ЕН1

ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВІЗКА МОСТОВОГО КРАНУ

2020р.

Зміст

Вступ 3

1. Опис робочої машини та її технологічного процесу. 4

2. Розрахунок моментів статичних опорів та попередній розрахунок потужності електродвигуна 7

3. Обґрунтування вибору роду струму і типу електропривода 11

4. Вибір електродвигуна і редуктора 12

5. Розрахунок приведених статичних моментів, моментів інерції та коефіцієнта жорсткості системи електропривод-робоча машина 14

6. Перевірка двигуна за нагрівом 16

7. Вибір перетворювача 17

8. Складання структурної схеми розімкненої та замкненої систем електропривода і розрахунок її параметрів 19

9. Розрахунок статичних характеристик електроприводу 21

10. Розрахунок енергетичних показників електропривода 24

11. Дослідження роботи електропривода в динамічних режимах 28

12. Принципова схема електропривода 30

Висновок 31

Список використаних джерел 32

Анотація 33

Вступ

Вантажопідйомні машини – високоефективний засіб комплексної механізації та автоматизації складських, вантажно-розвантажувальних, підйомно-транспортних робіт. Застосування таких машин зменшує обсяг використання важких ручних операцій і сприяє різкому підвищенню продуктивності праці. Автоматизація вантажопідіймальних машин дозволяє включити її в потокову лінію, а універсальність використання – зробити складовим елементом гнучкого автоматизованого виробництва. Одним з пунктів величезного списку номенклатури вантажопідіймальних машин є мостовий кран.

Мостовим краном називається вантажопідйомна машина, яка пересувається по рейках на деякій відстані від землі (підлоги) і забезпечує переміщення вантажу в трьох взаємно перпендикулярних напрямках. Сучасні підйомно транспортні машини характеризується широким діапазоном вантажопідйомності, габаритів обслуговуваних площ, високою продуктивністю. Кількісних обмежень з базових параметрів для сучасних підйомно транспортних машин не існує. Їх створюють для будь-яких умов можливого застосування. Є тільки економічні обмеження. Складні важкі машини коштують дорого і застосовувати їх доцільно лише в тому випадку, якщо можна завантажити настільки, щоб вони окупалися за реальний термін експлуатації до морального і фізичного зносу.

Базовими напрямками розвитку підйомно транспортного устаткування є вдосконалення приводів машин і механізмів, спрямоване на розширення діапазону регулювання швидкостей, підвищення їх ККД і надійності, розробка нових конструктивних рішень.

Розміщення мостових кранів в будівлі повинне забезпечити можливість нормального і безпечного їх обслуговування, що вимагає наявності певних зазорів між краном і елементами будівлі навіть при його деякій деформуванні. Вантажопідйомність цих машин становить 400-500 т. і більше.

1. ОПИС РОБОЧОЇ МАШИНИ ТА ЇЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.

Мостові крани забезпечені візками, призначеними для підйому і переміщення вантажу вздовж прольоту. Візки можуть переміщатися по рейках, закріплені на верхніх або нижніх поясах мостів. Візки, що пересуваються по нижніх поясах мостів, можуть переміщатися по перехідних містках з одного прольоту цеху в поруч розташований. Перехідні містки з рейками для візків розташовані під підкрановими балками і мають тролеї для живлення електродвигунів.

Рисунок 1.1. Загалиний вид візка.

Візки, що переміщаються по верхніх і нижніх поясах балок мостів, можуть бути забезпечені поворотними стрілами, опорно-поворотними пристроями і поворотними частинами, що обертаються навколо вертикальних осей. На поворотних осях розташовані стріли, забезпечені вантажозахоплювальними пристроями. Механізми мостового крана забезпечують три руху: підйом вантажу, пересування візка і пересування моста.

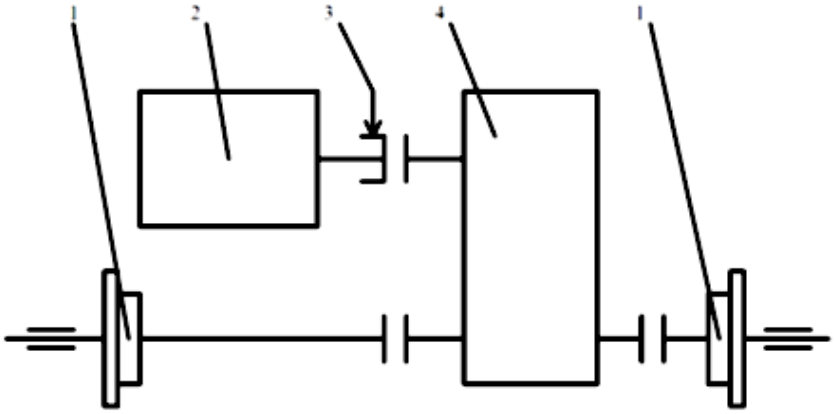


Рисунок 1.2. Кінетична схема механізма переміщення візка:
1-ходові колеса; 2-електродвигун; 3-гальмівний шків; 4-редуктор

Операція переміщення піднятого вантажу з майданчика завантаження на майданчики завантаження на майданчик вивантаження. На майданчику завантаження вантаж зачіпляється, механізм підйому забезпечує підйом вантажу. Включається двигун візка, здійснюється переміщення візка з вантажем з усталеною робочою швидкістю Vр. Після прибуття до майданчика вивантаження двигун загальмовується, візок зупиняється в заданому місці, перемістившись на довжину L. Відбувається опускання вантажу, його відчіплюють, порожній гак піднімається. Включається двигун для руху у зворотний бік з усталеною швидкістю Vв, візок повертається на майданчик завантаження, пройшовши знову відстань L.

Таким чином, візок здійснює зворотньо - поступальний рух на довжину L від одного крайнього положення до іншого. В цикл роботи візка входить час пауз, коли візок стоїть, виробляється зачеплення вантажу, його підйом, опускання, розчеплення, підйом і опускання порожнього гака.

Табл. 1.1 -Технічні дані механізму переміщення візка

Позначення	**Найменування показника**	**Розмірність**	**Варіант №2**
m	Маса візка	т	7.5
$m_в$	Маса вантажу	т	20
D	Діаметр колеса	м	0.2
d_c	Діаметр маточини	мм	50
μ	Коефіцієнт тертя ковзання	-	0.02
f	Коефіцієнт тертя кочення	мм	0.5
$C_к$	Обертова жорсткість	$\frac{\text{МНм}}{\text{рад}}$	3
L	Довжина переміщення візка	м	4
$v_{зв}$	Швидкість руху 3 вантажем	м/с	0.6
$v_{бв}$	Швидкість руху без вантажу	м/с	0.8
a	Г раничне прискорення	м/с^2	0.5
z	Число циктів у годину	-	80
t_p	Сумарний час роботи, не більше	с	18

2. РОЗРАХУНОК МОМЕНТІВ СТАТИЧНИХ ОПОРІВ ТА ПОПЕРЕДНІЙ РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Найбільш простий метод попереднього розрахунку потужності двигуна заснований на врахуванні тільки статичних навантажень. При цьому використовується метод середньоквадратичного моменту. Такий розрахунок дає орієнтовне значення потужності двигун, яке підлягає подальшій перевірці.

На основі вихідних даних робочої машини розрахуємо та побудуємо залежності швидкості робочої машини від часу $v(t)$. Ділянки відрізняються значеннями статичних навантажень та моментами інерції. [0]

Розрахуємо час пуску $t_{\text{п}}$ до усталеної швидкості с допустимим прискоренням, гальмування $t_{\text{г}}$ від усталеної швидкості до зупинки (з вантажем):

$$t_{\text{п}1} = t_{\text{г}1} = \frac{v_{\text{зв}}}{a} = \frac{0.6}{0.5} = 1.2 \text{ с.}$$

Розрахуємо час пуску $t_{\text{п}}$ до усталеної швидкості с допустимим прискоренням, гальмування $t_{\text{г}}$ від усталеної швидкості до зупинки (без вантажем):

$$t_{\text{п}2} = t_{\text{г}2} = \frac{v_{\text{бв}}}{a} = \frac{0.8}{0.5} = 1.6 \text{ с.}$$

Знадемо шлях, який проходиться за час пуску (гальмування) робочої машиною:

$$L_{\text{п}1} = L_{\text{г}1} = \frac{{v_{\text{зв}}}^2}{2 \cdot a} = \frac{0.6^2}{2 \cdot 0.5} = 0.36 \text{ м.}$$

$$L_{\text{п}2} = L_{\text{г}2} = \frac{{v_{\text{р}}}^2}{2 \cdot a} = \frac{0.8^2}{2 \cdot 0.5} = 0.64 \text{ м.}$$

Розрахуємо час усталеного режиму руху зі швидкістю v_y :

$$t_{\text{у}1} = \frac{L - (L_{\text{п}1} + L_{\text{г}1})}{v_{\text{зв}}} = \frac{4 - (0.36 + 0.36)}{0.6} = 5.5 \text{ с.}$$

$$t_{\text{у}2} = \frac{L - (L_{\text{п}2} + L_{\text{г}2})}{v_{\text{бв}}} = \frac{4 - (0.64 + 0.64)}{0.8} = 3.4 \text{ с.}$$

Статичні опори в робочих машинах створюються силами тертя ковзання в підшипниках, в гвинтовій передачі, при поступальному русі тіла по роликам і т.д., силою тяжіння тіл, що піднімаються або опускаються.

Складові статичних моментів на валу робочих органів розраховуються за формулами (де 1 – робочий орган з вантажем, 2 – робочий орган без вантажа):

- момент сил тертя в підшипниках:

$$M_{\text{пш.1}} = \frac{(m + m_{\text{в}}) \cdot d_c \cdot \mu \cdot g}{2} = \frac{(7.5 + 20) \cdot 10^3 \cdot 0.05 \cdot 0.02 \cdot 9.8}{2} = 134.75 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{\text{пш.2}} = \frac{m \cdot d_c \cdot \mu \cdot g}{2} = \frac{7.5 \cdot 10^3 \cdot 0.05 \cdot 0.02 \cdot 9.8}{2} = 36.75 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

- момент сил тертя кочення:

$$M_{k.1} = (m + m_{\text{в}}) \cdot f \cdot g = (7.5 + 20) \cdot 10^3 \cdot 0.0005 \cdot 9.8 = 134.75 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{k.2} = m \cdot f \cdot g = 7.5 \cdot 10^3 \cdot 0.0005 \cdot 9.8 = 36.75 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

де: m - маса деталей і вузлів, що спираються на підшипники, кг;

d_c - діаметр шийки вала або осі, м;

μ - коефіцієнт тертя ковзання в підшипниках;

g - прискорення сили тяжіння;

$m_{\text{в}}$ - маса вантажу, кг;

f - коефіцієнт тертя кочення, м.

Розрахуємо момент сил тертя, що враховує тертя реборд коліс об рейки:

$$M_{\text{ст.1}} = k_p(M_{\text{пш.1}} + M_{k.1}) = 1.4 \cdot (134.75 + 134.75) = 404.25 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{ст.2}} = k_p(M_{\text{пш.2}} + M_{k.2}) = 1.4 \cdot (36.75 + 36.75) = 110.25 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

де k_p - коефіцієнт, що враховує тертя реборд коліс об рейки, що виникає внаслідок можливого перекосу візка.

Розрахуємо моменти інерції механізму:

$$J_1 = (m + m_{\text{в}})\frac{D^2}{4} = (7.5 + 20) \cdot 10^3 \cdot \frac{0.2^2}{4} = 275 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_2 = m \cdot \frac{D^2}{4} = 7.5 \cdot 10^3 \cdot \frac{0.2^2}{4} = 75 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

де D – діаметр шестерні вихідного вала редуктора, м;

Розрахуємо динамічні моменти інерції механізму:

$$M_{\text{дин.1}} = J_1 \cdot \frac{2 \cdot a}{d} = 275 \cdot \frac{2 \cdot 0.5}{0.2} = 1375 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{дин.2}} = J_2 \cdot \frac{2 \cdot a}{d} = 75 \cdot \frac{2 \cdot 0.5}{0.2} = 375 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Побудуємо навантажувальну діаграму:

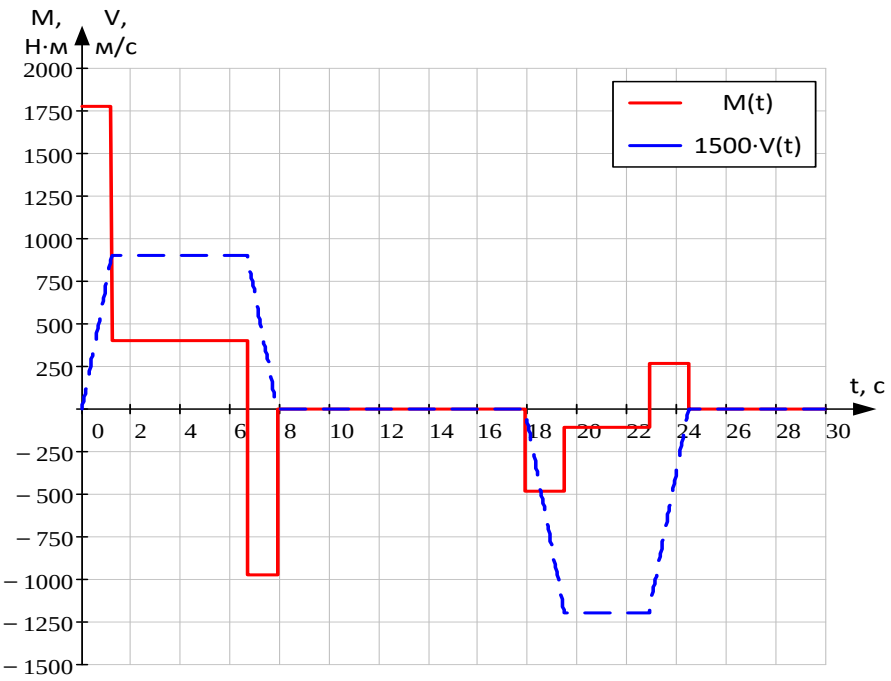


Рисунок 2.1. Навантажувальна діаграма роботи системи електропривода

Розрахуємо значення моментів на кожній з ділянок:

$$M_{\text{ро1}} = M_{\text{ст.1}} + M_{\text{дин.1}} = 1779 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{ро2}} = M_{\text{ст.2}} + M_{\text{дин.2}} = 404{,}25 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{ро3}} = M_{\text{ст.2}} + M_{\text{дин.2}} = -907 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{ро4}} = M_{\text{ст.2}} + M_{\text{дин.2}} = 485{,}25 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{ро5}} = M_{\text{ст.2}} + M_{\text{дин.2}} = 110.25 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{ро6}} = M_{\text{ст.2}} + M_{\text{дин.2}} = -264{,}75 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Обчислимо середньоквадратичне значення моменту:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{m} M_k^2 \cdot t_k}{\sum_{k=1}^{m} t_k}} =$$

$$= \sqrt{\frac{{M_{\text{ро1}}}^2 \cdot t_{\text{п1}} + {M_{\text{ро2}}}^2 \cdot t_{\text{у1}} + {M_{\text{ро3}}}^2 \cdot t_{\text{г1}} + {M_{\text{ро4}}}^2 \cdot t_{\text{п2}} + {M_{\text{ро5}}}^2 \cdot t_{\text{у2}} + {M_{\text{ро6}}}^2 \cdot t_{\text{г2}}}{t_{\text{п1}} + t_{\text{у1}} + t_{\text{г1}} + t_{\text{у1}} + t_{\text{п2}} + t_{\text{у2}} + t_{\text{г2}} + t_{\text{у2}}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{1779^2 \cdot 1.2 + 404.25^2 \cdot 5.5 + 970^2 \cdot 1.2 + 485.25^2 \cdot 1.6 + 110.25^2 \cdot 3.4 + 264{,}75^2 \cdot 1.6}{1.2 + 5.5 + 1.2 + 1.6 + 3.4 + 1.6}} =$$

$$= 662.7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначимо потужність двигуна за співвідношенням:

$$P_{\text{дв}} = k_1 M_{\text{срквв}} \frac{2V_0}{D} \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{ф}}}{\text{ПВ}_{\text{кат}}}} = 1.5 \cdot 662.7 \cdot \frac{2 \cdot 0.8}{0.2} \cdot \sqrt{\frac{0.3215}{0.4}} = 7129 \text{ Вт},$$

де: k_1 – коефіцієнт, який враховує динамічні навантаження, що обумовлені елементами привода, які обертаються (двигун, редуктор), а також втрати потужності в редукторі. Для робочої машини, яка представлена в даному курсовому проекті, коефіцієнт $k_1 = 1.5$;

V_0 – основна швидкість руху, м/с;

$\text{ПВ}_{\text{ф}}$ – фактичне значення відносної тривалості включення електропривода, що проектується;

$\text{ПВ}_{\text{кат}}$ – найближче до $\text{ПВ}_{\text{ф}}$ каталожне значення відносної тривалості включення для електродвигунів обраної серії.

Фактичне значення відносної тривалості включення $\text{ПВ}_{\text{ф}}$ розраховується по тривалості часу роботи t_k на всіх m ділянках руху та заданому часу циклу, який розраховується наступним чином:

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{z} = \frac{3600}{80} = 45 \text{ с},$$

де: z – кількість циклів роботи машини за годину;

$$\text{ПВ}_{\text{ф}} = \frac{1}{t_{\text{ц}}} \sum_{k=1}^{m} t_k = \frac{1}{60} \cdot (1.2 + 5.5 + 1.2 + 1.6 + 3.4 + 1.6) = 0.3215.$$

Найближче каталожне значення до розрахованого:

$$\text{ПВ}_{\text{кат}} = 0.4.$$

3. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ РОДУ СТРУМУ І ТИПУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Значна частина загальнопромислових та спеціальних механізмів повинна працювати з регульованими швидкостями робочих органів. При цьому найбільш прогресивним способом регулювання технологічного процесу є регулювання швидкості обертання електричного двигуна. Асинхронні двигуни відрізняються простотою конструкції, малою вартістю, високими ККД і надійністю. Їх перевагою є і той факт , що вони в порівнянні з двигунами постійного струму при рівних потужності і швидкості обертання мають менший запас кінетичної енергії, а отже, володіють високими динамічними якостями. Проте, відносно регулювальних властивостей асинхронні двигуни поступаються двигунам постійного струму, що обмежує область їх застосування.

Реостатне керування пуском асинхронного двигуна важаться найпростішим. Його використовують і на сьогоднішній день. Але при цьому масогабаритні параметри даної системи великі. Також схема керування складається з багатьох блоків релейно-контакторної логіки.

Розвиток напівпровідникової техніки стало основою для нових можливостей подальшого вдосконалення імпульсних методів регулювання асинхронних електроприводів. Напівпровідники володіють рядом важливих техніко-економічних властивостей: малими масою і габаритами, високими енергетичними показниками, швидкодією і великим коефіцієнтом посилення по потужності; широким інтервалом робочих температур; постійною готовністю до роботи і надійністю. Ці переваги дозволяють створювати імпульсні асинхронні приводи з високими експлуатаційними показниками і дозволяють здійснювати плавний регульований а також надійний пуско-гальмівний режим.

4. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА І РЕДУКТОРА

Для повторно-короткочасного режиму роботи обираємо двигун спеціальної серій, призначений для режиму роботи S3.

Таблиця 4.1- Технічна характеристика двигуна МТВ-311-8

Тип двигуна	МТВ-311-8
Потужність двигуна $\boldsymbol{P}_{\text{дв}}$, кВт	7.5
Номінальна напруга $\boldsymbol{U}_{\text{дв}}$, В	380
Синхрона свидкість $\boldsymbol{n}_{\text{с}}$, об/хв	750
Номінальна ковзання $\boldsymbol{s}_{\text{н}}$, %	7.3
Кофіцієнт потужності $\boldsymbol{cos(\varphi)}$	0.71
ККД $\boldsymbol{\eta}$, %	76.5
Кратність максимального моменту $\boldsymbol{M_{max}}$ / $\text{М}_{\text{н}}$	2.5
Момент інерції ротора $\boldsymbol{J}$, кг · м$^{\mathbf{2}}$	0.275
Номінальний струм статора $\boldsymbol{I}_{\text{н}}$, А	21
Номінальний струм статора $\boldsymbol{I}_{\text{рн}}$, А	20.5
$\boldsymbol{I_0}$, А	14
Коефіцієнт трансформації $\boldsymbol{k_e}$	1.41
Опір статора $\boldsymbol{R}_{\text{ст}}$, Ом	0,88
Опір статора $\boldsymbol{R}_{\text{р}}$, Ом	0,47
Індуктивний опір $\boldsymbol{X}_{\text{ст}}$, Ом	0,965
Індуктивний опір $\boldsymbol{X}_{\text{р}}$, Ом	0,72

Передаточне число редуктора визначається за номінальною швидкістю обертання обраного двигуна ωн та основною швидкості руху виконавчого органа υ за формулою:

$$j_{\text{р}} = \frac{\omega_{\text{н}} \cdot D}{2 \cdot \upsilon} = \frac{72.8 \cdot 0{,}02}{2 \cdot 0.6} = 9.1$$

де: D – діаметр колеса (ролика, шківа і т.д.), який знаходиться на вихідному валу редуктора

Таблиця 4.2 – Технічна характеристика редуктора ВК-350.

Тип редуктора	Передаточне число, $\boldsymbol{j}_{\text{р}}$	Крутячій момент, Н·м	Швидкість бистрохідного вала, рад/с	ККД, %
ВК-350	10	1500	750	91

5. РОЗРАХУНОК ПРИВЕДЕНИХ СТАТИЧНИХ МОМЕНТІВ, МОМЕНТІВ ІНЕРЦІЇ ТА КОЕФІЦІЄНТА ЖОРСТКОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОД-РОБОЧА МАШИНА

При попередньому розрахунку потужності за заданими технічними показниками робочої машини були розраховані статичні та динамічні моменти робочої машини. Після вибору двигуна та редуктора, коли відомі передаточне число, коефіцієнт корисної дії (ККД) редуктора, статичні моменти робочої машини, які приведені до вала двигуна, розраховуються за наступною формулою:

$$M_{\text{рс.1}} = \frac{M_{\text{ст.1}}}{j_{\text{р}}} = \frac{404.25}{10} = 40.4 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{рс.2}} = \frac{M_{\text{ст.2}}}{j_{\text{р}}} = \frac{110.25}{10} = 11 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

З урахуванням втрат в редукторі статичні моменти н валу розраховують в залежності від режиму роботи електропривода.

Статичний момент на валу в рушійному режимі:

$$M_{\text{вс.п1}} = \frac{M_{\text{рс.1}}}{\eta_{\text{р}}} = \frac{40.4}{0.91} = 44.4 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{вс.п2}} = \frac{M_{\text{рс.2}}}{\eta_{\text{р}}} = \frac{11}{0.91} = 12.1 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де: $\eta_{\text{р}}$ – ККД редуктора.

При роботі електропривода в гальмівних режимах втрати в редукторі викликають зменшення навантаження двигуна, при цьому моменти на валу визначаються за формулою:

$$M_{\text{вс.г1}} = M_{\text{рс.1}} \cdot \eta_{\text{р}} = 40.4 \cdot 0.91 = 36.8 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{вс.г1}} = M_{\text{рс}} \cdot \eta_{\text{р}} = 11 \cdot 0.97 = 10 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Сумарний приведений до вала двигуна момент інерції системи може бути розрахований за співвідношенням:

$$J_{\Sigma.1} = \delta J_{\text{д}} + \frac{J_{.1}}{j_{\text{р}}^2} = 1.5 \cdot 0.275 + \frac{275}{10^2} = 3.163 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_{\Sigma.2} = \delta J_{\text{д}} + \frac{J_{.2}}{j_{\text{р}}^2} = 1.5 \cdot 0.275 + \frac{75}{10^2} = 1.162 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

де: $J_{\text{д}}$ – момент інерції ротора двигуна;

δ – коефіцієнт, який враховує момент інерції інших елементів електропривода: муфт, гальмівного шківа, редуктора та ін. ($\delta = 1.5$).

Розрахуємо середньоквадратичний момент приведений до валу двигуна

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{m} M_k^2 \cdot t_k}{\sum_{k=1}^{m} t_k}} =$$

$$= \sqrt{\frac{{M_{\text{ро1}}}^2 \cdot t_{\text{п1}} + {M_{\text{ро2}}}^2 \cdot t_{\text{у1}} + {M_{\text{ро3}}}^2 \cdot t_{\text{г1}} + {M_{\text{ро4}}}^2 \cdot t_{\text{п2}} + {M_{\text{ро5}}}^2 \cdot t_{\text{у2}} + {M_{\text{ро6}}}^2 \cdot t_{\text{г2}}}{t_{\text{п1}} + t_{\text{у1}} + t_{\text{г1}} + t_{\text{у1}} + t_{\text{п2}} + t_{\text{у2}} + t_{\text{г2}} + t_{\text{у2}}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{60.2^2 \cdot 1.2 + 44.4^2 \cdot 5.5 + 21^2 \cdot 1.2 + 17.9^2 \cdot 1.6 + 12.1^2 \cdot 3.4 + 4.2^2 \cdot 1.6}{1.2 + 5.5 + 1.2 + 1.6 + 3.4 + 1.6}} = 34 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де: $M_{\text{ро1}} = M_{c\text{т.1}} + M_{\text{дин.1}} = 44.4 + 15.9 = 60{,}2 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

$M_{\text{ро2}} = M_{c\text{т.2}} = 44{,}4 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

$M_{\text{ро3}} = M_{c\text{т.2}} + M_{\text{дин.2}} = -36.9 + 15{,}9 = 21 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

$M_{\text{ро4}} = M_{c\text{т.2}} + M_{\text{дин.2}} = 12.11 + 15{,}9 = 17{,}9 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

$M_{\text{ро5}} = M_{c\text{т.2}} + M_{\text{дин.2}} = 12.1 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

$M_{\text{ро6}} = M_{c\text{т.2}} + M_{\text{дин.2}} = -10 + 5{,}8 = -4{,}2 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

Приведену до вала двигуна жорсткість пружного механічного зв’язку $C_{\text{пр}}$ визначають через значення крутильної жорсткості робочого вала (пружної муфти) за формулою:

$$C_{\text{пр}} = \frac{C_{\text{к}}}{J_{\text{р}}^2} = \frac{3000000}{10^2} = 30000 \ \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

6. ПЕРЕВІРКА ДВИГУНА ЗА НАГРІВОМ

Попередня перевірка двигуна за нагрівом здійснюється за величиною середньоквадратичного моменту:

$$M_{\text{сркв}} \leq M_{\text{доп}}.$$

Значення допустимого моменту $M_{\text{доп}}$ розраховується за формулою [1]:

$$M_{\text{доп}} = M_{\text{кат}} \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{кат}}}{\text{ПВ}_{\text{ф}}}} = 102.9 \cdot \sqrt{\frac{0.4}{0.32}} = 114.8 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де: $M_{\text{кат}}$ – момент двигуна при $\text{ПВ}_{\text{кат}}$, найближчому до $\text{ПВ}_{\text{ф}}$. [10]

отриманих результатів, робимо висновок, що двигун обрано правильно, оскільки виконується умова:

$$M_{\text{сркв}} \leq M_{\text{доп}} \Rightarrow (34 \leq 114.8)\text{Н} \cdot \text{м}.$$

7. ВИБІР ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Вибір широтно-імпульсного перетворювача постійного струму здійснюється виходячи з номінальної напруги, номінального і максимального струму двигуна:

$$U_{\text{тп}} \geq U_{\text{дв}};$$

$$I_{\text{тп}} \geq I_{\text{дв}}.$$

Вибір транзистора виробляємо за максимально можливого струму протікає через нього, а також оскільки наш транзистор працює в ключовому режимі то при виборі також необхідно врахувати допустиму частоту комутації ключа.

Визначимо максимально можливий струм протікає через якірний ланцюг двигуна. Їм є струм короткого замикання ланцюга який визначається зі співвідношення :

$$I_k = \frac{E_{d0}}{R_{\text{дв}}} = \frac{338}{0.98} = 340 \text{ А}.$$

Відповідно до отриманих параметрами періоду комутації та максимального струму за каталожними даними вибираємо тип транзистора IGBT SKM600GB066D

Таблиця 7.1-Технічна характеритика транзистора IGBT SKM600GB066D

Максимально допустимое напряжение	Umax = 600 В
Максимально допустимый ток	Imax = 400 А
Максимальная частота переключения	fmax = 40 кГц
Диапазон рабочих температур	T = - 55 ÷ +150 оС

Оберемо згладжуючий реактор. Він необхідний в колі постійного струму для згладжування пульсацій випрямленого струму, зменшення зони переривчастих струмів та обмеження швидкості наростання аварійного струму через тиристори при короткому замиканні на стороні випрямленого струму.

Вибір реакторів для перетворювача здійснюється згідно умови

$$L_{\text{р}} \geq 2 \cdot L_{\text{дв}},$$

де: $L_{дв}$ – індуктивність якоря двигуна постійного струму, яка розраховується наступним чином:

$$L_{дв} = 5.5 \text{ мГн}.$$

Згідно розрахунку, обираємо необхідний згладжуючий реактор (табл. 7.2):

Таблиця 7.2 – Технічна характеристика реактора СРОС-200/0,5.

Тип	$I_{др}$, А	$L_{др}$, мГн	$R_{др}$, Ом
СРОС-200/0,5	200/100*	30/7,5	0,00401

Вибір датчиків та комутаційної апаратури

В якості датчика швидкості вибирається тахогенератор з постійними магнітами або незалежним збудженням виходячи з номінальної швидкості:

$$\omega_{тг} \geq \omega_{дв}.$$

Згідно умови нерівності, обираємо необхідний тахогенератор [1], технічні дані якого наведено в табл. 7.4.

Таблиця 7.3 – Технічна характеристика тахогенератора ТГ-2С.

Тип тахогенератора	Тип збудження	$U_{зб}$, В	$n_{тг}$, об/хв	R_d, Ом	Діапазон робочих температур, ℃
ТГ-2С	електромагнітне	задається струмом	750	3000	$-40 \div 50$

Вибір датчиків струму, ЕРС або напруги здійснюється на основі модулів оптронної або трансформаторної розв’язки за рівнем розв’язки 1000-1500 В.

Виходячи з номінальної напруги двигуна, вибір комутаційної апаратури виконується виходячи з номінальних струмів двигуна і перетворювача за каталогами на електрообладнання.

8. СКЛАДАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ РОЗІМКНЕНОЇ ТА ЗАМКНЕНОЇ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПРИВОДА І РОЗРАХУНОК ЇЇ ПАРАМЕТРІВ

Схема заміщення узагальненої системи ТКР-АД наведена на рис. 8.1 [0]:

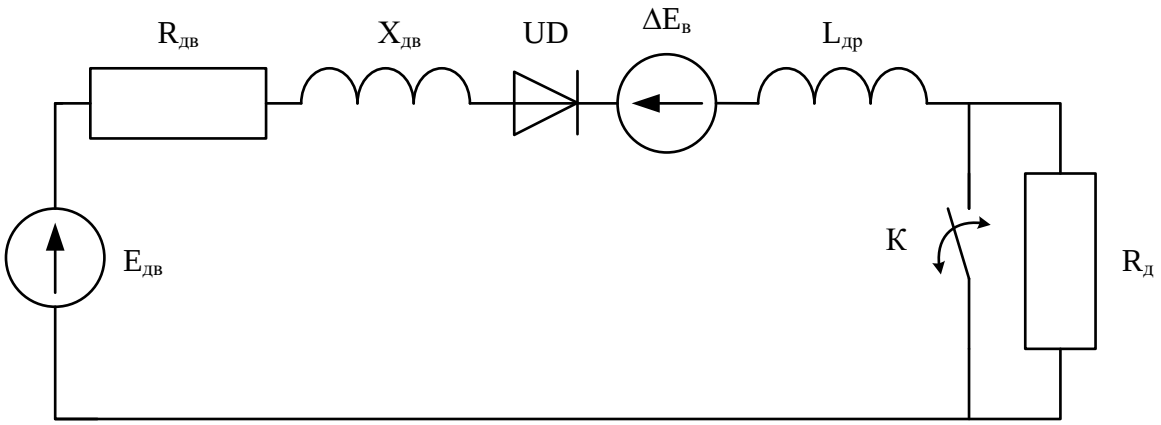


Рисунок 8.1. Схема заміщення узагальненої системи імпульсного регулювання в колі ротора

Середнє значення напруги на виході випрямляючого мосту:

$$E_{d0} = \sqrt{2} \cdot E_{\text{рн}} \cdot \frac{m}{\pi} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right) = \sqrt{2} \cdot 251 \cdot \frac{6}{\pi} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{6}\right) = 338.9 \text{ В.}$$

Сумарний активний опір двигуна:

$$R_{\text{дв}} = \frac{R_1 \cdot s}{{k_e}^2} + R_2 = \frac{0.88 \cdot 1}{1.41^2} + 0.47 = 0.912 \text{ Ом.}$$

Сумарний реактивний опір двигуна:

$$X_{\text{дв}} = \frac{X_1}{{k_e}^2} + X_2 \cdot s = \frac{0.965}{1.41^2} + 0.72 \cdot 1 = 1.2 \text{ Ом.}$$

Еквівалентний опір двигуна приведений до колу постійного стуму:

$$R_e = 1.75 \cdot R_{\text{дв}} + \frac{3}{\pi} \cdot X_{\text{дв}} = 1{,}75 \cdot 0{,}912 + \frac{3}{\pi} \cdot 1.2 = 2.7 \text{ Ом.}$$

Індуктивність двигуна:

$$L_e = 1.5 \cdot \frac{X_{\text{дв}}}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 1.5 \cdot \frac{1.2}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 5.8 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Сумарний опір при $\gamma = 1$*:*

$$R_{11} = R_e + R_{\text{др}} = 2.7 + 0.02 = 2.72 \text{ Ом.}$$

Сумарний опір при $\gamma = 0$

$$R_{22} = R_e + R_{\text{др}} + R_{\text{д}} = 2.7 + 0.02 + 20 = 22.72 \text{ Ом}.$$

Електромагнітна постійна:

$$T_e = \frac{L_\Sigma}{R_{22}} = \frac{0.016}{22.72} = 0.87 \text{ мс}.$$

Розрахуємо коефіцієнти Се и См по формулам:

$$\text{C}_m = \frac{E_{d0} - 2 \cdot R_1 \cdot I_d}{\omega_0} = \frac{338 - 2 \cdot 1.75 \cdot 0.88 \cdot 20.5}{78.5} = 74.5;$$

$$\text{C}_e = \frac{E_{d0} - R_1 \cdot I_d}{\omega_0} = \frac{338 - 1.75 \cdot 0.88 \cdot 20.5}{78.5} = 74.5.$$

Номінальний момен:

$$M_{\text{н}} = \frac{30 \cdot P_{\text{н}}}{\pi \cdot n_0 \cdot (1 - s_{\text{н}})} = \frac{30 \cdot 7500}{\pi \cdot 7500 \cdot (1 - 0.073)} = 103.013 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

9. РОЗРАХУНОК СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Так як система має пульсуюче значення струму, що видно на рис. 9.1, знайдемо середнє значення струму I_d.

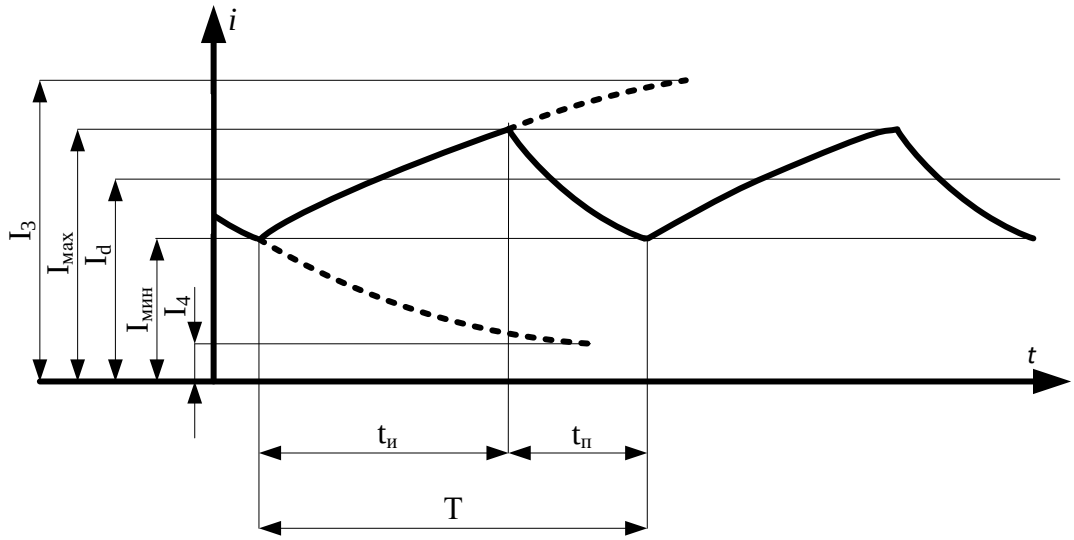


Рисунок 9.1. Характеристика пульсуючого значення струмуивід часу $I_п = f(t)$.

Середнє зачення струму має таку залежність:

$$I_d = \int_0^{\gamma} i_1(\tau)d\tau + \int_{\gamma}^{1} i_2(\tau)d\tau,$$

де $i_1(\tau)$ та $i_2(\tau)$ фунції струму при замикані та розмикані ключа відповідно.

Розв'язуючи дане рівняння [3], отримуємо:

$$I_d = I_3 \cdot \gamma + I_4 \cdot (1-\gamma) + \Delta I \cdot \left(\frac{\beta_1 - \beta_2}{\beta_1 \cdot \beta_2}\right)$$

де: β_1, β_2 – електромагнітні постійні,

I_3, I_4 – максимальне і мінімальне значення стрімів при $\gamma = 1$ та $\gamma = 0$ відповідно:

$$I_3 = \frac{E_{d0} \cdot s}{R_{11}} = \frac{338.9 \cdot 1}{2.72} = 122.45 \text{ А};$$

$$I_4 = \frac{E_{d0} \cdot s}{R_{22}} = \frac{338.9 \cdot 1}{22.72} = 14.9 \text{ А};$$

$\Delta I = I_{макс} - I_{мин}$ – амплітуда пільсацій

$$I_{\text{мин}} = \frac{I_3 \cdot \left(1 - e^{-\beta_1 \cdot \gamma}\right) \cdot e^{-\beta_2 \cdot (1-\gamma)} + I_4 \cdot \left(1 - e^{-\beta_2 \cdot (1-\gamma)}\right)}{1 - e^{-(\beta_1 \cdot \gamma + \beta_2 \cdot (1-\gamma))}}$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{I_3 \cdot \left(1 - e^{-\beta_1 \cdot \gamma}\right) + I_4 \cdot \left(1 - e^{-\beta_2 \cdot (1-\gamma)}\right) \cdot e^{-\beta_1 \cdot \gamma}}{1 - e^{-(\beta_1 \cdot \gamma + \beta_2 \cdot (1-\gamma))}}$$

Побудову статичних характеристик виконується в програмному пакеті MathCAD.

Штучні швидкісні характеристики мають вигляд рис. 9.2

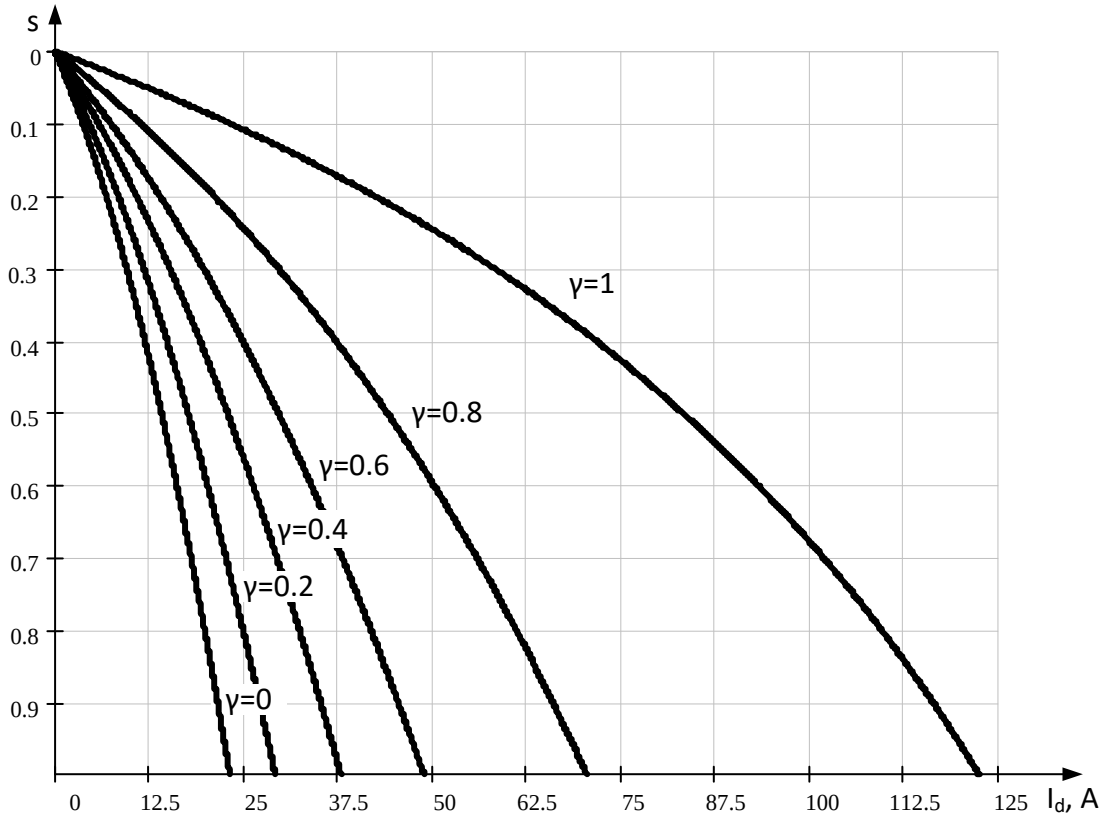


Рисунок 9.2. Штучні швидкісні характеристики ТКР-АД

Побудова механічних характеристик даної системи виконується шляхом підстановки значення струму в даний вираз:

$$M = \frac{9.55}{n_0} \cdot P_{\text{ем}};$$

де n_0 – синхрона швидкість двигуна,

$P_{\text{ем}}$ – електромагнітна потужність:

$$P_{\text{ем}} = E_{d0} - I_d \cdot \left(1.75 \cdot R_1^{`} + \frac{3}{\pi} \cdot X_{\text{дв}}\right).$$

Штучні механічні характеристики мають вигляд:

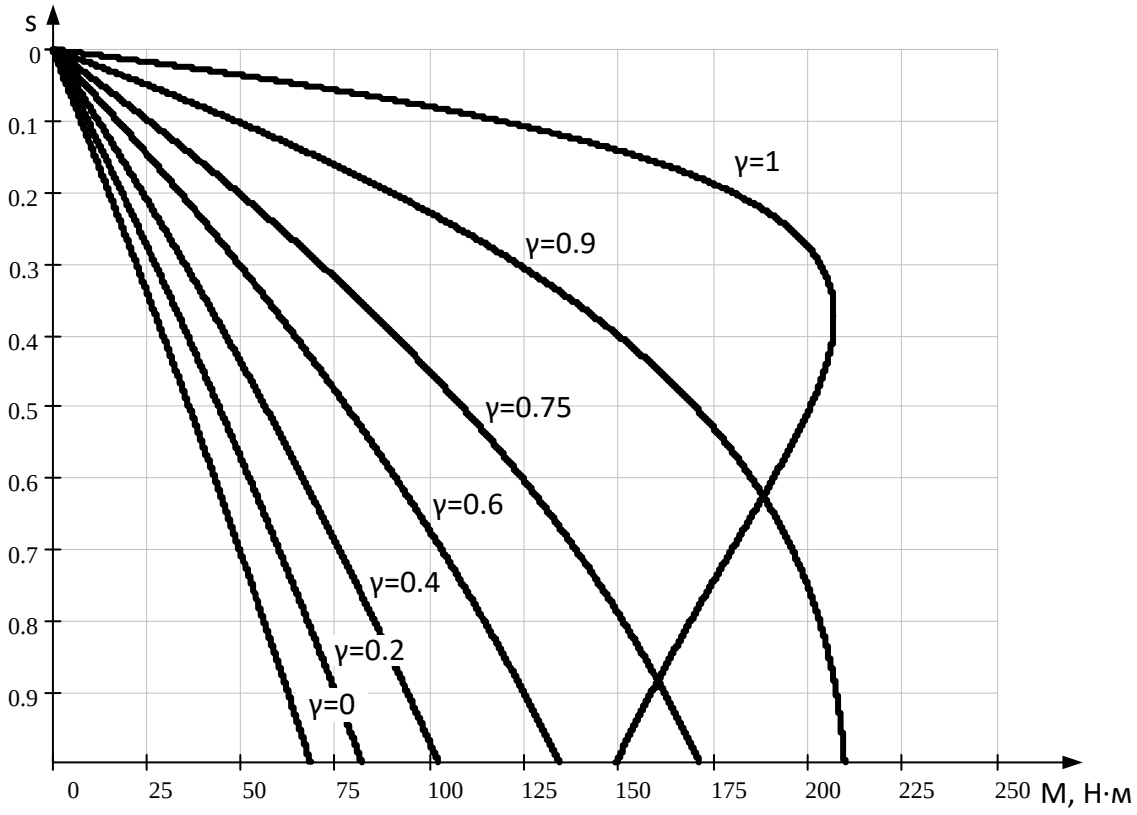


Рисунок 9.3. Штучні механічні характеристики ТКР-АД

10. РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Для оцінки енергетичних якостей асинхронних електроприводів з імпульсним управлінням, а також для вибору елементів приводу необхідно знати його к. п. д. і коефіцієнт потужності.

Відповідно з енергетичними діаграмами (рис 10.1) для рухового режима роботи приводу К.К.Д. можна визначити з рівності:

$$P_2 = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_\Sigma},$$

де P_2 – корисна потужність на валу двигуна;

ΔP_Σ – сумарні втрати в приводі, що визначаються відповідно до виразу

$$\Delta P_\Sigma = \Delta P_п + \Delta P_з$$

де $\Delta P_п$ та $\Delta P_з$ – відповідно постійні та змінні втрати в приводі.

Під постійними втратами $\Delta P_п$ розуміють втрати, що не залежать від струму навантаження.

$$\Delta P_п = 1.05 \cdot P_н \left(\frac{1-\eta}{\eta} - \frac{s_н}{1-s_н} \left(1 + \frac{R_1}{R_2 \cdot {k_e}^2} \right) \right) =$$

$$= 1.05 \cdot 7500 \cdot \left(\left(\frac{1-0.765}{0.765} \right) - \frac{0.065}{1-0.065} \left(1 + \frac{R'_1}{R_2} \right) \right) = 1215 \text{ Вт}$$

При несинусоїдальних струмах постійні втрати в асинхронному двигуні збільшуються приблизно на 5 % це пояснюється збільшенням втрат в сталі за рахунок вищих гармонік в токах статора і ротора.

Змінні втрати в приводі залежать від навантаження і визначаються з рівності:

$$\Delta P_з = P_{м1} + P_{м1} + P_в + P_{R_д},$$

де $P_{м1}$ та $P_{м1}$ – відповідно втрати в міді статора і ротора;

$P_в$ – втрати у вентилях некерованого моста і керованого комутатора;

$P_{R_д}$ – втрати в додатковому опорі.

Втрати в міді асинхронного двигуна можуть бути визначені за формулою:

$$P_{\text{м}} = 3 \cdot {I_2}^2 \cdot R_{\text{дв}}$$

де I_2 − миттєве значення струму в роторі

$$I_2 = \frac{I_{\text{мин}}}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{\sigma}{\pi} + \frac{I_{\text{макс}}}{I_{\text{мин}}}\left(\frac{I_{\text{макс}}}{I_{\text{мин}}} + 1\right)\left(\frac{2}{3} - \frac{I_{\text{макс}}}{I_{\text{мин}}}\right)}.$$

$$P_{\text{в}} = \Delta U \cdot I_d \cdot (2 + \gamma)$$

де ΔU − падіння напруги на вентелях.

Вважаючи, що пульсації випрямленого струму в ланцюзі ротора незначні, визначаємо величину втрат, в додатковий опір:

$$P_{R_{\text{д}}} = {I_d}^2 \cdot R_{\text{др}}(1 - \gamma).$$

Корисна потужність на валу асинхронного двигуна

$$P_2 = \left(E_{d0} \cdot I_d - {I_d}^2 \cdot \left(\frac{3}{\pi} X_{\text{дв}}\right)\right)(1 - s)$$

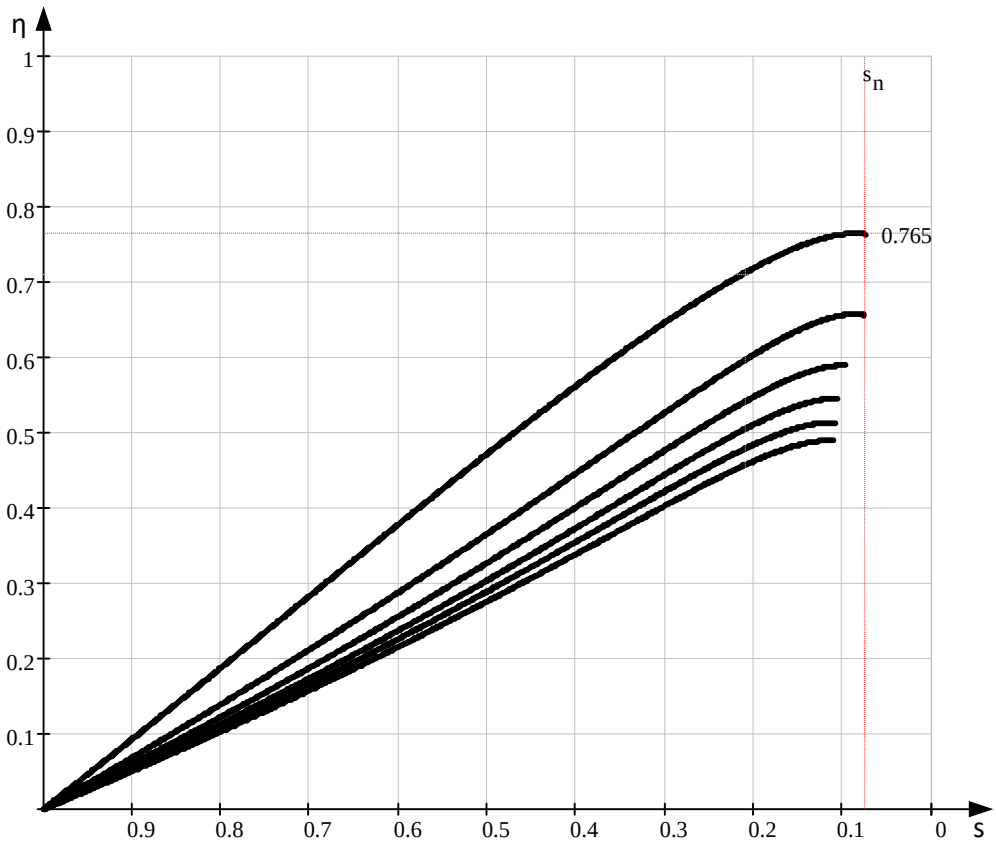


Рисунок 10.1. Коефіцієнт корисної дії ТКР-АД.

Коефіцієнт потужності є також одним з основних показників, що характеризують роботу електроприводу з імпульсним управлінням швидкості обертання асинхронного двигуна. Внаслідок наявності керованих і некерованих вентилів у ланцюзі ротора, а також дискретного характеру роботи керованого комутатора струми в ланцюгах асинхронного двигуна несинусоїдальними і коефіцієнт потужності двигуна може бути визначений з виразу[3]:

$$\chi = k_u \cdot \cos(\varphi_1) \cdot \cos\left(\frac{\sigma}{2}\right),$$

де $\cos(\varphi_1)$ – коефіцієнт потужності асинхронного двигуна при збігу по фазі живлячої напруги U і струму ротора:

$$\cos(\varphi_1) = \frac{I_2}{\sqrt{(I_0 \cdot k_e)^2 + {I_2}^2}}$$

k_u – коефіцієнт спотворення струму, що враховує вплив вищих гармонійних струму, який визначається за формулою:

$$k_u = \frac{0.39\left(\frac{4\sqrt{3}}{\sigma} \cdot \sin\left(\frac{\sigma}{2}\right) + \left(\frac{I_{\text{макс}}}{I_{\text{мин}}} - 1\right) \cdot T \cdot \sqrt{(\sum_{m=1}^{10} \sin(m \cdot T))^2 + (\sum_{m=1}^{10} \cos(m \cdot T))^2}\right)}{\sqrt{\frac{2}{3} + \frac{\sigma}{\pi} + \frac{I_{\text{макс}}}{I_{\text{мин}}}\left(\frac{I_{\text{макс}}}{I_{\text{мин}}} + 1\right)(\frac{2}{3} + \frac{\sigma}{\pi})}}$$

Розрахувавши вище описані параметри можемо побудувати графік залежності коефіцієнта потужності:

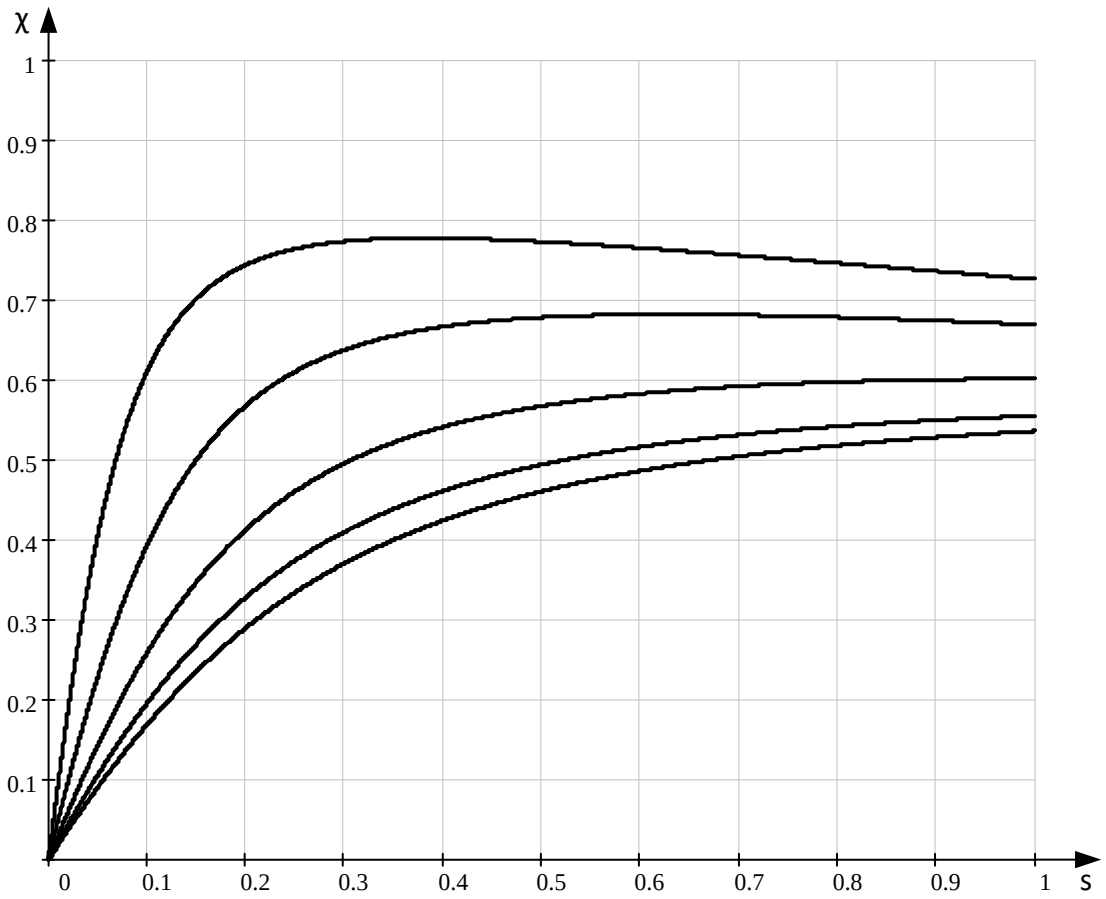


Рисунок 10.2. Коефіцієнт потужності ТКР-АД.

11. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА В ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМАХ

Моделювання динамічних режимів системи керування електроприводом виконуємо у середовищі MATLAB на основі структурної схеми ТКР-АД (рис. 11.1). Створення моделі відбувається шляхом з'єднання окремих блоків системи електропривода із бібліотек Simulink. Параметри цих блоків задаються згідно розрахунків параметрів елементів схеми заміщення і датчиків.

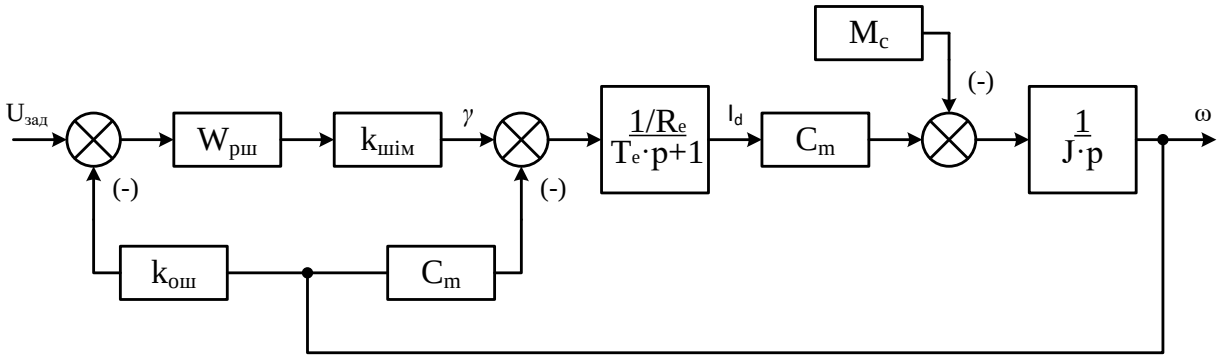


Рисунок 11.1. Структурна схема системи електропривода ТКР-АД.

Збираємо вище наведену модель у середовищі Simulink. Зауважимо, що у момент часу $0-4$ с на валу двигуна «накидається» номінальний момент навантаження, у момент часу $5-9$ с з вала двигуна «зкидається» навантаження.

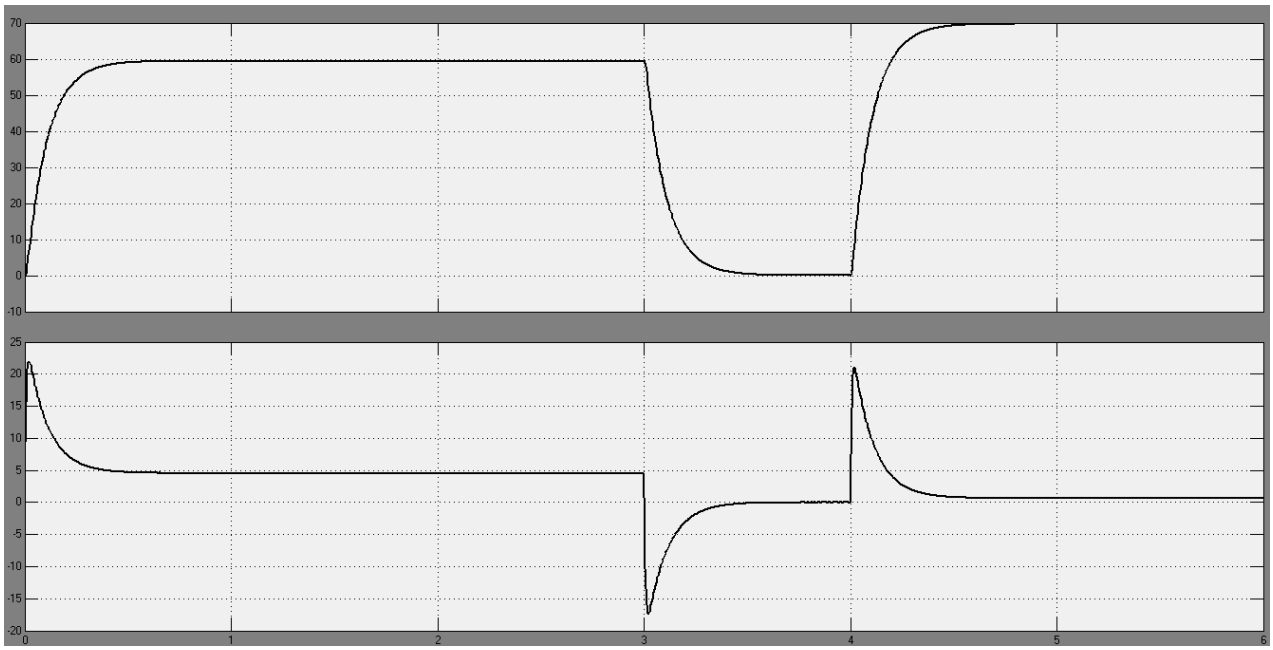


Рисунок 11.2. Вихідна швидкість і струм двигуна відповідно.

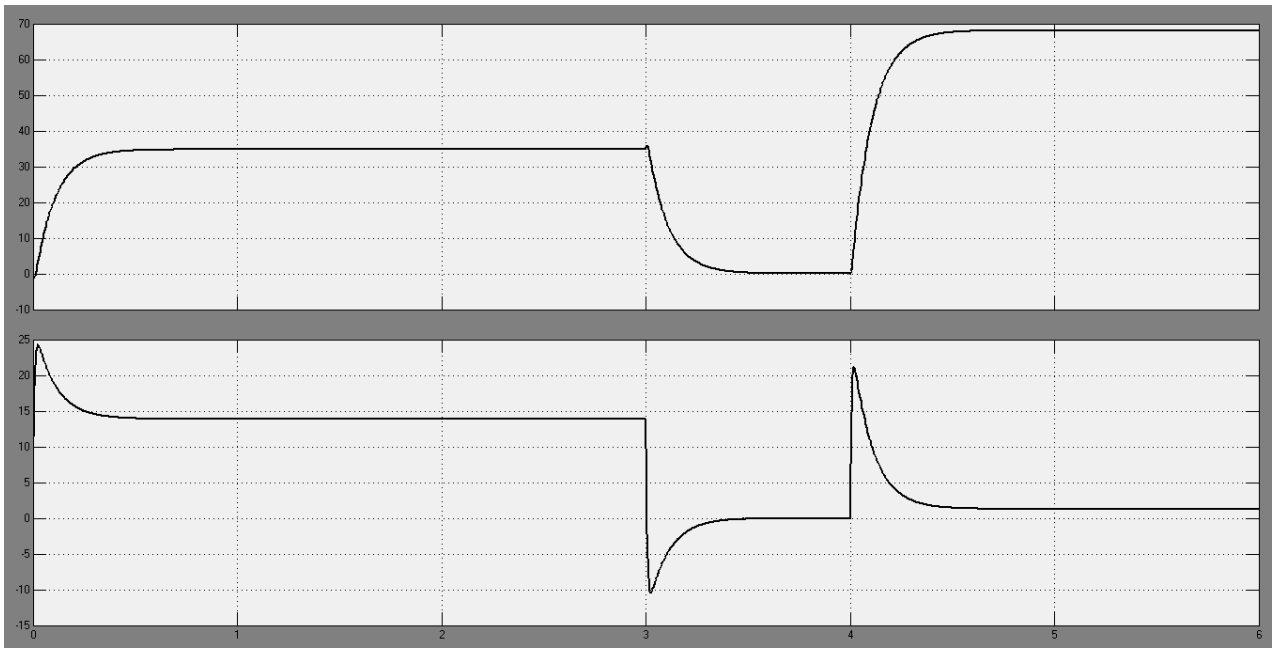
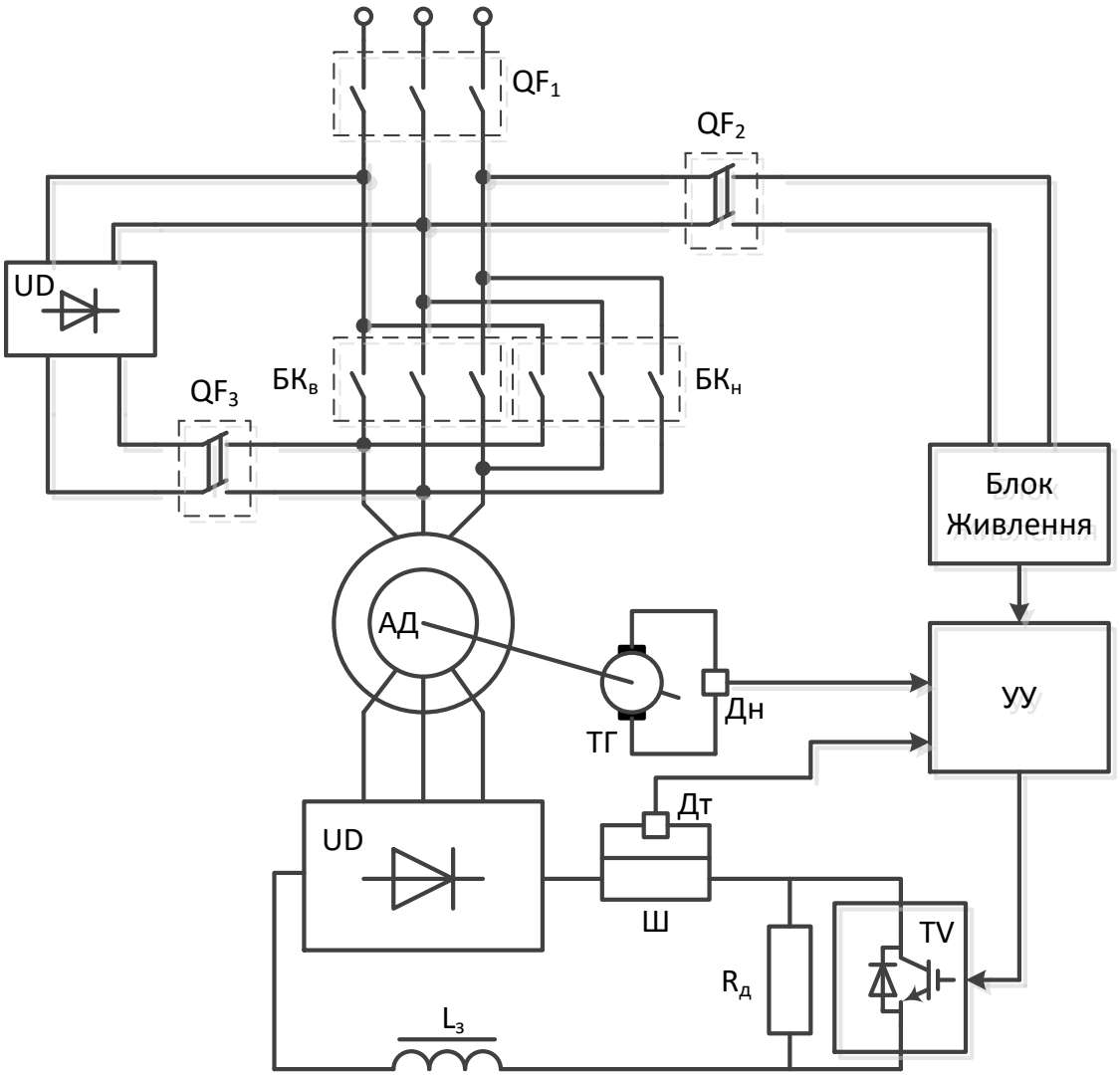


Рисунок 11.3. Вихідна швидкість і струм якоря двигуна після накиду номінального навантаження

12. ПРИНЦИПОВА СХЕМА ЕЛЕКТРОПРИВОДА



QF - автомати

ДН – датчики напруги;

ДС – датчики струму;

БК – блок контакти (група «Вперед» і «Назад»);

UD – діодний мостовий випрямляч для динамічного гальмування;

АД – асинхроный двигун;

ТГ – тахогенератор;

УУ – пристрый керування – забезпечує відкривання транзистора, подаючи на них одиничні імпульси у певні моменти часу;

VT – IGBT модуль

ВИСНОВОК

В науковій роботі було досліджено візок мостового крану, а саме електропривод переміщення візка. Було вибрано електродвигун та редуктор віповідаючі вимогам даної системи. Щодо вибору системи електропривода, було обрано імпульсне регулювання в колі ротора. Дана система дозволяє виконати плавний пуск та зупинку механізму, обмежуючи струм двигуна. Так як двигун працює в повторно-кородкочасному режимі, то обмежуючи пускові струми, водячи додатковий опір, зменшується енергія, яка розсіюється в роторі. Це призводить до довшого збереження цілісності ізоляції обмоток ротора.

При дослідженні статичних характеристик, а саме швидкісної та механічної, було виявлено що при зменшені γ, жоскість характеристик падала, а також змінювалося моменти пускові та критичні.

Моделювання даної системи було виконано в пакеті програм Matlab а саме в Simulink. Було зібрано модель замкнутої схеми із загальним суматором для дослідження перехідного процесу за швидкістю та струмом.

Також було обчисленно коефіцієнт корисної дії та коефіцієнт потужності, як найпростіша економічна оцінка.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Потапський П.В. Навчально-методичні матеріали до виконання курсової роботи з курсу “Основи електроприводу” для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня освіти / П.В. Потапський, І.Д. Гарасимчук, М.В. Вусатий. (За загальною редакцією Потапського П.В.) – ПДАТУ, 2020. – 73с.
2. Анфимов М. И. Редукторы. Конструкции и расчет. - М: Машиностроение, 1991.
3. Импульсный регулируемый электропривод с фазними электродвигателями: В 2 т./Под ред. Шикуть. – М: Энергия, 1972.
4. В. А. Шубенко, И. Я. Браславский Тиристорный асинхронный ЭП с фазовым управлением: М. – Энергия. – 1972 г. – 200 с.
5. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник/ Под ред. В. М. Перельмутера. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.
6. Ключев В. И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М: Энергоатомиздат, 2002. – 560 с.
7. Справочник по автоматизированному электроприводу/ Под ред. Елисеева В. А. и Шинянского А. В. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
8. Москаленко В. В. Электрический привод: Учебник для вузов. М: Издательский центр «Академия», 2007.-368 с.
9. Драчев Г. И. Теория электропривода. 2-е издание дополненное. – Челябинск: Изд. ЮурГУ, 2002. – 137 с.
10. Кацман М. М. Справочник по электрическим машинам. – М: Издательский центр «Академия», 2005.
11. Алексеев А. Е. Тяговые электрические машины и преобразователи, Л.: Энергия, 1977.
12. Потапський П.В. Методичні вказівки до лабораторних робіт по курсу «Основи електроприводу» / П.В. Потапський, І.Д. Гарасимчук, Л.М. Михайлова. – Каменець-Подільський: ПДАТУ, 2018. – 150 с.

Анотація

Кранове обладнання є одним з основних засобів комплексної механізації всіх галузей народного господарства. Розширення галузі машинобудування, що займається виробництвом вантажопідіймальних машин, є важливим напрямком розвитку народного господарства для вирішення завдання всебічного скорочення і ліквідації важкої ручної праці.

Достатньо часто можна зустріти на виробництві та серед устаткування великих транспортних терміналів такий тип прольотних конструкцій, як мостовий кран. Завдяки своїй компактності та функціональності мостові крани є одним з найпопулярніших видів підіймально-транспортного обладнання у світі. Його популярність, також пояснюється надійністю і довговічністю будови, гарною продуктивністю, а також відносною дешевизною виготовлення

Метою наукової роботи є проектування векторно-керованого асинхронного електроприводу механізму переміщення візка мостового крану. В дипломному проекті використовувалися положення теорії електроприводу, керування по вимірюваному виходу, другий метод Ляпунова та математичне моделювання.

Спроектовано автоматизований асинхронний електропривод з векторним керуванням, який забезпечує механізму переміщення візка мостового крану підвищені динамічні та статичні показники якості керування, у порівнянні з відомими системами електроприводу на базі асинхронного двигуна з фазним ротором.