК необхідне живлення напругою + 5 В, для живлення керуючого драйвера трифазного моста напругою + 12 В, для джерел живлення можна використати інтегральні стабілізатори типу L7805CV та L7812CV.

3.2.2 Розрахунок параметрів та вибір силового трансформатора

Сила струму у фазних вторинних обмотках трансформатора:

$$I_{2\phi} = k_i \cdot k_{I_2} \cdot I_{дн}, \quad (3.8)$$

де k_i - коефіцієнт, що враховує можливі відхилення форми сили струму від прямокутної ($k_i = 1,1$);

k_{I_2} - коефіцієнт, що враховує схему з'єднань силових тиристорів ($k_{I_2} = 0,815$),

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$I_{2\phi} = 1,1 \cdot 0,815 \cdot 3,6 = 3,49 \text{ (A)}.$$

Величина коефіцієнта трансформації:

$$k_{тр} = \frac{U_{1л}}{U_{2л}}, \quad (3.9)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$k_{тр} = \frac{660}{380} = 1,74.$$

Сила струму у фазах первинної обмотки силового трансформатора:

$$I_{1\phi} = \frac{I_{2\phi}}{k_{тр}}, \quad (3.10)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$I_{1\phi} = \frac{3.49}{1.74} = 2,2 \text{ (A)}.$$

Для розрахунку необхідної потужності силового трансформатора спочатку знаходимо величину E_{d_0} :

$$E_{d_0} = 1,35 \cdot U_{дн}, \quad (3.11)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$E_{d_0} = 1,35 \cdot 380 = 514 \text{ (В)},$$

Визначаємо потужність трансформатора:

$$S_{тр} = k_s \cdot E_{d_0} \cdot I_{дн}, \quad (3.12)$$

де k_s - коефіцієнт типової потужності трансформатора ($k_s = 1,045$);

$I_{дн}$ - номінальна сила струму двигуна,

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$S_{тр} = 1,045 \cdot 514 \cdot 3.6 = 2931.6 \text{ (ВА)}.$$

Номінальна сила фазного струму у первинних обмотках трансформатора:

$$I_{1н} = \frac{S_{н}}{\sqrt{3} \cdot U_{1н}}, \quad (3.13)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$I_{1н} = \frac{2.5}{\sqrt{3} \cdot 0.66} = 5.61 \quad (\text{А}).$$

З довідника [5] за розрахованими параметрами вибираємо трансформатор ТСЗІ-3,1/0,7-УХЛ2, номінальні параметри якого приведені у таблиці 3.3:

Таблиця 3.3 – Номінальні параметри трансформатора ТСЗІ-3,1/0,7-УХЛ2

Назва параметру, розмірність	Величина
Номінальна потужність S_n , кВА	3,1
Номінальна напруга первинної обмотки U_1 , В	1000
Номінальна напруга вентильної (вторинної) обмотки U_2 , В	380
Напруга на виході перетворювача :U, В	460
Напруга короткого замикання $U_{кз}$, %	4,5
Сила струму холостого ходу $I_{хх}$, %	3
Потужність холостого ходу $P_{хх}$, кВт	0,04
Потужність короткого замикання $P_{кз}$, кВт	0,15

Номінальна фазна сила струму у вторинній обмотці трансформатора:

$$I_{2н} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{2н}}, \quad (3.14)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$I_{2н} = \frac{2.5}{\sqrt{3} \cdot 0,41} = 3.6 \quad (\text{А}).$$

Отже обраний трансформатор відповідає умовам вибору оскільки номінальна сила струму у вторинній обмотці обраного трансформатора більша

$I_{2H} > I_{2\Phi}$ – від величини розрахункової сили струму у вторинній обмотці трансформатора.

3.2.3 Розрахунок параметрів силового кола перетворювача

Величина розрахункового опору силового кола випрямляча:

$$R_{\text{розр}} = R_{\text{ст}} + R_{\text{перетв}}, \quad (3.15)$$

де $R_{\text{перетв}}$ – опір самого перетворювача, що рівний:

$$R_{\text{перетв}} = 2R_{\text{тр}} + R_{\text{екв}} + mX_{\text{T}} / 2\pi, \quad (3.16)$$

$R_{\text{тр}}$ – опір трансформатора, що рівний:

$$R_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{m \cdot I_{1H}^2 \cdot K_{\text{тр}}^2}, \quad (3.17)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$R_{\text{тр}} = \frac{150}{3 \cdot 5,5^2 \cdot 26,3^2} = 0,002 \quad (\text{Ом}),$$

$R_{\text{екв}}$ – еквівалентний опір, що рівний:

$$R_{\text{екв}} = \frac{R_{\text{тр}}}{3}, \quad (3.18)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$R_{\text{екв}} = \frac{0,002}{3} = 0,0008 \quad (\text{Ом}),$$

$$R_{\text{перетв}} = 2 \cdot 0,0086 + 0,0008 + 3 \cdot 0,0348 / 2 \cdot 3,14 = 0,035 \quad (\text{Ом}),$$

$$R_{\text{розр}} = 7,5 + 0,035 = 7,535 (\text{Ом})$$

Необхідна величина випрямленої напруги для дотримання заданої швидкості електродвигуна:

$$U_{d0} = U_n + 1,7 \cdot I_{\text{дн}} \cdot R_{\text{розр}}, \quad (3.19)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$U_{d0} = 380 + 1,7 \cdot 3,6 \cdot 7,535 = 426,1 (\text{В})$$

3.2.4 Визначення необхідної індуктивності згладжуючого дроселя

Потрібну індуктивність згладжуючого дроселя можна знайти за формулою:

$$L = \frac{U_{d2}}{\omega_c \cdot \Delta I_{d2}} \cdot \left[\frac{\sqrt{1 - \left(\frac{3}{\pi} \cdot \cos \beta\right)^2}}{\frac{3}{\pi} \cdot \cos \beta} - \arccos\left(\frac{3}{\pi} \cdot \cos \beta\right) + \beta - \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \text{tg} \beta \right], \quad (3.20)$$

де ΔI_{d2} - величина допустимих пульсацій сили струму у двигуні, що відповідно до рекомендацій [5] рівна.

$$\Delta I_{d2} = (0,05 \div 0,1) \cdot I_d, \quad (3.21)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$\Delta I_{d2} = (0,05 \div 0,1) \cdot 3,6 = 0,18 \div 0,36$$

Остаточно прийmemo $\Delta I_{d2} = 0,3 \text{ А}$.

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$L = \frac{400}{314.16 \cdot 0.3} \cdot \left[\frac{\sqrt{1 - \left(\frac{3}{\pi} \cdot \cos \frac{\pi}{6}\right)^2}}{\frac{3}{\pi} \cdot \cos \frac{\pi}{6}} - \arccos\left(\frac{3}{\pi} \cdot \cos \frac{\pi}{6}\right) + \frac{\pi}{6} - \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{6} \right] \approx 0.67(\text{Гн})$$

Необхідна величина еквівалентної ємності конденсаторів :

$$C_e = \frac{I_d \cdot t_B}{U_{d2}}, \quad (3.22)$$

де t_B - час вимикання силових транзисторів ($t_B = 1.5$ мс).

$$U_{d2} \geq (1.2 \div 1.3) \cdot \sqrt{6} \cdot U_c, \quad (3.23)$$

де U_c - напруга на статора електродвигуна.

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$U_{d2} \geq (1.2 \div 1.3) \cdot \sqrt{6} \cdot 380 = 1116.97 \div 1210.05 \text{ (В)}.$$

Остаточно приймемо $U_{d2} = 1200$ В.

При підстановці вихідних у (3.22) даних отримаємо:

$$C_e = \frac{3.6 \cdot 1.5 \cdot 10^{-3}}{1200} \approx 45 \text{ (мкФ)}.$$

3.2.5 Розрахунок та вибір основних елементів захисту силового кола

При виборі основних елементів захисту силового кола, скористаємося загальними вимогами до апаратів керування, що встановлюються у електричних колах управління, регулювання та захисту електрообладнання:

- забезпечувати точність та надійність роботи пристроїв;
- бути достатньо термостійкими при нормальних режимах роботи, а також у разі короткого замикання;

- протидіяти електродинамічним силам;
- бути здатними до вмикання та вимикання електричних пристроїв за всіх можливих режимів роботи електричних кіл;
- мати найменші вартість, вагу та габаритні розміри;
- їх ізоляція повинна мати достатню електричну міцність та електричний опір за всіх можливих режимів роботи.

Магнітні пускачі служать для здійснення прямого запуску, зупинки та захисту від аварійних режимів асинхронних коротко-замкнених двигунів. Для керування обраним приводним електродвигуном обираємо магнітний пускач типу 3RT1016-1AV01 фірми Siemens технічні параметри якого приведені у таблиці 3.4:

Таблиця 3.4 – Технічні параметри магнітного пускача типу 3RT1016-1AV01 фірми Siemens

Назва параметру, розмірність	Значення
Номінальна напруга $U_{ном}$, В	440
Номінальна потужність $P_{ном}$, кВт	4
Номінальна сила струму $I_{ном}$, А	9
Номінальна сила струму теплового розчеплювача $I_{тс}$, А	4,1

Автоматичні вимикачі для захисту від коротких замикань вибираємо за умовою:

Номінальна напруга автоматичного вимикача:

$$U_{на} \geq U_{мер} \quad (3.23)$$

Номінальна сила струму автоматичного вимикача:

$$I_{на} \geq I_{лн} \quad (3.24)$$

Номинальна сила струму розщеплювачів:

$$I_{\text{нр}} \geq I_{2\text{н}}, \quad (3.25)$$

Сила струму короткого замикання:

$$I_{\text{а.кз}} = \frac{I_{\text{дн}}}{U_{\text{кз}\%} \cdot k_{\text{мп}}}, \quad (3.26)$$

де $k_{\text{мп}}$ – коефіцієнт трансформації;

$U_{\text{кз}\%}$ – напруга короткого замикання автомата,

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$I_{\text{а.кз}} = \frac{3.6}{6,5 \cdot 2,5} = 0.22 \quad (\text{кА}).$$

Напруга спрацювання автомата:

$$U_{\text{спр}} = 1,1 \cdot U_{\text{дн}}, \quad (3.27)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$U_{\text{спр}} = 1,1 \cdot 380 = 418 \quad (\text{В}).$$

За результатами розрахунків та дотримуючись вказаних вимог вибираємо автоматичний вимикач типу S201 – D6, що має

Для захисту електродвигуна від тривалих перевантажень обираємо теплове реле типу ТРН з номінальною силою струму $I_{\text{ном}} = 10\text{А}$. Для керування магнітним пускачем обираємо у якості контакта кнопки SB1 “Пуск” КУ-1; SB2 у якості контакта кнопки SB2 “Стоп” КУГ-1. Їхні технічні параметри приведені у таблиці 3.6.

Таблиця 3.5 – Технічні параметри автоматичного вимикача S 201 – D6

Назва параметру, розмірність	Значення
Номінальна сила струму $I_{на}$, А	10
Номінальна напруга $U_{на}$, В	380
Номінальна сила струму розчеплювача $I_{нрозч}$, А	50
Номінальна сила струму відсічки $I_{нв}$, А	30
Максимальна сила струму відключення $I_{мах.відкл}$, кА	15
Максимальна відмикаюча здатність U , кВ	6
Максимальна напруга $U_{мах}$, В	440
Мінімальна робоча напруга $U_{вмін}$, В	24

Таблиця 3.6 Технічні параметри апаратів захисту та керування

Позначення на електричній схемі	Назва апарату	Тип	К-ть
КК1	Теплове реле	ТРН-8	1
SB1	Кнопка “Пуск”	КУ-1	1
SB2	Кнопка “Стоп”	КУГ-1	1

Висновок: розроблена структурна електрична схеми системи електроприводу автомобільного підйомника розраховані та вибрані основні елементи силового кола системи електроприводу вибраний перетворювальний пристрій, зокрема силовий трансформатор та інші його елементи, розраховані та вибрані основні елементи захисту силового кола електроприводу.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА, РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР РЕГУЛЯТОРІВ

4.1 Розробка структурної схем електропривода автомобільного підйомника

Структурна схема запропонованої системи електропривода електромеханічного підйомника автомобілів з асинхронним короткозамкнутим двигуном, перетворювачем частоти з автономним інвертором, що описана раніш (у п. 3.1) приведена на рисунку 4.1.

На схемі показано основні структурні елементи системи електропривода автомобільного підйомника. Зворотні зв'язки по струму і по швидкості представлені через коефіцієнти зворотнього зв'язку відповідно. На схемі також показано регулятори швидкості та струму, які складають основу блоку керування. Перетворювач частоти показаний у вигляді аперіодичної ланки першого порядку. Асинхронний двигун представлений за допомогою лінеаризованої моделі.

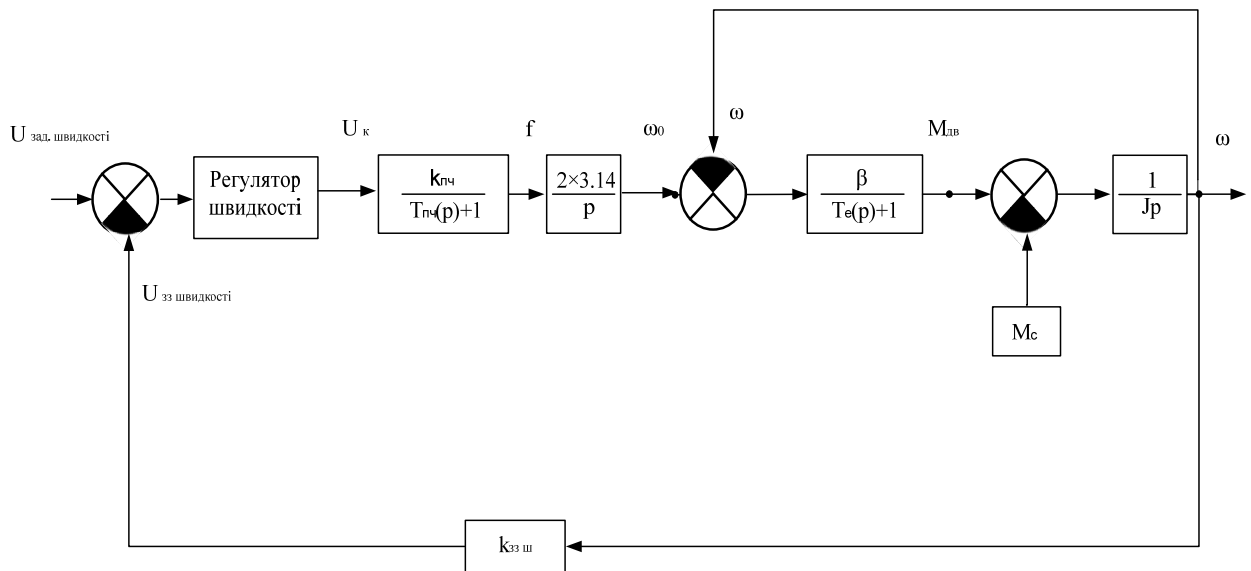


Рисунок 4.1 – Структурна схема електропривода за системою ПЧ-АД

4.2 Вибір та розрахунок регуляторів та основних елементів їх контурів

Для контуру швидкості об'єктами регулювання виступають передавальна функція датчика швидкості, передавальна функція механічної частини електродвигуна та оптимізований контур його сили струму.

У спрощеному вигляді контуру швидкості, його малу не скомпенсовану сталу напишемо так:

$$T_{\mu,шв} = 2T_{\mu,с} + T_{ф,с}, \quad (4.1)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$T_{\mu,шв} = 2 \cdot 0.0037 + 0.002 = 0.0094(с).$$

У колі зворотного зв'язку по швидкості параметри фільтра обираємо такі ж, як і у колі зворотного зв'язку по силі струму, зокрема ємність фільтрів $C_{фшв} = C_{фс} = 1 \text{ мкФ}$, постійна часу фільтра у колі зворотного зв'язку по швидкості $T_{фшв} = T_{фс}$, а активний опір фільтра у колі зворотного зв'язку по швидкості буде рівним $R_{фшв} = R_{фс}$.

Передавальна функція регульованого об'єкта у контурі швидкості:

$$W_{о,шв}(p) = W_{рег,с}(p) \cdot \frac{k_{пч} \cdot k_{с.с.}}{T_{\mu,с} p + 1} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{p} \cdot \frac{\beta}{T_c p + 1} \cdot \frac{1}{J p} \cdot \frac{k_{зз,шв}}{T_{зз,шв} p + 1}, \quad (4.2)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$W_{о,шв}(p) = \left(0.161 + \frac{6.077}{p} \right) \cdot \frac{5 \cdot 0.399}{0.0037 p + 1} \cdot \frac{2 \cdot 3.14}{2} \cdot \frac{3.55}{0.0265 p + 1} \cdot \frac{1}{0.0101 p} \cdot \frac{0.067}{0.002 p + 1}.$$

При налаштуванні на симетричний оптимум, передавальна функція оптимізованого розімкненого контуру швидкості матиме вигляд:

$$W_{\text{опт.шв.}}(p) = \frac{4T_{\mu}p + 1}{8T_{\mu}^2 p^2 (T_{\mu}p + 1)}, \quad (4.3)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$W_{\text{опт.шв.}}(p) = \frac{4 \cdot 0.0094p + 1}{8 \cdot 0.0094^2 p^2 (0.0094p + 1)}.$$

Шляхом ділення симетричного критерію оптимізації на передавальну функцію розімкнутого контуру швидкості можна визначити передавальну функцію регулятора швидкості:

$$W_{\text{рег.шв.}}(p) = \frac{W_{\text{опт.шв.}}(p)}{W_{\text{о.шв.}}(p)}, \quad (4.4)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$W_{\text{рег.шв.}}(p) = 0.032p + \frac{213.3}{p} + \frac{263.2}{p + 106.4} + 5.54.$$

Постійну часу задавача інтенсивності можна розрахувати за формулою:

$$T_{\text{зл.}} = \frac{J \cdot \omega_{\text{н}}}{M_{\text{н}}}, \quad (4.5)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$T_{\text{зл.}} = \frac{0.0101 \cdot 149}{26.8} = 0.056 \text{ (с)}.$$

Для пропорційно-інтегрального (ПІ)-регулятора швидкості, що зображений на рис. 4.2 задаємося величиною задаючого опору задатчика швидкості $R_{\text{зад.рег.шв}}$ (приміром резистор з опором величиною 30 кОм марки ПЕВТ).

Тоді величину опору у колі зворотного зв'язку регулятора швидкості, можна записати як:

$$R_{\text{зз.рег.шв}} = k_{\text{рег.шв}} \cdot R_{\text{зад.рег.шв}}, \quad (4.6)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$R_{\text{зз.рег.шв}} = 5.54 \cdot 30000 = 166200 \text{ (Ом)}.$$

З довідників [6] обираємо типовий резистор марки ПЭВТ з номінальним опором $R_{\text{зз.рег.шв}} = 1.8 \cdot 10^5 \text{ Ом}$.

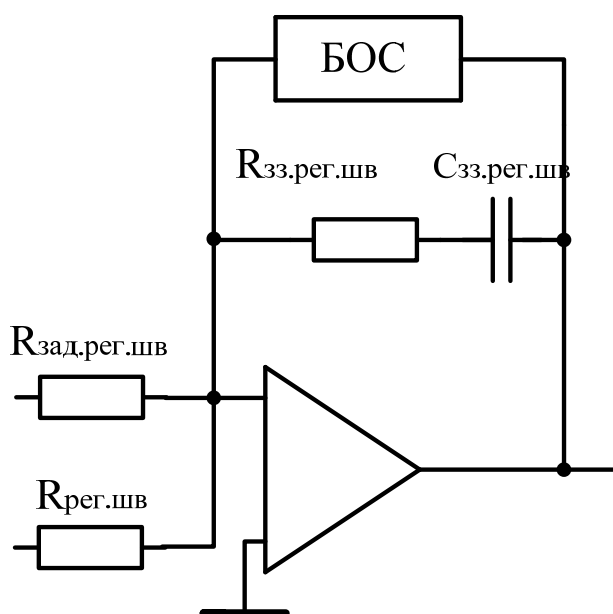


Рисунок 4.2 – Електрична схема ПІ-регулятора у контурі сенсора швидкості

Величину опору в колі сенсора зворотного зв'язку за кутовою швидкістю можна визначити так:

$$R_{\text{рег.шв}} = \frac{R_{\text{зад.рег.шв}} \cdot k_{\text{тг}}}{k_{\text{шв}}}, \quad (4.7)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$R_{\text{рег.шв}} = \frac{30000 \cdot 1.34}{0.067} = 600000 \text{ (Ом)}.$$

З довідників [6] обираємо стандартний резистор марки ПЭВТ з номінальним опором $R_{\text{рег.шв}} = 6.2 \cdot 10^5 \text{ Ом}$.

Електрична схема керування вихідними параметрами інвертора, що обробляє сигнали регулятора швидкості приведено на рис. 4.3.

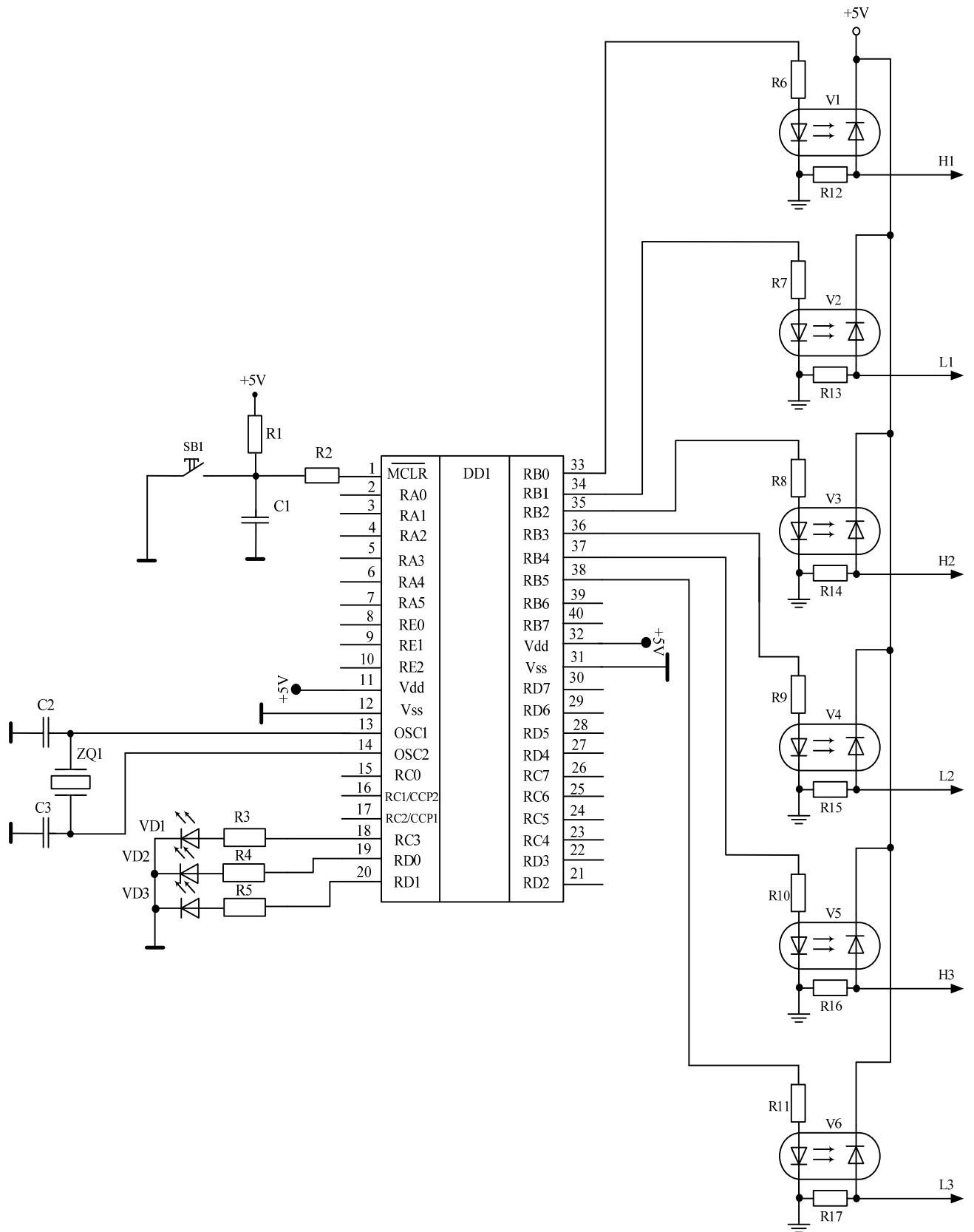


Рисунок 4.3 – Електрична схема блоку керування інвертором

Блок керування інвертором системи електроприводу автомобіллльного підйомника скомпонований на базі промислового мікроконтролера типу

PIC18F452. PIC18F452 які виробляє фірма Microchip. Даний мікроконтролер має оптимізовану структуру системи команд, та містить модуль 10 – розрядного аналогово-цифрового перетворювача, що перетворює аналогові сигнали у цифрові що необхідні для роботи системи керування електроприводом, два модуля ССР які можуть працювати в режимах таймера модуля захвата та в режимі широтно-імпульсної модуляції, адресний модуль типу USART та модуль підтримки RS-232 RS-485. На вхід цього мікроконтролера подається аналоговий сигнал від сенсора кутової швидкості електродвигуна, на його вихід надходять сформовані сигнали для керування ключами інвертора.

4.3 Розрахунок передавальних функцій динамічних ланок системи електропривода підйомника автомобілів

4.3.1 Розрахунок передавальних функцій електродвигуна та перетворювача частоти

Постійну електромагнітну часу електродвигуна можна розрахувати за виразом:

$$T_e = \frac{1}{\omega_0 S_k}, \quad (4.8)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$T_e = \frac{1}{314 \cdot 0,28} = 0,048 \quad (с).$$

Враховуючи сумарний момент інерції системи електроприводу визначений раніше у пункті 2.4. можна визначити електромеханічну постійну часу:

$$T_M = \frac{J_\Sigma}{\beta_H}, \quad (4.9)$$

Коефіцієнт жорсткості:

$$\beta_H = \frac{2 \cdot M_K}{\omega_0 \cdot S_K}, \quad (4.10)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$\beta_H = \frac{2 \cdot 23.75}{314 \cdot 0,162} = 0,0294 \text{ (Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с)}$$

$$T_M = \frac{0,018}{0,0294} = 0,612 \text{ (с)}$$

Переконаємось у виконанні необхідної умови:

$$T_M > 4 \cdot T_e, \quad (4.11)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$T_M = 4 \cdot 0,048 = 0,192 \text{ (с)},$$

Тоді:

$$T_1 = \frac{T_M}{2} + \sqrt{\left(\frac{T_M}{2}\right)^2 - T_e T_M}, \quad (4.12)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$T_1 = \frac{0,612}{2} + \sqrt{\left(\frac{0,612}{2}\right)^2 - 0,048 \cdot 0,612} = 0,056 \text{ (с)},$$

$$T_2 = \frac{T_M}{2} - \sqrt{\left(\frac{T_M}{2}\right)^2 - T_B T_M}, \quad (4.13)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$T_2 = \frac{0,612}{2} - \sqrt{\left(\frac{0,612}{2}\right)^2 - 0,024 \cdot 0,612} = 0,053 \quad (с).$$

Передавальна функція електродвигуна:

$$W_{дв}(p) = \frac{K_d}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}, \quad (4.14)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$W_{дв}(p) = \frac{0,225}{(0,056p + 1)(0,053p + 1)}.$$

За рекомендаціями [7] прийmemo $T_y = 0,00501$ с, $T_{гп} = 0,0034$ с.

$$K_p = K_{під} K_d K_{гп} \gamma_{зз}, \quad (4.15)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$K_p = 3,53 \cdot 0,225 \cdot 51,3 \cdot 0,034 = 1,36.$$

Тоді передавальна функція системи керування з розімкненим контуром:

$$W_{роз}(p) = \frac{K_p}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_y p + 1)}, \quad (4.16)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$W_{роз}(p) = \frac{1,36}{(0,056p + 1)(0,053p + 1)(0,00501p + 1)}.$$

Величина коефіцієнта підсилення розробленого перетворювача частоти:

$$k_{\text{пч}} = \frac{f_{\text{ном}}}{U_{\text{кер}}}, \quad (4.17)$$

де $f_{\text{ном}}$ – номінальна частота струму живлення електропривода підйомника;

$U_{\text{кер}}$ - напруга сигналів на виході регулятора сили струму.

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$k_{\text{пч}} = \frac{50}{10} = 5.$$

Тоді постійна часу перетворювача частоти струму буде рівною:

$$T_{\text{пч}} = \frac{1}{2 \cdot m \cdot f_{\text{ном}}}, \quad (4.18)$$

де m – число пульсацій на виході перетворювача частоти, ($m = 6$);

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$T_{\text{пч}} = \frac{1}{2 \cdot 6 \cdot 50} = 0.0017(\text{с}).$$

4.3.2 Обґрунтування вибору та розрахунок сенсорів

У якості сенсора кутової швидкості можна використати тахогенератор постійного струму, який обирається за частотою обертів електродвигуна:

$$n_{\text{н.тг.}} > n_{\text{н}}, \quad (4.19)$$

де $n_{\text{н.тг.}}$ - номінальна частота обертів тахогенератора, яка повинна бути:

$$n_{\text{н.тг.}} \geq 3000 \text{ (об/хв.)}.$$

З довідників [6] обираємо тахогенератор постійного струму типу ТП-30 технічні параметри якого приведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічні параметри тахогенератора

Тип	U_n , В	n_n , об/хв..
ТП-30	90	3500

Тоді величину коефіцієнта підсилення обраного тахогенератора можна розрахувати за формулою:

$$k_{т.г.} = \frac{U_{н.т.г.}}{\omega_{н.дв.}}, \quad (4.20)$$

де $U_{н.т.г.}$ - величина номінальної напруги на виході тахогенератора;

$\omega_{н.дв.}$ - номінальна кутова швидкість приводного електродвигуна.

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$k_{т.г.} = \frac{200}{149} = 1.34.$$

Величина коефіцієнта дільника обраного тахогенератора:

$$k_{д.т.г.} = \frac{10}{k_{т.г.} \cdot \omega_{н.дв.}}, \quad (4.21)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$k_{д.т.г.} = \frac{10}{149 \cdot 1.34} = 0.05.$$

Тоді величину коефіцієнта передачі лінії зворотного зв'язку за кутовою швидкістю можна визначити таким чином:

$$k_{шв} = k_{т.г.} \cdot k_{д.т.г.} \cdot k_{н.п.ш.}, \quad (4.22)$$

де $k_{н.п.ш.}$ - величина коефіцієнта підсилення нормуючого перетворювача кутової швидкості, ($k_{н.п.ш.} = 1$);

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$k_{шв} = 1.34 \cdot 0.05 \cdot 1 = 0.067.$$

Висновок: розроблена структурна схеми електропривода, розраховані та вибрані регулятори та основні елементи їх контурів, розраховані передавальні функції динамічних ланок системи електропривода підйомника автомобілів, зокрема електродвигуна та перетворювача частоти, вибрані та розраховані параметри сенсорів.

РОЗДІЛ 5 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ

ЕЛЕКТРОПРИВОДА АВТОМОБІЛЬНОГО ПІДЙОМНИКА

5.1 Визначення стійкості та якісних показників роботи системи електроприводу автомобільного підйомника

За отриманою раніше передавальною функцією розімкненої системи можна розрахувати амплітудо-частотну характеристику системи електроприводу скориставшись формулою:

$$A(\omega) = \sqrt{P(\omega)^2 + Q(\omega)^2}, \quad (5.1)$$

Використовуючи цю характеристику можна побудувати логарифмічну амплітудо-частотну характеристику:

$$L(\omega) = 20 \log(A(\omega)), \quad (5.2)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$L(\omega) = 893.8 + \frac{\delta y}{\delta x} + 4.34 \cdot \ln \left[\frac{(81 \cdot \omega^4 + 84375 + 9765625)}{(1 \cdot 10^{10} + 251001 \cdot \omega^2) \cdot (2.5 \cdot 10^{21} + 275 \cdot 10^{16} \cdot \omega^2)^2 \cdot (2.5 \cdot 10^{21} + 188 \cdot 10^{17} \cdot \omega^2)^2} \right]$$

Побудуємо також логарифмічну фазово-частотну характеристику

$$\phi(\omega) = \arctg \frac{Q(\omega)}{P(\omega)}, \quad (5.3)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$\Phi(\omega) = \arg \left[\frac{1}{(0.08 \cdot j \cdot \omega + 1) \cdot (0.33 \cdot j \cdot \omega + 1) \cdot (0.00501 \cdot j \cdot \omega + 1)} \right]$$

Використовуючи передавальну функцію розімкненого контуру керування та скориставшись пакетом прикладних програм Mathcad, при підстановці в отримані формули логарифмічної амплітудно-частотної та логарифмічної фазочастотної характеристик необхідних даних можна отримати графіки цих характеристик (див. рис. 5.1 та рис. 5.2 відповідно).

Як видно з цих рисунків критична частота системи керування даного електроприводу є меншою за частоту зрізу, тому ця система є стійкою і немає необхідності застосовувати корегувальні ланки.

Якісні показники роботи системи керування даного електроприводу можна визначити скориставшись його перехідною характеристикою:

$$h(t) = -4.23 \cdot \exp(-11.5 \cdot t) + 1.79 \cdot \exp(-30.15 \cdot t) - 0.027 \cdot \exp(-199.6 \cdot t) + 2.46 \quad (5.4)$$

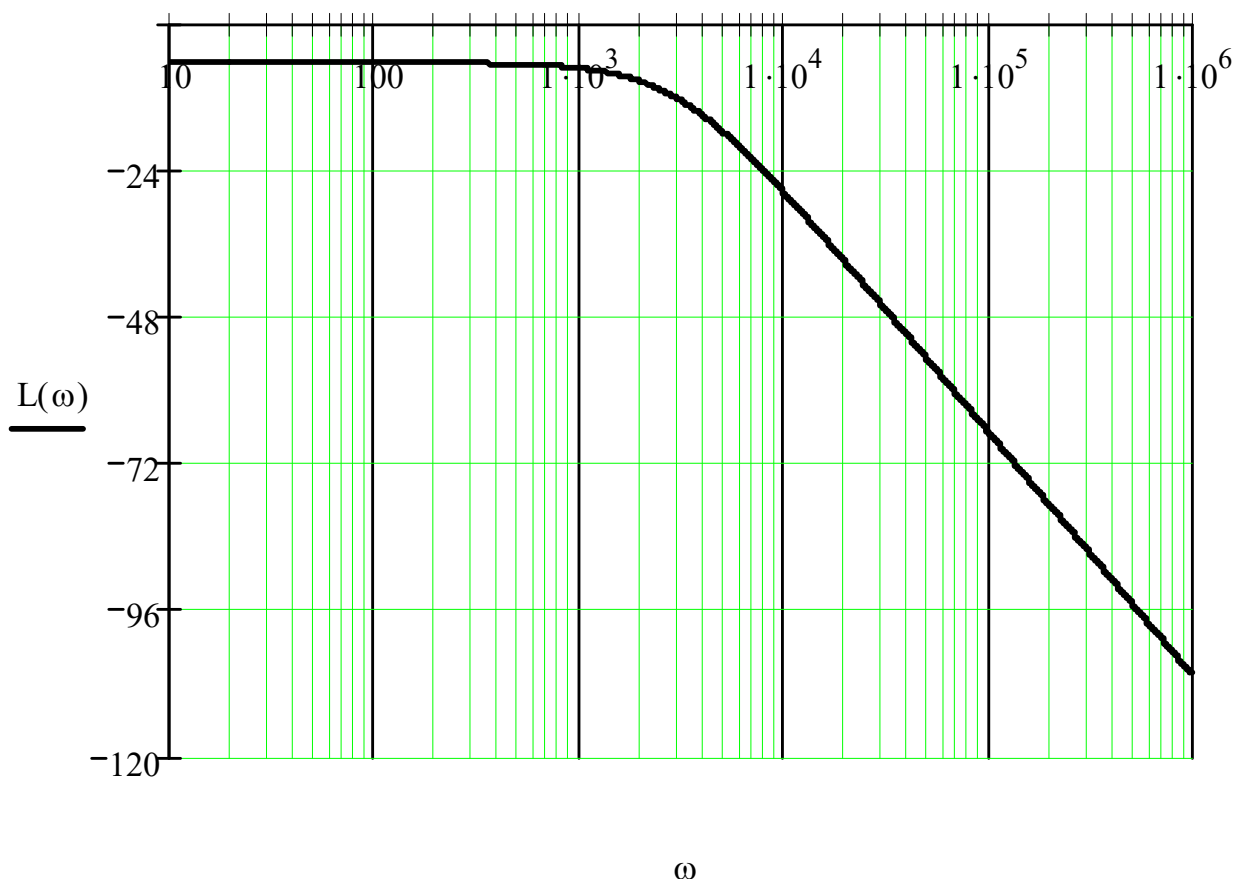


Рисунок 5.1 – Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика електроприводу

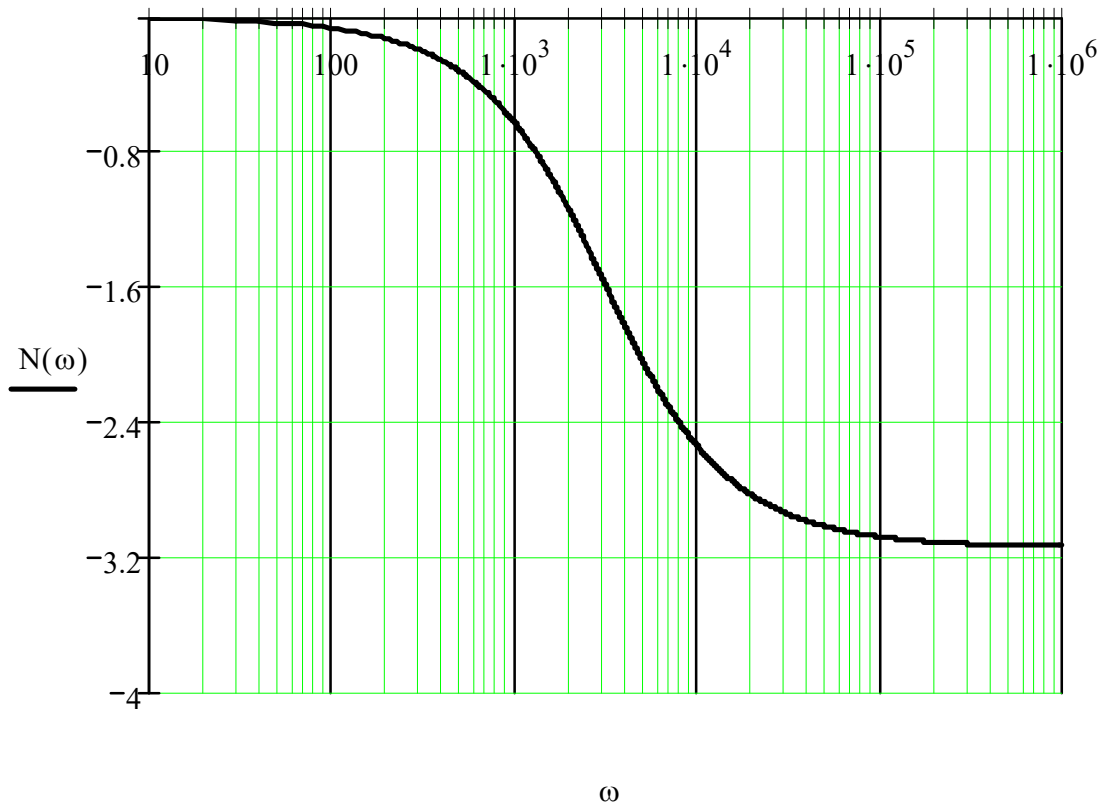


Рисунок 5.2 – Логарифмічна фазочастотна характеристика електроприводу

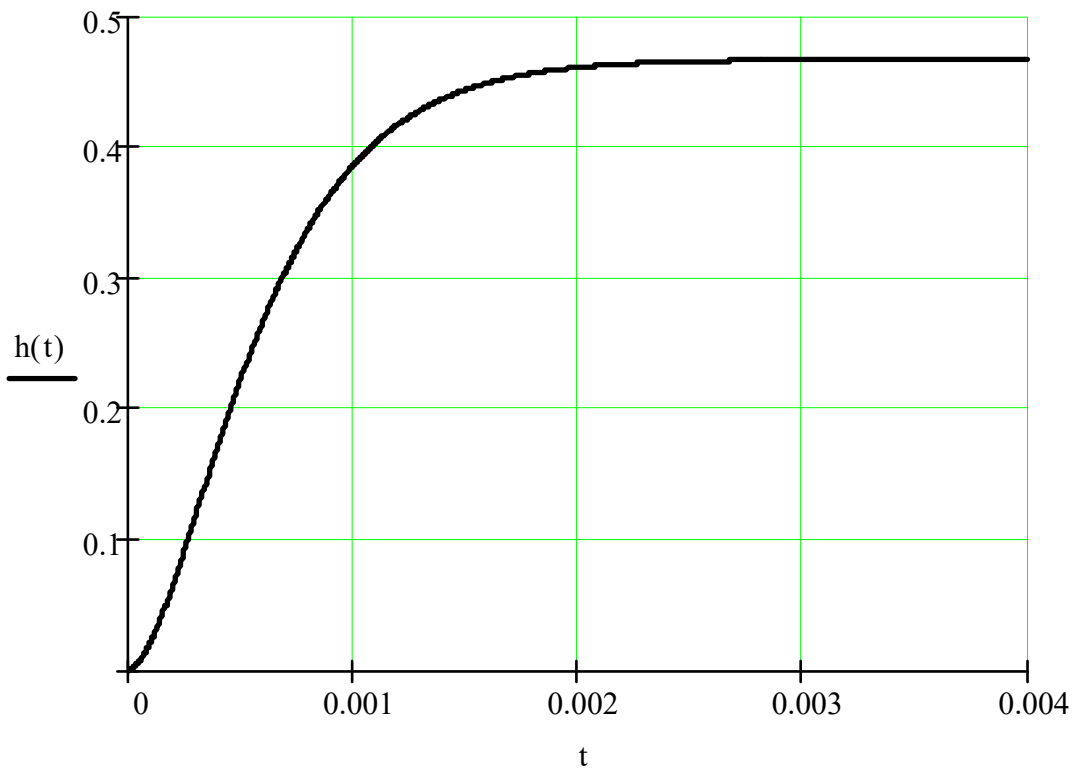


Рисунок 5.3 – Перехідна характеристика розімкненої системи електроприводу

Отримана таким чином перехідна характеристика розімкненої системи керування електроприводу приведена на рис. 5.3.

Оскільки перехідний процес у даній системі керування електроприводом є аперіодичним, показники якості роботи системи є задовільними і застосовувати додаткові (корегуючі) пристрої немає необхідності.

5.2 Математичне моделювання перехідних процесів розробленої системи керування електропривода

У перехідних режимах роботи електроприводів одночасно діють взаємопов'язані перехідні електромагнітні, механічні та теплові процеси. Перші два процеси є досить швидкоплинними, а зміна теплового стану електродвигуна, як правило, мало впливає на електромагнітні та механічні процеси, тому доцільно при побудові графічних залежностей перехідних процесів зміну теплового стану приводного двигуна не враховувати. Тому в подальшому досліджуватимемо перебіг тільки електромагнітних та механічних перехідних процесів, які узагальнюючи можна назвати електромеханічними перехідними процесами.

Моделювання процесів електроприводу та їх аналіз можна здійснити з використанням ППП Simulink. Обраний приводний асинхронний електродвигун можна змоделювати скориставшись математичним моделюванням в ортогональній системі координат $\alpha, \beta, 0$. Рівняння математичної моделі асинхронного двигуна у цій системі координат можна записати відносно потокозчеплень або струмів.

Найчастіше для асинхронного двигуна таку систему диференційних рівнянь в системі $\alpha, \beta, 0$ записують скориставшись потокозчепленнями у такому вигляді [6]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\psi_{\alpha s}}{dt} = U_{\alpha s} - AR_s(\psi_{\alpha s} L'_r - \psi_{\alpha r} L_\mu); \\ \frac{d\psi_{\beta s}}{dt} = -U_{\beta s} - AR_s(\psi_{\beta s} L'_r - \psi_{\beta r} L_\mu); \\ \frac{d\psi_{\alpha r}}{dt} = -AR'_r(\psi_{\alpha r} L_s - \psi_{\alpha s} L_\mu) + \psi_{\beta r} \omega; \\ \frac{d\psi_{\beta r}}{dt} = -AR'_r(\psi_{\beta r} L_s - \psi_{\beta s} L_\mu) - \psi_{\alpha r} \omega; \\ M = \frac{3}{2} p L_\mu A (\psi_{\alpha r} \psi_{\beta r} - \psi_{\beta s} \psi_{\alpha s}); \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} (M - M_c) \end{array} \right. \quad (5.5)$$

де A – коефіцієнт, що рівний $\left(\frac{1}{L_s L_r - L_\mu^2}\right)$;

R_r, R_s – активні опори фазних обмоток відповідно ротора та статора;

L_r, L_s – відповідно, індуктивності обмоток ротора та статора;

L_μ – взаємна індуктивність між обмотками ротора та статора.

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\psi_{\alpha s}}{dt} = 311 \cos(104,6t) - 23,11\psi_{\alpha s} + 22,51\psi_{\alpha r}; \\ \frac{d\psi_{\beta s}}{dt} = -311 \sin(104,6t) - 23,11\psi_{\beta s} + 22,51\psi_{\beta r}; \\ \frac{d\psi_{\alpha r}}{dt} = -10,14\psi_{\alpha r} - 10,17\psi_{\alpha s} + \psi_{\beta r} \omega; \\ \frac{d\psi_{\beta r}}{dt} = -10,14\psi_{\beta r} - 10,17\psi_{\beta s} - \psi_{\alpha r} \omega; \\ M = 1634(\psi_{\alpha r} \psi_{\beta r} - \psi_{\beta s} \psi_{\alpha s}); \\ \frac{d\omega}{dt} = 13,33(M - 140) \end{array} \right. \quad (5.6)$$

Підставивши у цю систему рівнянь паспортні дані обраного приводного електродвигуна, і прийнявши відповідні спрощення можемо отримати

математичну модель даного асинхронного двигуна в ортогональній системі координат “ $\alpha, \beta, 0$ ”.

Математична модель системи керування електроприводу перетворювач частоти – асинхронний двигун що побудована в ППП MATLAB приведена на рис. 5.4. Дана математична модель дозволяє реалізувати закон керування: $U/f = \text{const}$ і включає контур керування за швидкістю з використанням ПІ регулятора.

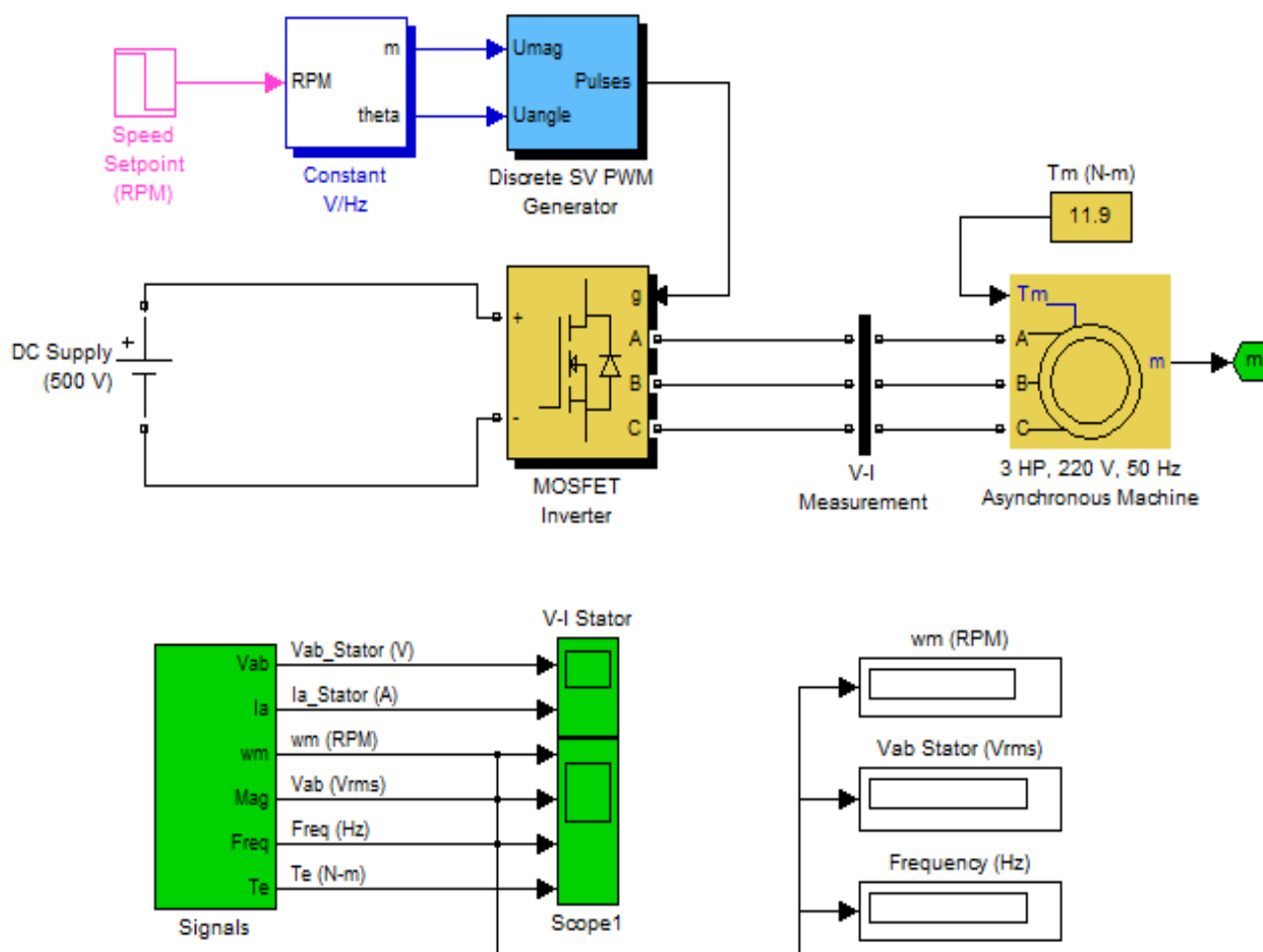


Рисунок 5.4 – Математична модель системи керування електроприводу перетворювач частоти – асинхронний двигун що побудована в ППП MATLAB

Структурна схема блоку керування Constant U/f приведена на рис. 5.5. Даний блок дозволяє застосувати ПІ регулятор для реалізації закону керування: $U/f = \text{const}$ (постійності співвідношення частоти та напруги).

Constant V/Hz Control

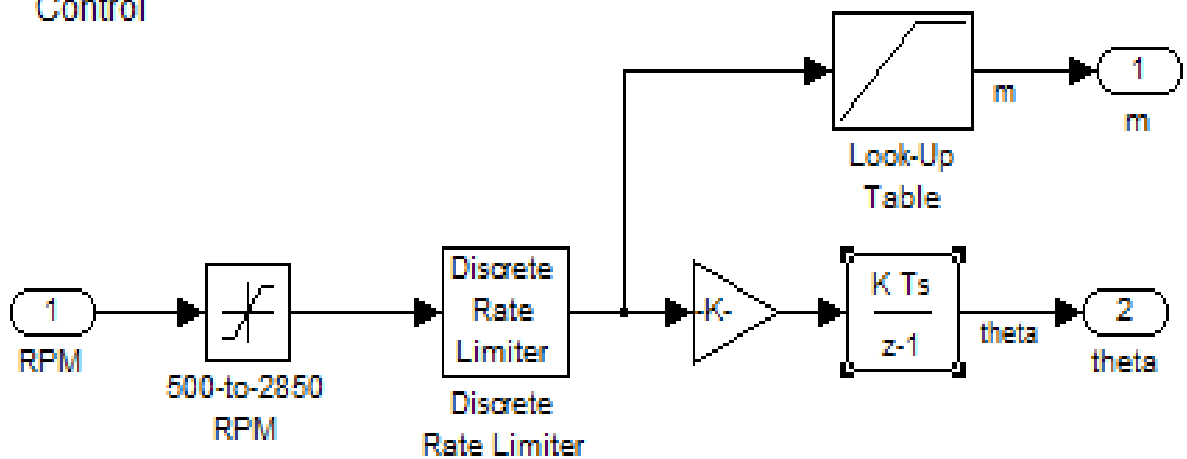


Рисунок 5.5 – Структурна схема блоку керування Constant U/f

На рис. 5.6 приведений блок задання параметрів ланки нормалізатора вихідного сигналу (блок нормалізації сигналу для блоку силових ключів).

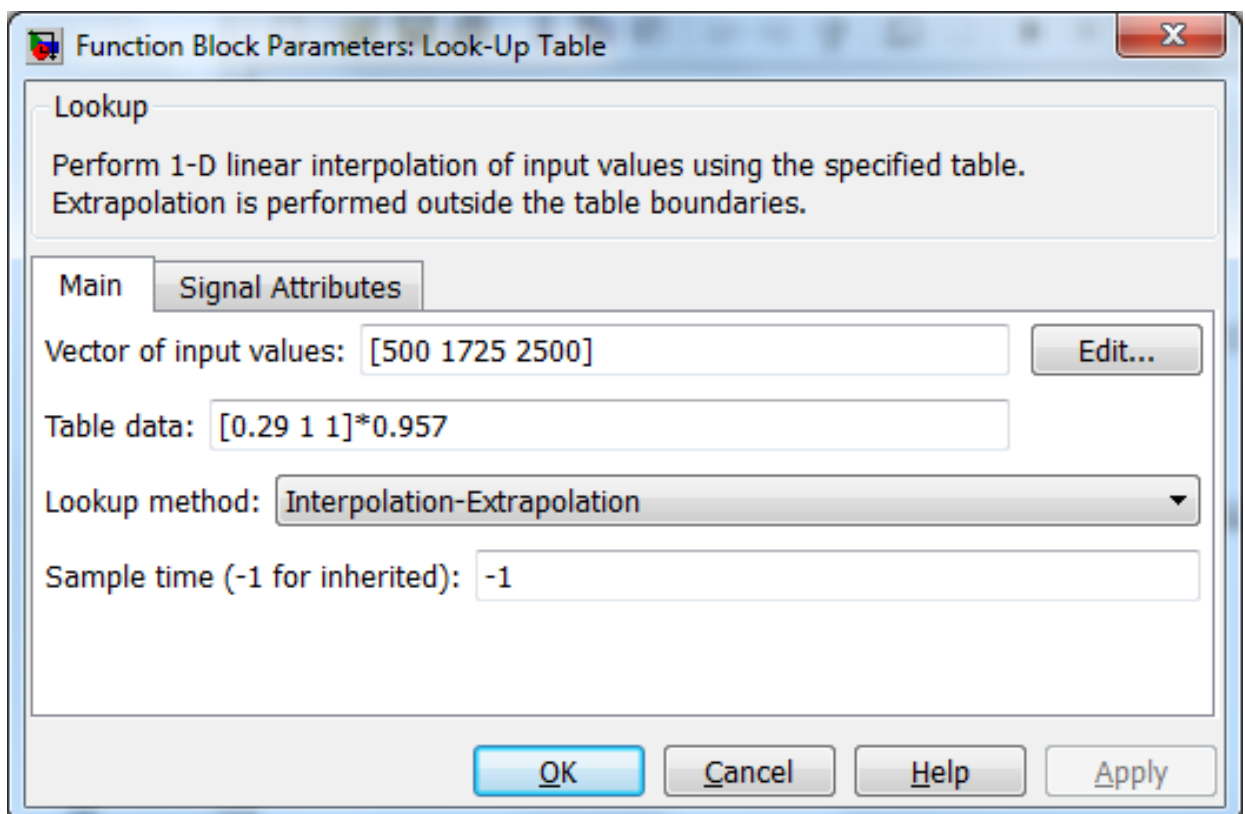


Рисунок 5.6 – Блок задання параметрів ланки нормалізатора вихідного сигналу

Залежності напруги та сили струму, що формуються за допомогою ШІМ сигналу на виході блоку силових ключів приведені на рис. 5.7. Як видно із залежності вихідна напруга має форму близьку до синусоїдальної.

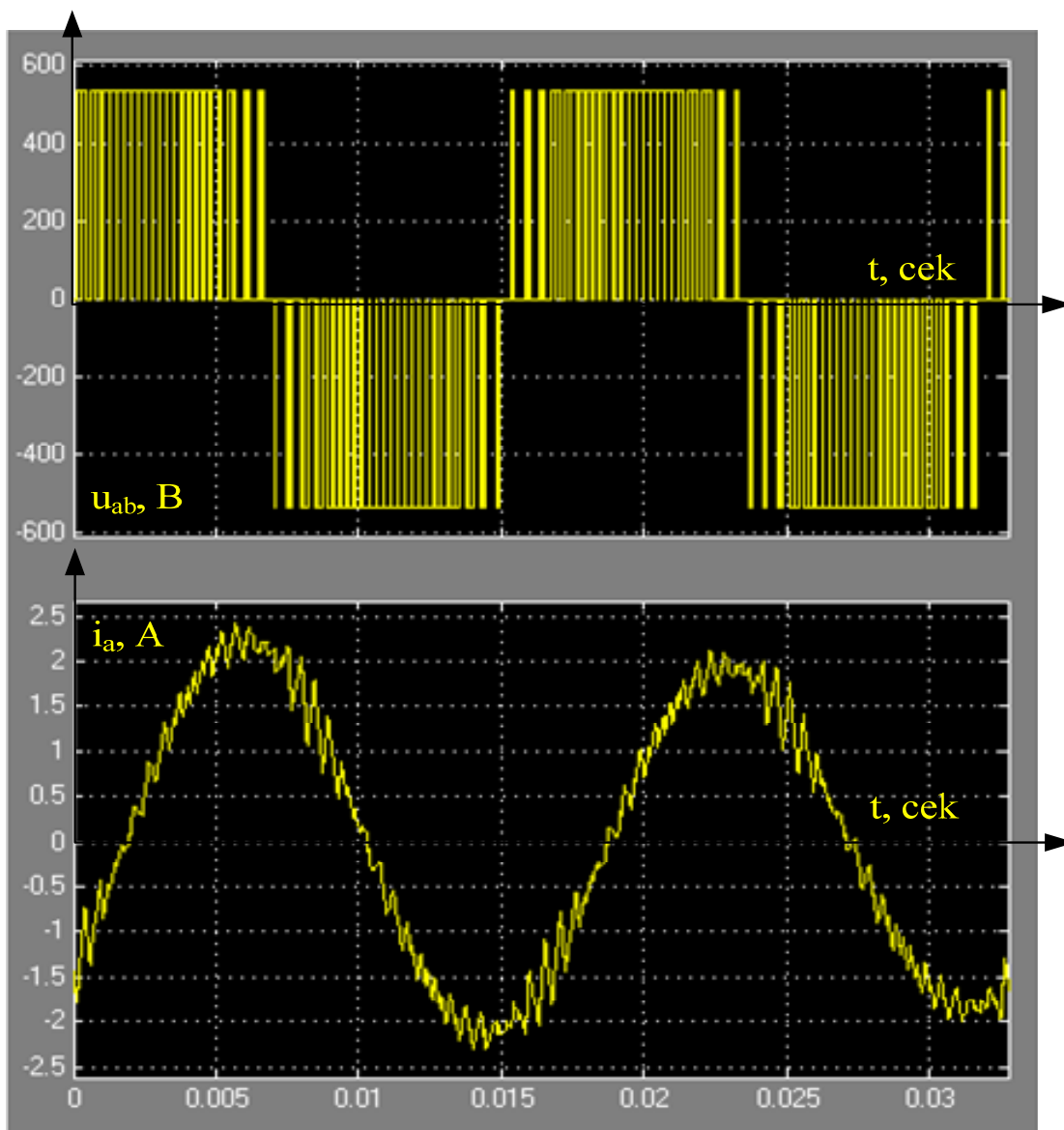


Рисунок 5.7 – Залежності напруги та сили струму, що сформовані на виході частотного перетворювача

Залежності частоти обертів електродвигуна, напруги живлення електродвигуна, частоти струму живлення, та його електромагнітного

моменту при підніманні підйомника без автомобіля від часу приведені на рис. 5.8.

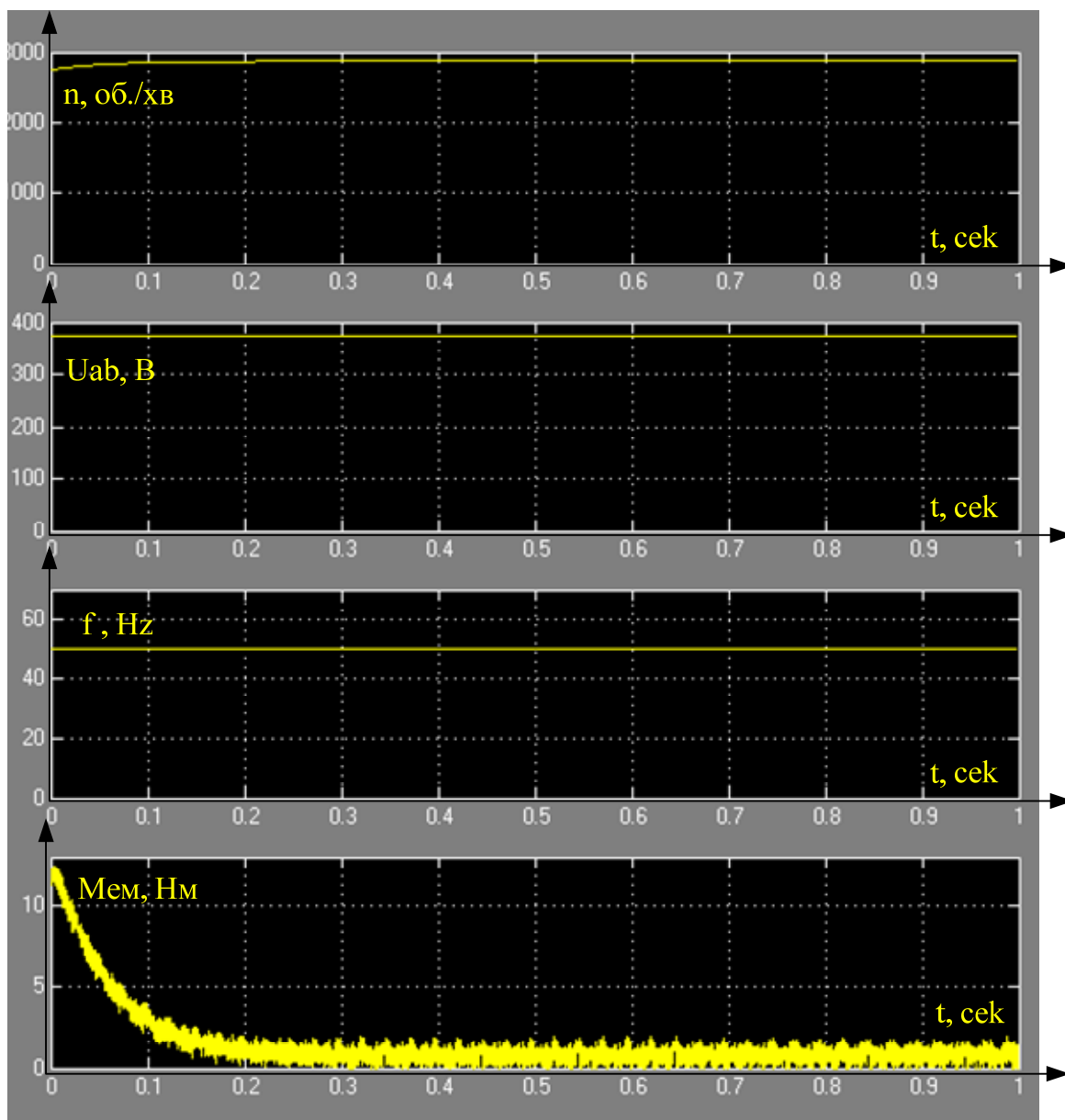


Рисунок 5.8 – Зміна параметрів приводного електродвигуна при підйомі без автомобіля на автопідйомнику

Залежності частоти обертів електродвигуна, напруги живлення електродвигуна, частоти струму живлення, та його електромагнітного моменту при підніманні підйомника із автомобілем із постійною частотою обертів валу двигуна від часу приведені на рис. 5.9.

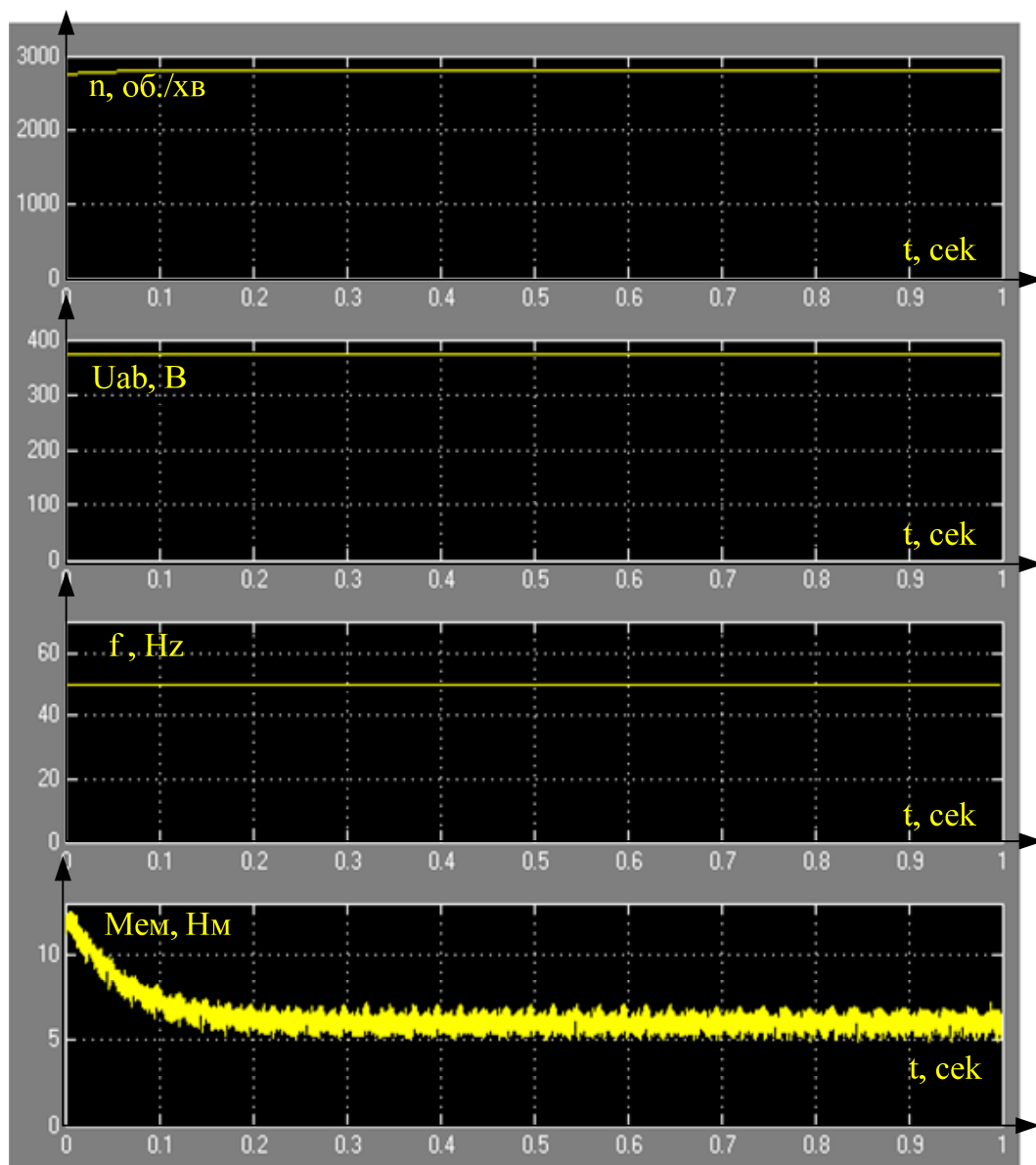


Рисунок 5.9 – Зміна параметрів приводного електродвигуна при підйомі із автомобілем на автопідйомнику із постійною частотою обертів

Залежності частоти обертів електродвигуна, напруги живлення електродвигуна, частоти струму живлення, та його електромагнітного моменту при підніманні підйомника із автомобілем та регулюванні кутової швидкості валу двигуна від часу приведені на рис. 5.10.

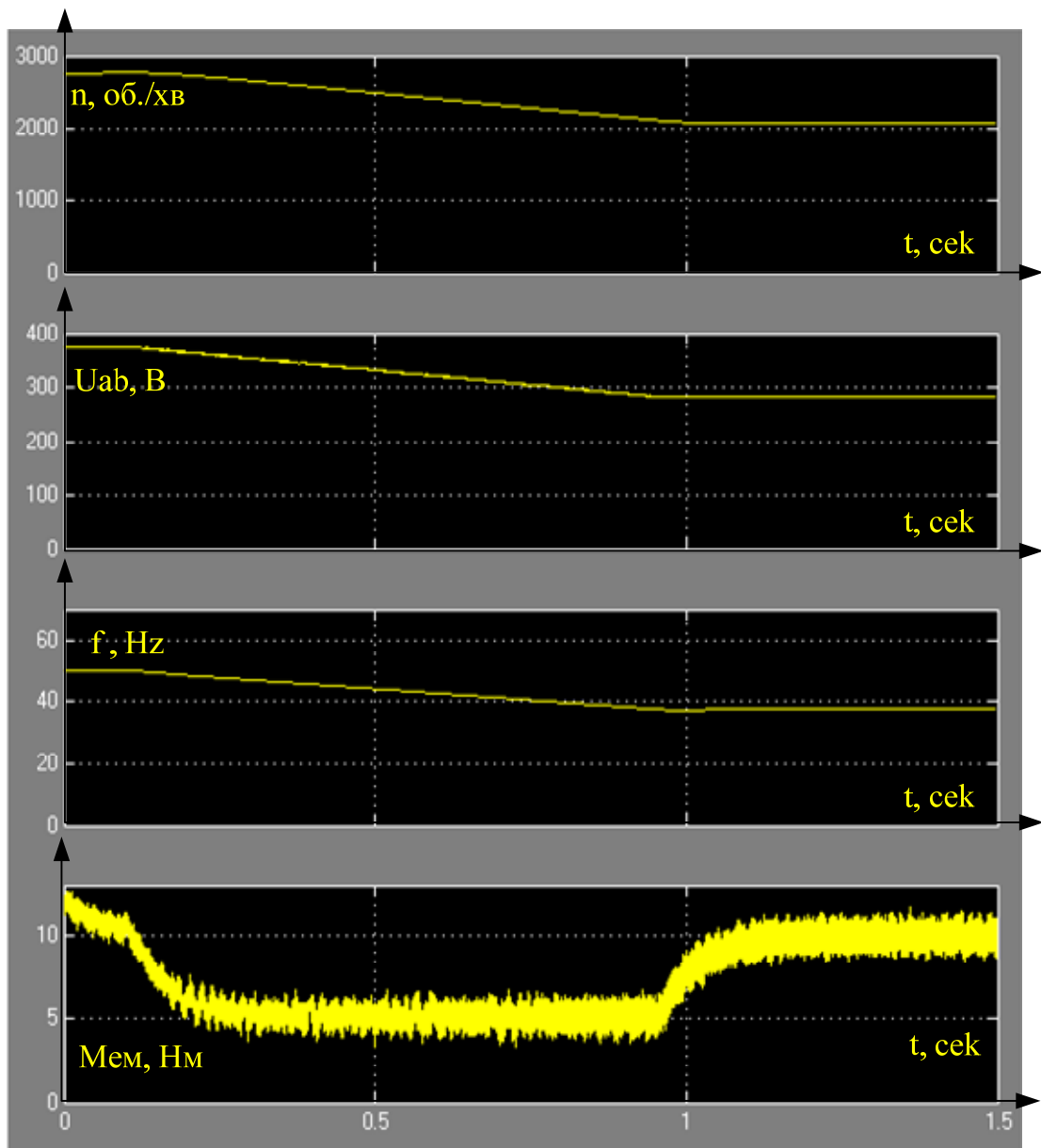


Рисунок 5.10 – Зміна параметрів електроприводу підйомника у режимі підйому автомобілів з реалізацією закону керування ($U/f = \text{const}$)

Висновок: проведене математичне моделювання розробленої системи електропривода підйомника автомобілів, за отриманими результатами можна зробити висновок про стійкість та задовільну якість роботи системи та отримані графіки перехідних процесів у електроприводі при різних режимах роботи, які дозволяють зробити висновок що параметри роботи електропривода знаходяться у допустимих межах.

РОЗДІЛ 6 РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ МОНТАЖУ

ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

6.1 Вимоги до монтажу електродвигунів

Згідно вимог ПУЕ 86-5.3.1-8 електродвигуни і апарати повинні бути встановлені в такий спосіб щоб вони були доступні для огляду і заміни, а також по можливості для ремонту на місці установки. Якщо електроустановка містить електродвигун і апарати масою 100 кг і більше то повинні бути передбачені пристосування для їх такелажу.

Частини електродвигуна, що обертаються і частини, що з'єднують електродвигуни з механізмами (муфти, шків) повинні мати огороження від випадкових торкань. Електродвигуни встановлюють так, щоб на їх обмотки не потрапляла вода, масло, емульсії тощо, а вібрація обладнання, фундаментів і частин споруд не перевищувала допустимих значень.

Проходи між фундаментами або корпусами електродвигунів, електродвигунами і частинами приміщення або обладнання повинні бути не менше 1 м. Допускається звуження проходів між виступаючими частинами машин і будівельними конструкціями до 0,6 м на довжині не більше 0,5 м.

Відстань між корпусом електродвигуна і стіною приміщення або між корпусами, а також між торцями сусідніх двигунів при наявності проходу з іншого боку повинна не менше 0,3 м при висоті двигунів до 1 м і не менше 0,6 м при висоті понад 1 м.

Ширину проходу між електродвигунами і фасадом пульта або шафи керування роблять не меншою 2 м, а між корпусом двигуна і торцем пульта або шафи – 1 м. Електродвигуни, за винятком тих, що мають ступінь захисту не менше IP44, повинні бути установлені на відстані не менше 1 м від конструкцій приміщень, виконаних із горючих матеріалів.

Зовнішні проводи або кабелі, що приєднуються до електродвигунів,

встановлених на віброізолюючих основах, на ділянці між нерухомою і рухомою частинами основи, повинні мати гнучкі мідні жили.

Електродвигуни змінного струму напругою до 1000 В вмикають без сушіння, якщо обмотка статора має опір не менше 0,5 МОм при температурі 10-30 °С. При меншому значенні опору ізоляції сушать струмом. Сушіння обмоток припиняють, якщо опір ізоляції незмінний протягом трьох годин.

6.2 Підготування електродвигунів до монтажу

Підготовку до монтажу електричних машин починають з комплектації технічної документації і детальної її вивчення. Вся технічна документація, котру отримує монтажна організація від заказчика, повинна мати штамп з надписом "Дозволено до виробництва робіт"

Об'єм і зміст документації, котру розробляє організація виконуюча монтаж електричної машини, визначається потужністю та габаритами машини. Для монтажу крупних електричних машин розробляється проект виробництва робіт, а для середніх машин – технологічні записки.

Перед монтажем ознайомлюються з паспортними даними електричної машини з метою відповідності її напрузі електромережі, потужності, максимального моменту, умовам навколишнього середовища. Перевіряють відповідність ввідного пристрою, способу вводу зовнішніх проводів та динамічне збалансування деталей, насаджених на вал двигуна.

Двигуни, що мають ступінь захисту IP44 та IP54, повинні мати ввідні пристрої з ущільнювальною гумовою прокладкою під кришкою та в штуцері для вводу кабелів. Заземлюючі болти не повинні мати корозії та пошкоджень. Їх комплектують затискними гайками і шайбами проти само відкручування.

Електродвигуни, отримані зі складу або з ремонту для монтажу, оглядають, очищають від пилюки і бруду. Законсервовані частини (кінці

валу, заземлюючий болт на корпусі двигуна) очищають від мастила ганчіркою, змоченою гасом чи неетильованим бензином.

При зовнішньому огляді потрібно встановити цілісність усіх зовнішніх частин (корпусу, захисної кришки), наявність усіх кріпильних болтів і їхнього затягування, стан контактних каблучок, щітко утримувачів, щіток і пускового реостата для електродвигуна з фазним ротором. Якщо зовнішній стан електродвигуна задовільний (несправності не виявлені або вони легко переборні), то визначають стан підшипників. Знос підшипників визначають по осьовому і радіальному люфтам, що у підшипників котіння не повинні спостерігатися візуально.

Цілісність і розмір опору обмоток статора і ротора (у двигунів із фазним ротором) заміряють мегомметром напругою 500 або 1000 В. Якщо опір ізоляції обмоток виявиться меншим припустимого, але видимого ушкодження обмоток не виявлено, то електродвигун потрібно просушити для видалення вологи з ізоляції.

Ізоляцію обмоток електричних машин сушать методом втрат у сталі, струмом короткого замикання або зовнішнього нагрівання, використовуючи повітродувки з калориферами, нагрівальні елементи або лампи розжарювання. Температуру повітря в сушильній камері підтримують у діапазоні 70...100°C. Сушіння продовжують доти, поки опір ізоляції обмоток, перевищивши мінімальне припустиме значення і перестане змінюватися.

Багато сільськогосподарських машин і механізми з електроприводом мають сезонний характер роботи, тобто експлуатуються не цілий рік. Машини і механізми на передпосівному і післязбиральному опрацюванні насіння зернових культур, механізми для силосування кормів і інші працюють у році не більш одного двох місяців, після чого електродвигун може зніматися з них для збереження на складах або для використання на інших механізмах. Електродвигуни зберігаються доволі часто у неопалювальних складах або безпосередньо на механізмах.

При підготовуванні таких електродвигунів до монтажу або перед умиканням їх у мережу іноді потрібно, крім зовнішнього огляду і виміру опору ізоляції обмоток, визначити цілісність останніх або відновити маркірування виводів.

Маркірування виводів обмоток визначають наприклад методом трансформації (принципово можливі й інші методи) за допомогою лампочки або вольтметра Лампочку, але краще вольтметр, з'єднують із висновками однієї з обмоток статора, а дві інші обмотки з'єднують послідовно між собою і на короткий годину (1...2 с). Включають у мережу змінного струму (бажано зниженої напруги) і помічають показання вольтметра або розжарення лампочки. Виключають напругу і змінюють місцями виводи однієї з послідовно сполучених обмоток (змінюють напрямок струму в ній) і знову на короткий годину включають у мережу, помічаючи показання вольтметра або розжарення лампочки. Менше показання вольтметра (відсутність розжарення лампи) відповідає з'єднанню між собою однойменних виводів, одні з яких позначають С1 і С2 (початок обмоток), а інші - відповідно С4 і С5 (кінці обмоток). Виводи третьої обмотки визначають по одній із позначених. Для цього, наприклад, першу обмотку з висновками С1 і С4 з'єднують послідовно з третьою (із непозначеними виводами), а до затискачів другої обмотки (виводам С2 і С5) підключають вольтметр і повторюють вимірювання.

Сучасне технологічне обладнання надходить у комплекті з електродвигунами. Згідно БніП і всіх правил монтажу ЕД, що входять до комплекту технологічного обладнання виконує організація, що монтує технологічне обладнання.

Електродвигуни встановлюють на робочих машинах, фундаментах або масивних основах. Основним показником якості монтажу ЕД і РМ (робочої машини) є вібраційна швидкість при роботі агрегату у місці кріплення двигуна.

6.3 Установка електродвигуна на опорну підставу

Вибір місця установки електродвигуна є одним з основних питань при монтажі електропривода. Приводні електродвигуни можуть установлюватися безпосередньо на робочій машині або окремо від неї. До опорної підстави вони кріпляться за допомогою лап станини або фланців. Якщо електродвигун входить у конструкцію машини, то його установка, з'єднання з приводним органом, вивірення з'єднання, підключення виводів обмоток і апаратури керування проводяться безпосередньо на заводах-виготовлювачах робочої машини або агрегату, що поставляються звичайно без розбирання. Великогабаритні робочі машини і механізми можуть поставлятися на місця установки вузлами, де провадиться їхнє складання.

У ряді випадків приводний електродвигун встановлюється окремо від робочої машини або механізму на литі чавунні плити, полозки, зварні рами, фундаменти і т. п. У середині будинку вони можуть установлюватися на будівельних деталях (стінах, стелях).

В усіх випадках необхідно, щоб до електродвигуна був вільний доступ для його обслуговування і заміни. При цьому повинні забезпечуватися безпечні умови монтажу й експлуатації.

Якщо робоча машина й електродвигун розташовані поруч (наприклад, компресорна або вентиляторна установка), то для них будують загальний фундамент. При цьому відстань у світлі між корпусами електродвигунів або від них до стін будинку повинно бути не менше 0,3 м за умови, що з іншої сторони їх є прохід шириною не менше 1 м. Припускаються місцеві звуження проходів між виступаючими частинами електродвигунів і будівельних конструкцій до 0,6 м.

Фундаменти під електродвигуни виконують із бетону, каменю або перепаленої цеглини на цементному розчині. Їхні розміри залежать від маси двигуна, стани ґрунту, ступеню промерзання (для зовнішніх установок) Для

електричних двигунів, котрі застосовуються у сільському господарстві, маса фундаменту може бути орієнтовно прийнята рівній десятикратній масі двигуна.

Якщо ж електропривод працює в умовах частих гальмувань або поштовхів, масу фундаменту збільшують до 15-кратної маси двигуна. Бетонні фундаменти під електродвигуни влаштовують у землі. Для цього риють котлован прямокутної форми, глибина якого повинна бути такою, щоб фундамент лежав не на насипному ґрунті, а на материках (глибину фундаментів звичайно приймають 0,5-1,5 м). Розміри його в плані приймають відповідно до розмірів фундаментної плити або полозок із припуском 50...250 мм на сторону. По периферії котловану роблять опалубку з дощок із тим, щоб після заливання фундамент піднімався над поверхнею підлоги не менше 150 мм. Котлован заповнюється бетоном, який наготовляють з однієї частини цементу, трьох частин чистого піску і чотирьох - п'яти частин промитого гравію. Все це старанно перемішують спочатку в сухому стані, а потім із добавкою води.

При заливанні в котлован бетон ущільнюють вібратором, а при його відсутності - дерев'яною трамбівкою. Поверхню фундаменту вирівнюють у строго горизонтальній площині і вставляють дерев'яні конічні пробки для отворів під анкерні болти. Через добу після заливання пробки витягають.

Двигун установлюють на фундамент через 10-15 днів після заливання. Електродвигуни піднімають і встановлюють на фундаменти за допомогою кранів, талів, лебідок, блоків і інших механізмів. Легкі електродвигуни (до 80 кг) можна піднімати й установлювати на невисокі фундаменти двома робітниками за допомогою вірвовки, просмикнутої крізь отвір піднімального болта на корпусі електродвигуна.

Якщо електродвигун надає руху робочому органу через гнучкий зв'язок, то під нього на фундамент установлюють полозки, що дозволяють робити заміну клинових ременів і натяг гнучкого зв'язку, необхідного для

нормальної роботи передачі у випадку її витяжки

При відсутності литих чавунних полозок їх виготовляють у майстерних із швелера. При установці електродвигуна перевіряють за допомогою рівня його горизонтальне положення в подовжній і поперечній площинах. Вирівнювання досягається підкладанням під полозки сталевих клинів різноманітної товщини.

Потім двигун закріплюють, а анкерні болти заливають розчином, що складається з однієї частини цементу й однієї частини промитого піску, і приступають до вивірки валів електродвигуна і робочої машини.

До частин будинків безпосередньо електродвигуни не кріпляться. Спочатку на стіні або стелі закріплюють сталеві конструкції у виді зварних із сталевого кутка кронштейнів, полозок і т. п. Такі конструкції можуть виготовлятися на заводі і входити в комплект постачання машини або установки. При розмітці отворів на стіні або стелі передбачається така установка конструкцій, щоб вісь валу електродвигуна знаходилася в горизонтальній (вертикальній) площині і була рівнобіжна поверхні стіни або стелі.

Кріплення металевих конструкцій до будівельних деталей виконують за допомогою болтів під який у стінах просвердлюють наскрізні отвори. З зовнішньої сторони стіни під голівку болта підкладають шайбу.

Електричні двигуни масою до 60 кг можуть кріпитися за допомогою анкерних болтів, умурованих у цегельні або бетонні стіни цементним розчином. Для установки на опорні підстави електродвигуни піднімають за допомогою вантажопідіймальних машин і механізмів.

Перед установкою двигуна на опорну підставу потрібно насадити на кінець валу полу муфту, шків або шестерню. Цю операцію потрібно виконувати за допомогою спеціального пристосування з натяжним гвинтом. Вал електродвигуна попередньо очищають від бруду, старого мастила фарби або іржі тканиною, змоченої гасом. Залишки іржі видаляють шліфівкою за

допомогою наждакового паперу № 00 або № 000, змазаного мінеральною олією.

Після повного очищення валу його поверхню протирають тканиною насухо, змащують тонким прошарком мінеральної олії, закладають шпонку і шпоночку канавку і надівають захисну кришку вентилятора. Поперечину пристосування впирають у торець валу, а на протилежний кінець його тиском гвинт насаджують шків або полу муфту.

Шків і полу муфти знімають із валів електродвигунів за допомогою спеціальних скоб або універсальних зйомників. Вони дозволяють захоплювати деталь як із зовнішньої, так і з внутрішньої сторони і розвивати тягове зусилля до 20 кг. Використання пристосувань для зняття і насаджування шківів, полу муфт і т.п. дозволяє всі горизонтальні зусилля, що виникають при цьому, передати в осьовому напрямку на вал, а не на підшипники.

6.4 Вивіряння передач

Для нормальної роботи електропривода кожний вид механічних передач, що з'єднують вали електродвигуна і робочої машини, у процесі монтажу потребує відповідної наладки або вивіряння. Полягає вона в тому, щоб домогтися необхідного розташування електродвигуна щодо робочої машини. Взаємне розташування їх визначається видом передач. Різноманітні передачі вивіряють різноманітними способами.

Для нормальної роботи електропривода потрібно взаємне розташування електродвигуна і робочої машини при якому осі їхніх валів повинні лежати на одній прямій лінії. Таке вивіряння передач часто називають центрівкою. Домогтися точної відповідності цим вимогам буває важко. Тому припускаються деякі відхилення від них.

До високошвидкісних електроприводів і жорстких з'єднань (наприклад,

за допомогою муфт) надаються більш жорсткі вимоги, чим до низько швидкісних електроприводів або до еластичного (пружного) з'єднанням Так, для поперечно-згортної муфти при синхронній частоті обертання 3000 хв.⁻¹ припускаються осьові зазори 0,04...0,05 мм, тоді як при частоті обертання 1500 хв.⁻¹ - 0,08...0,11 мм. Для пружних втулково-пальцевих муфт радіальні зсуви припускаються в межах 0,3...0,6 мм, а кутові (осьові) - до 1 мм.

Основні способи і технічні засоби вивірки передачі обертаючого моменту:

- центрувальні скоби;
- щупи;
- однієї пари радіально - осьових скоб;
- двох пар радіально - осьових скоб;
- центрування валів по напів-муфтах;
- пристрій з використанням стрічкового або електромагнітного притискача;
- центрування способом "обходу однієї точки";
- центрування валів електричних машин і машин із зубчастими передачами при наявності проміжного валу;
- візуальне центрування валів за допомогою центр-пошукача;

Безпосередні з'єднання вивіряють у два прийоми попередньо й остаточно.

Попередня вивірка може виконуватися за допомогою металевої лінійки (без спеціальних пристосувань), котру прикладають ребром до ободу у верхній точці напівмуфти на валу машини і перевіряють чи їсти зазор між ребром лінійки і другою напів-муфтою.

При наявності зазору під лапи електродвигуна підкладають сталеві прокладки товщиною 0,5 - 0,8 мм до його ліквідації. Якщо таких прокладок потрібно більш трьох чотирьох, їх заміняють однієї відповідної товщини, тому що велике число їх порушує центрівку електродвигуна при закріпленні.

Осьовий зсув визначають, прикладаючи лінійку до бічних поверхонь напівмуфт. Ліквідації осьових зазорів домагаються поворотом електродвигуна в горизонтальній площині.

При високій точності центрівки користуються спеціальними скобами, що закріплюють на маточинах обох напівмуфт за допомогою болтів і хомутів.

Радіальні й осьові зазори звичайно заміряють за допомогою щупів у чотирьох точках окружності через 90° , починаючи з верхньої точки. Змінюючи положення валу електродвигуна, домагаються рівності однойменних зазорів при будь-якому куті повороту валу.

Остаточну вивірку з'єднання валів муфтою у виробничих умовах часто виконують за допомогою двох жорстких дротів, що закріплюють на маточинах обох напівмуфт. Вільні кінці дротів закручують конусом у виді двох стрілок, що загинають назустріч друг до друга буквою Г. Між вістрями стрілок лишають невеличкий зазор (1 мм).

Обидві напівмуфти з'єднують нежорстко болтом і обертають від руки. Зміна осьових і радіальних зазорів у точках 0° , 90° , 180° і 270° визначають візуально. При вивірці домагаються такого положення електродвигуна, коли при обертанні муфти зазори осьові і радіальні залишаються незмінними.

Вивірений електродвигун закріплюють на опорній підставі за допомогою болтів із гайками і знову вивіряють.

Висновок: розроблено алгоритм монтажу електродвигуна та електрообладнання, проаналізовані вимоги до монтажу електродвигунів, порядок підготовки електродвигунів до монтажу, а також порядок установки електродвигуна на опорну підставу та вивірення механічних передач електроприводу.

РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКОЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ

Для визначення економічної доцільності застосування розробленої системи керування електроприводом електромеханічного підйомника автомобілів проведемо розрахунки економічної ефективності двох варіантів та порівняємо їх: існуючого системи керування «тиристорний перетворювач – двигун постійного струму», та розробленого з системою керування «перетворювач частоти – асинхронний двигун».

Основними показниками економічної ефективності величина приведених затрат на розробку та експлуатацію варіантів підйомників автомобілів, що визначається як сума капітальних вкладень K та річних експлуатаційних затрат C , що приводяться до однієї розмірності за нормативними коефіцієнтами економічної ефективності E_H .

$$Z = C + E_H \cdot K. \quad (7.1)$$

За нормативами [12], залежно від об'єкта нормативний коефіцієнт економічної ефективності E_H може становити від 0,08 до 0,15 при визначенні економічної ефективності впровадження нової техніки його приймають рівним $E_H = 0,15$.

Головним показником ефективності впроваджуваної техніки є річний економічний ефект, який можна визначити за формулою:

$$E = Z_6 - Z_n = (C_6 + E_H \cdot K_6) - (C_n + E_H \cdot K_n), \quad (7.2)$$

У цій та подальших формулах позначення “6” та “н” відповідають базовому (існуючому) та новому (розробленому) варіантам системи електроприводу.

Точніше визначити річну економічну ефективність при впровадженні новітньої техніки можна з урахуванням величини можливих витрат, що

зумовлена аваріями системи, простотою її основних та оборотних фондів, та обслуговуючого персоналу за формулою:

$$\epsilon = (Z_6 - Z_n) + (Y_6 - Y_n), \quad (7.3)$$

де Y – величина можливих річних втрат, що зумовлені аваріями механізмів, простотою основних і оборотних фондів, та обслуговуючого персоналу.

Оцінюючи економічну ефективність впровадження нової техніки часто використовують, такий важливий економічний показник, як термін окупності впроваджуваної техніки:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_n - K_6}{Z_6 - Z_n}, \quad (7.4)$$

де $T_{\text{ок}}$ – термін окупності додаткових капітальних затрат що понесені при впровадженні.

Тоді величину коефіцієнта економічної ефективності можна визначити за виразом:

$$E = \frac{1}{T_{\text{ок}}}. \quad (7.5)$$

Кошториси матеріальних та грошових затрат на придбання обладнання для порівнюваних варіантів автомобільного підйомника зведені у таблицю 7.1.

Розрахунок витрат на оплату праці обслуговуючого персоналу проведемо відповідно до діючих тарифів. Відповідно до штатного розпису, який складений з урахуванням положень ПУЕ обслуговувати електрообладнання електромеханічного автомобільного підйомника повинен електромеханік, що має розряд не нижче 5-го.

Враховуючи тарифну ставку електромеханіка першого розряду, що рівна $ТС_1 = 44$ грн./год, можемо визначити тарифну ставку електромеханіка що має 5-й розряд використовуючи тарифні коефіцієнти, що приведені у таблиці 7.2.

Таблиця 7.1 – Кошторис матеріальних та грошових затрат на придбання обладнання для порівнюваних варіантів автомобільного підйомника

Найменування електрообладнання	N	Кошторисна вартість			
		Базова ТП-ДПС		Нова ПЧ-АД	
		за шт., грн	Всього, грн	за шт.,грн	Всього, грн
1	2	3	4	5	6
Система керування для ДПС	1	13 695	13 695	-	-
Двигун постійного струму	1	2 175	2 175	-	-
Перетворювач частоти	1	-	-	15 313	15 313
Двигун асинхронний	1			1 523	1 523
Тахогенератор	1	340	340	340	340
Кріплення до монтажу	4	74	296	74	296
Провідники	20	6,8	136	6,8	136
Всього			16642		17608
Транспортні витрати			1664,2		1760,8
Всього ціна обладнання			18306,2		19368,8
Монтажні роботи			1281,4		1355,8
Демонтаж старого обладнання			-	1	400
Капітальні вкладення всього			19587,6		21124,6

Таблиця 6.2 – Тарифні коефіцієнти при погодинній оплаті праці

Тарифні розряди	I	II	III	IV	V	VI
Тарифні коефіцієнти	1	1,18	1,36	1,54	1,73	1,97

Результати розрахунків фонду заробітної плати приведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Фонд заробітної плати виробничого персоналу

Робітники	Кількість робітників	Годинна ТС	Місячна ТС	Відсоток премії	Сума премії	ЗП на робітника
Електромеханік 5-го розряду	1	190,03	14180,7	200	1830,7	15020

Величина фонду додаткової заробітної плати становитиме:

$$\Phi_{\text{ДПЗ}}^{\text{відп}} = \frac{\sum \text{ЗП}}{365 - 12 - D_{\text{відп}}} \cdot D_{\text{відп}}, \quad (76.6)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$\Phi_{\text{ДПЗ}}^{\text{відп}} = \frac{502}{365 - 12 - 23} \cdot 23 = 1134,98 \text{ (грн)},$$

Тоді величина річного фонду заробітної плати при врахуванні тривалості відпусток становитиме:

$$\Phi_{\text{РПЗ}} = \frac{502}{22} \cdot 221 + 34,98 = 150708 \text{ (грн)}$$

Величина капіталовкладень при базовому та новому варіантах електроприводу:

$$K_{\text{Б}} = 19587,6 \text{ грн},$$

$$K_{\text{Н}} = 21124,6 \text{ грн}.$$

Затрати на використану електроенергію, що спожив приводний електродвигун будуть рівними:

$$Z_{\text{ЕНБ}} = P \cdot \Phi \cdot T_0 \cdot K, \quad (7.7)$$

де P – потужність приводного електродвигуна ($P=3$ кВт);

Φ – тривалість робочого дня ($\Phi=8$ год);

T_0 – річна кількість робочих днів ($T_0=221$ день);

K – тарифна вартість електроенергії.

Враховуючи що вартість електричної енергії для споживачів другого класу напруги становить 1,92 грн./кВт · год. отримаємо:

$$Z_{\text{ЕНБ}} = 3 \cdot 8 \cdot 221 \cdot 1,57 = 6842 \text{ (грн)}.$$

Розрахуємо затрати при поточному ремонті електрообладнання. При використанні перетворювача частоти змінного струму зменшується величина

пускових струмів, втрати енергії в провідника, збільшується надійність усього електрообладнання, при цьому зменшується кількість поломок, і зростає надійність системи керування електропривода. Тому планові затрати при обслуговуванні та поточному ремонті за базового варіанту становитимуть 5 %, а у разі нового варіанту 3,5 %.

$$Z_{PB} = 0,05 \cdot K_6, \quad (7.8)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$Z_{PB} = 0,05 \cdot 19587,6 = 979,4 \text{ (грн)}.$$

$$Z_{PH} = 0,035 \cdot K_H, \quad (7.9)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$Z_{PH} = 0,035 \cdot 21124,6 = 739,4 \text{ (грн)}$$

Величина амортизаційних відрахувань становитиме:

$$Z_a = \sum N_a \cdot K_i, \quad (7.10)$$

де N_a – нормований коефіцієнт на амортизаційні відрахування ($N_a = 10 \%$),

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$Z_{a6} = 0,1 \cdot 19587,6 = 1958,8 \text{ (грн)},$$

$$Z_{aH} = 0,1 \cdot 21124,6 = 2112,5 \text{ (грн)}.$$

Затрати на придбання допоміжних матеріалів для ремонту електрообладнання, за базового варіанту становлять 20 %, а при новому становитимуть 5% від фонду заробітної праці.

$$Z_M = 0,2 \cdot Z_{заг}, \quad (7.11)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$Z_{M6} = 0,2 \cdot 5078 = 1015,6 \text{ (грн)},$$

$$Z_{MH} = 0,05 \cdot 5078 = 253,9 \text{ (грн)}.$$

Тоді величина повних експлуатаційних затрат становитиме:

$$Z_E = Z_{ЕНБ} + Z_{БР} + Z_{АБ} + Z_{МБ} + Z_{ЗАГ}, \quad (7.12)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$Z_{ЕБ} = 6842 + 979,4 + 1958,8 + 1015,6 + 5078 = 15873,8 \text{ (грн)},$$

$$Z_{ЕН} = 6842 + 739,4 + 2112,5 + 253,9 + 5078 = 15025,8 \text{ (грн)}.$$

Визначення величини абсолютної економічної ефективності за експлуатаційними затратами становитиме:

$$Z_{ЕФ} = Z_{ЕБ} - Z_{ЕН}, \quad (7.13)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$Z_{ЕФ} = 15873,8 - 15025,8 = 848 \text{ (грн)}.$$

Тоді термін окупності впровадження становитиме:

$$T_{OK} = \frac{K_H - K_B}{Z_{ЕФ}}, \quad (7.14)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$T_{OK} = \frac{21124,6 - 19587,6}{848} = 1,8 \text{ (роки)}$$

Величина річного економічного ефекту при впровадженні розробки становитиме:

$$EE = (Z_{ЕБ} - Z_{ЕН}) - E_H \cdot (K_H - K_B), \quad (7.15)$$

При підстановці вихідних даних отримаємо:

$$EE = 848 - 0,15 \cdot (21124,6 - 19587,6) = 1617,5 \text{ (грн)}.$$

Висновок: невеликий термін окупності впровадження розробки 1,8 року вказує, що застосування даного розробленого електроприводу електромеханічного підйомника автомобілів є економічно доцільним та досить рентабельним, впровадження розробленої системи електропривода дозволяє знизити експлуатаційні затрати за рахунок більшої надійності та меншої потреби затрат на матеріали при ремонтах і обслуговуванні.

РОЗДІЛ 8 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Основне завдання підйомників в авто-майстернях - забезпечити відповідний комфорт роботи при обслуговуванні автомобілів, піднімаючи їх на необхідну висоту для проведення ремонтних чи сервісних робіт. Водночас підйомники повинні гарантувати безпеку праці для обслуговуючого персоналу.

Головна умова безпеки при використанні підйомника - забезпечення повної стійкості автомобіля, що піднімається, незважаючи на положення чи висоту підйому. Для цього конструкція підйомника повинна відповідати визначеним у законодавстві нормам. Крім того, кожен підйомник високого підйому повинен перебувати під технічним наглядом.

Всі конструкції підйомників, які допускаються до експлуатації, повинні мати відповідні види захисту й гарантувати достатній рівень безпеки під час роботи. Таку гарантію, безсумнівно, дає дотримання встановлених правилами термінів сервісного огляду та проведення необхідних ремонтних робіт уповноваженими для цього особами.

Працівники авто-майстерень, які експлуатують підйомники, повинні усвідомлювати, що крім вимог безпеки й необхідного захисту, визначених конструкторами, користувач зі свого боку також відповідає за безпеку праці при їх застосуванні.

Основні правила безпеки праці при використанні автомобільних підйомників:

- допускати до обслуговування автомобільних підйомників дозволено лише уповноважених і відповідно підготовлених працівників;
- дозволено піднімати тільки ті автомобілі, вага яких відповідає номінальній вантажопідйомності підйомника;
- над підйомником та під ним має залишатися вільний простір;
- цієї ж вимоги потрібно дотримуватися під час підйому автомобіля;
- заборонено вносити будь-які зміни в електричну, гідравлічну та

пневматичну системи особам без відповідної кваліфікації;

- необхідний регулярний контроль за ступенем зношеності робочих елементів, наприклад, тросів, несучих елементів або герметичності й ефективності роботи гідравлічної системи в підйомниках;

- використання автомобільних підйомників має відбуватися з дотриманням термінів технічного огляду.

Технічний огляд підйомника полягає у перевірці:

- роботи пристроїв керування й обмежувачів робочих рухів;
- тягових систем та їх кріплення;
- роботи механізмів та швидкості робочих рухів;
- роботи захисних пристроїв.

Підйомники підлягають первинному, періодичному та позачерговому технічним оглядам відповідно до вимог Порядку проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки, затвердженого постановою КМУ від 26.05.2004 № 687.

Вимоги глави 2 розділу VIII Правил дійсні щодо стаціонарних (закріплених на місці експлуатації), пересувних (оснащених колесами, роликами тощо з метою пересування з одного місця експлуатації на інше) та переміщуваних (без закріплення на місці експлуатації з можливістю транспортування) підйомників, призначених для підймання автомобільних транспортних засобів з метою огляду та виконання робіт на них або під ними, а також щодо підйомників з коротким робочим ходом підймання не більше 500 мм, не призначених для проведення робіт під піднятим автомобільним транспортним засобом.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проаналізована система електропривода електромеханічного підйомника автомобілів та запропоновані шляхи його удосконалення, при заміні електропривода з двигуном постійного струму на автоматизований електропривод на базі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором та перетворювача частоти, яка дозволяє отримати необхідні характеристики.

Для даної системи електроприводу розрахована і побудована навантажувальна діаграма та тахограма роботи електропривода механізму підйому електромеханічного, розрахована потужність та вибраний приводний асинхронний двигун, побудовано тахограму робочого механізму та його навантажувальну діаграму, двигун перевірено за нагріванням, перевантажувальною здатністю та умовами пуску, побудовано природну механічну характеристику асинхронного двигуна та штучні механічні характеристики двигуна при регулюванні частоти струму його живлення.

Розроблена структурна електрична схеми системи електроприводу автомобільного підйомника розраховані та вибрані основні елементи силового кола системи електроприводу вибраний перетворювальний пристрій, зокрема силовий трансформатор та інші його елементи, розраховані та вибрані основні елементи захисту силового кола електроприводу.

Розроблена структурна схеми електропривода, розраховані та вибрані регулятори та основні елементи їх контурів, розраховані передавальні функції динамічних ланок системи електропривода підйомника автомобілів, зокрема електродвигуна та перетворювача частоти, вибрані та розраховані параметри сенсорів.

Проведене математичне моделювання розробленої системи електропривода підйомника автомобілів, за отриманими результатами можна зробити висновок про стійкість та задовільну якість роботи системи та отримані графіки перехідних процесів у електроприводі при різних режимах

роботи, які дозволяють зробити висновок що параметри роботи електропривода знаходяться у допустимих межах

Розроблено алгоритм монтажу електродвигуна та електрообладнання, проаналізовані вимоги до монтажу електродвигунів, порядок підготовки електродвигунів до монтажу, а також порядок установки електродвигуна на опорну підставу та вивіряння механічних передач електроприводу.

Невеликий термін окупності впровадження розробки 1,8 року вказує, що застосування даного розробленого електроприводу електромеханічного підйомника автомобілів є економічно доцільним та досить рентабельним

Розрахована економічна ефективність розробки та розглянуті питання охорони праці.

ЛІТЕРАТУРА

1. М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепіков Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник. К.: Либідь, 2005. 680 с.
2. Чиликин М.Г. Сандлер А.С. Общий курс электропривода: Учебник для вузов М.: Энергоиздат, 1981. 576 с.
3. Півняк Г.Г., Бешта О.С., Фількін М.П. Автоматизований електропривод у прокатному виробництві. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2008. 224 с.
4. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов, А.Д. Новиков. – М.: Академия, 2007. – 576 с.
5. Есаков В.П., Новиков В.П. Электрооборудования и электропривод промышленных установок. М.: Высшая школа, 1981. 248 с.
6. Голуб А.П., Кузнецов Б.І., Опришко І.О., Соляник В.П. Системи керування електроприводами: Навчальний посібник. К.: НМК ВО, 1992. 352с.
7. Видмиш А. А., Ярошенко Л. В.. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1./Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 388 с.
8. Матвійчук В.А., Стаднік М.І., Рубаненко О.О. Електропривод виробничих машин і механізмів. Навчальний посібник з виконання курсової роботи. – Вінниця: ВНАУ, 2016. – с.
9. Калетнік Г.М., С.Т. Олійнічук, О.П. Скорук, О.В. Климчук, В.І. Яцковський, Д.М. Токарчук, І.А. Здор Альтернативна енергетика України: особливості функціонування і перспективи розвитку: Колективна монографія / [за ред. проф. Г.М. Калетніка]. – Вінниця: «Едельвейс і К», 2012. – 250 с.
10. Ярошенко Л.В. Лабораторний практикум з електропривода та електрообладнання: Навчальний посібник. – Вінниця: РВВ ВНАУ, 2010. – 192 с.

11. Технический каталог электродвигателей. Режим доступа: http://www.ges.ru/book/book_eldin_air/0.htm

12. Довідник енергетика промислових підприємств / В.А.Гольфстрем, А.С.Іваненко. К.: "Техніка", 1977. 469 с.

13. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. Иваново: ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2008. 298 с.

14. Усольцев А. А. Векторное управление асинхронными двигателями. С-П.: ГИТМО, 2002.

15. Півняк Г. Г., Волков О. В. Сучасні частотно-регульовані асинхронні електроприводи з широтно-імпульсною модуляцією. Дніпропетровськ, НГУ, 2006. 470 с.

16. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш. , Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. Москва: АСАДЕМА, 2004. 202 с.

17. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов : учебник для студ. высш. учеб. заведений. М. : Издательский центр «Академия», 2008. 304 с.

18. Задорожний Н.А. Элементы теории электромеханического взаимодействия в двухмассовых системах электропривода с упругими механическими связями: Учеб. пособие. Ч. 2. Краматорск: ДГМА, 2007. 148с.

19. Резисторы : [Электронный ресурс]. Режим доступа до каталогу: http://www.chipinfo.ru/shop/ps_resistors.html

20. Микросхемы аналоговые импортные. Режим доступа до каталогу: <http://www.einfo.ru/sect16cat2062page2.html>

21. Чербовский О.Г., Моисеев Л.Г., Недошивин Р.П. Силовые полупроводниковые приборы: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1985. 400 с.

22. Лозинський А., Мороз В. Розв'язування задач електромеханіки в середовищах пакетів MathCAD і MATLAB. Львів: "Львівська політехніка", 2000. 166 с.

23. Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу “Охорона праці” в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей. Вінниця: ВНТУ, 2003. 46 с.
24. Кобилянський О. В. Охорона праці в електроенергетиці. Довідник / О.В. Кобилянський. Вінниця: ВНТУ, 2005. 165 с.
25. Ткачук К.Я., Иванчук Ф.И., Сбарно Р.С., Степанов Л.Г. Справочник по охране труда на промышленном предприятии. К.: Техника, 1991. 285 с.
26. Васильчук М.В. Безпека життєдіяльності. Нормативні документи для навчальних закладів. 2010. 1024 с.
27. Синявський О.Ю., Савченко П.І., Савченко В.В., Лавріненко Ю.М., Козирський В.В., Хандола Ю.М., Ільїчов І.П. Електропривод: Навчальний посібник; К.: Аграр Медіа Груп, 2013. 586 с. ISBN 978-617-646-201-9.
28. Возняк, О.М., Штуць. А.А., Колісник М.А. Сучасні системи електроприводів. Теорія та практика. Частина 1. Навчальний посібник. Вінниця: ТВОРИ, 2021. 280 с. ISBN 978-966-949-835-9.

ДОДАТКИ

Ілюстративні матеріали



Ножичний підйомники



Одно-стійкові електромеханічні підйомники автомобільні



Двох-стійковий підйомник



Чотирьох-стійковий підйомник