

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Кафедра електричної інженерії

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проекту з дисципліни

«ЕЛЕКТРОПРИВОД»

для студентів першого рівня вищої освіти
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка

Кривий Ріг - 2023 р

Укладачі: Філіпп Ю.Б., доцент, Пересунько І.І., доцент,
Кальмус Д.О., ст. викладач

Відповідальний за випуск: Сінчук О.М., професор

Рецензент: Титюк В.К., професор

Методичні вказівки до виконання курсового проекту розроблено відповідно до навчальних планів освітньо-професійної програми Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Методичні вказівки містять широкий спектр завдань на курсовий проект, методику розрахунків систем різних електроприводів постійного і змінного струму, структури систем електроприводу, вимоги до оформлення курсового проекту, а також список рекомендованої літератури та інформаційно-довідкові дані до виконання проекту.

Дані методичні вказівки допоможуть студентам опанувати теоретичний курс та набути навички самостійного проектування та розрахунків сучасних електроприводів.

Розглянуто
на засіданні кафедри
автоматизованого
електропривода

Протокол № 1
від 01.09 2023 р.

Схвалено
на вченій раді
електротехнічного
факультету

Протокол № 1
від 01.09 2023 р.

Зміст

Вступ.....	4
1.Вказівки з оформлення курсового проекту.....	5
2.Зміст курсового проекту.....	5
3.Варіанти завдань для проектування електропривода.....	6
4.Вибір електрообладнання і апаратури керування.....	8
4.1.Розрахунок параметрів і вибір електродвигуна.....	8
4.2.Розрахунок параметрів і вибір перетворюючих пристроїв, трансформатору, реакторів, комутаційної апаратури.....	10
4.3. Вибір датчиків.....	11
5.Розрахунок розімкненої системи електропривода.....	11
5.1.Визначення параметрів елементів схеми заміщення, коефіцієнтів передачі і сталих часу	11
5.2.Розрахунок і побудова швидкісних і механічних характеристик розімкненої системи електропривода.....	17
5.3.Розрахунок і побудова енергетичних характеристик електропривода.....	19
5.3.1. Розрахунок коефіцієнта корисної дії.....	19
5.3.2. Розрахунок коефіцієнту потужності.....	20
6.Моделювання динамічних режимів роботи електропривода.....	20
7.Розробка принципової схеми електропривода.....	23
8.Висновки.....	24
Перелік літератури.....	25
Додатки А-К.....	26

ВСТУП

Сучасна технічна революція передбачає запровадження у промисловість високопродуктивних ефективних технологічних процесів і робочих машин, важливою ланкою яких є система електропривода.

У зв'язку з цим спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка покликані готувати інженерні кадри, які повинні сприяти впровадженню і обслуговуванню автоматизованих електроприводів. Одним із профільюючих курсів спеціальностей даного напрямку є курс з електроприводу, мета викладання якого полягає у з'ясуванні закономірностей визначення характеристик і робочих режимів привода, обґрунтуванні раціонального вибору його елементів, наданні глибоких знань з питань проектування та дослідження електромеханічних систем, встановлення їх економічної та енергетичної ефективності, формуванні задач та питань, пов'язаних з їх вдосконаленням засобами сучасної техніки та технології. Розуміння задач, які вирішує електропривод (ЕП), дозволить сформувати погляд на процес розвитку і вдосконалення систем перетворення енергії і схем регульованих приводів постійного і змінного струму, які знаходяться у стадії експериментальних досліджень і промислової перевірки. Особлива увага має приділятися приводам із статичними перетворювачами у силових колах, вивченню специфічних явищ і режимів, пов'язаних із застосуванням сучасних перетворювачів у промисловості.

Вільній орієнтації в перелічених питаннях, умінню користуватися методичним розрахунковим матеріалом, одержанню навичок експериментатора і дослідника служить теоретичний матеріал, практичні та лабораторні роботи й особливо курсовий проект з вказаної дисципліни, тема якого формується для кожного студента в індивідуальному порядку.

Мета курсового проекту - пізнання студентами схем і фізичних властивостей електроприводів, закономірностей електромеханічного перетворення енергії, енергетики приводів і методів вибору та перевірки двигунів за нагріванням, придбання знань та навичок у розрахунках процесів і показників якості регулювання координат електропривода, експериментальному аналізі статичних і динамічних характеристик електроприводів.

1.ВКАЗІВКИ З ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В пояснювальній записці (не більше 40 друкованих на ПЕОМ аркушів формату А4), яка виконана шрифтом Times New Roman 14 pt через півтора інтервалу між рядками на листах формату А4 (210х297 мм) з обмежувальною рамкою, що відокремлена від лівого краю листа на 20 мм, повинна відповідати завданню, мають бути надані вихідні дані до проектування, включаючи кінематичну схему механізму, надані обґрунтування всіх прийнятих рішень, указані методи розрахунків, наведені всі розрахункові формули та результати розрахунків. Результати однотипних розрахунків надаються в табличній формі. Викладення змісту записки повинно бути зрозумілим, логічним, послідовним і стилістично грамотним.

Набір формул проводиться в редакторі формул MS Word, рисунки набираються в графічних редакторах MS Visio, або Splan. Формули повинні надаватися з буквеними символами, потім цифрові дані, а потім результат розрахунку. Це необхідно для виконання перевірки розрахунків. Вставлення блоків формул з програми РТС MathCad не дозволяється. Рисунки і таблиці нумеруються у порядку збільшення: рис.1, рис.1 або табл.1, табл.1 і т.д.

Титульний аркуш є першим листом пояснювальної записки і виконується за формою, наданою в додатку А.

Після титульного листа знаходяться рядові листи, які починаються зі змісту курсового проекту і далі згідно п.2. У кінці пояснювальної записки наводиться список використаної літератури. Рядові листи повинні мати рамки, розміри яких надані в додатку Б.

2.ЗМІСТ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовий проект складається з наступних розділів:

Вступ.

1. Вихідні дані для проектування електропривода.
2. Розрахунок потужності та вибір електродвигуна.
3. Розрахунок параметрів і вибір перетворюючих пристроїв, трансформатору, реакторів, комутаційної апаратури.
4. Вибір датчиків.
5. Визначення параметрів елементів схеми заміщення, коефіцієнтів передачі і сталих часу

6. Розрахунок і побудова швидкісних і механічних характеристик розімкненої системи електропривода
 7. Розрахунок коефіцієнта корисної дії
 8. Розрахунок коефіцієнту потужності
 9. Моделювання динамічних режимів роботи електропривода
 10. Розробка принципової схеми електропривода
 11. Висновки
- Список використаної літератури.

3.ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Завдання на виконання курсового проекту видається викладачем, який веде проектування. Кожному студенту видається: тип механізму (6 видів), вид системи електропривода (2 виду) і номер варіанту (10 варіантів).

Для проектування пропонуються наступні типи механізмів:

- нагнітачі (компресори, вентилятори);
- насоси;
- механізми поступальної дії (подача верстату, переміщення крану);
- механізми обертальної дії (прокатна кліть, дробарка);
- електротранспорт (електровоз, трамвай) ;
- підйомні механізми (підйомна лебідка, скіповий підйомник).

Електропривод може мати 2 системи електропривода:

- система тиристорний перетворювач – двигун ТП-Д (постійний струм);
- система перетворювач частоти – асинхронний двигун ПЧ-АД (змінний струм).

Вихідні данні для вказаних механізмів і по варіантам наведені в табл.1 - 6.

Таблиця 1 – Вихідні данні для нагнітачів

	Номер варіанта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q, \text{м}^3/\text{с}$	7,2	6,8	6,4	5,9	5,5	550,0	450,0	350,0	250,0	100,0
$P, \text{кПа}$	420	380	340	300	260	6	6	6	6	6
k_3	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
$\eta_{\text{м}}$	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,90	0,90	0,90

Таблиця 2 – Вихідні данні для насосів

	Номер варіанта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q , м ³ /с	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	1,2	1,0	0,8	1,2	1,0
H , м	600	600	400	400	300	100	80	60	60	20
ρ , кг/дм ³	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,20	1,20	1,10	1,10	1,10
k_3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
η_M	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Таблиця 3 – Вихідні данні для механізмів поступальної дії

	Номер варіанта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F , кН	200	150	100	380	360	160	120	100	80	60
V , м/с	0,1	0,1	0,08	0,08	0,06	0,6	0,4	0,4	0,2	0,2
k_3	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
η_M	0,8	0,82	0,84	0,86	0,88	0,8	0,82	0,84	0,86	0,88

Таблиця 4 – Вихідні данні для механізмів обертальної дії

	Номер варіанта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M , кНм	180	150	100	190	170	450	400	400	300	600
ω , 1/с	2,00	2,00	1,80	1,80	1,60	7,00	7,00	6,00	6,00	5,00
k_3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
η_M	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Таблиця 5 – Вихідні данні для електротранспорту

	Номер варіанта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$m_{\text{зч}}$, Т	90,0	60,0	30,0	20,0	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0
V , м/с	20	20	20	20	20	10	10	10	10	10
ψ_K	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
k_3	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
η_M	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95

Таблиця 6 – Вихідні данні для підйомних механізмів

	Номер варіанта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
G_T , Т	1,0	2,0	4,0	10,0	25,0	35,0	30,0	25,0	25,0	20,0
$G_{\text{ос}}$, Т	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	2,00	1,50	1,00	1,00	0,80
V , м/с	2,5	2,0	1,6	4,0	3,0	9,0	9,0	7,0	7,0	5,0
k_3	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
η_M	0,95	0,95	0,95	0,95	0,92	0,92	0,90	0,90	0,87	0,87

Курсовий проект виконується студентами самостійно з вирішенням складних питань на консультаціях викладача. Періодична явка на консультацію обов'язкова для кожного студента для звітності про виконану роботу.

4. ВИБІР ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ І АПАРАТУРИ КЕРУВАННЯ

4.1. Розрахунок параметрів і вибір електродвигуна

Потужність електродвигуна механізму безперервної дії визначається на підставі параметрів режимів робіт механізму:

а) для вентиляторів і компресорів

$$P_{\text{дв}} \geq k_3 \frac{QP}{\eta_m}$$

де k_3 – коефіцієнт запасу; $k_3 = 1,1 - 1,2$;

Q – продуктивність, $\text{м}^3/\text{с}$;

P – тиск, кПа ;

η_m – ККД турбомеханізму;

б) для насосів

$$P_{\text{дв}} \geq k_3 \frac{QH\rho g}{\eta_m}$$

де k_3 – коефіцієнт запасу; $k_3 = 1,1 - 1,2$;

Q – продуктивність, $\text{м}^3/\text{с}$;

ρ – щільність рідини, що перекачується насосом, $\text{кг}/\text{дм}^3$;

H – диференційний напір, м ;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$;

η_m – ККД насосу;

в) для механізмів поступального руху

$$P_{\text{дв}} \geq k_3 \frac{FV}{\eta_m}$$

де k_3 – коефіцієнт запасу; $k_3 = 1,1 - 1,2$;

F – зусилля, кН ;

V – швидкість, $\text{м}/\text{с}$;

η_m – ККД механізму поступального руху;

г) для механізмів обертового руху

$$P_{\text{дв}} \geq k_3 \frac{M\omega}{\eta_m}$$

де k_3 – коефіцієнт запасу; $k_3 = 1,1 - 1,2$;

M – момент, кНм ;

ω – кутова швидкість, $1/\text{с}$;

η_m – ККД механізму обертового руху;

д) для електротранспорту

$$P_{\partial\theta} \geq k_3 \frac{m_{зч} g \psi_k V}{\eta_M}$$

де k_3 – коефіцієнт запасу; $k_3 = 1,1 - 1,2$;

$m_{зч}$ – маса зчеплення; т;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

ψ_k – коефіцієнт зчеплення коліс з поверхнею,

V – швидкість, м/с;

η_M – ККД механізму електротранспорту;

е) підйомних механізмів

$$P_{дв} \geq k_3 \frac{(G_B + G_0) g V}{\eta_M}$$

де k_3 – коефіцієнт запасу; $k_3 = 1,1 - 1,2$;

G_B – вантажопідйомність механізму, т;

G_0 – вага вантажозахватного механізму, т;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

V – швидкість підйому вантажу, м/с;

η_M – ККД підйомного механізму

Вибір двигуна здійснюється згідно його потужності, розрахованої по наведеним формулам, і швидкості по каталогах на електрообладнання або згідно додатків Г-К.

Для живлення двигуна постійного або змінного струму M в регульованому електроприводі може використовуватись перетворювач відповідно постійного або змінного струму U . Функціональна схема регульованого електропривода наведена на рис.1.

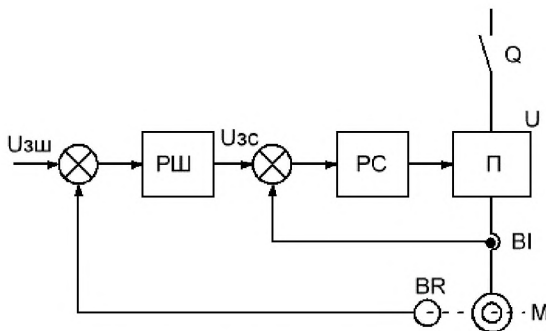


Рис.1. Функціональна схема регульованого електропривода з регуляторами швидкості і струму

Для захисту перетворювача U використовується автоматичний вимикач Q . Для керування електроприводом встановлені регулятори швидкості і струму (РШ, РС). Для контролю струму і швидкості використовуються датчики швидкості і струму (BR, BI).

4.2. Розрахунок параметрів і вибір перетворюючих пристроїв, трансформатору, реакторів, комутаційної апаратури

Вибір тиристорного перетворювача частоти змінного струму здійснюється виходячи з номінальної напруги, номінального і максимального струму двигуна по каталогах на електрообладнання або згідно додатку Г-К:

$$\begin{aligned}U_{\text{тпч}} &\geq U_{\text{дв}} \\I_{\text{тпч}} &\geq I_{\text{дв}}\end{aligned}$$

Вибір тиристорного перетворювача постійного струму здійснюється виходячи з номінальної напруги, номінального і максимального струму двигуна по каталогах на електрообладнання або згідно додатку Г-К:

$$\begin{aligned}U_{\text{дп}} &\geq U_{\text{дв}} \\I_{\text{дп}} &\geq I_{\text{дв}}\end{aligned}$$

Вибір струмообмежуючих реакторів на вході перетворювачів постійного або змінного струму здійснюється згідно рівня струму і напруги схеми перетворювача по каталогах на електрообладнання або згідно додатків Г-К:

$$\begin{aligned}I_{\text{соч}} &\geq I_{\text{пчюм}} \\I_{\text{сотп}} &\geq I_{\text{тпюм}}\end{aligned}$$

Вибір трансформаторів на вході перетворювачів постійного або змінного струму здійснюється згідно рівня струму і напруги схеми перетворювача та живлячої мережі по каталогах на електрообладнання або згідно додатків Г-К:

$$\begin{aligned}I_{\text{соч}} &\geq I_{\text{пчюм}} \\I_{\text{сотп}} &\geq I_{\text{тпюм}}\end{aligned}$$

Вибір згладжуючих реакторів на виході перетворювача постійного струму здійснюється згідно умови обмеження пульсації струму на рівні 2% по каталогах на електрообладнання або згідно додатків Г-К :

$$L_d \geq \frac{8,8U_{\text{тпном}}}{1000\delta_n I_{\text{тпном}}} - L_{\text{дв}},$$

де δ_n – допустима величина пульсації струму двигуна, $\delta_n = 2\%$;
 $U_{\text{тпном}}$, $I_{\text{тпном}}$ – номінальна напруга і струм перетворювача;
 $L_{\text{дв}}$ – індуктивність якоря двигуна постійного струму, яка визначається:

$$L_{\text{дв}} = \frac{\gamma U_{\text{двном}}}{p \omega_{\text{ном}} I_{\text{двном}}}$$

де γ – коефіцієнт компенсованості двигуна; $\gamma = 0,25$ – для компенсованих і $\gamma = 0,6$ – для некомпенсованих двигунів.

Вибір регуляторів параметрів електроприводу виконується на основі аналогових або цифрових засобів керування.

Вибір комутаційної апаратури виконується виходячи з номінальних струмів двигуна і перетворювача по каталогам на електрообладнання або згідно додатків Г-К.

4.3. Вибір датчиків

Вибір датчика швидкості здійснюється на основі тахогенераторів з постійним магнітами або незалежним збудженням виходячи з номінальної швидкості двигуна по каталогам на електрообладнання :

$$\omega_{\text{тг}} \geq \omega_{\text{дв}}$$

Вибір датчиків струму здійснюється на основі модулів оптронної або трансформаторної розв'язки з рівнем розв'язки 1000 – 1500 В виходячи з номінальної напруги двигуна і вимірювального шунта струму по каталогам на електрообладнання.

5. РОЗРАХУНОК РОЗІМКНЕНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

5.1. Визначення параметрів елементів схеми заміщення, коефіцієнтів передачі і сталих часу

Електропривод постійного струму (система ТП-Д).

До незмінної частини структурної схеми відносять: перетворювач, генератор, двигун, датчик струму, швидкості, положення, напруги тощо.

Необхідно розрахувати:

k_n, T_n - коефіцієнт підсилення і стала часу перетворювача;

R_e, T_e – опір і електромагнітна стала часу якірного ланцюга двигуна;

$k\Phi, T_m$ – коефіцієнт е.р.с. двигуна і електромеханічна стала часу електропривода;

$k_{\partial c}, k_{\partial ш}$ – коефіцієнт датчика струму і швидкості.

Коефіцієнт підсилення перетворювача визначається:

$$k_n = \frac{U_{mn}}{U_\kappa} = \frac{U_{mном}}{12}$$

де $U_{mном}$ - номінальна вихідна напруга перетворювача.

Номінальна напруга керування приймається $U_\kappa = 12$ В. Стала часу перетворювача $T_n = 0,005$ с.

Опір якірного ланцюга системи перетворювач - двигун з трансформатором визначається:

$$R_e = R_{\partial e} + R_d + 2R_{mp} + \frac{mX_{mp}}{2\pi}$$

де $R_{\partial e}$ – активний опір якоря двигуна, який визначається:

$$R_{\partial e} = 0,5(1 - \eta_n) \frac{U_{\partial вном}}{I_{\partial вном}}$$

R_d – активний опір згладжу вального реактору;

R_{mp} – активний опір обмотки трансформатору, який визначається:

$$R_{mp} = \frac{P_{\kappa 3} U_{mp}^2}{S_{mp}^2}$$

$P_{\kappa 3}$ – потужність втрат короткого замикання трансформатору;

U_{mp}, S_{mp} – лінійна напруга вторинної обмотки і потужність трансформатору;

X_{mp} – реактивний опір обмотки трансформатору, який визначається:

$$X_{mp} = \frac{u_{\kappa 3} U_{mp}^2}{100 S_{mp}};$$

$u_{\kappa 3}$ – напруга короткого замикання трансформатору, %;

m – кількість пульсацій струму чи напруги перетворювача за період; $m = 6$ – для мостової схеми перетворювача.

Опір якірного ланцюга системи перетворювач - двигун з струмообмежуючим реактором на вході перетворювача визначається:

$$R_e = R_{\partial\delta} + R_d + 2R_p + \frac{mX_p}{2\pi}$$

Індуктивність якірного ланцюга системи перетворювач – двигун з трансформатором визначається:

$$L_e = L_{\partial\delta} + L_d + 2 \frac{X_{mp}}{\omega_c}$$

де $L_{\partial\delta}$ – індуктивність якоря двигуна;

L_d – індуктивність згладжувального реактору;

ω_c – кругова частота живлячої мережі; $\omega_c = 314$ 1/с.

Індуктивність якірного ланцюга системи перетворювач – двигун зі струмообмежуючим реактором на вході перетворювача визначається:

$$L_e = L_{\partial\delta} + L_d + 2 \frac{X_p}{\omega_c}$$

де $L_{\partial\delta}$ – індуктивність якоря двигуна;

L_d – індуктивність згладжувального реактору;

ω_c – кругова частота живлячої мережі; $\omega_c = 314$ 1/с.

Електромагнітна стала часу електропривода визначається:

$$T_e = \frac{L_e}{R_e}$$

Коефіцієнт е.р.с. двигуна визначається:

$$k\Phi = \frac{U_{\partial\text{вном}} - I_{\partial\text{вном}} R_{\partial\delta}}{\omega_{\partial\text{вном}}}$$

Електромеханічна стала часу електропривода визначається:

$$T_m = \frac{J_{\Sigma} R_e}{(k\Phi)^2}$$

де J_{Σ} – сумарний момент інерції двигуна і механізму.

Номінальний момент двигуна визначається:

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}}$$

Коефіцієнт датчика струму визначається:

$$k_{\partial c} = \frac{U_{\kappa}}{I_{\text{макс}}} = \frac{12}{I_{\text{макс}}} \text{ Ом},$$

де $I_{\text{макс}}$ – максимальний струм якоря двигуна; $I_{\text{макс}} = k_{\text{макс}} I_{\partial\text{вном}}$;

$k_{\max}$ – коефіцієнт допустимого перевантаження за струмом, $k_{\max} = 2,0$.

Коефіцієнт датчика швидкості визначається:

$$k_{\text{ши}} = \frac{U_{\kappa}}{\omega_{\max}} = \frac{12}{\omega_{\max}} \text{ В} \cdot \text{с}$$

де $\omega_{\max}$ – максимальна швидкість двигуна, для однозонних систем електропривода $\omega_{\max} = \omega_{\text{ном}}$.

Електропривод змінного струму ПЧ-АД.

До незмінної частини структурної схеми відносять: перетворювач, двигун, датчик струму, швидкості, положення, напруги тощо.

Необхідно розрахувати:

k_n, T_n - коефіцієнт підсилення і стала часу перетворювача;

T_2 - стала часу ротора;

R_e, T_e – опір і електромагнітна стала часу ланцюга двигуна;

L_2, p_n – індуктивність ротора і число пар полюсів двигуна;

$k_{\partial c}, k_{\partial ш}, k_{\partial n}$ – коефіцієнт датчиків струму, швидкості і потокозчеплення.

Номінальний струм статора двигуна визначається:

$$I_{1н} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{1н} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}}.$$

де $U_{1н}$ – номінальна лінійна напруга асинхронного двигуна;
 $\cos \varphi_{\text{н}}, \eta_{\text{н}}$ – номінальний коефіцієнт потужності і к.к.д. двигуна.

Критичне ковзання двигуна визначається:

$$s_{\text{к}} = s_{\text{н}} \cdot \left(k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - 1} \right),$$

де $s_{\text{н}}$ – номінальне ковзання двигуна;

$k_{\max}$ – коефіцієнт кратності максимального моменту двигуна по відношенню до номінального.

Струм холостого ходу асинхронного двигуна:

$$I_0 = I_{1н} \cdot \left(\sin \varphi_{\text{н}} - \frac{s_{\text{н}}}{s_{\text{к}}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \right).$$

Визначимо коефіцієнти A_1 і C_1 , за допомогою яких розраховуються параметри асинхронного двигуна:

$$A_1 = \frac{U_{1н}^2 \cdot (1 - s_{\text{н}})}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_{\text{н}}}.$$

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

де k_i – кратність пускового струму асинхронного двигуна.

Активний опір обмотки ротора, приведений до обмотки статора асинхронного двигуна визначається:

$$R'_2 = \frac{A_1}{C_1 \cdot (\beta + 1/s_k)} \cdot \text{Ом}$$

де β – співвідношення активних опорів статора і ротора, $\beta = 0,6 \div 2,5$.

Активний опір обмотки статора визначається:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta \cdot \text{Ом}$$

Визначимо параметр γ , який необхідний для розрахунку опору короткого замикання:

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

Індуктивний опір короткого замикання визначається:

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 \cdot \text{Ом}$$

Індуктивний опір розсіювання фази роторної обмотки, приведений до статорної обмотки, визначається:

$$X'_{2\sigma H} = 0,58 \cdot \frac{X_{KH}}{C_1} \cdot \text{Ом}$$

Індуктивний опір розсіювання фази статорної обмотки визначається:

$$X_{1\sigma H} = 0,42 \cdot X_{KH} \cdot \text{Ом}$$

Е.р.с. гілки намагнічування, яка наводиться потоком повітряного зазору в обмотці статора в номінальному режимі визначається:

$$E_m = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi_{1H} - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} - X_{1\sigma H} \cdot I_{1H})^2} \cdot \text{В}$$

Індуктивний опір контуру намагнічування визначається:

$$X_m = \frac{E_m}{I_0} \cdot \text{Ом}$$

Коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача частоти:

$$k_{TH} = \frac{U_{1H}}{U_K}.$$

Номінальна напруга керування приймається $U_K = 12 \text{ В}$. Постійна стала часу тиристорного перетворювача $T_H = 0,005 \text{ с}$.

Коефіцієнт датчика струму:

$$k_{\text{дс}} = \frac{U_y}{2 \cdot I_{1\text{н}}} = \frac{12}{2 \cdot I_{1\text{н}}}. \text{ Ом}$$

Коефіцієнт датчика швидкості:

$$k_{\text{дш}} = \frac{U_y}{\omega_{\text{н}}} = \frac{12}{\omega_{\text{н}}}. \text{ В} \cdot \text{ с/рад}$$

де $\omega_{\text{н}}$ – номінальна частота обертання:

$$\omega_{\text{н}} = \frac{\pi \cdot n_0}{30} \cdot (1 - s_{\text{н}}). \text{ рад/с}$$

Число пар полюсів:

$$z_p = \frac{60 \cdot f_1}{n_0}.$$

Еквівалентна індуктивність обмотки статора визначається:

$$L_1 = \frac{X_{1\sigma} + X_m}{2 \cdot \pi \cdot f_1}. \text{ Гн}$$

Еквівалентна індуктивність обмотки ротора визначається:

$$L_2 = \frac{X'_{2\sigma} + X_m}{2 \cdot \pi \cdot f_1}. \text{ Гн}$$

Індуктивність розсіювання визначається:

$$L_m = \frac{X_m}{2 \cdot \pi \cdot f_1}. \text{ Гн}$$

Коефіцієнт розсіювання:

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2}.$$

Еквівалентний опір двигуна і перетворювача визначається:

- для системи ПЧ-АД з трансформатором

$$R_e = R_1 + R'_2 \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2} + 2 \cdot R_{\text{тр}}. \text{ Ом}$$

- для системи ПЧ-АД з струмообмежуючим реактором
змінного струму на вході перетворювача

$$R_e = R_1 + R'_2 \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2} + 2 \cdot R_p. \text{ Ом}$$

де $R_{\text{тр}}$, R_p – активний опір трансформатора і струмообмежуючого реактора.

Електромагнітна стала часу електропривода визначається:

$$T_e = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_e}. \text{ с}$$

Електромагнітна стала часу ротора визначається:

$$T_2 = \frac{L_2}{R'_2} \cdot c$$

Значення номінального потокозчеплення двигуна:

$$\psi_{2н} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m \cdot B \cdot c / \text{рад}$$

Номінальний момент двигуна визначається:

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}}$$

Коефіцієнт датчика струму:

$$K_{\text{дт}} = \frac{12}{2 \cdot I_{1н}}, \text{ Ом}$$

Коефіцієнт датчика потокозчеплення:

$$K_{\Psi} = \frac{12}{\psi_{2н}}, \text{ В} \cdot \text{с}$$

Коефіцієнт датчика швидкості:

$$K_{\text{дш}} = \frac{12}{\omega_n}, \text{ В} \cdot \text{с}$$

5.2. Розрахунок і побудова швидкісних і механічних характеристик розімкненої системи електропривода

Електропривод постійного струму ТП-Д.

Швидкісна характеристика електропривода $\omega = f(I_{\text{дв}})$ для системи ТП-Д визначається:

$$\omega = \frac{U_{\text{до}} \cos \alpha - I_{\text{дв}} R_e}{k\Phi}$$

де $U_{\text{до}}$ – максимальна напруга випрямляча при $\alpha=0$:

$$U_{\text{до}} = \frac{3\sqrt{2}U_{\text{мр}}}{\pi}$$

Побудова швидкісних характеристик $\omega = f(I_{\text{дв}})$ виконується для 3-4 значень кута керування, наприклад, 20, 40, 60, 80 ел. град.

З отриманих швидкісних характеристик визначається статизм за швидкістю при номінальному струмі $I_{\text{двном}}$:

$$\delta_{ш} = \frac{I_{\partial вном} R_e}{U_{до} \cos \alpha} 100, \%$$

Побудова механічних характеристик $\omega = f(M)$ всіх розглянутих систем електроприводу виконується шляхом розрахунку з підстановкою залежності струму від моменту у формулу швидкісної характеристики:

$$I_{\partial в} = \frac{M_{\partial в}}{k\Phi}$$

Ці характеристики розраховуються для декілька значень кута керування, наведених вище.

Електропривод змінного струму ПЧ-АД.

Швидкісна характеристика $\omega = f(I_2')$ електропривода за системою ПЧ-АД визначається

$$I_2' = \frac{U_n}{\sqrt{3 \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_{кз} \cdot f^*)^2 \right]}}$$

де s – ковзання двигуна при фактичній швидкості ω , яке розраховується:

$$s = \frac{\omega_0 \cdot f^* - \omega}{\omega_0 \cdot f^*}$$

f^* - частота струму живлення АД у відносних одиницях, яка розраховується:

$$f^* = \frac{f_1}{f_c}$$

За наведеним виразом будуються швидкісні характеристики для декілька значень частоти живлення АД, наприклад, $f_1 = 10, 20, 30, 40, 50$ Гц.

Вираз для механічної характеристики АД $\omega = f(M)$ має вигляд:

$$M = \frac{(f^* U_n)^2 \cdot R_2'}{(\omega_0 \cdot f^* - \omega) \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2' \cdot \omega_0 \cdot f^*}{\omega_0 \cdot f^* - \omega} \right)^2 + (X_{кз} \cdot f^*)^2 \right]}$$

Аналогічно швидкісним характеристикам будуються механічні характеристики для декілька значень частоти живлення АД, наприклад, $f_1 = 10, 20, 30, 40, 50$ Гц.

Статизм з швидкісної характеристики визначається при номінальному навантаженні $M_{ном}$:

$$\delta_u = \frac{\omega_o - \omega}{\omega_o} 100, \%$$

5.3. Розрахунок енергетичних характеристик електропривода

5.3.1. Розрахунок коефіцієнта корисної дії

Електроприводи постійного струму ТП-Д.

Розрахунок коефіцієнта корисної дії електропривода для побудови характеристики $\eta = f(\omega)$ розраховується за виразом:

$$\eta = \frac{M\omega}{M\omega + \Delta P_{\Sigma}} 100, \%$$

де ΔP_{Σ} - загальні втрати потужності у системі електропривода, які визначаються:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{пост} + \Delta P_{змін}$$

Постійні втрати потужності визначаються:

$$\Delta P_{пост} = k_{мех} P_n \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2$$

де $k_{мех}$ - коефіцієнт механічних втрат; $k_{мех} = 0,015$.

Змінні втрати потужності визначаються:

$$\Delta P_{змін} = I_{\partial\phi}^2 R_e = \left(\frac{M}{k\Phi} \right)^2 \cdot R_e$$

У результаті розрахунку повинна бути побудована характеристика $\eta = f(\omega)$ для декілька значень моменту двигуна, наприклад, $M = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 M_n$.

Електроприводи змінного струму ПЧ-АД.

Розрахунок коефіцієнта корисної дії електропривода для побудови характеристики $\eta = f(M)$ розраховується за виразом:

$$\eta = \frac{M\omega}{M\omega + \Delta P_{пост} + \Delta P_{зм}} \cdot 100 = \frac{M\omega_o f^* (1 - s_n \frac{M}{M_n})}{M\omega_o f^* (1 - s_n \frac{M}{M_n}) + \Delta P_{пост} + \Delta P_{зм}} \cdot 100, \%$$

Постійні втрати потужності визначаються:

$$\Delta P_{\text{пост}} = P_n \frac{(1-\eta_n)}{\eta_n} - \frac{P_n}{\omega_n} \omega_o s_n \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

Змінні втрати потужності визначаються:

$$\Delta P_{\text{зм}} = \frac{P_n}{\omega_n} \left(\frac{M}{M_n} \right)^2 \omega_o f^* s_n \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

У результаті розрахунку повинна бути побудована характеристика $\eta = f(M)$ для декілька значень відносної частоти живлення, наприклад, $f^* = 0,4; 0,6; 0,8; 1,0$.

5.3.2. Розрахунок коефіцієнту потужності Електроприводи постійного струму ТП-Д.

Розрахунок коефіцієнту потужності електропривода для побудови характеристики $\eta = f(\omega)$ виконується:

$$\cos \varphi \approx \cos \alpha = \frac{k\Phi \omega + I_{\partial e} R_e}{U_{do}} = \frac{k\Phi \omega + \frac{MR_e}{k\Phi}}{U_{do}}$$

Необхідно побудувати залежність $\cos \varphi = f(\omega)$ для декілька значень моменту двигуна, наприклад, $M = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 M_n$.

Електроприводи змінного струму ПЧ-АД.

Розрахунок коефіцієнту потужності виконується:

$$\cos \varphi = \frac{\frac{M \cdot \omega}{\eta}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n}$$

Значення к.к.д. використовуються із попереднього розрахунку для відповідних значень моменту і швидкості двигуна.

Необхідно побудувати залежність $\cos \varphi = f(\omega)$ для декілька значень моменту двигуна, наприклад, $M = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 M_n$.

6. МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Моделювання динамічних режимів системи керування електроприводом виконується у середовищі MATLAB на основі структурної схеми. Створення моделі відбувається шляхом з'єднання

окремих блоків системи електропривода із бібліотек Simulink. Параметри цих блоків задаються згідно розрахунків параметрів елементів схеми заміщення і датчиків (при необхідності).

На рис. 2,3 наведені структурні схеми розімкнених систем електропривода без зовнішніх зворотних зв'язків.

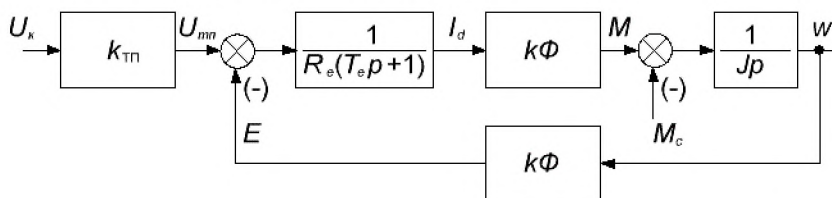


Рис. 2. Структурна схема розімкненої системи ТП-Д

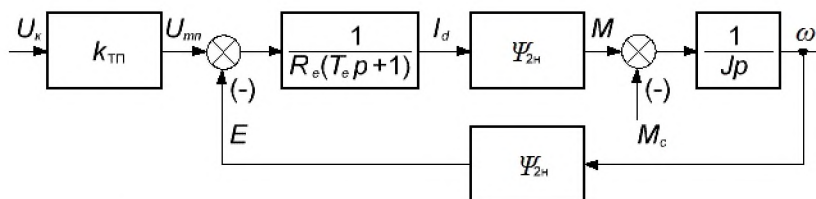


Рис. 3. Структурна схема розімкненої системи ПЧ-АД

При моделюванні динамічних режимів необхідно дослідити зміну керованих параметрів (швидкість, струм) при пуску, усталеному режимі та накиді навантаження. Необхідно також змодельовати і дослідити замкнені системи у найпростішому варіанті з підсилювачем і зі зворотними зв'язками. На рис.4,5 наведені структури замкнених систем ТП-Д і ПЧ-АД.

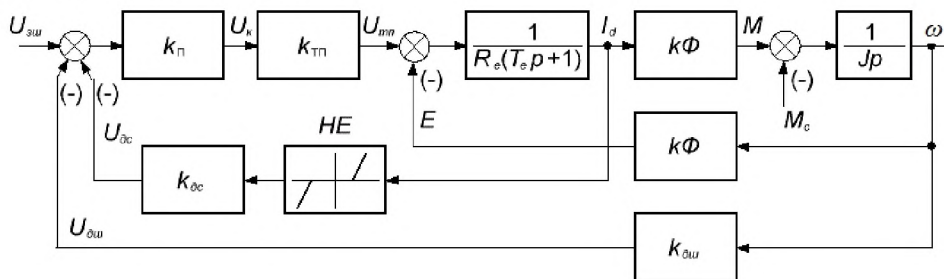


Рис. 4. Структурна схема замкненої системи ТП-Д

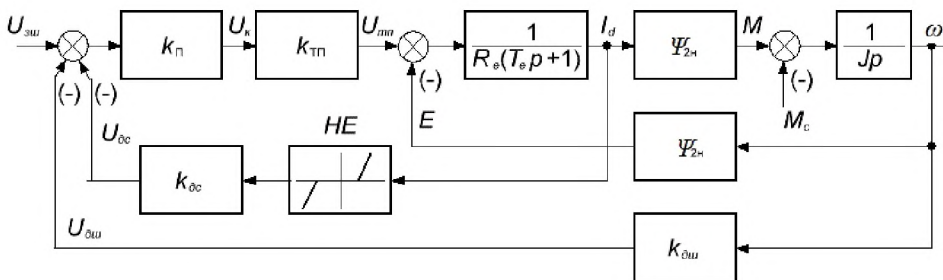


Рис. 5. Структурна схема замкненої системи ПЧ-АД

На рис.6,7 наведені схеми моделей розімкненої і замкненої систем.

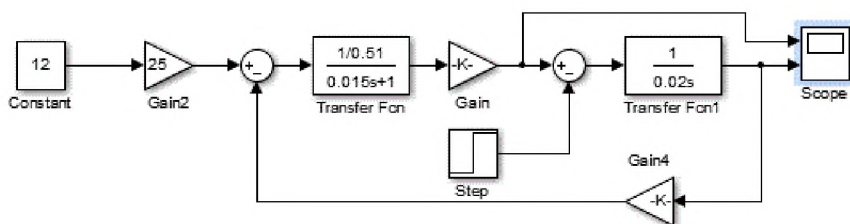


Рис.6. Схема моделі розімкненої системи

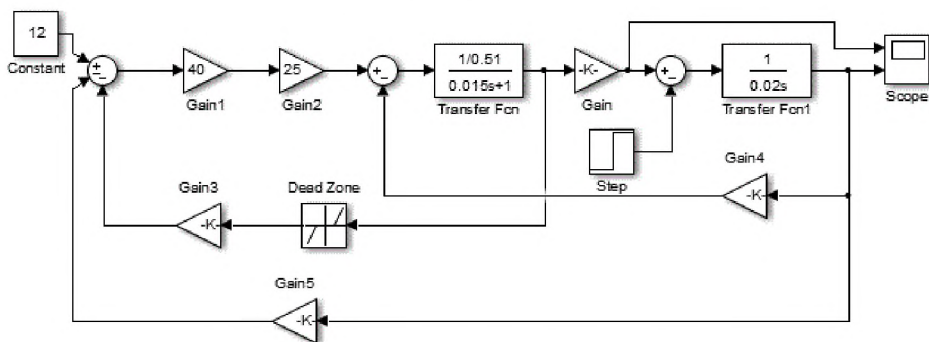


Рис.7. Схема моделі замкненої системи

З метою поліпшення якісних показників перехідного процесу допускається змінювати параметри зворотних зв'язків і підсилювача.

У курсовому проекті необхідно навести структурну схему проєктованої системи, схему моделі у MatLab та роздруківки параметрів електропривода при моделюванні перехідних режимів.

7. СКЛАДАННЯ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Останнім розділом проекту є складання принципіальної схеми електропривода на основі використання комплектного перетворювального пристрою.

Принципiальна схема повинна включати в себе головнi (силовi) кола, кола управлiння, захисту, сигналiзацiї. Для комплектного електропривода силовi кола викреслюються в розгорнутому виглядi, який дозволить показати кола струму, а кола управлiння допускається викреслювати у виглядi функцiональних блокiв з обов'язковим показом апаратiв управлiння електроприводом (перемикачi, кiнцевi вимикачi, задаючi потенцiометри та iн.).

До наведеної схеми додати опис функціональних елементів і їх роботи.

На рис. 8,9 наведені можливі варіанти принципових схем електроприводів за системами ТП-Д і ПЧ-АД.

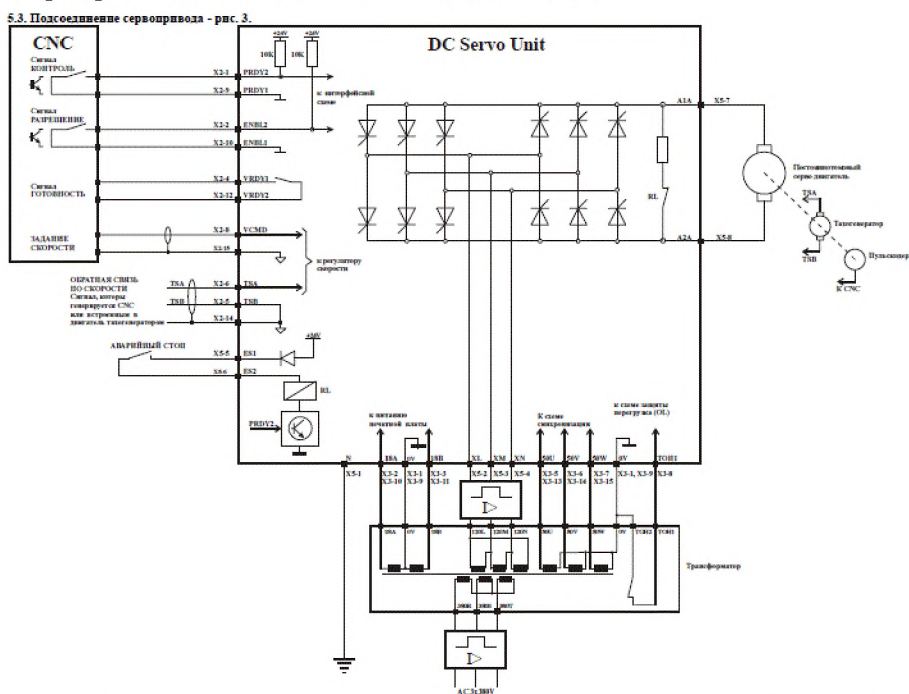


Рис.8. Принципова схема електропривода за системою ТП-Д

Перелік літератури

1. Зеленов А.Б. Теорія електропривода. Методика проєктування електроприводів: підручник / А.Б. Зеленов. – Луганськ: вид-во «Ноулідж», 2010. – 670 с.

2. Шевченко І.С. Спеціальні питання теорії електропривода. Динамічні процеси в складних механічних системах: навч. посіб. / І.С. Шевченко, Д.І. Морозов. – К.: Кафедра, 2014. – 200 с.

3. Колб Ант. А. Теорія електроприводу: навч. посібник / Ант.А. Колб, А.А. Колб. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Д: Національний гірничий університет, 2011. – 565 с.

4. Півняк Г.Г., Волков О.В. Сучасні частотно-регульовані електроприводи з широтно-імпульсною модуляцією: Монографія. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2006. – 471 с.

5. Красношопка Н. Д., Пижов В. М., Пушкар М. В. Теорія електропривода-1. – 2017.

6. Островерхов М. В., Пижов В. М., Пушкар М. В. Теорія електропривода-2. – 2014.

7. Попович М.Г. Теорія електропривода. - Запоріжжя: ЗНТУ. 2003. - 313с.

8. Зеленов А.Б. Теорія електропривода. Методика проєктування електроприводів.-Луганськ: вид-во «Ноулідж», 2010.-670 с.

9. Попович М.Г., Борисюк М.Г., та ін.. Теорія електропривода. Підручник. - К., «Вища школа», 1993, - 494 с.

10. Булгар В.В. Теорія електроприводу: збірник задач. /ОНПУ. - Одеса: Поліграф, 2006. - 408 с.

11. Електропривод: Підручник / За ред. Ю.М. Лавріненко. Вид-во «Ліра-К». – К., 2009.

12. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й., Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. – Кременчук, 2001. – 376 с.

Додаток А
Приклад оформлення титульного аркуша

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Кафедра електричної інженерії

Пояснювальна записка
щодо курсового проекту (роботи) на тему:

Електропривод _____
(вид механізму)

	Прізвище, ім'я, по-батькові	Підпис
Студент групи _____		
Керівник проекту		

Кривий Ріг
20__р.

Додаток Б

Розміри та зразок заповнення напису на листах проекту

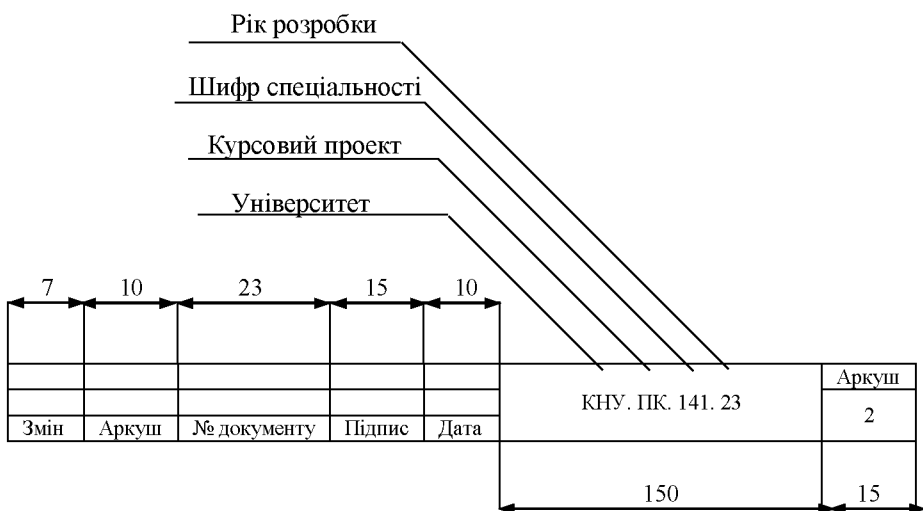


Рис. Б.3 Розміри напису специфікації рядового аркуша проекту

Додаток В **Технічні данні трансформаторів для загальнопромислових перетворювачів**

№ з/п	Тип трансформатору	Номинальна потужність, кВА	Напруга обмотки мережі перетворювачу, В	Вентильна обмотка		Параметри перетворювача		Напруга Укз, %	Втрати Ркз, Вт
				Напруга, В	Струм А	Напруга, В	Струм, А		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ТСП-10/0,7	7,3	380	205	20,5	230	25	4,7	320
2	ТСП-16/0,7	14,6	380	205	41	230	50	5,2	550
3	ТСП-25/0,7	23,1	380	205	82	230	100	5,5	1100
4	ТСП-63/0,7	58	380	205	164	230	200	5,5	1900
5	ТСП-100/0,7	93	380	205	262	230	320	5,8	2300
6	ТСП-125/0,7	117	380	410	164	460	200	5,8	2700
7	ТСЗП-160/0,7	143	380	416	204	460	250	4,5	2400
8	ТСЗП-250/0,7	235	380	416	326	460	400	4,7	3400
9	ТСЗП-400/10	364	6000	569	408	660	500	5,6	4700
10	ТСЗП-630/10	580	6000	410	816	460	1000	5,9	5600
11	ТСЗП-630/10	645	6000	570	652	660	800	5,9	5600
12	ТСЗП-1000/10	938	6000	415	1305	460	1600	6,1	8400
13	ТСЗП-1000/10	938	6000	570	1020	660	1250	6,1	8400
14	ТСЗП-1000/10	1007	6000	712	816	825	1000	6,1	8400
15	ТСЗП-1600/10	1450	6000	410	2042	460	2500	6	13500
16	ТСЗП-1600/10	1612	6000	570	1635	660	2000	6	13500
17	ТСЗП-1600/10	1621	6000	717	1308	825	1600	6	13500
18	ТСЗП-2500/10	2324	6000	410	3267	460	4000	6,5	19500
19	ТСЗП-2500/10	1979	6000	561	2042	660	2500	6,5	19500
20	ТСЗП-2500/10	2509	6000	710	2042	825	2500	6,5	19500
21	ТСЗП-4000/10	3220	6000	570	3265	660	4000	7,4	25000
22	ТСЗП-4000/10	4028	6000	570	4080	660	5000	7,4	25000
24	ТСЗП-4000/10	4030	6000	712	3265	825	4000	7,4	25000
25	ТСЗП-4000/10	3180	6000	902	2042	1050	2500	7,4	25000
26	ТМП-6300/10	5030	6000	565	5140	660	6300	6,1	33600
27	ТМП-6300/10	6280	6000	706	4080	825	5000	6,1	28500
28	ТМП-6300/10	6360	6000	900	4080	1050	5000	8,1	44800
29	ТДП-10000/10	7980	6000	896	5140	1050	6300	6,1	39000
30	ТДП-10000/10	10130	6000	896	6530	1050	8000	7,7	63300

Додаток Г
Технічні данні реакторів постійного струму
для загальнопромислових перетворювачів

№ з/п	Тип реак- тору	Номинальний струм, А	Номинальна індуктивність, мГн	Активний опір, Ом
1	2	3	4	5
1	ФРОС-65/0,5	250	1,5	0,0068
2	ФРОС-65/0,5	320	1	0,0045
3	ФРОС-125/0,5	500	0,75	0,003
4	ФРОС-250/0,5	250	6,5	0,0176
5	ФРОС-250/0,5	320	4,2	0,0115
6	ФРОС-250/0,5	800	0,6	0,0017
7	ФРОС-250/0,5	1000	0,35	0,0011
8	ФРОС-500/0,5	500	3,25	0,0075
9	ФРОС-1000/0,5	800	2,3	0,0047
10	ФРОС-1000/0,5	800	5	0,0072
11	ФРОС-1000/0,5	1000	1,6	0,0031
12	СРОС-63/0,5	200/100*	4/16*	0,0167
13	СРОС-100/0,5	320/160*	2,25/9*	0,0102
14	СРОС-160/0,5	150/75*	3,5/0,875	0,0075
15	СРОС-200/0,5	200/100*	30/7,5	0,00401
16	СРОС-400/0,5	200/400*	60/15	0,00235
17	СРОС-500	1000		0,00154
18	СРОС-800	1600	0,5/2	0,00082
19	СРОС3-1250	2000	0,2/0,8	0,00044
20	СРОС3-2000	4000	0,2/0,8	0,00025
21	СРОС3-3200	6300	0,08/0,32	0,00012
22	СРОС3-4000	8000	0,1/0,4	0,00009
23	СРОС3-5000	10000	0,08/0,32	0,00007
24	СРОС3-6300	12500	0,06/0,24	0,00005

* - паралельне та послідовне з'єднання пів обмоток реактору

Додаток Д
Технічні данні реакторів змінного струму
для загальнопромислових перетворювачів

№ з/п	Тип реак- тору	Номинальний струм, А	Номинальна індуктивність, мГн	Активний опір, Ом
1	2	3	4	5
1	РТСТ-20,5	20,5	2,02	0,265
2	РТСТ-41	41	1,01	0,102
3	РТСТ-82	82	0,505	0,037
4	РТСТ-165	165	0,25	0,013
5	РТСТ-265	265	0,156	0,0072
6	РТСТ-410	410	0,101	0,0038
7	РТСТ-660	660	0,064	0,0021
8	РТСТ-820	820	0,0505	0,0014
9	РТТ 0,38-50	50	0,446	0,042
10	РТТ 0,38-80	80	0,446	0,042
11	РТТ 0,38-100	100	0,446	0,042
12	РТТ 0,38-200	200	0,446	0,042

Додаток Е
Технічні данні двигунів постійного струму
для загально промислових електроприводів

№ з/п	Тип двигун	Номинальна потужність, кВт	Номинальна напруга, В	Номинальний струм, А	Номинальна швидкість, об/хв	Номинальний к.к.д., %	Момент інерції, кгм ²	2а	2р
1	2	3	4	5	6	7	8	10	11
1	Д12	2,5	220	16	1100	71,0	0,2	2	2
2	Д31	8,0	220	46,5	800	78,2	1,2	2	2
3	Д41	16,0	220	89,0	650	81,7	3,2	2	8
4	Д808	37,0	220	200	525	84,1	8,0	2	8
5	Д810	55,0	220	290	500	86,2	14,5	2	8
6	Д812	70,0	440	180	500	88,4	28,0	2	8
7	Д814	110,0	440	280	460	89,3	41,0	2	8
8	Д816	150,0	440	380	460	89,7	65,0	2	8
9	Д818	185,0	440	467	410	90,0	110,0	2	8
10	4П-355-25-250	250	440	630	630	90,1	450	2	8
11	4П-355-25-355	355	600	646	600	91,6	920	2	8
12	4П-355-26-500	500	600	910	500	91,6	1700	2	8
13	4П-355-26-630	630	600	1130	500	92,9	3100	2	8
14	4П-355-28-800	800	600	1420	500	93,9	4700	2	8
15	П2-630-204,5-4К	800	750	1240	40	86,0	5150	2	120
16	П2-630-213-4к	1600	930	1945	71	88,4	9000	2	80
17	П2-630-215-8к	3150	930	3650	90	92,8	13650	2	60
18	П2-630-253-8к	5000	930	5720	90	94,0	20700	2	60
19	П2-800-227-8с	4000	930	4710	50	91,3	29800	2	120
20	П2-800-218-14с	7100	930	8130	90	93,9	22850	2	60
21	П2-800-227-14с	8000	930	9080	100	94,7	30250	2	60
22	П2-630-237-14с	9000	930	10200	90	94,9	47000	2	60
23	П2-630-247-14с	10000	930	11380	80	94,5	63500	2	60
24	П2-23/85-2,8	2000	600	3900	32	85,5	9200	2	120
25	П2-23/85-2,8	2500	750	3790	40	88,0	11700	2	120
26	П2-23/85-2,8	3150	930	3760	50	90,0	13500	2	120
27	П2-24/105-3,55	2800	600	5270	25	88,6	12400	2	200
28	П2-24/105-3,55	3550	750	5190	32	91,2	14100	2	120
29	П2-24/105-3,55	4500	930	5280	40	91,6	31200	2	120
30	П2-26/41-2,25	1600	600	3050	32	87,4	8900	2	120
31	П2-26/41-2,25	2000	750	2980	40	89,5	11400	2	120
32	П2-26/41-2,25	2500	930	2945	50	91,3	12300	2	120

Додаток Ж
Технічні данні двигунів і генераторів постійного струму
для електроприводів спеціального призначення

№ з/п	Тип двигун	Номинальна потужність, кВт	Номинальна напруга, В	Номинальний струм, А	Номинальна швидкість, об/хв	Номинальний к.к.д., %	Момент інерції, кгм ²	2а	2р
1	2	3	4	5	6	7	8	10	11
Двигуни постійного струму									
1	ДП-62	46	220	233	625	90,0	4,0		
2	ДПЕ-52	54	395	150	1200	92,5	2,0		
3	ДЕВ-808	68	310	230	1200	92,3	2,0		
4	ДЕ-812	100	305	360	750	93,4	8,25		
5	ДПЕ-82	175	440	350	740	93,5	17		
6	ДПЕ-82А	190	300	680	740	93,6	17		
7	ПЕВ-143-7КЕ	210	225	1030	460	93,0	45		
8	МПС-640-700	240	240	1130	240	84,5	85		
9	МПЕ-60/29	250	350	780	980	91,6	50		
10	ПЕ-134-4	350	450	835	1260	93,5	43		
11	ПЕВ-143-7	420	440	1080	900	93,3	45		
12	МПВЕ-450-29	450	370	1450	290	84,5	40,8		
13	МПЕ-450-900-1	450	440	1090	900	93,8	30		
14	МПЕ-450-900У3	500	440	1210	1000	93,8	30		
15	МПЕ-785-750	540	440	1250	730	94,0	80		
16	ПЕ150-11	680	330	1950	750	93,0	120		
17	МПВЕ-780-650	780	400	2100	700	92,9	150		
18	МПЕ-1000-630	1000	600	1780	630	94,4	286		
19	МПЕ-2500-260	2550	930	2920	260	94,1	3250		
Генератори постійного струму									
1	2П2В250	20	55	364	1500	78,0	0,7		
2	П-81	27	115	234	1450	84,5	0,7		
3	2ПН225М	30	115	261	1500	85,3	0,7		
4	П-91	50	115	434	1470	85,6	1,5		
5	ПЕМ-2000М	115	330	348	1000	88,0	16,25		
6	2ПЕМ-2000М	200	460	435	1480	92,3	6,9		
7	ПМЕ14-12/4	225	660	313	1000	92,0	32,5		
8	ПЕМ141-4К	250	630	397	1000	92,0	32,5		
9	2ПЕ141-4К	280	630	397	1000	92,8	32,5		
10	МПЕ11-22/5	310	500	615	1000	93,4	59,8		
11	ГПЕ-450-1000	450	560	750	1000	93,0	70		
12	ПЕМ-151-5	500	560	895	1000	93,5	87,5		
13	2ПЕ151-5	560	750	694	1000	93,5	87,5		
14	МПЕ12-34/6	743	900	825	1000	94,5	113,5		
15	ПЕ170-5	900	900	1000	1000	92,5	187,5		
16	ГПЕ85-36	1000	900	1110	1000	94,5	187,5		
17	ПЕ172-12	1400	660	2120	1000	93,5	192,7		
18	ГПЕ-2000-1000	2000	750	1950	1000	92,5	240		
19	ГПЕ-2500-750	2500	1200	2080	750	94,7	430		
20	ГПЕ-2700-600	2700	930	2920	600	94,2	520		

Додаток 3

Технічні данні тягових двигунів постійного струму для електротранспорту

№ з/п	Тип двигуна	Номинальна потужність, кВт	Номинальна напруга, В	Номинальний струм, А	Номинальна швидкість, об/хв	Номинальний к.к.д., %	Момент інерції, кгм ²	2а	2р
1	2	3	4	5	6	7	8	10	11
1	НБ-406	525	1500	380	735	92,1	1750	2	2
2	НБ-411	400	1500	290	790	92,0	1480	2	2
3	НБ-414Б	810	950	922	1300	92,4	4250	2	2
4	GB-317	825	970	910	1400	93,6	5100	2	2
5	РТ-51М	182	825	240	1200	91,9	150	2	2
6	1ДТ-0031	240	750	350	1340	91,4	480	2	2
7	ТЛ-2К1	670	1500	480	790	93,0	3500	2	2
8	ДК-210А	110	550	220	1500	90,9	50	2	2
9	ДК-211	150	550	300	1750	90,9	72	2	2
10	ДК-261	60	275	250	1460	87,2	19	2	2
11	ДК-259Г	45	275	190	1200	86,1	12	2	2
12	ДК-717	230	550	472	570	90,8	460	2	2
13	ДК-722	360	750	520	1040	92,0	620	2	2
14	ДК-724	560	700	900	560	92,2	2010	2	2

Додаток І

Технічні данні двигунів змінного струму для загально промислових електродвигунів

№ з/п	Тип двигуна	Номинальна потужність, кВт	Номинальна напруга, В	Номинальне ковзання, %	Синхронна швидкість, об/хв	Номинальний к.к.д., %	Момент інерції, кгм ²	cosφ	k _{max}
1	2	3	4	5	6	7	8	10	11
Асинхронні двигуни									
1	АО2-42	5	380/660	3,5	1500	87	0,06	0,86	2,5
2	АО2-52	10	380/660	3,3	1500	88,5	0,23	0,87	2,4
3	АО2-62	17	380/660	3,3	1500	89	0,31	0,89	2,3
4	АО2-71	22	380/660	3,3	1500	90	0,5	0,9	2,2
5	АО2-72	30	380/660	3,3	1500	91	0,68	0,91	2,2
6	АО2-81	40	380/660	3	1500	91,5	1,4	0,91	2,1
7	АО2-82	55	380/660	2,7	1500	92,5	4,5	0,92	2,1
8	АО2-91	75	380/660	2	1500	92,5	17	0,92	2,1
9	АО2-92	100	380/660	2	1500	93	25	0,92	2,1
10	А4	200	380/660	2,2	1500	92	14	0,86	2,5
11	А4	250	380/660	2,2	1500	92,5	15	0,87	2,4
12	А4	400	380/660	1,3	1000	94,2	16	0,87	2

13	A4	630	6000	1,3	1000	94,5	17	0,88	2
14	A4	800	6000	1,3	1000	94,6	21	0,88	2
15	A4	1000	6000	1,3	1000	95,5	25	0,89	2
16	АТД4	1250	6000	1,3	1000	96,4	40	0,89	1,9
17	АТД4	1600	6000	1,3	1000	96,6	70	0,89	1,9
18	АТД4	2000	6000	1,3	1000	96,7	95	0,89	1,9
19	АТД4	2500	6000	1,3	1000	97	124	0,89	1,9
20	АТД4	3150	6000	1,3	1000	97,2	145	0,9	1,9
21	АТД4	4000	6000	1,3	1000	97,3	170	0,9	1,9
22	АТД4	5000	6000	1,3	1000	97,5	200	0,9	1,9
23	АТД4	6300	6000	1,3	1000	97,6	226	0,9	1,9
24	АТД4	8000	6000	1,3	1000	97,6	250	0,9	1,9
Синхронні двигуни									
1	МСЕ321-6/6	425	6000	0	1000	93	32	0,8	1,4
2	СДСЕ-14-29-6	520	6000	0	1000	93	38	0,85	0,7
3	СДЕ2-15-34-6	630	6000	0	1000	93,8	46	0,9	1,5
4	МСЕ321-10/6	860	6000	0	1000	93,8	140	0,8	1,5
5	СД2-16-46-6	1250	6000	0	1000	95,6	167	0,9	0,8
6	СДЕ3-15-64-6	1900	6000	0	1000	95,9	360	0,9	1,0
7	СДЕ2-17-46-6	2000	6000	0	1000	96,3	320	0,9	0,7
8	СДЕ2-17-69-8	2500	6000	0	750	95,8	1212	0,9	1,0

Додаток К

Технічні данні перетворювачів постійного і змінного струму

Перетворювачі постійного струму						Перетворювачі змінного струму					
Тип перетворювача	Напруга живлення, В	Вихідна напруга, В	Вихідний струм, А	Напруга збудження, В	Струм збудження, А	Тип перетворювача	Напруга живлення, В	Потужність двигуна, кВт	Вихідна напруга, В	Вихідний струм, А	Вихідна частота, Гц
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Перетворювачі SIMOREG 6RM70 (ТІІ-Д)						Перетворювачі Altivar 61 (ПЧ-АД)					
КТЕ	380	205	20.5	220	5	АТV61	380	0,75	380	3,7	200
КТЕ	380	205	41	220	10	АТV61	380	1,5	380	5,8	200
КТЕ	380	205	82	220	10	АТV61	380	2,2	380	8,2	200
КТЕ	380	205	164	220	15	АТV61	380	3	380	11	200
КТЕ	380	205	262	220	25	АТV61	380	4	380	14	200
КТЕ	380	410	164	220	15	АТV61	380	5,5	380	20	200
КТЕ	380	416	204	220	25	АТV61	380	7,5	380	27	200
КТЕ	380	416	326	220	25	АТV61	380	11	380	37	200
КТЕ	6000	569	408	220	40	АТV61	380	15	380	43	200
КТЕ	6000	410	816	220	30	АТV61	380	18	380	45	200
КТЕ	6000	570	652	220	30	АТV61	380	22	380	50	200
КТЕ	6000	415	1305	220	40	АТV61	380	30	380	66	200
КТЕ	6000	570	1020	220	30	АТV61	380	37	380	84	200
КТЕ	6000	712	816	220	30	АТV61	380	45	380	104	200
КТЕ	6000	410	2042	220	50	АТV61	380	55	380	120	200
КТЕ	6000	570	1635	220	50	АТV61	380	75	380	167	200
КТЕ	6000	717	1308	220	40	АТV61	380	90	380	166	200
КТЕ	6000	410	3267	220	50	АТV61	380	110	380	202	200
КТЕ	6000	561	2042	220	50	АТV61	380	132	380	239	200

KTE	6000	710	2042	220	50	ATV61	380	160	380	289	200
KTE	6000	570	3265	220	50	ATV61	380	200	380	357	200
KTE	6000	570	4080	220	75	ATV61	380	220	380	396	200
KTE	6000	712	3265	220	50	ATV61	380	250	380	444	200
KTE	6000	902	2042	220	50	ATV61	380	280	380	494	200
KTE	6000	565	5140	220	100	ATV61	380	315	380	555	200
KTE	6000	706	4080	220	75	ATV61	380	355	380	637	200
KTE	6000	900	4080	220	75	ATV61	380	400	380	709	200
KTE	6000	896	5140	220	100	ATV61	380	500	380	876	200
KTE	6000	896	6530	220	100	ATV61	380	560	380	978	200

Перетворювачі ACS 5000 (ПЧ-АД)				
Тип перетворювача	Напруга живлення, В	Потужність на валу, кВт	Повна потужність, кВт	Струм двигуна, А
ACS 5060-36L35A	6000	1460	1700	1700
ACS 5060-36L35B	6000	1800	2100	2100
ACS 5060-36L35C	6000	2150	2500	2500
ACS 5060-36L35D	6000	2570	3000	3000
ACS 5060-36L35E	6000	3090	3600	3600
ACS 5060-36L35G	6000	3690	4300	4300
ACS 5060-36L35H	6000	4120	4800	4800

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки до виконання курсового проекту
з дисципліни «Електропривод»

УКЛАДАЧІ: Філіпп Юлій Борисович, Пересунько Ігор Ігорович,
Кальмус Дмитро Олегович

Реєстрація № _____

Підписано до друку _____ 2023 р.

Формат _____ А5

Обсяг _____ 34 _____ стор.

Тираж _____ 15 _____ прим.