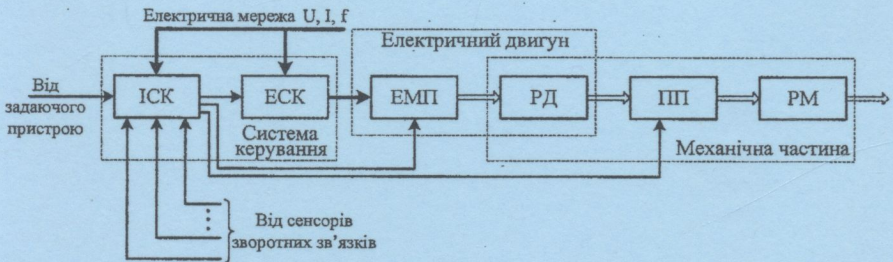


ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

КУРСОВЕ ТА ДИПЛОМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

САМОСТІЙНА ТА ІНДИВІДУАЛЬНА РОБОТА СТУДЕНТІВ



Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

А. А. Видмиш, С. М. Бабій, В. В. Петрусь

**ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА
КУРСОВЕ ТА ДИПЛОМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ
САМОСТІЙНА ТА ІНДИВІДУАЛЬНА РОБОТА СТУДЕНТІВ**

Навчальний посібник

Вінниця
ВНТУ
2012

УДК 62-83(075)

ББК 31.291я73

В42

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 11 від 21 червня 2012 р.)

Рецензенти:

М. Й. Бурбело, доктор технічних наук, професор

О. П. Чорний, доктор технічних наук, професор

О. В. Садовой, доктор технічних наук, професор

Видмиш, А. А.

В42 Теорія електропривода. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів : навчальний посібник / А. А. Видмиш, С. М. Бабій, В. В. Петрусь. – Вінниця : ВНГУ, 2012. – 96 с.

В навчальному посібнику розглядаються теоретичні та практичні питання розрахунку електроприводів машин та механізмів, які працюють в повторно-короткочасному режимі роботи.

Навчальний посібник призначений для організації виконання курсового проєкту з дисципліни «Теорія електропривода» і буде корисним студентам електротехнічних спеціальностей.

УДК 62-83(075)

ББК 31.291я73

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	5
ОСНОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	6
1 ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ НАД КУРСОВИМ ПРОЕКТОМ	11
2 ЗМІСТ І ОБСЯГ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	12
2.1 Розрахунок та побудова тахограми та навантажувальної діаграми робочої машини.....	13
2.2 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна	15
2.3 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода.....	17
2.4 Вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю обертання	21
2.5 Розрахунок динамічних навантажень та побудова навантажувальної діаграми електропривода.....	22
2.6 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску	25
2.7 Розрахунок характеристик приводного двигуна.....	27
2.7.1 Розрахунок характеристик двигуна постійного струму незалежного збудження	27
2.7.2 Розрахунок характеристик асинхронного двигуна.....	28
2.7.3 Використання формул Клоса та Чекунова для побудови механічної характеристики асинхронного двигуна	29
2.8 Вибір перетворювального агрегату для живлення приводного двигуна.....	31
2.8.1 Вибір тиристорного перетворювача напруги для живлення двигуна постійного струму	32
2.8.2 Вибір тиристорного регулятора напруги для живлення двигуна змінного струму	35
2.8.3 Вибір перетворювача частоти для живлення двигуна змінного струму.....	36
2.9 Моделювання перехідних процесів електропривода.....	39
2.9.1 Моделювання системи електричного привода типу ТП- ДПС	39
2.9.2 Моделювання системи електричного привода типу ТРН- АД.....	41
2.9.3 Моделювання системи електричного привода типу ПЧ- АД.....	42
2.10 Розробка принципової схеми електропривода або модифікація типової до власних умов.....	43
2.10.1 Основні принципи побудови принципових електричних схем.....	43
2.10.2 Основні правила виконання принципових схем.....	44

3 ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ.....	49
3.1 Вимоги до оформлення розділів та підрозділів	49
3.2 Правила написання тексту.....	50
3.3 Оформлення формул.....	51
3.4 Оформлення ілюстрацій	52
3.5 Оформлення таблиць	53
3.6 Зміст.....	55
3.7 Перелік літературних джерел	56
3.8 Додатки.....	58
ЛІТЕРАТУРА.....	59
ГЛОСАРІЙ.....	61
Додаток А. Завдання на проектування	62
Додаток Б. Технічні характеристики приводних двигунів.....	66
Додаток В. Умовні графічні позначення елементів схем.....	73
Додаток Д. Буквені позначення елементів	85
Додаток Е. Зразки оформлення ключових сторінок.....	88

ПЕРЕДМОВА

Виробничі машини та механізми складають основу більшості технологічних процесів, які використовуються в промисловості, сільському господарстві, на транспорті, в комунальному господарстві – у всіх сферах людської діяльності. Більшість виробничих механізмів оснащені електроприводом.

Електроприводом називається електромеханічна система, яка складається з електродвигунного, перетворювального, передавального і керувального пристроїв, що призначена для приведення в рух виконавчих органів робочої машини і керування цим рухом.

В навчальному посібнику розглянуто питання проектування електропривода виробничого механізму (робочої машини), який працює в повторно-короткочасному режимі роботи. Навчальний посібник призначений для організації самостійної роботи та допомоги студентам напряму підготовки «Електромеханіка» денної та заочної форм навчання при виконанні курсового проекту з дисципліни «Теорія електропривода» та буде корисним при виконанні основної частини бакалаврських робіт, дипломних проектів та кваліфікаційних магістерських робіт. Навчальний посібник може бути використаний студентами електротехнічних спеціальностей при вивченні дисциплін «Основи електропривода», «Основи типового електропривода», «Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів».

Метою курсового проекту є:

- систематизація і закріплення знань з дисципліни «Теорія електропривода»;
- обґрунтування техніко-економічної доцільності проектування;
- закріплення методів розрахунку потужності приводних двигунів виробничих механізмів;
- обґрунтований вибір силового обладнання та апаратури керування електропривода;
- ознайомлення з електрообладнанням, яке випускається серійно (електродвигунами, силовими перетворювачами);
- дослідження характеристик електропривода в статичних та динамічних режимах;
- перевірка проектних рішень методами комп'ютерного моделювання;
- побудова принципових схем електропривода.

Передбачені варіанти завдань дозволяють набути практичних навичок розрахунку електроприводів широкого класу машин та механізмів, які працюють в повторно-короткочасному режимі роботи.

ОСНОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

$\cos\varphi$	коефіцієнт потужності
D	діапазон регулювання швидкості
$D_{во}$	діаметр виконавчого органа
f_{max}	максимальна частота
$I_{я,н}$	номінальний струм якоря приводного двигуна
J	приведений момент інерції
$J_{дв}$	момент інерції приводного двигуна
k	коефіцієнт спотворення струму на виході перетворювача частоти
K_s	розрахунковий коефіцієнт
k_u	коефіцієнт, який враховує зниження напруги мережі при пуску
k_{ω}	коефіцієнт підсилення контуру зворотного зв'язку за швидкістю
k_z	коефіцієнту запасу
$k_{зв}$	коефіцієнт завантаження за потужністю
$k_{пч}$	коефіцієнт підсилення перетворювача частоти
$k_{тп}$	коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача
$k_{трг}$	коефіцієнт підсилення тиристорного регулятора напруги
L_{Σ}	сумарна індуктивність кола якоря
m	число робочих ділянок навантажувальної діаграми виконавчого органу робочої машини у циклі
m_n	маса елементів, які здійснюють поступальний рух
n_0	синхронна швидкість обертання приводного двигуна
$n_{дв,н}$	номінальна швидкість обертання приводного двигуна
R'_2	приведений активний опір обмотки ротора
R_1	активний опір обмотки статора
R_{Σ}	сумарний активний опір кола якоря
$R_{я}$	опір кола якоря
s	ковзання
s_k	критичне ковзання двигуна
$s_{ном}$	номінальне ковзання
t_0	тривалість паузи
t_j	тривалість роботи на j-тій ділянці навантажувальної діаграми привода з відповідним навантаженням M_j
t_r	час гальмування

$t_{г}$	час загальмовування привода при зміні швидкості руху
$t_{п}$	час пуску
$t_{р}$	тривалість роботи
$t_{рг}$	час розгону привода при зміні швидкості руху
$t_{рз}$	тривалість робочої зміни
$t_{уст}$	час руху з усталеною лінійною чи кутовою швидкістю
U	напруга, прикладена до якоря
$U_{дв.н}$	номінальна напруга приводного двигуна
$U_{з\max}$	максимальна задавальна напруга
$U_{к\max}$	максимальна напруга керування тиристорного регулятора напруги
$U_{л.н}$	номінальна лінійна напруга приводного двигуна
$U_{ном}$	номінальна напруга мережі
$U_{пуск}$	напруга в мережі при пуску
$U_{тп.н}$	номінальна напруга тиристорного перетворювача
$U_{ф}$	фазна напруга
$U_{ф.н}$	номінальна фазна напруга приводного двигуна
$V_{во}$	лінійна швидкість виконавчого органа робочої машини
V_y	усталена лінійна швидкість
w	число робочих ділянок навантажувальної діаграми привода в циклі
z	число пауз у циклі
$Z_{р.д}$	кількість робочих днів за рік
$Z_{р.з}$	кількість робочих змін
β	модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики АД
β_0	коефіцієнт погіршення тепловіддачі при нерухомому роторі (якорі)
β_j	коефіцієнт погіршення тепловіддачі приводного двигуна на j -тій робочій ділянці навантажувальної діаграми привода
β_y	коефіцієнт погіршення тепловіддачі при усталеній швидкості
δ	коефіцієнт, що враховує інерцію муфт
ΔV_y	зміна усталеної лінійної швидкості руху
$\Delta W_{дв}$	сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи
$\Delta W_{ск}$	кількість втраченої електроенергії в системі керування за рік
$\Delta \omega_y$	зміна усталеної кутової швидкості руху
$\Delta P_{дв.н}$	втрати потужності в двигуні у номінальному ре-

	жимі роботи
$\Delta P_{дв.пр}$	додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи
$\Delta P_{ск}$	втрати потужності в системі керування
ε	кутове прискорення
$\varepsilon_{доп}$	допустиме кутове прискорення
$\eta_{дв.н}$	номінальний коефіцієнт корисної дії приводного двигуна
$\eta_{мл}$	коефіцієнт корисної дії механічної передачі
$\eta_{пп}$	коефіцієнт корисної дії перетворювального пристрою
$\lambda_{д}$	перевантажувальна здатність двигуна постійного струму
$\lambda_{к}$	кратність критичного моменту приводного двигуна
$\lambda_{ст}$	кратність пускового моменту приводного двигуна
$\lambda_{ПЧ}$	перевантажувальна здатність перетворювача частоти
$\lambda_{тп}$	перевантажувальна здатність тиристорного перетворювача
ρ	радіус приведення
ω_0	швидкість ідеального холостого ходу (синхронна кутова швидкість двигуна)
ω_{max}	максимальна швидкість руху відповідно до тахограм
ω_{min}	мінімальна швидкість руху відповідно до тахограм
$\omega_{во}$	кутова швидкість виконавчого органа робочої машини
$\omega_{дв}$	кутова швидкість приводного двигуна
$\omega_{дв.н}$	номінальна кутова швидкість приводного двигуна
$\omega_{роз}$	розрахункова кутова швидкість приводного двигуна
$\omega_{у max}$	усталене максимальне значення кутової швидкості виконавчого органу робочої машини, приведене до вала двигуна
$\omega_{у}$	усталена кутова швидкість виконавчого органа робочої машини, приведена до вала двигуна
a	розрахунковий коефіцієнт
$a_{доп}$	допустиме лінійне прискорення
D	вартість приводного двигуна
E_n	нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень
Z	приведені витрати

I_2	приведений струм ротора
$I_{дв.маx}$	максимальний струм приводного двигуна
$I_{дв.н}$	номінальний струм приводного двигуна
$I_{кз}$	струм короткого замикання
$i_{мп}$	передаточне число механічної передачі
$I_{пч}$	номінальний струм перетворювача частоти
$I_{пч.пуск}$	пусковий струм перетворювача частоти
$I_{тл.маx}$	максимальний струм тиристорного перетворювача
$I_{тл.н}$	номінальний струм тиристорного перетворювача
$I_я$	струм в колі якоря
K	капітальні вкладення
$K_{рiчнi}$	річні капітальні витрати
M	момент двигуна
M_j	момент, який повинен розвивати приводний двигун на j -тій робочій ділянці навантажувальної діаграми привода
$M_{маx}$	максимальне значення моменту, який повинен розвивати приводний двигун за цикл роботи
M_d	динамічний момент
$M_{дв.н}$	номінальний момент приводного двигуна
$M_{дв.п}$	пусковий момент приводного двигуна
$M_{др}$	динамічний момент на ділянці гальмування
$M_{др}$	динамічний момент на ділянці розгону
$M_{екв}$	еквівалентний момент згідно з навантажувальною діаграмою привода
M_k	критичний момент двигуна
$M_{кз}$	момент короткого замикання
$M_{мех}$	момент опору, який створює робоча машина (виробничий механізм)
M_c	момент статичного опору
$M_{с.екв}$	еквівалентний момент згідно з навантажувальною діаграмою робочої машини
$M_{с.п.}$	момент опору механізму при швидкості, рівній нулю
$P_{дв.н}$	номінальна потужність приводного двигуна
$P_{дв.пуск}$	пускова потужність приводного двигуна
$P_{дв.сп}$	споживана електродвигуном потужність в номінальному режимі
$P_{мех}$	механічні втрати потужності приводного двигуна
$P_{пш}$	номінальна потужність перетворювального пристрою
$P_{пч}$	номінальна потужність перетворювача частоти
$P_{роз}$	розрахункова потужність приводного двигуна
P_c	статична потужність

$P_{с.екв}$	еквівалентна потужність згідно з навантажувальною діаграмою робочої машини
c	вартість електроенергії
C	загальні щорічні відрахування, які враховуються у собівартості продукції
C_A	амортизаційні відрахування
C_D	додаткові відрахування
$C_{Д1}$	додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні
$C_{Д2}$	додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування
$СК$	вартість системи керування
$C_{мФ}$	коефіцієнт потоку
C_O	відрахування на обслуговування
C_P	відрахування на ремонт
$C_{роз}$	розрахунковий коефіцієнт
T_{ω}	стала часу сенсора швидкості
$T_{Вст}$	стандартна тривалість ввімкнення
$T_{Вф}$	фактична тривалість ввімкнення
T_e	електромагнітна стала часу приводного двигуна
$T_{зі}$	постійна часу задавача інтенсивності
$T_{пч}$	стала часу перетворювача частоти
$T_{тп}$	стала часу тиристорного перетворювача
$T_{тph}$	стала часу перетворювача частоти
Φ	дійсний фонд часу роботи електропривода за рік
X'_2	приведений індуктивний опір розсіювання обмотки ротора
X_1	індуктивний опір розсіювання обмотки статора

1 ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ НАД КУРСОВИМ ПРОЕКТОМ

Завдання на курсовий проект (додаток А) видається студенту в терміни визначені графіком навчального процесу. Дата видачі вноситься в індивідуальне завдання і вважається початком курсового проектування.

Завданням передбачено вирішення основних питань проектування електропривода робочої машини із заданим навантаженням.

При виконанні курсового проекту доцільно використовувати даний навчальний посібник, спеціалізовану технічну та довідникову літературу, а також літературу, рекомендовану викладачем до опрацювання окремих питань проекту.

Пояснювальна записка і графічна частина курсового проекту оформляються у відповідності до правил Єдиної системи конструкторської документації (ЕСКД). Графічна частина повинна містити принципову електричну схему. Кінематична схема, графіки механічних характеристик та результати комп'ютерного моделювання розміщуються в тексті основної частини пояснювальної записки. Всі технічні рішення повинні бути обгрунтовані. Кожен розділ пояснювальної записки повинен закінчуватись лаконічними висновками.

Закінчений курсовий проект, після перевірки його викладачем-керівником проекту і виправлення вказаних недоліків, захищається перед комісією, яка складається з викладачів кафедри. Захист проектів проводиться відповідно до попередньо оголошеного розкладу. На захисті курсового проекту студент робить доповідь, в якій повинно бути:

- сформульовано тему проекту;
- викладено ухвалені в проекті технічні рішення;
- вказано застосовані методи розрахунків;
- подано висновки по роботі.

Доповідь розраховується на 4...5 хв. Під час доповіді студент повинен ілюструвати отримані результати.

При оцінюванні студента комісією береться до уваги:

- обгрунтованість ухвалених в проекті рішень;
- глибина опрацювання основних питань;
- якість оформлення пояснювальної записки і графічної частини проекту;
- якість, правильність і повнота відповідей на запитання, задані членами комісії в процесі захисту проекту.

Підсумкова оцінка є інтегрованим результатом викладених вище вимог.

2 ЗМІСТ І ОБСЯГ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Структуру курсового проекту складають:

- титульний аркуш;
- індивідуальне завдання;
- анотація;
- зміст;
- вступ;
- основна частина;
- висновки;
- література;
- додатки;
- графічна частина.

До складу основної частини проекту входять такі розділи.

1. Розрахунок та побудова тахограми та навантажувальної діаграми робочої машини.
2. Попередній розрахунок потужності приводного двигуна.
3. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода.
4. Вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю обертання.
5. Розрахунок динамічних навантажень та побудова навантажувальної діаграми електропривода.
6. Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску.
7. Розрахунок характеристик приводного двигуна.
8. Розрахунок і вибір перетворювального агрегату для живлення приводного двигуна.
9. Моделювання перехідних процесів електропривода.
10. Розробка принципової схеми електропривода або модифікація до власних умов типової.

Кожен розділ курсового проекту повинен закінчуватися лаконічними висновками, у яких здійснено аналіз отриманих результатів. Описовий стиль викладення матеріалів висновків є недопустимим.

Обсяг пояснювальної записки курсового проекту складає 25...50 сторінок формату А4. Текст пояснювальної записки виконується кеглем №14 через інтервал 1,5.

Структуру графічної частини курсового проекту складає одне креслення – принципова електрична схема привода, яка виконується на стандартних форматах А0...А4 відповідно до вимог нормативної документації.

2.1 Розрахунок та побудова тахограми та навантажувальної діаграми робочої машини

Тахограма (діаграма швидкості) – залежність лінійної $V_{во}$ або кутової $\omega_{во}$ швидкості виконавчого органу робочої машини від часу:

$$V_{во} = f(t), \quad (2.1)$$

$$\omega_{во} = f(t). \quad (2.2)$$

Після виконання операції приведення ці залежності зображають у вигляді графіка кутової швидкості приводного двигуна $\omega_{дв}$ від часу [1]:

$$\omega_{дв} = f(t). \quad (2.3)$$

Приведення лінійної швидкості руху виконавчого органу робочої машини $V_{во}$ до кутової швидкості приводного двигуна $\omega_{дв}$, якщо відомими є передаточне число механічної передачі $i_{мп}$ та діаметр виконавчого органу $D_{во}$, який знаходиться на вихідному валі редуктора і перетворює обертальний рух на поступальний рух тіла, здійснюється відповідно до формули:

$$\omega_{дв} = \frac{2V_{во} \cdot i_{мп}}{D_{во}}. \quad (2.4)$$

Для побудови тахограми необхідно розрахувати:

- час пуску (гальмування):

$$t_{п} = t_{г} = \frac{V_y}{a_{доп}} = \frac{\omega_y}{\epsilon_{доп}}, \quad (2.5)$$

де V_y (ω_y) – усталена лінійна (кутова) швидкість в кінці пуску чи перед гальмуванням;

$a_{доп}$ ($\epsilon_{доп}$) – допустиме лінійне (кутове) прискорення при пусках чи гальмуваннях;

- час розгону (загальмовування) привода при зміні швидкості руху:

$$t_{пр} = t_{зг} = \frac{\Delta V_y}{a_{доп}} = \frac{\Delta \omega_y}{\epsilon_{доп}}, \quad (2.6)$$

де ΔV_y ($\Delta \omega_y$) – зміна усталеної лінійної (кутової) швидкості руху.

Навантажувальна діаграма робочої машини – залежність моменту статичного опору робочої машини від часу:

$$M_c = f(t). \quad (2.7)$$

Моментом статичного опору називається момент опору робочої машини, приведений до вала двигуна.

Якщо між приводним двигуном та виконавчим органом робочої машини розміщений ряд механічних передач, кожна з яких характеризується відповідними передаточними числами $i_{мп1}$ та коефіцієнтами корисної дії (ККД) $\eta_{мп}$, то для прямого напрямку передачі енергії (від приводного двигуна до робочої машини) момент статичного опору визначається:

$$M_c = M_{\text{мех}} \cdot \frac{1}{i_{мп1} \cdot i_{мп2} \cdot \dots \cdot i_{мпn}} \cdot \frac{1}{\eta_{мп1} \cdot \eta_{мп2} \cdot \dots \cdot \eta_{мпn}}, \quad (2.8)$$

де $M_{\text{мех}}$ -- момент опору, який створює робоча машина (виробничий механізм).

Приклад тахограми та навантажувальної діаграми робочої машини зображено на рис. 2.1.

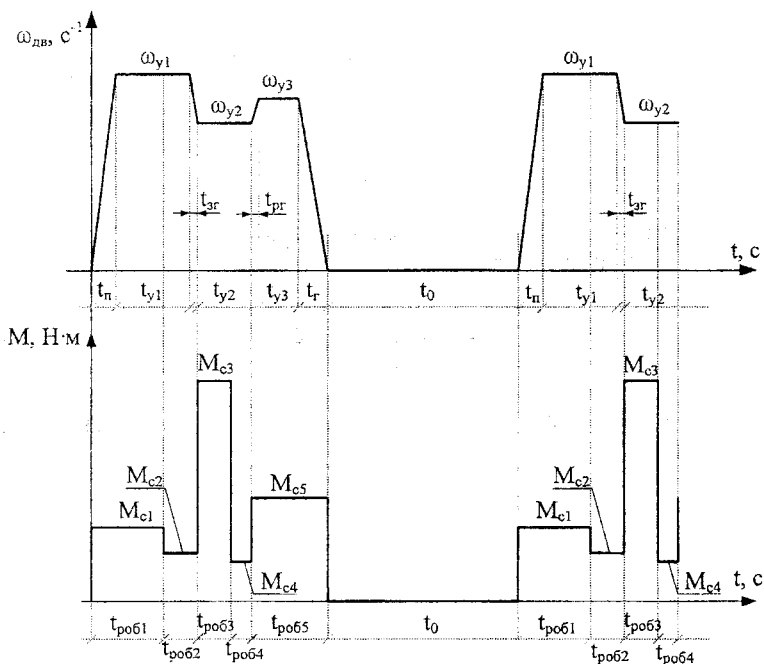


Рисунок 2.1 – Тахограма та навантажувальна діаграма робочої машини

У висновку до розділу, на основі аналізу тахограми та навантажувальної діаграми, визначити режим роботи приводного двигуна робочої машини.

2.2 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна

Потужність приводного двигуна визначається, головним чином, на основі трьох умов [2]:

- нагрів двигуна під час роботи не повинен перевищувати допустимого значення для даного класу ізоляції;

- перевантажувальна здатність двигуна повинна бути достатньою для того, щоб короткочасно забезпечити максимальні значення моментів, які, зазвичай, визначаються динамічними складовими при пусках;

- у випадку привода механізмів з великим моментом інерції або механізмів з великим числом включень за годину пускові втрати в двигуні не повинні призводити до його перегріву.

Вибір приводного двигуна недостатньої потужності може призвести до порушення заданого технологічного процесу, зниження продуктивності механізму, а також зумовити перегрів двигуна та передчасний вихід його з ладу.

Небажаним є також і використання приводного двигуна завищеної потужності, оскільки при цьому значно збільшується вартість електропривода, а його робота відбувається при знижених ККД та коефіцієнті потужності.

Основою для розрахунку потужності приводного двигуна є навантажувальна діаграма і тахограма робочої машини.

Серійно промисловою випускаються двигуни трьох серій:

- двигуни, призначені для роботи в режимі S1;

- двигуни, призначені для роботи в режимі S2;

- двигуни, призначені для роботи в режимі S3.

Залежно від того, з якої серії необхідно вибрати двигун, здійснюють перетворення реальної навантажувальної діаграми до стандартної, для роботи з якою спроектований приводний двигун.

Оскільки робочі машини, які розглядаються в даному посібнику, працюють в повторно-короткочасному режимі зі змінним навантаженням, то розглянемо методику розрахунку потужності приводного двигуна саме для цього випадку.

В загальному випадку розрахунок потужності приводного двигуна:

$$P_{\text{роз}} = k_3 \cdot M_{\text{с.екв.}} \cdot \omega_y \cdot \sqrt{\frac{T_{B\phi} \%}{T_{B\text{ст}} \%}}, \quad (2.9)$$

$$P_{\text{роз}} = k_3 \cdot P_{\text{с.екв.}} \cdot \sqrt{\frac{T_{B\phi} \%}{T_{B\text{ст}} \%}}, \quad (2.10)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу, який враховує неточності при розрахунку сил опору та динаміку ($k_3 = 1,1 \dots 1,3$);

$M_{с.екв}$ – еквівалентний момент згідно з навантажувальною діаграмою робочої машини, Н·м;

$P_{с.екв}$ – еквівалентна потужність згідно з навантажувальною діаграмою робочої машини, Вт;

ω_y – усталена кутова швидкість виконавчого органа робочої машини, приведена до вала двигуна, c^{-1} ;

$ТВ_\phi$ – фактична тривалість ввімкнення, %;

$ТВ_{ст}$ – стандартна тривалість ввімкнення, %.

Значення еквівалентного моменту $M_{с.екв}$ або еквівалентної потужності $P_{с.екв}$ розраховують на основі навантажувальної діаграми робочої машини:
 - при незмінній швидкості ($\omega = const$):

$$M_{с.екв} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (M_{c_i}^2 \cdot t_{p_i})}{\sum_{i=1}^m t_{p_i}}}, \quad (2.11)$$

$$P_{с.екв} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (P_{c_i}^2 \cdot t_{p_i})}{\sum_{i=1}^m t_{p_i}}}; \quad (2.12)$$

- при змінній швидкості ($\omega = var$):

$$P_{с.екв} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \left(\left(P_{c_i} \cdot \frac{\omega_{y,max}}{\omega_{y_i}} \right)^2 \cdot t_{p_i} \right)}{\sum_{i=1}^m (\beta_{y_i} \cdot t_{p_i})}}, \quad (2.13)$$

де M_{c_i} та P_{c_i} – статичні навантаження на i -тій робочій ділянці навантажувальної діаграми виконавчого органа робочої машини;

ω_{y_i} – усталена кутова швидкість виконавчого органа робочої машини, приведена до вала двигуна на i -тій робочій ділянці циклу;

$\omega_{y,max}$ – усталена максимальна кутова швидкість виконавчого органа робочої машини, приведена до вала двигуна;

β_{y_i} – коефіцієнт погіршення тепловіддачі на i -тій робочій ділянці циклу при швидкості ω_{y_i} ;

t_{p_i} – тривалість роботи на i -тій робочій ділянці циклу з відповідним навантаженням M_{c_i} або P_{c_i} ;

m – число робочих ділянок навантажувальної діаграми виконавчого

органа робочої машини у циклі.

Фактичне значення тривалості ввімкнення:

$$T_{B\phi} = \frac{\sum_{i=1}^m t_{p_i}}{\sum_{i=1}^m t_{p_i} + \sum_{q=1}^z t_{0q}} \cdot 100\%, \quad (2.14)$$

де t_{0q} – тривалість паузи на q -тій ділянці навантажувальної діаграми;
 z – число пауз у циклі.

Коефіцієнт погіршення тепловіддачі на i -тій робочій ділянці циклу при усталеній швидкості ω_{y_i} :

$$\beta_{y_i} = \beta_0 + (1 - \beta_0) \frac{\omega_{y_i}}{\omega_{y, \max}}, \quad (2.15)$$

де β_0 – коефіцієнт погіршення тепловіддачі при нерухомому роторі (якорі) (табл. 2.1) [3].

Таблиця 2.1 – Наближені значення коефіцієнта β_0

Виконання двигуна	Коефіцієнт β_0
З незалежною вентиляцією	1
Без примусового охолодження	0,95...0,98
Самовентильовані	0,45...0,55
Захищені самовентильовані	0,25...0,35

У висновку до розділу порівняти отриманий діапазон потужностей зі стандартним рядом потужностей електродвигунів (ГОСТ 12139) та вибрати номінальну потужність приводного двигуна, яка потрапляє в розрахунковий діапазон або найближчу більшу.

2.3 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода

Техніко-економічне обґрунтування виконується з метою вибору оптимального варіанта системи електропривода із ряду можливих, які придатні для привода даної робочої машини.

Техніко-економічне обґрунтування ~~базується на використанні~~ двох критеріїв:

- технічного;
- економічного.

Обґрунтування згідно з технічним ~~критерієм передбачає виконання~~ порівняльного аналізу технічних характеристик кожної із систем електропривода.

вода, які можуть бути використані для привода даної робочої машини.

До переліку основних технічних характеристик відносяться:

- діапазон регулювання швидкості;
- жорсткість механічних характеристик;
- перевантажувальна здатність;
- економічність.

При проведенні обґрунтування необхідно розрахувати, відповідно до такої грами, фактичний діапазон регулювання швидкості, який визначається як відношення максимальної швидкості ω_{\max} до мінімальної ω_{\min} при заданій зміні моменту навантаження M_c :

$$D = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}}. \quad (2.16)$$

Обґрунтування згідно з економічним критерієм передбачає порівняння розглянутих варіантів систем електропривода за критерієм приведених витрат.

Приведені витрати – показник порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень, який широко використовують при виборі кращого з варіантів вирішення технічних завдань. При порівнянні можливих варіантів вирішення будь-якого завдання кращим, за інших рівних умов, вважається варіант, який передбачає мінімум приведених витрат:

$$Z = E_n \cdot K + C, \quad (2.17)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень, 1/рік;

K – капітальні вкладення, грн;

C – загальні щорічні відрахування, які враховуються у собівартості продукції, грн/рік.

Капітальні вкладення:

$$K = D + SK, \quad (2.18)$$

де D – вартість приводного двигуна, грн;

SK – вартість системи керування, грн.

Річні капітальні витрати:

$$K_{\text{річні}} = E_n \cdot K. \quad (2.19)$$

Загальні додаткові відрахування:

$$C = C_A + C_P + C_D + C_O, \quad (2.20)$$

де C_A – амортизаційні відрахування, грн/рік;

C_P – відрахування на ремонт, грн/рік;

C_D – додаткові відрахування, грн/рік;

C_O – відрахування на обслуговування, грн/рік.

Величина амортизаційних відрахувань в середньому береться 10 % від капітальних вкладень:

$$C_A = 0,1 \cdot K. \quad (2.21)$$

Відрахування на ремонт електрообладнання беруться в розрахунку 2 % від капітальних вкладень:

$$C_P = 0,02 \cdot K. \quad (2.22)$$

Додаткові відрахування враховують втрати енергії в електроприводі за рік:

$$C_D = C_{D1} + C_{D2}, \quad (2.23)$$

де C_{D1} – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні, грн/рік;

C_{D2} – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування, грн/рік.

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік:

$$C_{D1} = \Delta W_{дв} \cdot c, \quad (2.24)$$

де $\Delta W_{дв}$ – сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік, (кВт·год)/рік;

c – вартість електроенергії, грн/(кВт·год).

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік:

$$\Delta W_{дв} = (\Delta P_{дв.н} + \Delta P_{дв.пр}) \cdot k_{зв} \cdot \Phi, \quad (2.25)$$

де $\Delta P_{дв.н}$ – втрати потужності в двигуні у номінальному режимі роботи, кВт/год;

$\Delta P_{дв.пр}$ – додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи, кВт;

$k_{зв}$ – коефіцієнт завантаження за потужністю (приймається рівним 0,8);

Φ – дійсний фонд часу роботи електропривода за рік, год/рік.

Втрати потужності в двигуні у номінальному режимі роботи:

$$\Delta P_{\text{дв.н}} = P_{\text{дв.н}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{дв.н}}}{\eta_{\text{дв.н}}}, \quad (2.26)$$

де $P_{\text{дв.н}}$ – номінальна потужність приводного двигуна, кВт;

$\eta_{\text{дв.н}}$ – номінальний ККД приводного двигуна.

Додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи беруться рівними 10 % від номінальних:

$$\Delta P_{\text{дв.пр.}} = 0,1 \cdot \Delta P_{\text{дв.н}}. \quad (2.27)$$

Дійсний фонд часу роботи електропривода за рік:

$$\Phi = \frac{\text{ТВ}_{\phi} \%}{100} \cdot Z_{\text{рл}} \cdot Z_{\text{рз}} \cdot t_{\text{рз}}, \quad (2.28)$$

де ТВ_{ϕ} – фактична тривалість ввімкнення згідно з тахограмою, %;

$Z_{\text{рл}}$ – кількість робочих днів за рік;

$Z_{\text{рз}}$ – кількість робочих змін;

$t_{\text{рз}}$ – тривалість робочої зміни, год.

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік:

$$C_{\text{д2}} = \Delta W_{\text{ск}} \cdot c, \quad (2.29)$$

де $\Delta W_{\text{ск}}$ – кількість втраченої електроенергії в системі керування за рік, (кВт·год)/рік.

Втрати енергії в системі керування за рік:

$$\Delta W_{\text{ск}} = \Delta P_{\text{ск}} \cdot k_{\text{зв}} \cdot \Phi, \quad (2.30)$$

де $\Delta P_{\text{ск}}$ – втрати потужності в системі керування, кВт.

Втрати потужності в системі керування:

$$\Delta P_{\text{ск}} = P_{\text{пп}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{пп}}}{\eta_{\text{пп}}}, \quad (2.31)$$

де $P_{\text{пп}}$ – номінальна потужність перетворювального пристрою, кВт;

$\eta_{\text{пп}}$ – ККД перетворювального пристрою.

Відрахування на обслуговування електрообладнання беруться рівними 5% від суми додаткових витрат та відрахувань на амортизацію, ремонт:

$$C_{\text{O}} = 0,05 \cdot (C_{\text{A}} + C_{\text{P}} + C_{\text{Д}}). \quad (2.32)$$

Результати розрахунків зводяться у порівняльну табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Порівняльна таблиця

Показники	Системи електричного привода				
	РКС-ДПС	РКС-АД з ФР	ТП-Д	ТРН-АД	ПЧ-АД
Вартість двигуна Д, грн					
Вартість системи керування СК, грн					
Капітальні вкладення К, грн					
Річні капітальні витрати $K_{річн}$, грн/рік					
Амортизаційні відрахування C_A , грн/рік					
Відрахування на ремонт C_p , грн/рік					
Додаткові відрахування C_d , грн/рік					
Відрахування на обслуговування C_o , грн/рік					
Загальні відрахування C , грн/рік					
Приведені витрати З, грн/рік					

У висновку до розділу, базуючись на результатах проведених розрахунків, обґрунтувати, яка із розглянутих систем електропривода найкраще підходить для привода даної робочої машини.

2.4 Вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю обертання

Відповідно до результатів проведених розрахунків та техніко-економічного обґрунтування вибирають приводний двигун за потужністю та швидкістю обертання:

$$\begin{cases} P_{дв.н} \geq P_{роз}, \\ \omega_{дв.н} \geq \omega_{роз}, \end{cases} \quad (2.33)$$

де $P_{дв.н}$ – номінальна потужність приводного двигуна, кВт;

$P_{роз}$ – розрахункова потужність приводного двигуна, кВт;

$\omega_{дв.н}$ – номінальна кутова швидкість приводного двигуна, c^{-1} ;

$\omega_{роз}$ – розрахункова кутова швидкість, яку, при однозонному регулю-

ванні, беруть рівною максимальній кутовій швидкості згідно з тахограмою, с^{-1} .

Паспортні дані приводних двигунів наведено в додатку Б.

2.5 Розрахунок динамічних навантажень та побудова навантажувальної діаграми електропривода

Навантажувальною діаграмою привода називається залежність моменту, який розвиває приводний двигун, від часу:

$$M = f(t). \quad (2.34)$$

Для розрахунку навантажувальної діаграми привода необхідно скористатись основним рівнянням руху привода:

$$M = M_c + M_d, \quad (2.35)$$

де M_c – момент статичного опору, Н·м;

M_d – динамічний момент, Н·м.

Динамічний момент M_d визначається сумарним приведеним моментом інерції J і кутовими прискореннями ε на ділянках розгону та гальмування привода:

$$M_d = J \cdot \varepsilon = J \cdot \frac{d\omega}{dt}. \quad (2.36)$$

Якщо вважати графік $\omega(t)$ на ділянках розгону та гальмування лінійним, то динамічний момент на цих ділянках:

$$M_{др} = J \frac{d\omega}{dt} = J \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = J \frac{\omega_{уст}}{t_r} = \text{const}, \quad (2.37)$$

$$M_{др} = -J \frac{\omega_{уст}}{t_r} = \text{const}. \quad (2.38)$$

Приведений до вала двигуна момент інерції системи «двигун-робоча машина» визначають на основі твердження, що сумарний запас кінетичної енергії рухомих частин привода відносно однієї осі залишається незмінним. Отже, динамічну дію елементів кінематичної схеми привода, які обертаються з кутовими швидкостями $\omega_{дв}$, ω_1 , ω_2 , ..., ω_n і характеризуються моментами інерції $J_{дв}$, J_1 , J_2 , ..., J_n , можна замінити дією одного моменту інерції, приведеного до швидкості вала двигуна. У цьому випадку можна записати:

$$J \frac{\omega_{дв}}{2}^2 = J_{дв} \frac{\omega_{дв}}{2}^2 + J_1 \frac{\omega_1}{2}^2 + J_2 \frac{\omega_2}{2}^2 + \dots + J_n \frac{\omega_n}{2}^2, \quad (2.39)$$

звідки момент інерції, приведений до вала двигуна:

$$J = J_{дв} + J_1 \left(\frac{\omega_1}{\omega_{дв}} \right)^2 + J_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_{дв}} \right)^2 + \dots + J_n \left(\frac{\omega_n}{\omega_{дв}} \right)^2, \quad (2.40)$$

$$J = \delta \cdot J_{дв} + J_1 \frac{1}{i_{мп1}^2} + J_2 \frac{1}{i_{мп1}^2 \cdot i_{мп2}^2} + \dots + J_n \frac{1}{i_{мп1}^2 \cdot i_{мп2}^2 \cdot \dots \cdot i_{мпn}^2}, \quad (2.41)$$

де δ – коефіцієнт, що враховує інерцію муфт, момент інерції яких, зазвичай, є невідомим ($\delta = 1,2$).

Досить часто у робочих машинах присутні також і елементи масою $m_{п}$, які здійснюють поступальний рух із лінійною швидкістю V . Їх інерційні маси приводяться таким чином:

$$m_{п} \frac{V^2}{2} = J \frac{\omega_{дв}}{2}^2, \quad (2.42)$$

звідки момент інерції, приведений до вала двигуна:

$$J = m_{п} \cdot \left(\frac{V}{\omega_{дв}} \right)^2 = m_{п} \cdot \left(\frac{V}{\omega_{дв}} \right)^2 = m_{п} \cdot \rho^2, \quad (2.43)$$

де ρ – радіус приведення.

Якщо робоча машина має елементи, які рухаються як обертально, так і поступально, то сумарний приведений до вала двигуна момент інерції визначається:

$$J = \delta \cdot J_{дв} + J_1 \frac{1}{i_{мп1}^2} + J_2 \frac{1}{i_{мп1}^2 \cdot i_{мп2}^2} + \dots + J_n \frac{1}{i_{мп1}^2 \cdot i_{мп2}^2 \cdot \dots \cdot i_{мпn}^2} + m_{п} \left(\frac{V}{\omega_{дв}} \right)^2. \quad (2.44)$$

Приклад навантажувальної діаграми привода зображено на рис. 2.2.

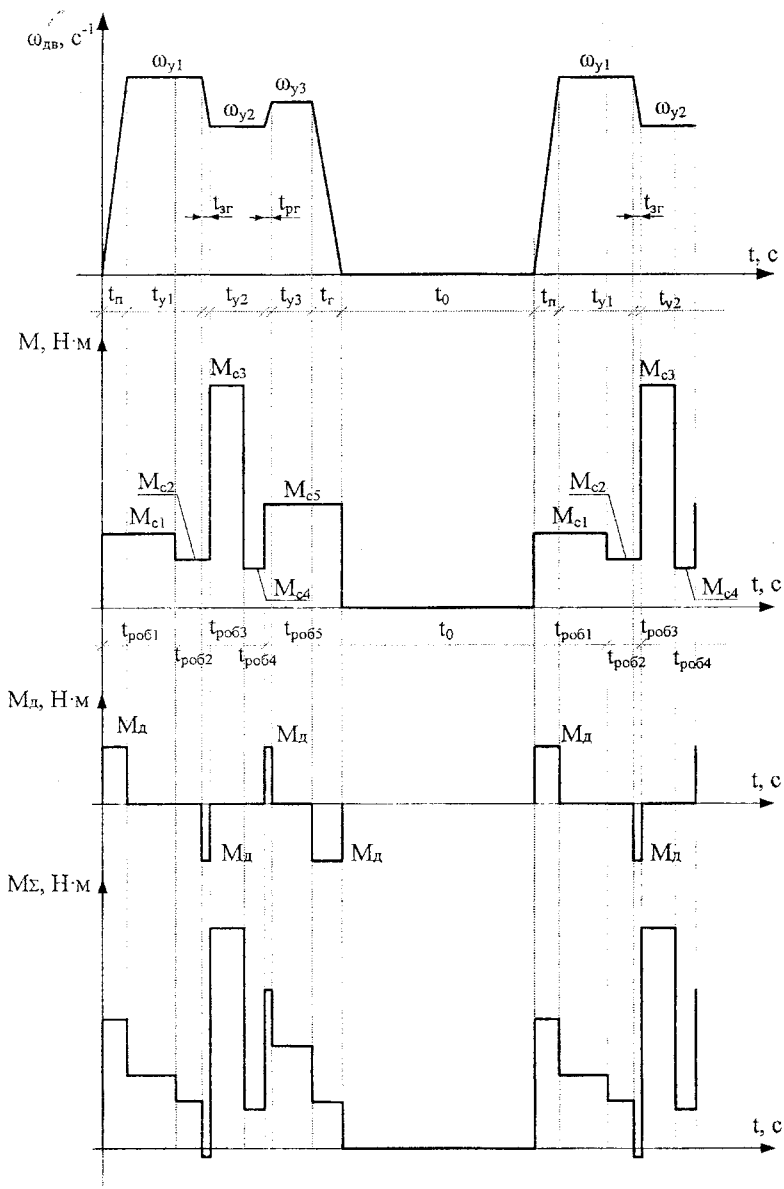


Рисунок 2.2 – Навантажувальна діаграма привода

2.6 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску

Для перевірки правильності вибору приводного двигуна необхідно здійснити його перевірку за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску.

Оскільки режим роботи робочої машини може передбачати часті пуски та електричні гальмування, які суттєво впливають на нагрів приводного двигуна, то виконується його перевірка за нагрівом відповідно до умови:

$$M_{\text{дв.н}} \geq M_{\text{скв}} \cdot \sqrt{\frac{TB_{\phi} \%}{TB_{\text{ст}} \%}}, \quad (2.45)$$

де $M_{\text{дв.н}}$ – номінальний момент приводного двигуна, Н·м;

$M_{\text{скв}}$ – еквівалентний момент згідно з навантажувальною діаграмою привода, Н·м;

TB_{ϕ} – фактична тривалість ввімкнення, %;

$TB_{\text{ст}}$ – стандартна тривалість ввімкнення, %.

Еквівалентний момент згідно з навантажувальною діаграмою привода:

$$M_{\text{скв}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^w (M_j^2 t_j)}{\sum_{j=1}^w (\beta_j t_j)}}, \quad (2.46)$$

де M_j – момент, який повинен розвивати приводний двигун на j -тій робочій ділянці навантажувальної діаграми привода, Н·м;

β_j – коефіцієнт погіршення тепловіддачі приводного двигуна на j -тій робочій ділянці навантажувальної діаграми привода;

t_j – тривалість роботи на j -тій ділянці навантажувальної діаграми привода з відповідним навантаженням M_j , с;

w – число робочих ділянок навантажувальної діаграми привода в циклі.

Значення коефіцієнта погіршення тепловіддачі приводного двигуна на j -тій робочій ділянці навантажувальної діаграми привода визначається:

- при роботі з усталеною швидкістю ω_{y_j} :

$$\beta_{y_j} = \beta_0 + (1 - \beta_0) \frac{\omega_{y_j}}{\omega_{\text{дв.н}}}; \quad (2.47)$$

- при роботі зі змінною швидкістю (пуски, гальмування):

$$\beta_{пj} = \frac{1 + \beta_0}{2}, \quad (2.48)$$

де β_0 – коефіцієнт погіршення тепловіддачі при нерухомому роторі (якорі);

$\omega_{y,j}$ – усталена кутова швидкість виконавчого органа робочої машини, приведена до вала двигуна на j -тій робочій ділянці навантажувальної діаграми привода;

$\omega_{дв.п}$ – номінальна кутова швидкість приводного двигуна, с^{-1} .

Перевірка приводного двигуна на перевантажувальну здатність здійснюється відповідно до умови:

$$\lambda_k \geq \frac{M_{\max}}{M_{дв.п}}, \quad (2.49)$$

де λ_k – кратність критичного моменту приводного двигуна (відповідно до паспортних даних);

M_{\max} – максимальне значення моменту, який повинен розвивати приводний двигун за цикл роботи (згідно з навантажувальною діаграмою привода), $\text{Н}\cdot\text{м}$;

$M_{дв.п}$ – номінальний момент приводного двигуна, $\text{Н}\cdot\text{м}$.

Для забезпечення надійного пуску приводного двигуна необхідно здійснити його перевірку за умовами пуску відповідно до умови:

$$M_{дв.п} \geq M_{с.п.} + M_{д.}, \quad (2.50)$$

де $M_{дв.п}$ – пусковий момент приводного двигуна (згідно з паспортном), $\text{Н}\cdot\text{м}$;

$M_{с.п.}$ – момент опору механізму при швидкості, рівній нулю, $\text{Н}\cdot\text{м}$;

$M_{д.}$ – динамічний момент, $\text{Н}\cdot\text{м}$.

Оскільки пусковий момент асинхронного двигуна пропорційний квадрату напруги, то в умові перевірки додатково необхідно врахувати можливе зниження напруги мережі при пуску:

$$k_u^2 \cdot M_{дв.п} \geq M_{с.п.} + M_{д.}, \quad (2.51)$$

де k_u – коефіцієнт, який враховує зниження напруги мережі при пуску (при десятивідсотковому зниженні напруги мережі живлення $k_u = 0,9$).

$$k_u = \frac{U_{\text{пуск}}}{U_{\text{ном}}}, \quad (2.52)$$

де $U_{\text{пуск}}$ – напруга в мережі при пуску, В;

$U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга мережі, В.

У висновку до розділу проаналізувати результати проведених перевірок, на основі чого зробити висновок щодо правильності вибору приводного двигуна.

2.7 Розрахунок характеристик приводного двигуна

Основними характеристиками приводного електродвигуна є механічна та електромеханічна характеристики.

Механічною характеристикою електродвигуна називається залежність його кутової швидкості ω від обертового моменту M :

$$\omega = f(M). \quad (2.53)$$

Електромеханічною характеристикою електродвигуна називається залежність його кутової швидкості ω від струму I :

$$\omega = f(I). \quad (2.54)$$

2.7.1 Розрахунок характеристик двигуна постійного струму незалежного збудження

Рівняння механічної характеристики двигуна постійного струму незалежного (паралельного) збудження:

$$\omega = \frac{U}{C_m \Phi} - M \frac{R_j}{(C_m \Phi)^2}, \quad (2.55)$$

де U – напруга, прикладена до якоря, В;

$C_m \Phi$ – коефіцієнт потоку;

M – момент двигуна, Н·м;

R_j – опір кола якоря, Ом.

Рівняння електромеханічної характеристики двигуна постійного струму незалежного (паралельного) збудження:

$$\omega = \frac{U}{C_m \Phi} - I_j \frac{R_j}{C_m \Phi}, \quad (2.56)$$

де I_j – струм в колі якоря, А.

Природні механічна та електромеханічна характеристики двигуна постійного струму незалежного (паралельного) збудження будуються по характерних точках:

- швидкість ідеального холостого ходу ($M = 0$ або $I_j = 0$):

$$\omega_0 = \frac{U}{C_M \Phi}; \quad (2.57)$$

- момент та струм короткого замикання ($\omega = 0$):

$$M_{кз} = \frac{U \cdot C_M \Phi}{R_{я}}, \quad (2.58)$$

$$I_{кз} = \frac{U}{R_{я}}. \quad (2.59)$$

Коефіцієнт потоку відповідно до паспортних даних:

$$C_M \Phi = \frac{U_{дв.н} - I_{я.н}}{\omega_{дв.н}}, \quad (2.60)$$

де $U_{дв.н}$ – номінальна напруга приводного двигуна, В;

$I_{я.н}$ – номінальний струм якоря приводного двигуна, А;

$\omega_{дв.н}$ – номінальна кутова швидкість приводного двигуна, с⁻¹.

Опір якоря відповідно до паспортних даних:

$$R_{я} = 0,5 \cdot (1 - \eta_{дв.н}) \frac{U_{дв.н}}{I_{я.н}}, \quad (2.61)$$

де $\eta_{дв.н}$ – номінальний ККД приводного двигуна.

2.7.2 Розрахунок характеристик асинхронного двигуна

Рівняння, яке пов'язує кутову швидкість двигуна з ковзанням s :

$$\omega(s) = \omega_0 \cdot (1 - s), \quad (2.62)$$

де ω_0 – синхронна кутова швидкість двигуна, с⁻¹.

Момент двигуна:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{\phi}^2 \cdot \frac{R'_2}{s}}{\omega_0 \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]}, \quad (2.63)$$

де U_{ϕ} – фазна напруга, В;

R_1 – активний опір обмотки статора, Ом;

R'_2 – приведенний активний опір обмотки ротора, Ом;

X_1 – індуктивний опір розсіювання обмотки статора, Ом;

X'_2 – приведений індуктивний опір розсіювання обмотки ротора, Ом.

Приведений струм ротора:

$$I'_2(s) = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}}. \quad (2.64)$$

Критичний момент двигуна:

$$M_k = \frac{3 \cdot U_\phi^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left[R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2} \right]}. \quad (2.65)$$

Критичне ковзання двигуна:

$$s_k = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2}}. \quad (2.66)$$

2.7.3 Використання формул Клоса та Чекунова для побудови механічної характеристики асинхронного двигуна

Для побудови природної механічної характеристики АД можна використати формули Клоса (2.67) та Чекунова (2.68):

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1 + a \cdot s_k)}{\frac{s}{s_k} + 2 \cdot a \cdot s_k + \frac{s_k}{s}}, \quad (2.67)$$

де M_k – критичний момент двигуна, Н·м;

s – ковзання;

s_k – критичне ковзання;

a – розрахунковий коефіцієнт;

$$M(s) = M_k \cdot \frac{2 + (s^2 - s_k^2) \cdot K_s}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}, \quad (2.68)$$

де K_s – розрахунковий коефіцієнт.

Окремо жодна із наведених формул може не давати прийняттого результату, тому пропонується:

- для АД, призначених для роботи в режимі S1, в діапазоні зміни ков-

зання від 0 до s_k використати формулу Клоса, а в діапазоні зміни ковзання від s_k до 1 використати формулу Чекунова;

- для АД, призначених для роботи в режимі S3, в усьому діапазоні зміни ковзання використати формулу Чекунова.

Усі необхідні параметри розраховуються з паспортних даних електродвигуна.

Критичне ковзання:

$$s_k = s_{\text{НОМ}} \cdot (\lambda_k + \sqrt{\lambda_k^2 - 1}), \quad (2.69)$$

де $s_{\text{НОМ}}$ – номінальне ковзання;

λ_k – кратність критичного моменту.

Номінальне ковзання:

$$s_{\text{НОМ}} = \frac{n_0 - n_{\text{дв.н}}}{n_0}, \quad (2.70)$$

де n_0 – синхронна швидкість обертання приводного двигуна, об/хв;

$n_{\text{дв.н}}$ – номінальна швидкість обертання приводного двигуна, об/хв.

Кратність критичного моменту:

$$\lambda_k = \frac{M_k}{M_{\text{дв.н}}}, \quad (2.71)$$

де $M_{\text{дв.н}}$ – номінальний момент приводного двигуна, Н·м.

Коефіцієнт a :

$$a = \frac{R_1}{R'_2}, \quad (2.72)$$

де R_1 – активний опір обмотки статора, Ом;

R'_2 – приведений активний опір обмотки ротора, Ом.

Розрахунковий приведений активний опір обмотки ротора:

$$R'_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{\text{дв.н}} + P_{\text{мех}}}{I_{\text{дв.н}}^2 \cdot \frac{1 - s_{\text{НОМ}}}{s_{\text{НОМ}}}}, \quad (2.73)$$

де $P_{\text{дв.н}}$ – номінальна потужність приводного двигуна, Вт;

$P_{\text{мех}}$ – механічні втрати потужності приводного двигуна, Вт;

$I_{\text{дв.н}}$ – номінальний струм приводного двигуна, А.

Механічні втрати беруть рівними:

$$P_{\text{мех}} = (0,01 \dots 0,05) \cdot P_{\text{дв.н}} \quad (2.74)$$

Розрахунковий активний опір статора:

$$R_1 = \frac{U_{\text{ф.н}} \cdot \cos\varphi \cdot (1 - \eta_{\text{дв.н}})}{I_{\text{дв.н}}} - C_{\text{роз}}^2 \cdot R_2' - \frac{P_{\text{мех}}}{3 \cdot I_{\text{дв.н}}^2}, \quad (2.75)$$

де $U_{\text{ф.н}}$ – номінальна фазна напруга, В;

$\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності;

$\eta_{\text{дв.н}}$ – номінальний ККД приводного двигуна;

$C_{\text{роз}}$ – розрахунковий коефіцієнт ($C_{\text{роз}} = 1,01 \dots 1,05$, менші значення беруться для машин більшої потужності).

Номінальна фазна напруга при схемі з'єднання обмоток «зіркою»:

$$U_{\text{ф.н}} = \frac{U_{\text{л.н}}}{\sqrt{3}}, \quad (2.76)$$

де $U_{\text{л.н}}$ – номінальна лінійна напруга приводного двигуна, В.

Коефіцієнт K_s :

$$K_s = \frac{\lambda_{\text{п}} \cdot \left(\frac{1}{s_{\text{к}}} + s_{\text{к}} \right) - 2}{1 - s_{\text{к}}^2}, \quad (2.77)$$

де $\lambda_{\text{п}}$ – кратність пускового моменту приводного двигуна.

Кратність пускового моменту:

$$\lambda_{\text{п}} = \frac{M_{\text{дв.п}}}{M_{\text{дв.н}}}, \quad (2.78)$$

де $M_{\text{дв.п}}$ – пусковий момент приводного двигуна.

2.8 Вибір перетворювального агрегату для живлення приводного двигуна

Електротехнічна промисловість випускає широке коло перетворювачів енергії для живлення електродвигунів. Задача вибору перетворювального пристрою зводиться до мінімуму:

- вибір за родом струму;
- вибір за значенням вхідної напруги мережі живлення;
- вибір за потужністю та струмом.

Сучасні перетворювачі виконуються з мікропроцесорними системами керування, що забезпечує високу якість керування та дозволяє їм легко ін-

тегруватися в системи комплексної автоматизації технологічних процесів.

2.8.1 Вибір тиристорного перетворювача напруги для живлення двигуна постійного струму

При виборі комплектних тиристорних перетворювачів необхідно, щоб номінальні значення напруги $U_{тп.н}$ та струму $I_{тп.н}$ тиристорного перетворювача були більші або рівні номінальним значенням напруги $U_{дв.н}$ та струму $I_{дв.н}$ двигуна, тобто:

$$\begin{cases} U_{тп.н} \geq U_{дв.н}, \\ I_{тп.н} \geq I_{дв.н}. \end{cases} \quad (2.79)$$

Рекомендується, щоб номінальна напруга приводного двигуна була меншою номінальної напруги комплектного тиристорного перетворювача на 5 – 10 %, що враховує можливе зниження напруги мережі живлення.

Окрім цього, необхідно щоб максимальний струм перетворювача $I_{тп.мах}$ був не меншим максимального струму приводного двигуна $I_{дв.мах}$:

$$I_{тп.мах} \geq I_{дв.мах}. \quad (2.80)$$

Враховуючи цю умову, номінальний струм тиристорного перетворювача можна визначити таким чином:

$$I_{тп.н} \geq \frac{\lambda_{д}}{\lambda_{тп}} \cdot I_{дв.н}, \quad (2.81)$$

де $\lambda_{д}$ – перевантажувальна здатність двигуна постійного струму;

$\lambda_{тп}$ – перевантажувальна здатність тиристорного перетворювача.

Слід мати на увазі, що всі тиристорні перетворювачі, призначені для живлення якірних кіл, повинні допускати роботу в циклічному режимі. При чому, циклічне перевантаження не повинно перевищувати 75 % при тривалості перевантаження 60 с і 125 % при тривалості перевантаження 10 с.

З джерела [17] пропонується вибрати комплектний тиристорний перетворювач типу КТЭ з мікропроцесорною системою керування. Структура перетворювача типу КТЭ показана на рис. 2.3.

Використання таких перетворювачів в складі замкнених систем ЕП забезпечує діапазон регулювання 1.25 при зворотному зв'язку за ЕРС та 1:100 при зворотному зв'язку за швидкістю.

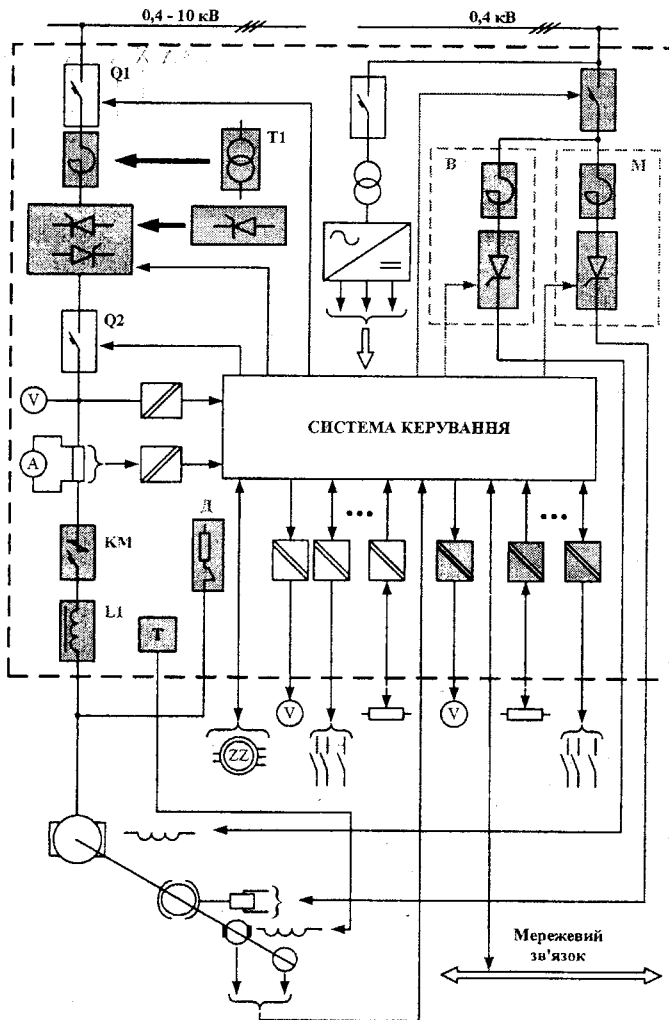


Рисунок 2.3 – Структура перетворювача типу КТЭ на струми від 10 до 1600 А

На рис. 2.3: Q1 – триполюсний автоматичний вимикач; Q2 – двополюсний автоматичний вимикач; KM – лінійний контактор; В – пристрій живлення обмотки збудження; М – пристрій живлення електромагнітного гальма; Д – динамічне гальмо; Т1 – трансформатор; Т – блок живлення тахогенератора; ZZ – селесин сенсор кута повороту.

Структура умовних позначень показана на рис. 2.4.

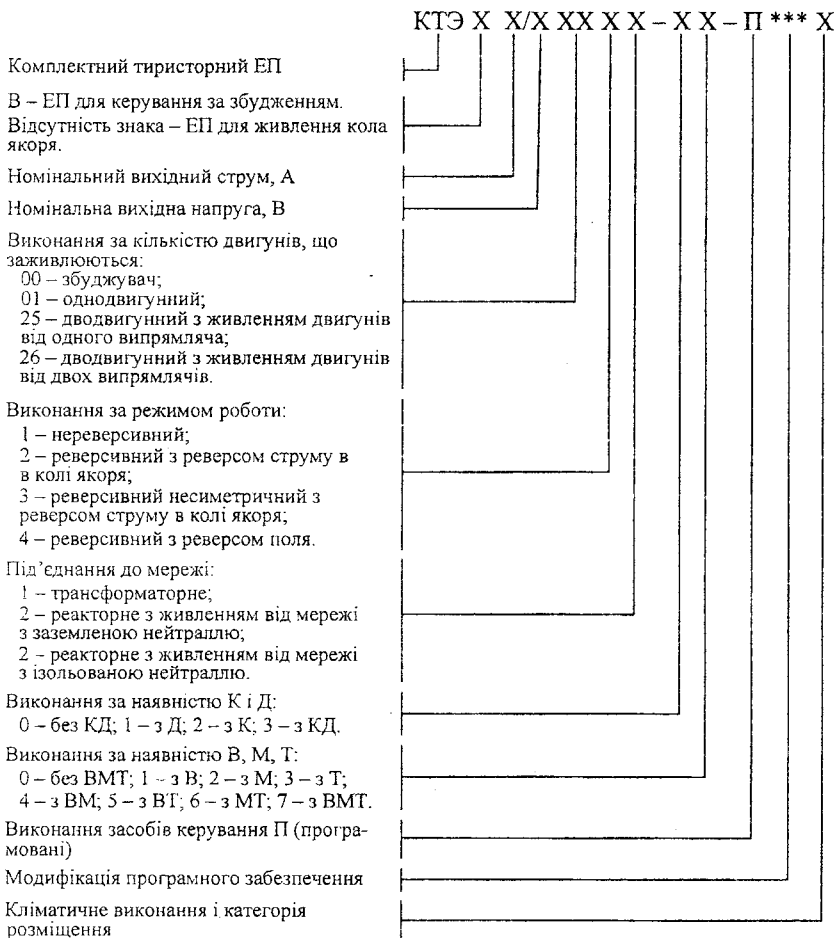


Рисунок 2.4 – Структура умовних позначень

При маркуванні КТЭ (рис. 2.4) прийнята така система позначень:

В – пристрій живлення обмотки збудження двигуна;

М – пристрій живлення електромагнітного гальма;

Т – пристрій живлення обмотки збудження тахогенератора;

К – лінійний контактор або магнітний пускач;

Д – пристрій аварійного динамічного гальмування.

2.8.2 Вибір тиристорного регулятора напруги для живлення двигуна змінного струму

Електроприводи змінного струму з тиристорними регуляторами напруги характеризуються незначним діапазоном регулювання швидкості та необхідністю суттєвого зниження моменту навантаження при регулюванні.

Наприклад, при регулюванні швидкості двигуна на 12,5 % вниз від основної (при цьому ковзання змінюється від $s_{ном} = 0,03$ до $s_{рег} = 0,15$) допустимий момент навантаження необхідно зменшити в п'ять раз:

$$M_{доп} = M_{дв.н} \frac{s_{ном}}{s_{рег}}. \quad (2.82)$$

Таким чином, використання тиристорних регуляторів напруги в електроприводах навіть з вентиляторним моментом навантаження зумовлює необхідність завищення потужності приводного двигуна в 2,5 – 3 рази.

Отже, тиристорні регулятори напруги доцільно використовувати в нерегульованих електроприводах із перемешованим режимом роботи, оскільки вони дозволяють підвищити енергетичні показники асинхронних електроприводів при малих навантаженнях.

На рис. 2.5 показано побудовані для двигуна 4A180M4 потужністю 30 кВт залежності ККД, $\cos\phi$, відносних струму статора I_1^* і втрат потужності в двигуні ΔP^* від відносної напруги U_1^* при моменті навантаження M_c , рівному 20 % від номінального. З кривих видно, що найкращих значень ці показники досягають при напругах, рівних 0,6 ... 0,8 номінального значення.

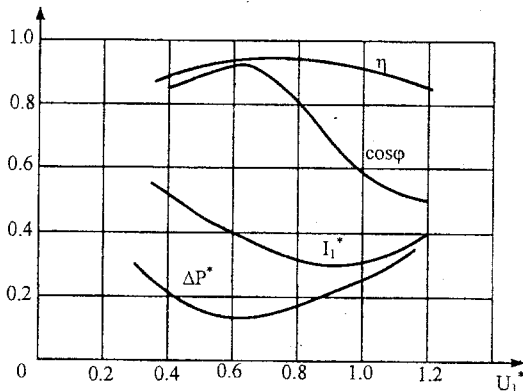


Рисунок 2.5 – Залежності струму статора, втрат потужності, ККД і коефіцієнта потужності від напруги при $M_c = 0,2M_{ном}$

Тиристорні перетворювачі також широко використовують в пристроях плавного пуску для обмеження пускових струмів. Звичайно, обмеження пускового струму в асинхронному двигуні призводить до зниження його моменту, а тому область їх використання обмежується механізмами, які запускають в режимі холостого ходу, або характеризується незначними моментами статичного опору при малих швидкостях.

Тиристорний регулятор напруги вибирають відповідно до умов (2.79) - (2.81).

З джерела [18] пропонується вибирати трифазний тиристорний регулятор напруги, який забезпечує регулювання напруги в діапазоні від 5 % до 98 % вхідної, а з джерела [19] – пристрій плавного пуску АД.

2.8.3 Вибір перетворювача частоти для живлення двигуна змінного струму

Популярність перетворювачів частоти обумовлена рядом переваг, які з'являються при їх використанні, серед яких:

- оперативне автоматичне чи ручне керування швидкістю або параметром, який залежить від швидкості;
- економія електроенергії за рахунок високого ККД перетворювача та оптимізації роботи приводного двигуна із конкретним навантаженням;
- широкий діапазон регулювання швидкості;
- зниження пускових струмів до мінімального рівня, який необхідний для реалізації пуску;
- зниження ударних навантажень на механізм при пуску;
- комплексний захист двигуна та механізму.

Умови вибору перетворювача частоти:

$$\begin{cases} P_{ПЧ} \geq P_{дв.сп}, \\ I_{ПЧ} \geq I_{дв.н}, \end{cases} \quad (2.83)$$

де $P_{дв.сп}$ – споживана електродвигуном потужність в номінальному режимі, кВт;

$I_{дв.н}$ – номінальний струм приводного двигуна, А.

Споживана електродвигуном потужність в номінальному режимі:

$$P_{дв.сп} = \frac{k \cdot P_{дв.н}}{\eta_{дв.н} \cdot \cos \varphi}, \quad (2.84)$$

де k – коефіцієнт спотворення струму на виході перетворювача частоти ($k = 0,95 \dots 1,05$);

$P_{дв.н}$ – номінальна потужність приводного двигуна, кВт;

$\eta_{дв.н}$ – номінальний ККД приводного двигуна;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності приводного двигуна.

Якщо робота приводного двигуна характеризується важкими умовами пуску, то перетворювач частоти додає до перевіряється за такими умовами:

- необхідна робоча потужність перетворювача частоти:

$$P_{ПЧ} \geq \frac{P_{дв.пуск}}{\lambda_{ПЧ}}, \quad (2.85)$$

де $P_{дв.пуск}$ – пускова потужність приводного двигуна, кВт;

$\lambda_{ПЧ}$ – перевантажувальна здатність перетворювача ($\lambda_{ПЧ} = 1,2 \dots 1,7$);

- пускова потужність приводного двигуна:

$$P_{дв.пуск} = \frac{k \cdot n}{9550 \cdot \eta_{дв} \cdot \cos \varphi} \cdot (M_{дв} + M_{д}), \quad (2.86)$$

де n – оберти, до яких потрібно розігнати двигун за час t , об/хв;

$M_{дв.н}$ – момент приводного двигуна, який визначається статичним навантаженням при пуску, Н·м;

$M_{д}$ – динамічний момент при пуску, Н·м;

- динамічний момент при пуску:

$$M_{д} = \frac{J \cdot n}{9,55 \cdot t_{п}}, \quad (2.87)$$

де J – приведений до вала двигуна момент інерції привода, кг·м²;

- струм, який споживає електродвигун при лінійному розгоні, не повинен перевищувати пусковий струм перетворювача частоти:

$$I_{ПЧ.пуск} \geq \frac{k \cdot n}{9,55 \cdot \eta_{дв} \cdot \cos \varphi \cdot U_{ном} \cdot \sqrt{3}} \cdot (M_{дв} + M_{д}), \quad (2.88)$$

де $U_{ном}$ – напруга на обмотках двигуна, В.

З джерел [20, 21] пропонується вибрати перетворювачі частоти Micromaster 440, які оснащені мікропроцесорною системою керування і використовують найсучасніші технології з IGBT модулями.

Блок-схема перетворювача частоти Micromaster 440 зображена на рис. 2.6.

Основні характеристики перетворювачів Micromaster 440:

- простий монтаж та введення в експлуатацію;
- релейні виходи;
- аналогові виходи 0 – 20 мА;
- 6 дискретних входів;
- 2 аналогових входи, які в разі необхідності можуть бути використані

як 7-й і 8-й дискретні входи:

AIN 1: 0 – 10 В, 0 – 20 мА або від -10 до +10 В;

AIN 2: 0 – 10 В, 0 – 20 мА;

- модульна конструкція;

- безшумна робота двигуна завдяки високій частоті імпульсів;

- зовнішні опції для обміну даними з комп'ютером, базова панель обслуговування (BOP), розширена панель оператора (AOP) і модулі передачі даних по шині Profibus.

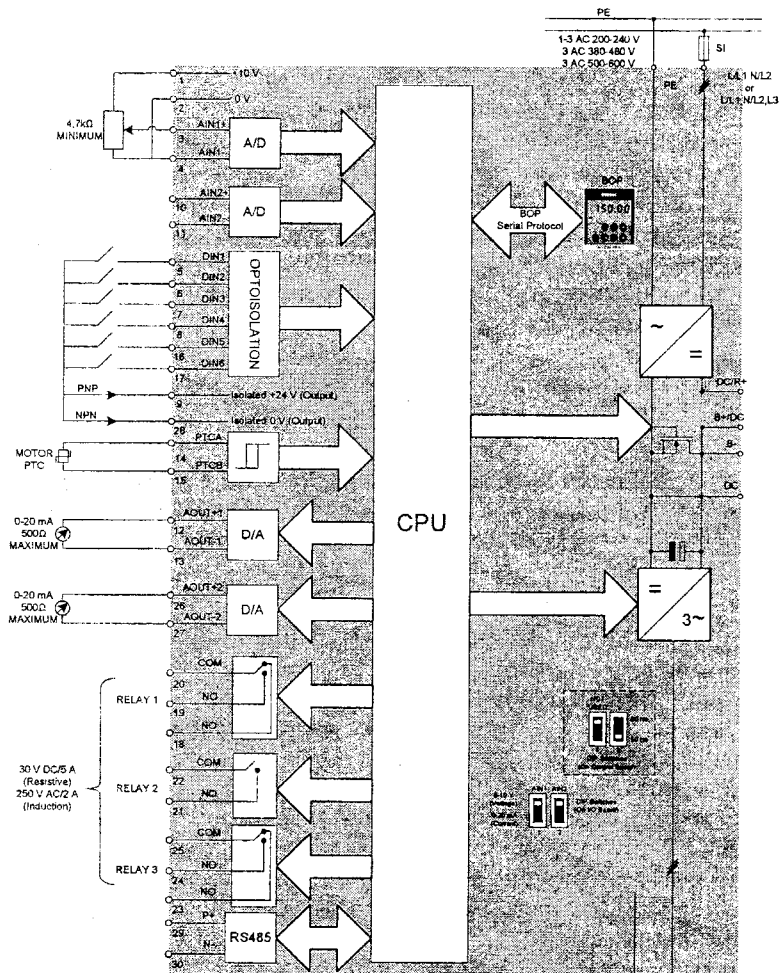


Рисунок 2.6 – Блок-схема перетворювача частоти Micromaster 440

Функціональні особливості:

- векторне керування без датчика швидкості;
- вбудоване динамічне гальмування постійним струмом;
- використання замкнутого PID регулятора з автопідстроюванням;
- програмована інтенсивність розгону і зупинки.

Особливості захисту:

- захист від підвищеної і зниженої напруги живлення;
- захист перетворювача від перегріву;
- захист від замикання на землю;
- захист від короткого замикання;
- захист від перегріву двигуна.

2.9 Моделювання перехідних процесів електропривода

Перехідним режимом електропривода називається режим роботи при переході з одного усталеного стану привода до іншого, який відбувається під час пуску, гальмування, реверсу, скиду та накиду навантаження на валі. Ці режими характеризуються зміною електрорушійної сили, кутової швидкості, моменту і струму.

Вивчення перехідних режимів електропривода дозволяє перевірити правильність вибору потужності приводного двигуна, розрахувати систему керування і оцінити вплив роботи електропривода на продуктивність і якість роботи виробничого механізму.

Моделювання електропривода рекомендується здійснювати в Simulink.

При розрахунку передавальної функції регулятора швидкості $R_{\text{ш}}(p)$ системи ЕП необхідно використати підходи, які вивчаються в розрізі дисципліни «Системи керування електроприводами».

2.9.1 Моделювання системи електричного привода типу ТП-ДПС

Структурна схема електропривода типу ТП-ДПС з зворотним зв'язком за швидкістю зображена на рис. 2.7.

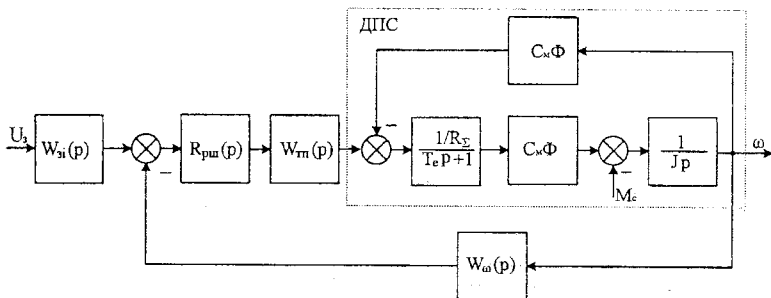


Рисунок 2.7 – Структурна схема електропривода типу ТП-ДПС

Структура задавача інтенсивності зображена на рис. 2.8.

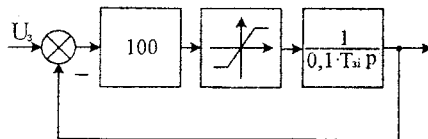


Рисунок 2.8 – Структурна схема задавача інтенсивності

Стала часу задавача інтенсивності:

$$T_{zi} = \frac{J \cdot \omega_{дв.н}}{M_{дв.н}}, \quad (2.89)$$

де J – момент інерції електричного привода (з врахуванням моменту інерції виробничого механізму), приведений до вала двигуна;

$\omega_{дв.н}$ – номінальна кутова швидкість приводного двигуна;

$M_{дв.н}$ – номінальний момент приводного двигуна.

Електромагнітна стала часу ДПС:

$$T_e = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}}, \quad (2.90)$$

де L_{Σ} – сумарна індуктивність кола якоря, Гн;

R_{Σ} – сумарний активний опір кола якоря, Ом.

Передавальна функція тиристорного перетворювача:

$$W_{тп}(p) = \frac{k_{тп}}{T_{тп} \cdot p + 1}, \quad (2.91)$$

де $k_{тп}$ – коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача;

$T_{тп}$ – стала часу тиристорного перетворювача ($T_{тп} \approx 0,01 \dots 0,015$ с).

Коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача:

$$k_{тп} = \frac{U_{дв.н}}{U_{3 \max}}, \quad (2.92)$$

де $U_{дв.н}$ – номінальна напруга приводного двигуна;

$U_{3 \max}$ – максимальна задаюча напруга ($U_{3 \max} = 10$ В).

Передавальна функція контуру зворотного зв'язку за швидкістю:

$$W_{\omega}(p) = \frac{k_{\omega}}{T_{\omega} \cdot p + 1}, \quad (2.93)$$

де k_{ω} – коефіцієнт підсилення контуру зворотного зв'язку за швидкістю;

T_{ω} – стала часу сенсора швидкості ($T_{\omega} \approx 0,01 \dots 0,02$ с).

Коефіцієнт підсилення контуру зворотного зв'язку за швидкістю:

$$k_{\omega} = \frac{U_{z \max}}{\omega_0}. \quad (2.94)$$

де ω_0 – синхронна кутова швидкість приводного двигуна.

2.9.2 Моделювання системи електричного привода типу ТРН-АД

Структурна схема електропривода типу ТРН-АД з зворотним зв'язком за швидкістю зображена на рис. 2.9.

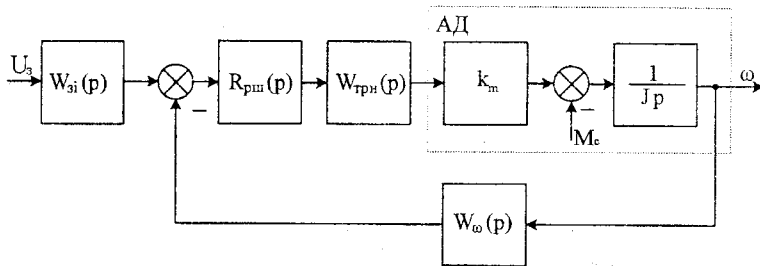


Рисунок 2.9 – Структурна схема електропривода типу ТРН-АД

Коефіцієнт, що пов'язує момент АД і напругу живлення:

$$k_m = \frac{M_{дв.н}}{U_{ф.н}}, \quad (2.95)$$

де $U_{ф.н}$ – номінальна фазна напруга приводного двигуна.

Передаточна функція тиристорного регулятора напруги:

$$W_{trn}(p) = \frac{k_{trn}}{T_{trn} \cdot p + 1}, \quad (2.96)$$

де k_{trn} – коефіцієнт підсилення тиристорного регулятора напруги;

T_{trn} – стала часу перетворювача частоти ($T_{trn} \approx 0,001 \dots 0,005$ с).

Коефіцієнт підсилення тиристорного регулятора напруги:

$$k_{\text{три}} = \frac{U_{\text{ф.н}}}{U_{\text{к max}}}, \quad (2.97)$$

де $U_{\text{к max}}$ – максимальна напруга керування тиристорного регулятора напруги ($U_{\text{к max}} = 10 \text{ В}$).

2.9.3 Моделювання системи електричного привода типу ПЧ-АД

Структурна схема електропривода типу ПЧ-АД зі зворотним зв'язком за швидкістю зображена на рис. 2.10.

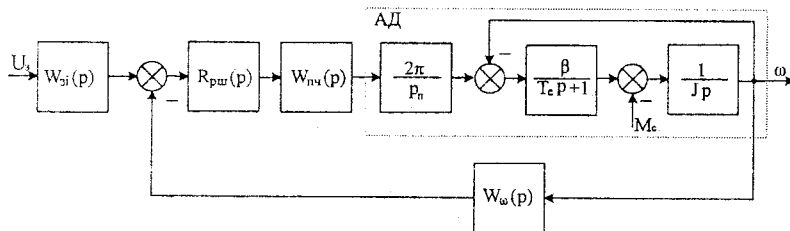


Рисунок 2.10 – Структурна схема електропривода типу ПЧ-АД

Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики АД:

$$\beta = \frac{2 \cdot M_{\text{к}}}{\omega_0 \cdot s_{\text{к}}}, \quad (2.98)$$

де $M_{\text{к}}$ – критичний момент приводного двигуна;

ω_0 – синхронна кутова швидкість приводного двигуна;

$s_{\text{к}}$ – критичне ковзання приводного двигуна.

Електромагнітна стала часу АД:

$$T_c = \frac{1}{\omega_0 \cdot s_{\text{к}}}. \quad (2.99)$$

Передавальна функція перетворювача частоти:

$$W_{\text{пч}}(p) = \frac{k_{\text{пч}}}{T_{\text{пч}} \cdot p + 1}, \quad (2.100)$$

де $k_{\text{пч}}$ – коефіцієнт підсилення перетворювача частоти;

$T_{\text{пч}}$ – стала часу перетворювача частоти ($T_{\text{пч}} \approx 0,001 \dots 0,005 \text{ с}$).

Коефіцієнт підсилення перетворювача частоти:

$$k_{пч} = \frac{f_{\max}}{U_{3 \max}}, \quad (2.101)$$

де f_{\max} – максимальна частота ($f_{\max} = 50$ Гц).

2.10 Розробка принципової схеми електропривода або модифікація типової до власних умов

Схема принципова – схема, що визначає повний склад елементів виробу, спільна дія яких забезпечує вирішення задач керування, регулювання, захисту, вимірювання і сигналізації, а також зв'язків між ними і, як правило, дає детальне уявлення про принципи роботи виробу.

Розробка принципових електричних схем завжди містить елементи творчості і потребує умілого застосування елементарних електричних кіл і типових функціональних вузлів, оптимальної компоновки їх в єдину схему з урахуванням вимог, що висуваються до схем, а також можливого спрощення і мінімізації схем.

2.10.1 Основні принципи побудови принципових електричних схем

У практиці проектування принципових електричних схем, на базі досвіду проектування, монтажу, налагоджування і експлуатації, склалися деякі загальні принципи побудови електричних схем. Електрична схема повинна забезпечувати високу надійність, простоту і економічність, чіткість дій при аварійних режимах, зручність оперативної роботи, експлуатації, чіткість оформлення тощо.

➤ **Надійність.** Під надійністю схеми розуміють її здатність безвідмовно виконувати свої функції протягом певного інтервалу часу у заданих режимах роботи. Ця вимога, зазвичай, забезпечується цілим рядом технічних заходів, таких як застосування найбільш надійних елементів, приладів і апаратів; оптимальні режими їх роботи; резервування малонадійних або найбільш відповідальних елементів чи кіл схеми; автоматичний контроль за несправністю схеми; заборонні блокування, що виключають можливість проведення помилкових операцій; скорочення часу знаходження елементів схеми під напругою тощо.

Якщо при проектуванні забезпеченню надійності дії схеми не буде приділено належної уваги, то усі інші її переваги можуть бути втрачені. Вимоги до рівня надійності електричних схем визначаються оцінкою наслідків їх відмови для технологічного процесу та людей.

➤ **Простота і економічність** проєктованих схем забезпечується застосуванням стандартної елементної бази і типових вузлів; скороченням до мінімуму числа елементів у схемі і обмеженням їх номенклатури тощо.

Істотне, а іноді і вирішальне значення при виборі схеми контролю і керування процесом на відстані має вартість з'єднувальних кабелів або провідників.

Вирішуючи питання економічності схеми, необхідно враховувати не тільки капітальні вкладення, але і щорічні експлуатаційні витрати.

➤ Чіткість дії схеми в аварійних режимах. Кожна принципова електрична схема повинна бути побудована таким чином, щоб при виникненні аварійних режимів, зумовлених несправностями в силових колах, колах керування, сигналізації або захисту, а також при повному зникненні або зниженні і подальшому відновленні напруги живлення забезпечувалася безпека обслуговуючого персоналу і запобігався подальший розвиток аварії.

При аналізованні роботи схеми в аварійних режимах слід враховувати можливість перегорання запобіжників або відключення автоматів; появу короткого замикання або замикання на землю в різних точках схеми; обрив проводів; згорання котушок контакторів або реле; приварювання контактів тощо. Прийнято розглядати аварійний режим, що виникає у результаті появи якої-небудь однієї несправності, оскільки імовірність одночасної появи двох або більше несправностей в одній і тій же схемі досить низька.

➤ Зручність оперативної роботи. Принципова електрична схема повинна забезпечувати оптимальні умови для роботи оперативного персоналу. Цю вимогу передбачає спрощення операцій, які виконує обслуговуючий персонал; скорочення числа органів управління; можливість простого і швидкого вибору необхідного режиму роботи; перехід з автоматичного керування на ручне і назад; зняття і введення блокувальних зв'язків тощо.

➤ Зручність експлуатації. Принципова електрична схема повинна бути спроектована таким чином, щоб її експлуатація у виробничих умовах потребувала мінімуму уваги експлуатаційного персоналу, забезпечувала можливість проведення ремонтних і налагоджувальних робіт з дотриманням необхідних заходів безпеки.

➤ Чіткість оформлення. Оформлення будь-якої електричної схеми необхідно виконувати ясно, просто і компактно. Графічне оформлення схеми повинно сприяти якнайкращому сприйняттю змісту схеми.

2.10.2 Основні правила виконання принципів схем

При виконанні принципів схем необхідно керуватись:

ГОСТ 2.701-84 – «Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению»;

ГОСТ 2.702-75 – «Правила выполнения электрических схем»;

ГОСТ 2.709-89 – «Обозначения условные проводов и контактных соединений электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах»;

ГОСТ 2.710-81 – «Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах»;

ГОСТ 2.721-74 – «Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения»;

ГОСТ 2.722-68 – «Обозначения условные графические в схемах. Ма-

- шины электрические»;
- ГОСТ 2.723-68 – «Обозначения условные графические в схемах. Кабушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители»;
- ГОСТ 2.728-74 – «Обозначения условные графические в схемах. Резисторы, конденсаторы»;
- ГОСТ 2.729-69 – «Обозначения условные графические в схемах. Приборы электроизмерительные»;
- ГОСТ 2.730-73 – «Обозначения условные графические в схемах. Приборы полупроводниковые»;
- ГОСТ 2.737-68 – «Обозначения условные графические в схемах. Устройства связи»;
- ГОСТ 2.755-87 – «Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения»;
- ГОСТ 2.756-76 – «Обозначения условные графические в схемах. Воспринимающая часть электромеханических устройств»;
- ГОСТ 2.743-91 – «Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники»;
- ГОСТ 26.772-85 – «Машины электрические вращающиеся. Обозначения выводов и направление вращения».

Схеми виконуються на стандартних форматах А4...А0 без дотримання просторового масштабу, тобто дійсне просторове розташування складових частин установки не враховують або враховують наближено.

При виконанні схем застосовують умовні графічні позначення, зазначені в стандартах, а також побудовані на їх основі (додаток В).

Умовні графічні позначення елементів зображують на схемі у положенні, в якому вони наведені у відповідних стандартах, або поверненими на кут, кратний 90° , якщо у відповідних стандартах відсутні спеціальні вказівки. Також допускається умовні графічні позначення зображати дзеркально поверненими.

Умовні графічні позначення, що містять цифрові або буквено-цифрові позначення, допускається повертати проти годинникової стрілки тільки на кут 90° .

Графічні позначення на схемах слід виконувати лініями тієї ж товщини, що і лінії зв'язку.

Лінії зв'язку виконують товщиною від 0,2 до 1,0 мм залежно від форматів схеми і розмірів графічних позначень. Рекомендована товщина ліній від 0,3 до 0,4 мм.

Лінії зв'язку повинні складатися з горизонтальних і вертикальних відрізків і мати якнайменшу кількість зломів і взаємних перетинів.

Відстань між двома сусідніми лініями графічного позначення повинна бути не менше 1,0 мм. Відстань між сусідніми паралельними лініями

зв'язку повинна бути не менше 3,0 мм. Відстань між окремими умовними графічними позначеннями повинна бути не менше 2,0 мм.

Біля кожного умовного графічного позначення елемента і пристрою, який входить до складу виробу, повинно бути проставлено його позиційне позначення, яке містить інформацію про його вид (додаток Д) та порядковий номер серед елементів (пристроїв) даного виду.

Порядкові номери елементам (пристроєм) присвоюють, починаючи з одиниці, у межах групи елементів (пристроїв) даного виду. Окрім цього, порядкові номери елементам (пристроєм) присвоюють відповідно до послідовності розташування елементів або пристроїв на схемі зверху вниз у напрямку зліва направо. При необхідності допускається застосовувати послідовність присвоєння порядкових номерів залежно від розміщення елементів у виробі, напрямку проходження сигналів або функціональної послідовності процесу.

Позиційні позначення проставляють на схемі поряд з умовними графічними позначеннями елементів (пристроїв) з правого боку або над ними.

На принциповій схемі зображають усі електричні елементи або пристрої, необхідні для здійснення і контролю заданих електричних процесів, усі електричні зв'язки між ними, а також електричні елементи, якими закінчуються вхідні і вихідні кола.

Всі елементи схеми, як правило, зображають у знеструмленому стані. Однак в технічно обґрунтованих випадках допускається окремі елементи схеми зображати у вибраному робочому положенні з вказанням на полі схеми режиму, для якого зображені ці елементи.

Якщо елементи або пристрої використовуються у виробі частково, то допускається зображати їх на схемі не повністю, обмежуючись тільки зображенням частин або елементів, що використовуються.

При зображенні на одній схемі різних функціональних кіл допускається розрізняти їх за товщиною ліній. На одній схемі рекомендується застосовувати не більше трьох товщин ліній. За необхідності на полі схеми розмішують відповідні пояснення.

Дані про елементи, що входять до складу виробу і зображені на схемі, повинні бути записані до переліку елементів, який оформляється у вигляді таблиці (рис. 2.11).

У графі «Поз. позначення» вказують позиційні позначення елементів, пристроїв або функціональних груп.

У графі «Найменування» для елемента (пристрою) вказують найменування відповідного документа, на підставі якого цей елемент (пристрій) застосований, і позначення цього елемента; для функціональної групи – найменування;

Елементи одного типу з однаковими параметрами, які мають на схемі послідовні порядкові номери, допускається записувати до переліку в один рядок. У цьому випадку в графу «Поз. позначення» записують тільки позиційні позначення з найменшим і найбільшим порядковими номерами, наприклад: R8...R12, а у графу «Кіл.» – загальну кількість таких елементів.

При записуванні елементів, що мають однакову першу частину позиційних позначень, допускається записувати найменування елементів у графі «Найменування» у вигляді загального найменування (заголовка) один раз на кожному листі переліку або записувати у загальному найменуванні позначення документів, на підставі яких ці елементи застосовані.

Запис елементів, що входять до окремого пристрою (функціональної групи), починають з найменування пристрою або функціональної групи, яке записують в графі «Найменування» і підкреслюють. При автоматизованому проектуванні найменування пристрою (функціональної групи) допускається не підкреслювати. Нижче за найменування пристрою (функціональної групи) повинен бути залишений один вільний рядок, вище – не менше як один вільний рядок.

Якщо у схемі виділяють окремі функціональні групи і позиційні позначення елементам присвоюють в межах цих функціональних груп, то до переліку елементи записують окремо за функціональними групами. Запис починається з відповідного заголовка у графі «Найменування» переліку.

Якщо у виробі є декілька однакових пристроїв або функціональних груп, то в переліку вказують кількість елементів, що входять до одного пристрою (функціональної групи). Загальну кількість однакових пристроїв (функціональних груп) вказують в графі «Кіл.» в одному рядку з заголовком.

Якщо на схемі виробу є елементи, що не входять до складу пристроїв (функціональних груп), то при заповненні переліку елементів спочатку записують ці елементи без заголовка, а потім пристрої і функціональні групи з елементами, що входять до них.

3 ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНОВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

При оформленні текстової частини курсового проекту необхідно дотримуватись вимог ГОСТ 2.105-95.

Пояснювальна записка курсового проекту з врахуванням вимог до нормативно-технічних документів має подаватись на аркушах паперу формату А4 з рамками основного надпису форм 2, 2а, причому на всіх аркушах форми 2а, крім номера сторінки пояснювальної записки проекту обов'язково слід вказувати умовне позначення цифру проекту.

Текст пояснювальної записки виконується із застосуванням друкувальних та графічних пристроїв виведення ЕОМ з висотою букв і цифр не менше 2,5 мм, (кегель – № 14), через один інтервал.

Допускається текст оформлювати машинописним (друкарським) чітким шрифтом через 1,5-2 інтервали.

Відступи тексту від рамки: зверху і знизу не менше 10 мм; зліва і справа не менше 3 мм. Абзац – 5 знаків (15 – 17 мм).

3.1 Вимоги до оформлення розділів та підрозділів

Структурними елементами основної частини пояснювальної записки є розділи, підрозділи, пункти, підпункти, переліки.

Розділ – головний ступінь поділу тексту, позначена номером і має заголовок.

Підрозділ – частина розділу, позначена номером і має заголовок.

Пункт – частина розділу чи підрозділу, позначена номером і може мати заголовок.

Підпункт – частина пункту, позначена номером і може мати заголовок.

Заголовки структурних елементів необхідно нумерувати тільки арабськими цифрами з абзацного відступу. Після номера крапку не ставлять, а пропускають один знак.

Розділи нумерують порядковими номерами в межах всього документа (1, 2 і т. д.).

Підрозділи нумерують в межах кожного розділу, пункти в межах підрозділу і т. д. за формою (3.1, 3.2, 3.2.1, 3.2.2, 3.2.2.1 і т. д.).

Кожен розділ рекомендується починати з нової сторінки.

Заголовки розділів, підрозділів, пунктів та підпунктів (при наявності заголовка) записують з абзацу малими буквами починаючи з великої шрифтом з більш високою насиченістю без крапки в кінці. Переноси слів в заголовках не допускаються. Якщо заголовок складається з двох речень, то їх відокремлюють крапкою.

Між заголовком розділу та підрозділу, а також заголовком розділу або підрозділу та текстом повинні бути забезпечені відступи.

Допускається розміщувати текст між заголовками розділу і підрозділу,

між заголовками підрозділу і пункту.

Посилання в тексті на розділі виконується за формою: «...наведено в розділі 3».

В тексті документа може наводитись перелік, який рекомендується нумерувати малими літерами української абетки з дужкою або тире перед текстом. Для подальшої деталізації переліку використовують арабські цифри з дужкою.

Кожну частину переліку записують з абзацу, починаючи з малої букви і закінчуючи крапкою з комою, в кінці останньої ставлять крапку.

3.2 Правила написання тексту

При написанні тексту слід дотримуватися таких правил:

а) текст необхідно викладати обґрунтовано в лаконічному технічному стилі;

б) умовні буквені позначення фізичних величин і умовні графічні позначення компонентів повинні відповідати установленим стандартам. Перед буквеним позначенням фізичної величини повинно бути її пояснення (*резистор R, конденсатор C*);

в) числа з розмірністю слід записувати цифрами, а без розмірності – словами (*відстань – 2 мм, відміряти три рази*);

г) позначення одиниць слід писати в рядок з числовим значенням без перенесення в наступний рядок. Між останньою цифрою числа і позначенням одиниці слід робити пропуск (*100 Вт, 2 А*);

д) якщо наводиться ряд числових значень однієї і тієї ж фізичної величини, то одиницю фізичної величини вказують тільки після останнього числового значення (*1,5; 1,75; 2 мм*);

е) позначення величин з граничними відхиленнями слід записувати так: *100 ± 5 мм*;

ж) буквені позначення одиниць, які входять в добуток, розділяють крапкою на середній лінії (*·*); знак ділення замінюють косою рисою (*/*);

и) порядкові числівники слід записувати цифрами з відмінковими закінченнями (*9-й день, 4-а лінія*); при кількох порядкових числівниках відмінкове закінчення записують після останнього (*3, 4, 5-й графіки*); кількісні числівники записують без відмінкових закінчень (*на 20 аркушах*); не пишуть закінчення в датах (*21 жовтня*) та при римських числах (*XXI століття*);

к) скорочення слів в тексті не допускаються, крім загальноприйнятих в українській мові і установлених в ГОСТ 2.316-68, а також скорочень, які прийняті для надписів на виробі (в тексті вони повинні бути виділені великими літерами: *ON, OFF*), а якщо надпис складається з цифр або знаків, то в лапках. Лапками також виділяють найменування команд, режимів, сигналів («*Запуск*»);

л) не дозволяється:

- допускати професійних або місцевих слів і виразів (техніцизмів);
- після назви місяця писати слово «місяць» (не «в травні місяці», а «в травні»);
- використовувати вирази: «цього року», «минулого року», слід писати конкретну дату «в червні 2001 року»;
- використовувати позначення одиниць фізичних величин без цифр, необхідно писати повністю: «кілька кілограмів» (за винятком оформлення таблиць і формул);
- з'єднувати текст з умовним позначенням фізичних величин за допомогою математичних знаків (не «швидкість = 5 км/год», а «швидкість дорівнює 5 км/год», не «температура дорівнює - 5 °C», а «температура дорівнює мінус 5 °C»);
- використовувати математичні знаки <, >, 0, №, %, sin, cos, tg, log та ін. без цифрових або буквених позначень. В тексті слід писати словами "нуль", "номер", "логарифм" і т. д.;
- використовувати індекси стандартів (ДСТУ, СНІП, СТІП) без реєстраційного номера.

3.3 Оформлення формул

Кожну формулу записують з нового рядка, симетрично до тексту.

Формулу слід виділяти з тексту.

Умовні буквені позначення (символи) в формулі повинні відповідати установленим в стандартах. Їх пояснення наводять в тексті або зразу ж під формулою. Для цього після формули ставлять кому і записують пояснення до кожного символа з нового рядка в тій послідовності, в якій вони наведені у формулі, розділяючи крапкою з комою. Перший рядок повинен починатися з абзацу з слова «де» і без будь-якого знака після нього.

Всі формули нумерують в межах розділу арабськими числами. Номер вказують в круглих дужках з правої сторони, в кінці рядка, на рівні закінчення формули. Номер формули складається з номера розділу і порядкового номера формули в розділі, розділених крапкою. Дозволяється виконувати нумерацію в межах всього документа.

Струм короткого замикання

$$I_{кз} = \frac{U}{R_{я}}, \quad (3.1)$$

де U – напруга прикладена до якоря, В;

$R_{я}$ – опір кола якоря, Ом.

Якщо виникає необхідність зазначити значення параметрів, які входять до складу формули, то це здійснюють так:

$$I_{кз} = \frac{U}{R_я}, \quad (3.2)$$

де U – напруга прикладена до якоря ($U = 220$ В);

$R_я$ – опір кола якоря ($R_я = 3,3$ Ом).

Одиницю вимірювання, при необхідності, беруть в квадратні дужки

$$I_{кз} = \frac{U}{R_я} \text{ [А]}. \quad (3.3)$$

Числову підстановку і розрахунок виконують з нового рядка не нумеруючи. Одиницю вимірювання беруть в круглі дужки. Наприклад,

$$I_{кз} = \frac{220}{100} = 2,2 \text{ (А)}.$$

Розмірність одного й того ж параметра в межах документа повинна бути однаковою.

Якщо формула велика, то її можна переносити в наступні рядки. Перенесення виконують тільки математичними знаками, повторюючи знак на початку наступного рядка. При цьому знак множення « \cdot » замінюють знаком « \times ».

Формула є частиною речення, тому до неї застосовують такі ж правила граматики, як і до інших членів речення. Якщо формула знаходиться в кінці речення, то після неї ставлять крапку. Формули, які йдуть одна за одною і не розділені текстом, відокремлюють комою.

Посилання на формули в тексті дають в круглих дужках за формою: «... в формулі (5.2)»; «... в формулах (5.7, ..., 5.10)».

3.4 Оформлення ілюстрацій

Для пояснення викладеного тексту рекомендується його ілюструвати графіками, кресленнями, фрагментами схем та ін., які можна виконувати чорною тушшю, простим олівцем середньої твердості та комп'ютерною графікою.

Розміщують ілюстрації в тексті пояснювальної записки або в додатках.

В тексті ілюстрацію розміщують симетрично до тексту після першого посилання на неї або на наступній сторінці, якщо на даній вона не уміщується без повороту.

Ілюстрації виділяють з тексту відступами.

Всі ілюстрації в пояснювальній записці називають рисунками і позначають під ілюстрацією симетрично до неї за такою формою: «Рисунок 3.5 – Найменування рисунка». Крапку в кінці не ставлять, знак переносу не використовують. Якщо найменування рисунка довге, то його продовжують у

наступному рядку починаючи від найменування.

На всі ілюстрації в тексті пояснювальної записки мають бути посилання. Посилання виконують за формою: «...показано на рисунку 3.1» або в дужках за текстом (рисунком 3.1), на частину ілюстрації: «...показані на рисунку 3.2, б». Посилання на раніше наведені ілюстрації дають зі скороченим словом «дивись» відповідно в дужках (див. рисунок 1.3).

Нумерують ілюстрації в межах розділів, вказуючи номер розділу і рядковий номер ілюстрації в розділі розділяючи їх крапкою.

Пояснюючі дані розміщують під ілюстрацією над її позначенням.

У випадку, коли ілюстрація складається з частин, їх позначають малими буквами українського алфавіту з дужкою (а), б) під відповідною частиною. В такому випадку після найменування ілюстрації ставлять двокрапку і дають найменування кожної частини за формою:

Рисунок 3.2 – Фазометр: а) – структурна схема; б) – часові діаграми роботи

або за ходом найменування ілюстрації, беручи букви в дужки:

Рисунок 3.2 – Структурна схема (а) і часові діаграми (б) роботи фазометра

Якщо частини ілюстрації не вміщуються на одній сторінці, то їх переносять на наступні сторінки. В цьому випадку під початком ілюстрації вказують повне її позначення, а під її продовженнями позначають «Рисунок 3.2 (продовження)». Пояснюючі дані розміщують під кожною частиною ілюстрації.

Якщо в тексті є посилання на складові частини зображеного засобу, то на відповідній ілюстрації вказують їх порядкові номери в межах ілюстрації.

Якщо ілюстрація є фрагментом повної розробленої схеми, то для всіх компонентів вказують ті позиційні позначення, які вказані на схемі.

Якщо ілюстраціями є фотографії, то останні повинні бути наклеєні на стандартні аркуші білого паперу і позначені як рисунки.

3.5 Оформлення таблиць

Таблицю розміщують симетрично до тексту після першого посилання на даній сторінці або на наступній, якщо на даній вона не уміщується, і таким чином, щоб зручно було її розглядати без повороту або з поворотом на кут 90° проти годинникової стрілки.

ГОСТ 2.105-95 пропонує такий запис таблиці:

Таблиця _____ – _____
(номер) (назва таблиці)

На всі таблиці мають бути посилання за формою: «*наведено в таблиці 3.1*»; «*... в таблицях 3.1 – 3.5*» або в дужках по тексту (*таблиця 3.6*). Посилання на раніше наведену таблицю дають з скороченим словом «*дивись*» (*див. таблицю 2.4*) за ходом чи в кінці речення.

Таблицю розділяють на графи (колонки) і рядки. В верхній частині розміщують головку таблиці, в якій вказують найменування граф. Діагональне ділення головки таблиці не допускається. Ліву графу (боковик) часто використовують для найменування рядків. Допускається не розділяти рядки горизонтальними лініями. Мінімальний розмір між основами рядків – 8 мм. Розміри таблиці визначаються об'ємом матеріалу. Графу «№ п/п» до таблиці не включають. При необхідності нумерації, номери вказують в боковику таблиці перед найменуванням рядка.

Найменування граф може складатися з заголовків і підзаголовків, які записують в однині, симетрично до тексту графи малими буквами, починаючи з великої. Якщо підзаголовок складає одне речення з заголовком, то в цьому випадку його починають з малої букви. В кінці заголовків і підзаголовків граф таблиці крапку не ставлять. Дозволяється заголовки і підзаголовки граф таблиці виконувати через один інтервал.

Якщо всі параметри величин, які наведені в таблиці, мають одну й ту саму одиницю фізичної величини, то над таблицею розміщують її скорочене позначення (*мм*). Якщо ж параметри мають різні одиниці фізичних величин, то позначення одиниць записують в заголовках граф після коми (*Довжина, мм*).

Текст заголовків і підзаголовків граф може бути замінений буквеними позначеннями, якщо тільки вони пояснені в попередньому тексті чи на ілюстраціях (*D – діаметр, H – висота* і т. д.). Однакові буквени позначення групують послідовно в порядку зростання їх індексів, наприклад: (*L1, L2, ...*).

Найменування рядків записують в боковику таблиці у вигляді заголовків в називному відмінку однини, малими буквами, починаючи з великої і з однієї позиції. В кінці заголовків крапку не ставлять. Позначення одиниць фізичних величин вказують в заголовках після коми. Для опису певного інтервалу значень в найменуваннях граф і рядків таблиці можна використовувати слова: «*більше*», «*менше*», «*не більше*», «*не менше*», «*в межах*». Ці слова розміщують після одиниці фізичної величини:

(*Напруга, В, не більше*),

а також використовують слова «*від*», «*більше*», «*до*»:

(*Від 10 до 15; більше 15; до 20*)

Дані, що наводяться в таблиці, можуть бути словесними і числовими. Слова записують в графах з однієї позиції. Якщо рядки таблиці не розділені лініями, то текст, який повторюється і складається з одного слова дозволяється замінювати лапками (""). Якщо текст складається з двох і більше слів, то при першому повторенні його замінюють словами «*те ж*», а далі лапками. При розділенні таблиці горизонтальними лініями – ніякої заміни

не виконують.

Числа записують посередині графі так, щоб їх однакові розряди по всій графі були точно один під одним, за виключенням випадку, коли вказують інтервал. Інтервал вказують від меншого числа до більшого з тире між ними:

$$\begin{array}{c} 12 - 35, \\ 122 - 450. \end{array}$$

Дробові числа наводять у вигляді десяткових дробів, з однаковою кількістю знаків після коми в одній графі. Розміри в дюймах можна записувати у вигляді: $1/2''$, $1/4''$, $1/8''$.

Ставити лапки замість цифр чи математичних символів, які повторюються, не можна. Якщо цифрові чи інші дані в таблиці не наводяться, то ставиться прочерк.

Таблиці нумерують в межах розділів і позначають зліва над таблицею за формою: «Таблиця 4.2 – Найменування таблиці». Крапку в кінці не ставлять. Якщо найменування таблиці довге, то продовжують у наступному рядку починаючи від слова «Таблиця». Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці в розділі, розділених крапкою. Дозволяється нумерувати в межах всього документа.

Таблиця може бути великою як в горизонтальному, так і в вертикальному напрямках, або іншими словами, може мати велику кількість граф і рядків. В таких випадках таблицю розділяють на частини і переносять на інші сторінки або розміщують одну частину під іншою чи поряд.

Якщо частини таблиці розміщують поряд, то в кожній частині повторюють головку таблиці, а при розміщенні однієї частини під іншою – повторюють боковик.

Якщо в кінці сторінки таблиця переривається і її продовження буде на наступній сторінці, в першій частині таблиці нижню горизонтальну лінію, що обмежує таблицю, не проводять.

При перенесенні частин таблиці на інші сторінки повторюють або продовжують найменування граф. Допускається виконувати нумерацію граф на початку таблиці і при перенесенні частин таблиці на наступні сторінки повторювати тільки нумерацію граф.

У всіх випадках найменування (при його наявності) таблиці розміщують тільки над першою частиною, а над іншими частинами зліва пишуть «Продовження таблиці 4.2» без крапки в кінці.

Інші вимоги до виконання таблиць – відповідно до чинних стандартів на технічну документацію.

3.6 Зміст

Зміст розташовують безпосередньо після анотації, починаючи з нової сторінки. До змісту включають: перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів; вступ; послідовно перелічені назви всіх ро-

здійв, підрозділів, пунктів і підпунктів (якщо вони мають заголовки); висновки; рекомендації; літературу; назви додатків і номери сторінок, які містять початок матеріалу.

Зміст за нумерацією пояснювальної записки є третьою сторінкою, на якій для курсового проекту виконують основний надпис за формою 2 (40×185 мм), на наступних – за формою 2а (15×185 мм).

Назви заголовків змісту повинні однозначно відповідати назвам заголовків пояснювальної записки за текстом. Нумерація сторінок повинна бути наскрізною. Форма подання розділів та підрозділів в змісті для курсового проекту показана нижче.

1 Розробка ...

1.1 Варіанти ...

1.1.1 ...

2 Заголовок другого розділу

2.1 Заголовки підрозділів

2.1.1 ...

3 Заголовок третього розділу

3.1 ...

При виконанні курсових проектв обсяг пояснювальної записки враховується до додатків. Якщо додатки підтверджують цінність результату проектування, то обсяг пояснювальної записки з додатками повинен мати наскрізну нумерацію.

3.7 Перелік літературних джерел

Форма запису «Література» відповідає формі запису вступу, основної частини та висновків.

Список містить перелік літературних джерел, на які повинні бути обов'язкові посилання в тексті пояснювальної записки. Література (книги, статті, патенти, журнали, ..) в загальний список записується в порядку посилання на неї в тексті. Посилання на літературу наводять в квадратних дужках [...], вказуючи порядковий номер за списком.

Літературу записують мовою оригіналу. В списку кожен літературу записують з абзацу, нумерують арабськими цифрами, починаючи з одиниці (далі показано).

Таблиця 3.1 – Приклади бібліографічного запису

Вид	Приклад запису
Статті	Марченко Б. Г. Преспективные подходы к созданию систем диагностики электротехнического оборудования / Б. Г. Марченко, М. В. Мыслович // Техническая электродинамика. – 1997. – № 2. – С. 49–52.

Продовження таблиці 3.1

Вид	Приклад запису
Стандарти	Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення: ДСТУ 2389-94. – [Чинний від 01.01.95]. – К. : Держстандарт України, 1994. – 24 с. – (Національний стандарт України).
Монографії	Грабко В. В. Моделі та системи технічної діагностики високовольних вимикачів : монографія / В. В. Грабко, Б. І. Мокін. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 74 с.
Підручники	<p>Зайцев Г. Ф. Теория автоматического управления и регулирования / Зайцев Г. Ф. – [2-е изд.]. – К. : Выща школа, 1989. – 431 с.</p> <p>Чиликин М. Г. Общий курс электропривода : учебник [для вузов] / М. Г Чиликин, А. С. Сандлер. – [6-е изд.]. – М. : Энергоиздат, 1981. – 576 с.</p> <p>Анхимюк В. Л. Теория автоматического управления / Анхимюк В. Л., Опейко О. Ф., Михеев Н. Н. – Мн. : Дизайн ПРО, 2000. – 352 с.</p> <p>Основы технической диагностики : в 2-х книгах / под ред. Пархоменко П. П. – М. : Энергия, 1976. Книга 1 : Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза. – 1976. – 464 с.</p>
Патенти	<p>А. с. 1341621 СССР, МКИ G 05 B 23/02. Устройство для централизованного контроля параметров / Е. М. Антонюк (СССР). – № 4067047/24-24; заявл. 11.05.86; опубл. 30.09.87, Бюл. № 36.</p> <p>Пат. № 24523 Україна. МПК G 06 F 15/00. Пристрій для параметричного діагностування інформаційних систем / Кулік А. С.; Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». – № u200612145; заявл. 20.11.2006; опубл. 10.07.2007, Бюл. № 10.</p>
Електронні ресурси	<p>Micro automation, software & solutions (Logo!, Simatic S7-200, Micro Automation Sets) [Електронний ресурс]. – Siemens AG, 2005. – 2 електрон. опт. диски (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Windows 2000/Windows XP; 32 Mbyte RAM. – Назва з контейнера.</p> <p>Логические модули LOGO! с модулями расширения. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://automation-drives.ru/as/products/microsystems/logo/</p>

3.8 Додатки

Матеріал, що доповнює текст пояснювальної записки, допускається поміщати в додатках. Додатками можуть бути, наприклад, графічний матеріал, таблиці великого формату, розрахунки, описи апаратури і приладів, описи алгоритмів і програм задач, що вирішуються на ЕОМ, тощо.

У тексті пояснювальної записки на всі додатки повинні бути дані посилання. Додатки розташовують у порядку посилань на них у тексті пояснювальної записки, за винятком технічного завдання, яке є першим додатком курсового проекту.

Посилання на додатки в тексті пояснювальної записки дають за формою: «... наведено в додатку А», «... наведено в таблиці В.5» або (додаток Б); (додатки К, Л).

Кожен додаток необхідно починати з нової сторінки, вказуючи зверху посередині рядка слово «Додаток» і через пропуск його позначення. Додатки позначають послідовно великими українськими буквами, за винятком букв Г, Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ь, наприклад, *Додаток А, Додаток Б* і т. д. Якщо додатків більше ніж букв, то продовжують позначати арабськими цифрами. Дозволяється позначати додатки латинськими буквами, за винятком букв І та О.

Під позначенням для обов'язкового додатку пишуть в дужках слово (*обов'язковий*), а для інформативного – (*довідковий*).

Кожен додаток повинен мати тематичний (змістовний) заголовок, який записують посередині рядка малими літерами, починаючи з великої. При наявності основного напису – заголовок записують у відповідній графі.

Ілюстрації, таблиці, формули нумерують в межах кожного додатка, вказуючи його позначення: «*Рисунок Б.3 – Найменування*»; «*Таблиця В.5 – Найменування*» і т. п.

Нумерація аркушів документа і додатків, які входять до його складу, повинна бути наскрізною.

Всі додатки включають до змісту, вказуючи номер, заголовок і сторінки, з яких вони починаються.

В окремих дисциплінах допускається принципові електричні, структурні, функціональні, монтажні схеми підшивати в записку як обов'язкові додатки. В цьому випадку перед схемою в записці розміщується окремий аркуш формату А4 з надписом в верхній частині посередині поля «*Додаток Б (обов'язковий)*», а в середній частині аркуша пишеться назва схеми.

ЛІТЕРАТУРА

1. Андреев В. П. Основы электропривода / В. П. Андреев, Ю. А. Сабинин. – [2-е изд., перераб.]. – М.-Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 722 с.
2. Москаленко В. В. Электрический привод / Москаленко В. В. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.
3. Онищенко Г. Б. Электрический привод / Онищенко Г. Б. – [2-е изд., стер.]. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 288 с.
4. Овсянников Е. М. Электрический привод : учебник / Овсянников Е. М. – М. : ФОРУМ, 2011. – 224 с.
5. Елифонов А. П. Основы электропривода : учебное пособие / Елифонов А. П. – СПб. : Издательство «Лань», 2008. – 192 с.
6. Фролов Ю. М. Основы электрического привода. Краткий курс / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин. – М. : КолосС, 2007. – 252 с.
7. Чиликин М. Г. Общий курс электропривода / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – М. : Энергоиздат, 1981. – 576 с.
8. Ключев В. И. Теория электропривода / Ключев В. И. – М. : Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
9. Фираго Б. И. Теория электропривода / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – Мн. : ЗАО «Техноперспектива», 2004. – 527 с.
10. Драчев Г. И. Теория электропривода : учебное пособие к курсовому проектированию для студентов заочного обучения спец. 180400 / Драчев Г. И. – [2-е изд., доп.]. – Челябинск : Изд. ЮУрГУ, 2002. – 137 с.
11. Кузнецов В. Б. Выбор электродвигателей к производственным механизмам / Кузнецов В. Б. – Мн. : Беларусь, 1984. – 80 с.
12. Ключев В. И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов / В. И. Ключев, В. М. Терехов. – М. : Энергия, 1980. – 360 с.
13. Волотковский С. А. Типовой электропривод промышленных установок / Волотковский С. А., Емец В. И., Козло В. К. – К. : Вища школа, 1983. – 312 с.
14. Гаврилюк В. А. Теорія електричного привода в запитаннях і відповідях / Гаврилюк В. А. – К. : Вища школа, 1974. – 256 с.
15. Півняк Г. Г. Сучасні частотно-регульовані асинхронні електроприводи з широтно-імпульсною модуляцією : монографія / Г. Г. Півняк, О. В. Волков. – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2006. – 470 с.
16. Преобразователи частоты. Основы выбора и подбора [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
http://powergroup.com.ua/vibor_preobrazovatelja_chastoti.
17. Комплектные тиристорные электроприводы постоянного тока КТЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://www.zpr.com.ua/chernaya-metallurgiya/seriya-komplektnix-tiristomix-elektroprivodov-postoyannogo-toka-kte-iv-go-pokoleniya/flypage.tpl.html>.

18. Тиристорный регулятор напряжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.ecoteco.ru/id658/>.
19. Устройства плавного пуска электродвигателей [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.svaltera.ua/?inc=prod/privod&content=privod1>.
20. Преобразователи частоты Siemens Micromaster 440. Режим доступа:
<http://progressavtomatika.ru/siemens-micromaster-mm-440.php>.
21. Преобразователи частоты Siemens Micromaster 440 [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
http://novitech.com.ua/ru/produkcija/preobrazovateli_chastoti/siemens_micromaster_440.html.
22. Системы управления электроприводами / [Голубь А. П., Кузнецов Б. И., Опрышко И. А., Соляник В. П.]; под ред. В. П. Соляника. – К. : УМК ВО, 1992. – 376 с.
23. Черных И. В. Моделирование электромеханических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / Черных И. В. – М. : ДМК Пресс; СПб. : Питер, 2008. – 288 с.
24. Моделювання електромеханічних систем : підручник / [Чорний О. П., Луговий А. В., Родькін Д. Й., Сисук Г. Ю., Садовой О. В]. – Кременчук, 2001. – 410 с.
25. Каминский Е. А. Практические приемы чтения схем электроустановок / Каминский Е. А. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 368 с.

ГЛОСАРІЙ

Виконавчий орган	executive body
Виробничий механізм	production mechanism
Витрати	costs
Динамічний момент	dynamic moment
Діапазон регулювання	control range
Електрична машина	electric machine
Електропривод	electric drive
Зворотний зв'язок	feedback
Кутова швидкість	angular velocity
Лінійна швидкість	linear velocity
Механічна характеристика	mechanical characteristics
Навантажувальна діаграма	loading diagram
Напруга	voltage
Перевантажувальна здатність	handling capacity
Передавальна функція	transfer function
Перетворювальний агрегат	converting unit
Перетворювач частоти	frequency converter
Перехідний процес	transition process
Потужність	power
Приводний двигун	drive motor
Принципова схема	schematic diagram
Робоча машина	working machine
Силовий перетворювач	power converter
Система керування	management system
Статичний момент	static moment
Структурна схема	block diagram
Струм	current
Тахограма	tachogram
Тиристорний перетворювач	thyristor converter
Тиристорний регулятор напруги	thyristor voltage regulator
Формула	formula

Додаток А

Завдання на проектування

Розрахувати електропривод виробничого механізму із заданою діаграмою навантаження, кінематична схема якого зображена на рис. А.1.

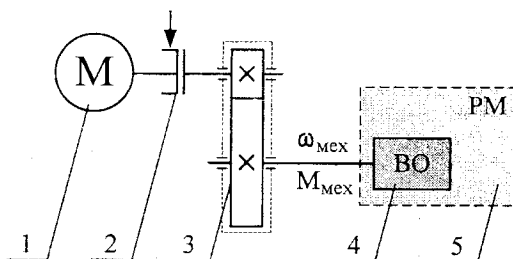


Рисунок А.1 – Кінематична схема виробничого механізму

На кінематичній схемі: 1 – приводний двигун; 2 – гальмівний шків; 3 – редуктор; 4 – виконавчий орган; 5 – робоча машина

Таблиця А.1 – Вихідні дані (механічна частина)

Варіант	Параметри механічної частини					
	$J_{\text{гш}}^2$ кг·м ²	$J_{\text{ред}}^2$ кг·м ²	$J_{\text{мех}}^2$ кг·м ²	$i_{\text{ред}}$	$\eta_{\text{ред}}$	$\epsilon_{\text{мех}}$ рад/с ²
1	0,1	0,1	10,1		0,95	2,25
2	0,12	0,15	13,5		0,9	3,1
3	0,14	0,2	6,5		0,86	3,12
4	0,11	0,18	5,5		0,89	4,1
5	0,13	0,16	5,9		0,91	3,21
6	0,17	0,19	7,2		0,88	2,9
7	0,15	0,21	8,1		0,82	3,23
8	0,2	0,25	9,5		0,84	3,3
9	0,16	0,18	8,7		0,86	2,8
10	0,18	0,19	12,2		0,88	2,7

Передаточне число редуктора вибрати самостійно із стандартного ряду: 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 45; 50; 56; 63; 80; 100; 125; 160; 200.

Таблиця А.2 – Вихідні дані (тахограма виконавчого органу робочої машини)

Варіант		Кутові швидкості виконавчого органу робочої машини, с ⁻¹								
		$\omega_{\text{в01}}$	$\omega_{\text{в02}}$	$\omega_{\text{в03}}$	$\omega_{\text{в04}}$	$\omega_{\text{в05}}$	$\omega_{\text{в06}}$	$\omega_{\text{в07}}$	$\omega_{\text{в08}}$	$\omega_{\text{в09}}$
I	1	4,6	4,6	3,75	3,75	4,2	0	4,6	4,6	3,75
	2	7,4	6,9	6,9	7,1	2,1	0	7,4	6,9	6,9
	3	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	0	5,5	5,5	5,5
	4	8,1	3,5	3,5	8,0	8,0	0	8,1	3,5	3,5
	5	6,5	6,5	6,5	6,2	5,8	0	6,5	6,5	6,5
II	6	5,5	0	5,5	5,5	5,5	0	5,5	0	5,5
	7	3,3	0	2,7	2,5	3,3	0	3,3	0	2,7
	8	2,8	0	3,4	3,7	2,5	0	2,8	0	3,4
	9	4,5	0	4,5	2,5	3,5	0	4,5	0	4,5
	10	2,5	0	3,1	4,5	5,5	0	2,5	0	3,1
III	11	1,5	1,5	0	5,5	5,5	5,5	0	1,5	1,5
	12	2,5	1,5	0	6,1	6,1	6,1	0	2,5	1,5
	13	3,1	4,2	0	7,7	7,7	7,7	0	3,1	4,2
	14	6,1	6,1	0	1,1	5,2	5,2	0	6,1	6,1
	15	2,2	2,2	0	6,1	6,1	1,1	0	2,2	2,2
IV	16	4,2	4,2	4,15	4,1	0	4,2	4,2	4,15	4,1
	17	6,1	6,1	2,1	1,8	0	6,1	6,1	2,1	1,8
	18	5,5	2,1	2,1	3,2	0	5,5	2,1	2,1	3,2
	19	6,2	6,2	1,1	1,1	0	6,2	6,2	1,1	1,1
	20	7,1	5,1	6,1	1,5	0	7,1	5,1	6,1	1,5

Таблиця А.3 – Вихідні дані (моменти навантаження)

Варіант		Моменти навантаження виконавчого органу робочої машини. Н·м								
		M _{Мех1}	M _{Мех2}	M _{Мех3}	M _{Мех4}	M _{Мех5}	M _{Мех6}	M _{Мех7}	M _{Мех8}	M _{Мех9}
I	1	500	350	1000	250	600	0	500	350	1000
	2	200	250	250	190	100	0	200	250	250
	3	420	550	410	200	350	0	420	550	410
	4	1520	1800	1750	1700	1650	0	1520	1800	1750
	5	1060	1080	1000	1050	1050	0	1060	1080	1000
II	6	800	0	1500	2010	800	0	800	0	1500
	7	640	0	1350	1550	640	0	640	0	1350
	8	150	0	280	170	110	0	150	0	280
	9	420	0	645	740	420	0	420	0	645
	10	750	0	880	650	750	0	750	0	880
III	11	160	240	0	140	100	200	0	160	240
	12	850	110	0	560	900	590	0	850	110
	13	750	1150	0	880	1000	680	0	750	1150
	14	80	150	0	90	50	70	0	80	150
	15	960	1350	0	900	1400	86	0	960	1350
IV	16	450	490	310	110	0	450	490	310	110
	17	1560	1750	1650	1140	0	1560	1750	1650	1140
	18	740	650	950	540	0	740	650	950	540
	19	50	60	45	55	0	50	60	45	55
	20	760	1400	1100	540	0	760	1400	1100	540

Таблиця А.4 – Вихідні дані (час роботи)

Варіант		Час роботи на окремих ділянках навантаження, с								
		t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉
I	1	40	50	30	45	90	265	40	50	30
	2	10	50	40	65	15	240	10	50	40
	3	30	40	10	80	30	300	30	40	10
	4	30	20	70	25	25	350	30	20	70
	5	50	30	140	15	20	290	50	30	140
II	6	40	90	60	30	110	150	40	90	60
	7	30	10	50	40	35	240	30	10	50
	8	15	65	80	20	30	210	15	65	80
	9	10	20	10	50	30	150	10	20	10
	10	25	80	10	20	45	160	25	80	10
III	11	20	10	40	60	10	24	140	20	10
	12	15	30	42	68	44	2	160	15	30
	13	10	60	80	20	41	62	120	10	60
	14	10	5	15	40	20	10	140	10	5
	15	12	20	5	80	20	16	220	12	20
IV	16	10	6	20	80	160	10	6	20	80
	17	30	10	15	50	110	30	10	15	50
	18	10	13	10	40	95	10	13	10	40
	19	30	10	5	40	150	30	10	5	40
	20	12	50	10	40	170	12	50	10	40

Додаток Б
Технічні характеристики приводних двигунів

Таблиця Б.1 – Технічні дані двигунів серії Д (режим S3, ТВ = 40 %)

Тип	Збудження									n_{\max} об/хв	I_n кг·м ²	Максимальний обертовий момент, Н·м		
	Послідовне			Змішане			Паралельне					послі- довне	змішане	парале- льне
	$R_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$n_{ном}$ об/хв	$R_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$n_{ном}$ об/хв	$R_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$n_{ном}$ об/хв					
Тихохідні, напруга 220 В														
Д12	2,5	16	1100	2,5	15	1175	2,5	14,6	1140	3600	0,05	86	71	63
Д21	4,5	28	900	4,5	27	1050	4,5	26	1000	3600	0,125	191	143	128
Д22	6	36,5	850	6	34	1050	6	33	1070	3600	0,155	270	191	161
Д31	8	46,5	800	8	44,5	870	8	44	820	3600	0,3	382	307	280
Д32	12	69	675	12	66	780	12	65	740	3300	0,43	675	514	466
Д41	16	89	650	16	86,5	700	16	86	670	3000	0,8	930	765	686
Д806	22	120	575	22	116	650	22	116	635	2600	1	1430	1130	981
Д808	37	200	525	37	192	575	37	192	565	2300	2	2650	2150	1860
Д810	55	290	500	–	–	–	55	280	540	2200	3,63	4210	3300	2880
Д812	75	390	475	–	–	–	75	380	500	1900	7	6030	4850	4260
Д814	110	565	460	–	–	–	110	550	490	1700	10,25	9100	7350	6420
Д816	150	760	450	–	–	–	150	740	470	1600	16,25	12750	10400	9120

Продовження таблиці Б.1

Тип	Збудження									$n_{\text{пвх.}}$ об/хв	$J_{\text{д.}}$ кг·м ²	Максимальний обертовий момент, Н·м		
	Послідовне			Змішане			Паралельне					послі- довне	змішане	парале- льне
	$P_{\text{ном.}}$ кВт	$I_{\text{дном.}}$ А	$n_{\text{ном.}}$ об/хв	$P_{\text{ном.}}$ кВт	$I_{\text{дном.}}$ А	$n_{\text{ном.}}$ об/хв	$P_{\text{ном.}}$ кВт	$I_{\text{дном.}}$ А	$n_{\text{ном.}}$ об/хв					
Д818	155	935	410				185	920	440	1500	27,5	17150	14400	12050
Швидкохідні, напруга 220 В														
Д21	5,5	33	1200	5,5	31,5	1450	5,5	31	1400	3600	0,5	176	127	113
Д22	8	46	1200	8	44	1390	8,0	43,5	1510	3600	0,62	255	193	157
Д31	12	67	1100	12	65	1280	12,8	64	1360	3600	1,2	412	313	255
Д32	18	98	960	18	95	1100	18,0	94	1190	3300	1,7	715	548	451
Д41	24	130	970	24	125	1120	24,0	124	1100	3000	3,2	940	715	648
Д806	32	170	900	32	165	980	32,0	165	1000	2600	4	1320	1090	930
Д808	47	250	720	47	240	800	47,0	240	800	2300	8	2450	1960	1715
Тихохідні, напруга 440 В														
Д21	4	13	1050	4	12,5	1240	4,0	12	1200	3600	0,125	116	86	76
Д31	6,7	19,5	800	6,7	19	850	6,7	19	860	3600	0,8	265	213	176
Д41	15	43	660	15	40	710	15	40	695	3000	0,3	696	656	490
Д808	37	100	525	-	-	-	37	96	565	2300	2	2150	1800	1470
Д810	55	145	510	-	-	-	55	140	550	2200	3,63	3280	-	2250

Продовження таблиці Б.1

Тип	Збудження									n_{max} об/хв	$J_{\text{я}}$ кг·м ²	Максимальний обертовий момент, Н·м		
	Послідовне			Змішане			Паралельне					послі- довне	змішане	парале- льне
	$P_{\text{ном}}$ кВт	$I_{\text{яном}}$ А	$n_{\text{ном}}$ об/хв	$P_{\text{ном}}$ кВт	$I_{\text{яном}}$ А	$n_{\text{ном}}$ об/хв	$P_{\text{ном}}$ кВт	$I_{\text{яном}}$ А	$n_{\text{ном}}$ об/хв					
Д812	70	180	500	–	–	–	70	176	510	1900	7	4260	–	3130
Д814	110	280	460	–	–	–	110	274	490	1700	10,25	7300	–	5150
Д816	150	380	460	–	–	–	150	370	480	1600	16,25	9810	–	7150
Д818	185	467	410	–	–	–	185	460	440	1500	27,5	13700	–	9600
Швидкохідні, напруга 440 В														
Д22	7	20,5	1180	7	20	1420	7	19,5	1420	3600	0,155	181	132	113
Д32	17	47	970	17	45	1150	17	45	1150	3300	0,43	534	415	338
Д805	32	85	900	–	–	–	32	82	980	2600	1	1075	900	745

Таблиця Б.2 – Технічні дані АД з КЗ ротором серій МТКФ та МТКН (50 Гц, 220/380 В, S3, ТВ = 40 %)

Тип двигуна	P _{ном} , кВт	n _{ном} , об/хв	cosφ _{ном}	η _{ном} , %	M _{max} , Н·м	M _{пуск} , Н·м	I _{пуск} при 380 В, А	Статор				Ротор		J _p , кг·м ²
								I _{лв} , А	I _{хв} , А	R ₁ , Ом	X ₁ , Ом	R' ₂ , Ом	X' ₂ , Ом	
МТКФ-011-6	1,4	875	0,66	61,5	42	42	15	5,2	4,17	5,78	3,6	7,45	3,17	0,02
МТКФ-012-6	2,2	880	0,69	67	67	67	22	7,2	5,3	3,63	2,51	5,38	2,32	0,0275
МТКФ-111-6	3,5	885	0,79	72	105	104	35	9,4	7,3	2,1	2,45	2,34	2,76	0,045
МТКФ-112-6	5	895	0,74	74	175	175	53	13,8	9,6	1,28	1,74	2,17	2,06	0,065
МТКФ-211-6	7,5	880	0,77	75,5	220	210	78	19,5	11,65	0,755	1,05	1,62	1,02	0,11
МТКФ-311-6	11	910	0,76	77,5	390	380	130	28,5	19,3	0,48	0,645	0,8	0,555	0,213
МТКФ-312-6	15	930	0,78	81	600	590	205	36	29,8	0,268	0,334	0,477	0,356	0,3
МТКФ-411-6	22	935	0,79	82,5	780	720	275	51	16,4	0,197	0,287	1,01	0,645	0,475
МТКФ-412-6	30	935	0,78	83,5	1000	950	380	70	27,7	0,124	0,197	0,64	0,42	0,638
МТКФ-311-8	7,5	690	0,71	73,5	330	320	95	21,8	31,3	0,8	1,08	0,327	0,348	0,275
МТКФ-312-8	11	700	0,74	78	510	470	150	29	42,1	0,45	0,666	0,236	0,251	0,388
МТКФ-411-8	15	695	0,71	80	670	650	185	40	25,4	0,327	0,53	0,503	0,409	0,538
МТКФ-412-8	22	700	0,69	80,5	1000	950	295	60	43,3	0,182	0,313	0,325	0,278	0,75
МТКН-111-6	3	910	0,70	68	99	98	32	9,5	7,3	2,25	2,45	2,34	2,7	0,045
МТКН-112-6	4,5	900	0,75	71,5	158	157	50	12,7	8,8	1,67	1,88	2,17	2,06	0,065
МТКН-211-6	7	895	0,70	73	230	220	88	20,8	14,4	0,835	0,88	1,4	0,88	0,11
МТКН-311-6	11	910	0,76	77,5	390	380	130	28,5	19,3	0,51	0,645	0,8	0,555	0,213
МТКН-312-6	15	930	0,78	81	600	590	205	36	30,3	0,337	0,431	0,478	0,356	0,3

Продовження таблиці Б.2

Тип двигуна	$P_{ном.}$ кВт	$P_{ном.}$ об/хв	$\cos\varphi_{ном}$	$\eta_{ном.}$ %	$M_{макс.}$ Н·м	$M_{пуск.}$ Н·м	$I_{пуск.}$ при 380 В, А	Статор				Ротор		$J_p,$ кг·м ²
								$I_{1в},$ А	$I_{кк},$ А	$R_1,$ Ом	$X_1,$ Ом	$R'_2,$ Ом	$X'_2,$ Ом	
МТКН-411-6	22	935	0,79	82,5	780	720	275	51	16,4	0,219	0,271	1,01	0,645	0,475
МТКН-412-6	30	935	0,78	83,5	1000	950	380	70	27,7	0,133	0,197	0,64	0,42	0,638
МТКН-311-8	7,5	690	0,71	73,5	330	320	95	21,8	30,8	0,875	1,08	0,328	0,346	0,275
МТКН-312-8	11	700	0,74	78	510	470	150	29	41,5	0,51	0,666	0,236	0,25	0,388
МТКН-411-8	15	695	0,71	80	670	650	185	40	25,5	0,352	0,507	0,507	0,409	0,538
МТКН-412-8	22	700	0,69	80,5	1000	950	295	60	43,3	0,202	0,313	0,325	0,27	0,75
МТКН-511-8	28	695	0,77	83	1150	1150	336	67	38,8	0,164	0,232	0,307	0,464	1,075
МТКН-512-8	37	695	0,78	83	1500	1420	460	87	45	0,103	0,172	0,237	0,366	1,425

Примітка. В таблиці Б.2 значення опорів R_1 та R'_2 наведені в нагрітому стані.

Таблиця Б.3 – Технічні дані АД з ФР серій МТФ та МТН (50 Гц, 220/380 В, S3, ТВ = 40 %)

Тип двигуна	Р _{ном} , кВт	Ц _{ном} , об/хв	cosφ _{ном}	Ц _{ном} , %	M _{макс} , Н·м	Статор			Ротор			J _p , кг·м ²
						I _{пуск} при 380 В, А	R ₁ , Ом	X ₁ , Ом	I _{2н} , А	R' ₂ , Ом	X' ₂ , Ом	
МТФ 011-6	1,4	885	0,65	61,5	40	5,3	5,78	3,60	9,1	0,77	0,566	0,0213
МТФ 012-6	2,2	890	0,68	64	57	7,6	3,63	2,51	11,5	0,745	0,59	0,0288
МТФ 111-6	3,5	895	0,73	70	87	10,4	2,10	2,45	15,0	0,600	0,76	0,0488
МТФ 112-6	5	930	0,7	75	140	14,4	1,28	1,74	15,7	0,50	0,905	0,0675
МТФ 211-6	7,5	930	0,7	77	195	21	0,755	1,05	19,8	0,485	0,855	0,115
МТФ 311-6	11	945	0,69	79	320	30,5	0,48	0,645	42,0	0,111	0,241	0,225
МТФ 312-6	15	955	0,73	82	480	38	0,268	0,334	46,0	0,107	0,244	0,313
МТФ 411-6	22	965	0,73	83,5	650	55	0,197	0,287	60,0	0,076	0,236	0,5
МТФ 412-6	30	970	0,71	85,5	950	75	0,124	0,197	73,0	0,055	0,173	0,675
МТФ 311-8	7,5	695	0,68	73	270	22,8	0,80	1,08	21,0	0,455	0,775	0,275
МТФ 312-8	11	705	0,71	77	430	30,5	0,45	0,666	43,0	0,13	0,29	0,388
МТФ 411-8	15	710	0,67	81	580	42	0,327	0,53	48,8	0,117	0,26	0,538
МТФ 412-8	22	720	0,63	82	900	65	0,182	0,313	57,0	0,095	0,231	0,75
МТН 111-6	3	895	0,67	65	85	10,5	2,25	2,45	13,2	0,775	0,829	0,0488
МТН 112-6	4,5	910	0,71	69	120	13,9	1,67	1,88	15,6	0,505	0,905	0,115
МТН 211-6	7	920	0,64	73	200	22,5	0,835	0,88	19,5	0,466	0,666	0,225
МТН 311-6	11	940	0,69	78	320	30,5	0,510	0,645	42	0,124	0,241	0,313
МТН 312-6	15	950	0,73	81	480	38	0,337	0,431	46	0,125	0,254	0,5

Продовження таблиці Б.3


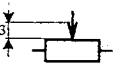
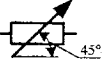







Тип двигуна	$P_{ном}$ кВт	$n_{ном}$ об/хв	$\cos\varphi_{ном}$	$\eta_{ном}$ %	M_{max} Нм	Статор			Ротор			J_p кг·м ²
						$I_{пуск}$ при 380 В, А	R_1 , Ом	X_1 , Ом	I_2 , А	R'_2 , Ом	X'_2 , Ом	
МТН 411-6	22	960	0,73	82,5	650	55	0,219	0,271	60	0,08	0,233	0,675
МТН 412-6	30	965	0,71	84,5	950	75	0,133	0,197	73	0,059	0,173	1,018
МТН 512-6	55	960	0,79	88	1660	120	0,065	0,161	105	0,050	0,197	3,275
МТН 611-6	75	950	0,85	87	2660	154	0,049	0,133	180	0,028	0,096	4,125
МТН 612-6	95	960	0,85	88	3650	193	0,023	0,09	176	0,033	0,065	5,01
МТН 613-6	118	965	0,84	90	4750	237	0,020	0,064	160	0,038	0,050	0,275
МТН 311-8	7,5	690	0,68	71,5	270	22,8	0,87	1,08	21	0,44	0,775	0,313
МТН 312-8	11	700	0,69	78	430	30,5	0,510	0,666	43	0,132	0,29	0,538
МТН 411-8	15	705	0,67	79	580	42	0,352	0,507	48,8	0,125	0,245	0,75
МТН 412-8	22	715	0,63	80,5	900	65	0,202	0,313	57	0,102	0,231	1,075
МТН 511-8	28	705	0,72	83	1020	71	0,164	0,232	64	0,124	0,448	0,425
МТН 512-8	37	705	0,74	85	1400	89	0,103	0,172	77	0,091	0,356	4,25
МТН 611-10	45	570	0,72	84	2360	112	0,086	0,18	154	0,027	0,176	5,25
МТН 612-10	60	565	0,78	85	3200	147	0,06	0,136	154	0,033	0,133	6,25
МТН 613-10	75	575	0,72	88	4200	180	0,042	0,102	145	0,038	0,099	10,25
МТН 711-10	100	584	0,69	89,5	4650	246	0,0255	0,078	233	0,017	0,077	12,75
МТН 712-10	125	585	0,7	90,3	5800	300	0,0202	0,064	237	0,019	0,091	12,75
МТН 713-10	160	586	0,68	91	7450	392	0,0135	0,048	244	0,021	0,109	15

Примітка. В таблиці Б.3 значення опорів R_1 та R'_2 наведені в нагрітому стані.






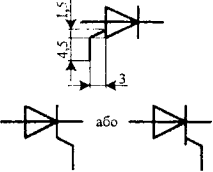
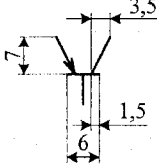




Додаток В

Умовні графічні позначення елементів схем


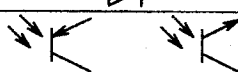
Таблиця В.1 – Графічні позначення елементів згідно з ГОСТ 728-74 (резистори, конденсатори)

Опис	Графічне позначення
Резистор постійний	
<p>Резистор змінний</p> <p>Примітка: для змінного резистора у реостатному ввімкненні допускається використовувати таке позначення:</p> <p>1) загальне позначення</p> <p>2) з нелінійним регулюванням</p>	  
Шунт вимірювальний	
<p>Конденсатор постійної ємності</p> <p>Примітка: для вказання полярності конденсатора використовують позначення</p>	 
Конденсатор змінної ємності	
Конденсатор електролітичний поляризований	
Конденсатор електролітичний неполяризований	

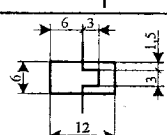
Таблиця В.2 – Графічні позначення елементів згідно з ГОСТ 2.730-73 (прилади напівпровідникові)

Опис	Графічне позначення
Діод	
Тунельний діод	
Стабілітрон: 1) односторонній 2) двосторонній	
Варікап	
Діод Шоткі	
Тиристор тріодний, який запирається в зворотному напрямку: 1) з управлінням за анодом 2) з управлінням за катодом	
Транзистор PNP <i>Примітка.</i> Допускається позначення транзисторів зображати в дзеркальному положенні	
Транзистор NPN	
Транзистор польовий	
Транзистор польовий з ізолюваним затвором	
Фоторезистор	


Продовження таблиці В.2

Опис	Графічне позначення
Фотодіод	
Фототранзистор (PNP та NPN відповідно):	



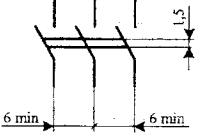
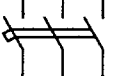
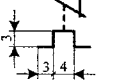
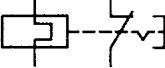

Таблиця В.3 – Графічні позначення елементів згідно з ГОСТ 2.756-76 (сприймальна частина електромеханічних пристроїв)

Опис	Графічне позначення
Котушка електромагнітного пристрою	
Котушка електромеханічного пристрою трифазного струму	
Котушка електромеханічного пристрою з додатковим графічним полем (у додатковому полі вказують уточнювальні дані електромеханічного пристрою)	
Котушка електромеханічного пристрою з зазначенням виду обмотки:	
1) обмотка струму	
2) обмотка напруги	
3) обмотка максимального струму	
4) обмотка мінімальної напруги	
Котушка поляризованого електромеханічного пристрою	
Сприймальна частина електротеплового реле	

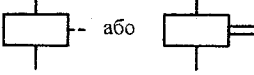
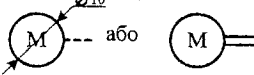
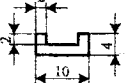
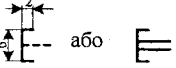
Таблиця В.4 – Графічні позначення елементів згідно з ГОСТ 2.755-87 (пристрої комутаційні і контактні з'єднання)

Опис	Графічне позначення
Нормально розімкнутий контакт комутаційного пристрою	
Нормально замкнутий контакт комутаційного пристрою	
Контакт комутаційного пристрою, який забезпечує переключення	
Контакт комутаційного пристрою, який забезпечує переключення із нейтральним центральним положенням	
Контакт комутаційного пристрою, який забезпечує переключення без розмикання кола	
Нормально розімкнутий контакт, який замикається з витримкою часу при спрацюванні	
Нормально розімкнутий контакт, який замикається з витримкою часу при поверненні	
Нормально розімкнутий контакт, який замикається з витримкою часу при спрацюванні і поверненні	
Нормально замкнутий контакт, який розмикається з витримкою часу при спрацюванні	
Нормально замкнутий контакт, який розмикається з витримкою часу при поверненні	
Нормально замкнутий контакт, який розмикається з витримкою часу при спрацюванні і поверненні	

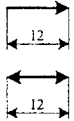
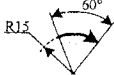
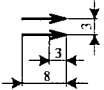
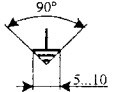
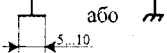
Продовження таблиці В.4

Опис	Графічне позначення
Вимикач кнопковий нажимний з нормально розімкнутим контактом	
Вимикач кнопковий нажимний з нормально замкнутим контактом	
Вимикач триполосний	
Вимикач триполосний з автоматичним спрацюванням максимального струму	
Контакт електротеплового реле при рознесеному способі зображення	
Реле електротеплове без самоповернення	
Контакт кінцевого вимикача	

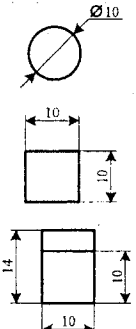
Таблиця В.5 – Графічні позначення елементів згідно з ГОСТ 2.721-74 (позначення загального застосування)

Опис	Графічне позначення
Електромагнітний привод	
Електромашинний привод	
Магніт постійний	
Привод ручний, який приводиться в рух натисненням кнопки	

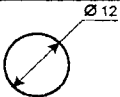
Продовження таблиці В.5

Опис	Графічне позначення
Рух прямолінійний: 1) односторонній 2) з поверненням	
Обертальний рух	
Зв'язок оптичний	
Заземлення (загальне позначення)	
Електричне з'єднання з корпусом	

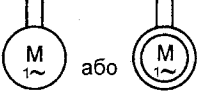


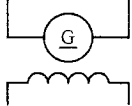
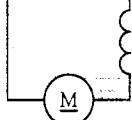
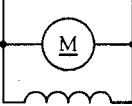
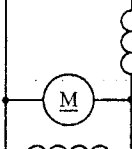

Таблиця В.6 – Графічні позначення елементів згідно з ГОСТ 2.729-68 (прилади електровимірювальні)

Опис	Графічне позначення
Прилад електровимірювальний: 1) показувальний 2) реєструвальний 3) інтегрувальний (лічильник електричної енергії)	

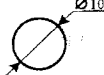
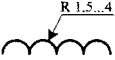
Таблиця В.7 – Графічні позначення елементів згідно з ГОСТ 2.722-68 (електричні машини)

Опис	Графічне позначення
<p>Машина електрична. Загальне позначення</p> <p>Примітка: усередині кола дозволяється вказувати такі дані: а) рід машини (генератор – G, двигун – M, генератор синхронний – GS, двигун синхр. – MS, сельсин – ZZ, перетворювач – C); б) рід струму, число фаз або вид з'єднання обмоток</p>	
Обмотка електричної машини	
Обмотка додаткового полюса	
Обмотка компенсаційна	
Обмотка статора машини змінного струму, обмотка послідовного збудження машини постійного струму	
Обмотка паралельного (незалежного) збудження машини постійного струму	
Статор електричної машини	
<p>Ротор електричної машини:</p> <p>1) коротко замкнутий; 2) з явно вираженими полюсами (явнополюсний) з прорізами по колу; 3) явнополюсний з постійним магнітом</p>	
Двигун асинхронний з фазним ротором	
Двигун асинхронний з КЗ ротором	



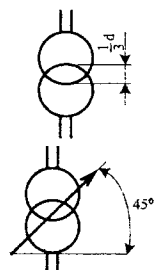
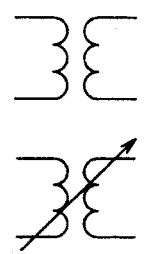
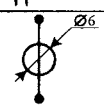

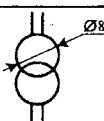
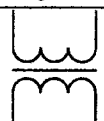
Продовження таблиці В.7

Опис	Графічне позначення
Двигун асинхронний однофазний з КЗ ротором	
Двигун лінійний	
Двигун кроковий	
Машина постійного струму з незалежним збудженням	
Машина постійного струму з послідовним збудженням	
Машина постійного струму з паралельним збудженням	
Машина постійного струму зі змішаним збудженням	
Машина постійного струму зі збудженням від постійних магнітів	

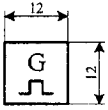












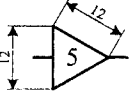
Таблиця В.8 – Графічні позначення елементів згідно з ГОСТ 2.723-68 (котушки індуктивності, дроселі, трансформатори)

Опис	Графічне позначення	
	форма I	форма II
Обмотка трансформатора (силового), автотрансформатора, дроселя і магнітного підсилювача		

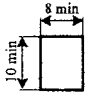


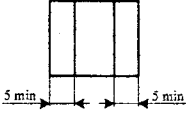
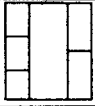
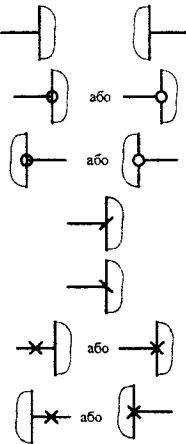
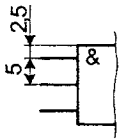
Продовження таблиці В.8

Опис	Графічне позначення	
	форма I	форма II
<p>Магнітопровід:</p> <p>1) феромагнітний;</p> <p>2) феритовий (зображають товстою лінією);</p> <p>3) феромагнітний з повітряним зазором;</p> <p>4) магнітодіелектричний.</p> <p><i>Примітка.</i> Кількість штрихів не встановлюється</p>		
Реактор		
<p>Трансформатор без магнітопровода:</p> <p>1) з постійним зв'язком, <i>де d – діаметр</i></p> <p>2) з змінним зв'язком</p>		
Трансформатор струму з одною вторинною обмоткою		
Трансформатор напруги вимірювальний		








Таблиця В.9 – Графічні позначення елементів згідно з ГОСТ 2.737-68 (пристрої зв'язку)

Опис	Графічне позначення
Генератор прямокутних імпульсів	
Генератор синусоїдальних коливань (50 Гц)	
Генератор з кварцовою стабілізацією	
Випрямляч	
Перетворювач постійного струму	
Інвертор	
Випрямляч-інвертор	
Перетворювач частоти f_1 в частоту f_2	
Помножувач частоти	
Подільник частоти	
Інвертор імпульсів	
Перетворювач змінного струму в бінарний код	
Формувач імпульсів	
Підсилювач багатокаскадний (наприклад, п'яти)	

Таблиця В.10 – Графічні позначення елементів згідно з ГОСТ 2.743-91 (елементи цифрової техніки)

Опис	Графічне позначення
Елемент цифрової техніки, що має тільки основне поле	
Елемент цифрової техніки, що має основне поле і одне (праве) додаткове поле	
Елемент цифрової техніки, що має основне поле і одне (ліве) додаткове поле	
Елемент цифрової техніки, що має основне поле і два додаткових поля	
Елемент цифрової техніки, що має основне поле і два додаткових, які розділені на зони (кількість зон – необмежена)	
Позначення виводів елементів прямий статичний вхід та вихід, відповідно інверсний статичний вхід інверсний статичний вихід прямий динамічний вхід інверсний динамічний вхід вивід, який не несе логічної інформації	
Позначення логічного елемента з групою рівнозначних ввів	

Продовження таблиці В.10

Опис	Графічне позначення
Елемент «І» («&»)	
Елемент «АБО» (« »)	
Елемент «НЕ»	
Елемент «АБО-НЕ»	
Компаратор	
RS-тригер	
D-тригер	

Додаток Д

Буквені позначення елементів

Таблиця Д.1 – Буквені коди найбільш поширених елементів згідно з ГОСТ 2.710-81

Код	Елементи	Приклади елементів	Код
<i>A</i>	Пристрій (загальне позначення)		
<i>B</i>	Перетворювачі неелектричних величин в електричні (крім генераторів і джерел живлення) або навпаки; аналогові і багаторозрядні перетворювачі; сенсори для показу або вимірювання:	гучномовець	<i>BA</i>
		магнітострикційний елемент	<i>BB</i>
		сельсин-приймач	<i>BE</i>
		сельсин-сенсор	<i>BC</i>
		тепловий сенсор	<i>BK</i>
		фотоелемент	<i>BL</i>
		мікрофон	<i>BM</i>
		сенсор тиску	<i>BP</i>
		п'єзоелемент	<i>BQ</i>
		звукознімач	<i>BS</i>
	сенсор швидкості	<i>BV</i>	
<i>C</i>	Конденсатори		
<i>D</i>	Схеми інтегральні:	схема інтегральна аналогова	<i>DA</i>
		схема інтегральна, цифрова, логічний елемент	<i>DD</i>
		пристрій зберігання інформації	<i>DS</i>
		пристрій затримки	<i>DT</i>
<i>E</i>	Елементи різні:	нагрівальний елемент	<i>EK</i>
		лампа освітлювальна	<i>EL</i>
		піропатрон	<i>ET</i>
<i>F</i>	Розрядники, запобіжники, пристрої захисту:	дискретний елемент захисту за струмом миттєвої дії	<i>FA</i>
		дискретний елемент захисту за струмом інерційної дії	<i>FP</i>
		запобіжник плавкий	<i>FU</i>
		дискретний елемент захисту за напругою, розрядник	<i>FV</i>
<i>G</i>	Генератори, джерела живлення:	батарея	<i>GB</i>
<i>F</i>	Розрядники, запобіжники, пристрої захисту:	запобіжник плавкий	<i>FU</i>
		дискретний елемент захисту за напругою, розрядник	<i>FV</i>

Продовження таблиці Д.1

Код	Елементи	Приклади елементів	Код
<i>G</i>	Генератори, джерела живлення:	батарея	<i>GB</i>
<i>H</i>	Пристрої індикаційні і сигнальні:	прилад звукової сигналізації	<i>HA</i>
		індикатор символний	<i>HG</i>
		прилад світлової сигналізації	<i>HL</i>
<i>K</i>	Реле, контактори, пускачі:	реле струмове	<i>KA</i>
		реле вказівне	<i>KH</i>
		реле електротеплове	<i>KK</i>
		контактор, магнітний пускач	<i>KM</i>
		реле часу	<i>KT</i>
		реле напруги	<i>KV</i>
<i>L</i>	Котушки індуктивності, дроселі, реактори	дросель люмінесцентного освітлення	<i>LL</i>
<i>M</i>	Двигуни		
<i>P</i>	Прилади вимірювальні: <i>Примітка.</i> Поєднання <i>PE</i> є недопустимим	амперметр	<i>PA</i>
		лічильник імпульсів	<i>PC</i>
		частотомір	<i>PF</i>
		лічильник активної енергії	<i>PI</i>
		лічильник реактивної енергії	<i>PK</i>
		омметр	<i>PR</i>
		реєструвальний прилад	<i>PS</i>
		годинник, вимірювач часу, дії	<i>PT</i>
		вольтметр	<i>PV</i>
ватметр	<i>PW</i>		
<i>Q</i>	Вимикачі і роз'єднувачі в силових колах:	вимикач автоматичний	<i>QF</i>
		короткозамикач	<i>QK</i>
		роз'єднувач	<i>QS</i>
<i>R</i>	Резистори:	терморезистор	<i>RK</i>
		потенціометр	<i>RP</i>
		шунт вимірювальний	<i>RS</i>
<i>S</i>	Пристрої комунікаційні в колах керування, сигналізації і вимірювальних: <i>Примітка.</i> Позначення <i>SF</i> використовують для апаратів, які не мають контактів в силових колах	вимикач або перемикач	<i>SA</i>
		вимикач кнопковий	<i>SB</i>
		вимикач автоматичний	<i>SF</i>
		вимикач, що спрацьовує від різних впливів:	
		рівня	<i>SL</i>
		тиску	<i>SP</i>
		положення (шляховий)	<i>SQ</i>
		частоти обертання	<i>SR</i>
температури	<i>SK</i>		

Продовження таблиці Д.1

Код	Елементи	Приклади елементів	Код
T	Трансформатори, автотрансформатори:	трансформатор струму	TA
		електромагнітн. стабілізатор	TS
		трансформатор напруги	TV
U	Пристрої зв'язку. Перетворювачі електричних величин в електричні:	модулятор	UB
		демодулятор	UR
		дискримінатор	UI
		перетворювач частоти, інвертор, генератор частоти, випрямляч	UZ
V	Прилади електровакуумні і напівпровідникові	діод, стабілітрон	VD
		прилад електровакуумний	VL
		транзистор	VT
		тиристор	VS
W	Лінії і елементи СВЧ. Антени:	відгалужувач	WE
		короткозамикач	WK
		вентиль	WS
		трансформатор, фазообертач	WT
		атенюатор	WU
		антена	WA
X	З'єднання контактні:	струмознімач, контакт ковзний	XA
		штир	XP
		гніздо	XS
		з'єднання розбірне	XT
		з'єднувач високочастотний	XW
Y	Пристрої механічні з електромагнітними приводами:	електромагніт	YA
		гальмо з електромагнітним приводом	YB
		муфта з електромагнітним приводом	YC
		електромагнітний патрон або плита	YH
Z	Пристрої кінцеві, фільтри, обмежувачі:	обмежувач	ZL
		фільтр кварцовий	ZQ

Додаток Е

Зразки оформлення ключових сторінок

Інв. №	Підпис та дата	На зам. на ім'	Інв. № дубл.	Підпис та дата

Форми № Н-6.01

Вінницький національний технічний університет
Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на
транспорті

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

з дисципліни «Теорія електропривода»
на тему: «Розрахунок електропривода виробничого механізму із заданою
діаграмою навантаження»

Студента _____ курсу _____ групи
напряму підготовки _____
спеціальності _____

(прізвище та ініціали)

Керівник _____
(посада, вчене звання)

(науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала _____
Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Члени комісії

_____ (підпис)	_____ (прізвище та ініціали)
_____ (підпис)	_____ (прізвище та ініціали)
_____ (підпис)	_____ (прізвище та ініціали)

м. Вінниця – 20__ рік

Рисунок Е.1 – Зразок титульного аркуша

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет
Інститут електроенергетики та електроmechanіки

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕМСАПТ

“ ” 20__ р.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

на курсовий проект з дисципліни «Теорія електропривода»

студенту _____ групи _____

Варіант № _____

Розрахувати електропривод виробничого механізму із заданою діаграмою навантаження за такими вхідними даними:

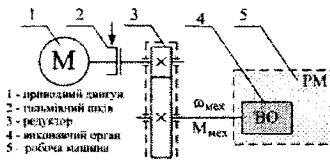


Рисунок 1 – Кінематична схема виробничого механізму

Параметри	Значення
$J_{\text{дв}}$, кг·м ²	
$J_{\text{ред}}$, кг·м ²	
$J_{\text{мех}}$, кг·м ²	
$\eta_{\text{мех}}$, %	
$\varepsilon_{\text{мех}}$, рад/с ²	
$i_{\text{ред}}$	

Кутлові швидкості виконавчого органу робочої машини, с ⁻¹								
$\omega_{\text{жс1}}$	$\omega_{\text{жс2}}$	$\omega_{\text{жс3}}$	$\omega_{\text{жс4}}$	$\omega_{\text{жс5}}$	$\omega_{\text{жс6}}$	$\omega_{\text{жс7}}$	$\omega_{\text{жс8}}$	$\omega_{\text{жс9}}$
Моменти навантаження виконавчого органу робочої машини, Н·м:								
$M_{\text{мех1}}$	$M_{\text{мех2}}$	$M_{\text{мех3}}$	$M_{\text{мех4}}$	$M_{\text{мех5}}$	$M_{\text{мех6}}$	$M_{\text{мех7}}$	$M_{\text{мех8}}$	$M_{\text{мех9}}$
Час роботи на окремих ділянках навантаження, с								
t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9

ЗМІСТ РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНОВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

1. Розрахунок та побудова тахограми та навантажувальної діаграми робочої машини
2. Попередній розрахунок потужності приводного двигуна
3. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода
4. Вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю обертання
5. Розрахунок динамічних навантажень та побудова навантажувальної діаграми електропривода
6. Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску
7. Розрахунок характеристик приводного двигуна
8. Розрахунок і вибір перетворювального агрегату для живлення приводного двигуна
9. Моделювання перехідних процесів електропривода
10. Розробка принципової схеми електропривода або модифікація типової до власних умов

Рисунок Е.2 – Зразок індивідуального завдання (лицьова сторона)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

1. Принципова схема електропривода

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пор.	Назва етапів курсового проекту(роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Видача завдання		
2	Розробка технічного завдання		
3	Розрахунок та побудова тахограми та навантажувальної діаграми робочої машини		
4	Попередній розрахунок потужності приводного двигуна		
5	Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода		
6	Вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю обертання		
7	Розрахунок динамічних навантажень та побудова навантажувальної діаграми електропривода		
8	Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску		
9	Розрахунок характеристик приводного двигуна		
10	Розрахунок і вибір перетворювального агрегату для живлення приводного двигуна		
11	Моделювання перехідних процесів електропривода		
12	Розробка принципової схеми електропривода або модифікація типової до власних умов		
13	Здача пояснювальної записки		
14	Здача графічного матеріалу		
15	Здача готового проекту		
16	Захист курсового проекту	за графіком	

Дата видачі « » 20 р.

Керівник _____
(підпис)Завдання отримав _____
(підпис)

Рисунок Е.3 – Зразок індивідуального завдання (зворотна сторона)

Анотація

_____ «Розрахунок електропривода виробничого механізму із заданою діаграмою навантаження». Курсовий проект. – Вінниця : ВНТУ, 20__-__ с. Бібліогр. : __. Іл. : __. Табл. : __.

Спроековано електропривод виробничого механізму із заданою діаграмою навантаження. На основі техніко-економічних показників вибрано систему електропривода, розраховано та вибрано електродвигун, перевірено його за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску, досліджено характеристики в статичному та динамічному режимах, а також розроблено схему електричну принципову електропривода.

Ключові слова: електропривод, виробничий механізм, електродвигун, перетворювач частоти.

Рисунок Е.4 – Зразок анотації

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Розрахунок та побудова тахограми та навантажувальної діаграми робочої машини.....	5
2 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна.....	19
3 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода.....	21
4 Вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю обертання.....	28
5 Розрахунок динамічних навантажень та побудова навантажувальної діаграми електропривода.....	29
6 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску.....	32
7 Розрахунок характеристик приводного двигуна.....	35
8 Розрахунок і вибір перетворювального агрегату для живлення приводного двигуна.....	39
9 Моделювання перехідних процесів електропривода.....	41
10 Розробка принципової схеми електропривода або модифікація типової до власних умов.....	43
Висновки.....	47
Література.....	48
Додаток А Технічне завдання.....	49

					08-19.ТЕП.001.01.000 ПЗ			
Змк.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розрахунок електропривода виробничого механізму із залогою діаграмою навантажувальної Потужнісна таблиця	Лп.	Арк.	Акронімі
Розроб.							3	45
Перевір.						гр. _____		
Резерв.								
Н. Контр.								
Захвртд.								

Рисунок Е.5 – Зразок змісту

Додаток А

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет
Інститут електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ
Керівник проєкту

_____ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на курсовий проєкт «Розрахунок електропривода виробничого механізму із заданою діаграмою навантаження»

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Розрахунок електропривода виробничого механізму із заданою діаграмою навантаження».

Скорочене найменування розробки – «Електропривод виробничого механізму».

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання.

3 Призначення розробки і галузь використання

Електропривод виробничого механізму призначений для виконання заданого технологічного процесу.

4 Вимоги до розробки

Електропривод виробничого механізму повинен забезпечувати надійну роботу при великій частоті включень.

5 Комплектація розробки

Виріб складається з електродвигуна, системи керування та робочого органу.

6 Технічні характеристики

Кількість двигунів, шт.

1

Рисунок Е.6 – Зразок технічного завдання (сторінка 1)

7 Джерела розробки

1. Чиликин М. Г. Общий курс электропривода / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
2. Ключев В. И. Теория электропривода / Ключев В. И. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
3. Онищенко Г. Б. Электрический привод / Онищенко Г. Б. – [2-е изд., стер.] – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 288 с.

8 Елементна база

Двигун, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т. п. виробництва України, країн близького зарубіжжя чи Європи.

9 Конструктивне виконання

Електропривод виготовляється окремими блоками, котрі реалізовані у виконанні, яке відповідає даним вимогам електробезпеки.

10 Показники технологічності

Електропривод виробничого механізму – двигун, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі тощо, виконується на сучасній елементній базі. Його монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

11 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється спеціалістами-електромонтажниками відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

12 Живлення електропривода

Живлення електропривода повинно бути виконане від силової мережі підприємства (напругою змінного струму 380 В промислової частоти).

Крайній термін виконання КП « _____ » _____ 20__ р.

Початок розробки « _____ » _____ 20__ р.

Розробив студент групи _____

Рисунок Е.7 – Зразок технічного завдання (сторінка 2)

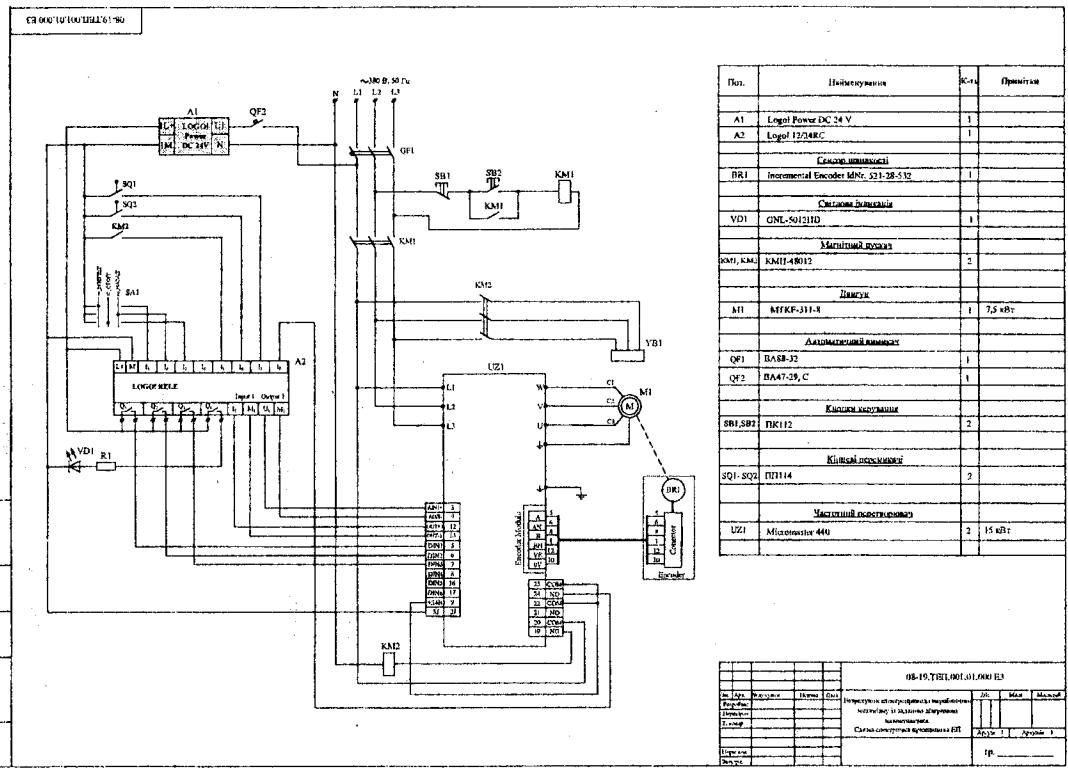


Рисунок Е.8 – Зразок принципової схеми

Навчальне видання

**Видмиш Андрій Андрійович
Бабій Сергій Миколайович
Петрусь Віталій Володимирович**

**ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА
КУРСОВЕ ТА ДИПЛОМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ
САМОСТІНА ТА ІНДИВІДУАЛЬНА РОБОТА СТУДЕНТІВ**

Навчальний посібник

Редактор Т. Старічек

Оригінал-макет підготовлено С. Бабієм

Підписано до друку 07.12.2012 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк ризографічний. Ум.: др. арк. 6,4.
Наклад 75 прим. Зам № 2009-198.

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, к. 2201.
Тел. (0432) 59-87-36.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-38.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.