

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та телекомунікації

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Перший (Бакалаврський)

Освітній рівень

Галузь знань 15 Автоматизація та приладобудування

Шифр і назва спеціальності

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані

технології

Шифр і назва спеціальності

на тему «Система автоматичного керування електричним двигуном»

КРБАКІТ. 2017024.01.01.ПЗ

Виконала: студентка 4 курсу, група АКІТ-17-1


підпис

А.І. Гринів
Ініціали, прізвище

Керівник: канд. техн. наук, доц.


підпис

Г.І. Радельчук
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри: д-р техн. наук, проф.


підпис

В.В. Мартинюк
Ініціали, прізвище

22 06 2021 р.

Хмельницький, 2021

Хмельницький національний університет

Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій і телекомунікацій

Освітній рівень другий (магістерський)

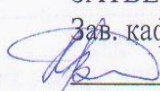
Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня-професійна програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою

 АКІТс'Тн
Меркушова С.К.

« 5 » 02 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Гринів Адріана Іванівна

1 Тема роботи: Система автоматичного керування електричним двигуном
керівник роботи Радельчук Г.І., к.т.н, доцент

Затверджено наказом по університету від «5» лютого 2021р. № 11.

2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 01.06.2021р.

3 Вихідні дані (характеристика об'єкта, умов дослідження та ін.)

Мета роботи: розробка системи автоматичного керування електричним двигуном.

Об'єкт дослідження: процес автоматичного керування електричним двигуном.

Предмет дослідження: система автоматичного керування електричним двигуном.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

Вступ. Огляд літературних джерел та патентних даних. Розробка системи автоматичного керування електричним двигуном. Програмна реалізація та тестування системи автоматичного керування електричним двигуном.

Висновки.

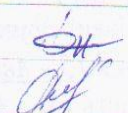



Завдання отримав



Науковий керівник



Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В.		
Нормоконтроль	Корецька Л.О.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вступ	15.02.2021р.	Виконано
2	Огляд літературних джерел та патентних даних	15.03.2021р.	Виконано
3	Розробка системи автоматичного керування електричним двигуном	10.04.2021р.	Виконано
4	Програмна реалізація та тестування системи автоматичного керування електричним двигуном	10.05.2021р.	Виконано
5	Висновки	15.05.2021р.	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки до КРБ	25.05.2021р.	Виконано
7	Оформлення презентаційних матеріалів	1.06.2021р.	Виконано

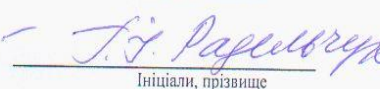
Студент


Підпис


Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис


Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Система автоматичного керування електричним двигуном».

Автор роботи: Гринів Адріана Іванівна.

Керівник роботи: Радельчук Галина Іванівна.

Пояснювальна записка: 58 с., 13 рис., 2 табл., 2 дод., 23 джерела.

Графічна частина: 10 презентаційних слайдів.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ ДВИГУНОМ, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ВІДЦЕНТРОВИЙ НАСОС, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РЕЛЕ

Метою роботи є розробка системи автоматичного керування електричним двигуном шляхом розробки алгоритму взаємодії їх мікроконтролерної системи керування та комп'ютера в реальному масштабі часу.

В роботі виконані такі завдання:





- розроблено структурну схему системи автоматичного керування електричним двигуном у реальному масштабі часу;
- розроблено алгоритм роботи системи автоматичного керування електричним двигуном;
- розроблено програму роботи системи автоматичного керування електричним двигуном.

Підпис студента *Адріана Гринів*

Дата *22.06.2021р.*

ЗМІСТ

Вступ	5
1. Огляд літературних джерел та патентних матеріалів	8
1.1. Будова і принцип роботи асинхронних двигунів	8
1.2. Алгоритми керування двигуном.....	17
1.3. Висновки до першого розділу	21
2. Основна частина.....	22
2.1. Аналіз вимог технічного завдання на розробку системи автоматичного керування електричним двигуном.....	22
2.2. Принцип роботи системи автоматичного керування електричним двигуном на рівні структурної схеми	23
2.3. Розрахунок параметрів та вибір елементів системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання	26
2.4. Розрахунок характеристик системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.....	33
2.5. Висновки до другого розділу.....	36
3. Розробка програмного забезпечення системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання	37
3.1. Розробка структурної схеми контуру регулювання системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.....	37
3.2. Розробка алгоритму роботи системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.....	42
3.3. Розробка програми роботи системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.....	46
3.4. Висновки до третього розділу	54
Висновки	55
Література	56
Додатки	59

КРБАКІТ. 2017024.01.01.ПЗ				
Зм.	Арк.	Надокум.	Підпис	Дата
Виконав		Гринів А.І.		22.06
Перевір.		Радельчук Г.І.		22.06
Т.Контр				
Н.контр.		Ковтун Л.О.		22.06
Затвер.		Мартинюк В.В.		22.06
Система автоматичного керування електричним двигуном Пояснювальна записка				
		Літера	Аркуш	Аркушів
		у	4	59
ХНУ, АКІТ-17-1				

ВСТУП

Актуальність теми. Асинхронні двигуни є найкращим вибором для промислового застосування завдяки своїй механічній міцності, низькій ціні та простоті обслуговування [1]. Асинхронні двигуни мають широке застосування в промислових процесах та використовується як вентилятори або насоси в системах опалення та кондиціонування повітря [2]. Недоліком асинхронних двигунів є великий пусковий струм та складність керування частотою обертання їх ротора.

Актуальність роботи обумовлена розробкою системи автоматичного керування асинхронним двигуном для подолання їх головних недоліків, а саме: зменшення пускового струму та можливість керування частотою обертання їх ротора в автоматизованому режимі.

Метою роботи є розробка системи автоматичного керування електричним двигуном шляхом розробки алгоритму взаємодії їх мікроконтролерної системи керування та комп'ютера в реальному масштабі часу.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

- розробити структурну схему системи автоматичного керування електричним двигуном у реальному масштабі часу;
- розробити алгоритм роботи системи автоматичного керування електричним двигуном;
- розробити програму роботи системи автоматичного керування електричним двигуном.

Об'єктом дослідження є процес керування електричним двигуном.

Предметом дослідження є системи автоматичного керування електричним двигуном.

Методи досліджень. При вирішенні поставлених завдань у роботі були використані методи теорії керування, теорії кіл та методи алгоритмізації та програмування.

Практична значимість отриманих результатів:

У роботі розроблена система автоматичного керування електричним двигуном та програмне забезпечення її роботи. Використання такої системи дозволяє підвищити ефективність роботи електричних двигунів та можливість керування частотою обертання їх ротора в автоматизованому режимі.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків до кожного розділу, висновків, списку використаних джерел, 2 додатків. Загальний обсяг роботи складає 58 сторінок комп'ютерного тексту, у тому числі: 13 рисунків та 2 таблиць, список використаних джерел вміщує 23 найменувань.

У вступі обґрунтована актуальність кваліфікаційної роботи, сформульовано мету та задачі кваліфікаційної роботи, відображено її практичне значення.

В першому розділі були розглянуті наступні питання: будова і принцип роботи асинхронних двигунів, а також алгоритми керування асинхронними двигунами.

У другому розділі проведено аналіз вимог технічного завдання на розробку системи автоматичного керування електричним двигуном.

Розроблено принцип роботи системи автоматичного керування електричним двигуном на рівні структурної схеми.

Виконано розрахунок параметрів та вибір елементів системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.

Проведено розрахунок характеристик системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.

У третьому розділі розроблено програмне забезпечення системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.

Розроблено структурну схему контуру регулювання системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.

Розроблено алгоритм роботи та програмне забезпечення системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.

					КРБАКІТ. 2017024.01.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		7

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1. Будова і принцип роботи асинхронних двигунів

Трифазний асинхронний двигун був винайдений у 19 столітті. Порівняно з двигунами постійного струму, асинхронні двигуни мають вищу щільність потужності та механічно більш міцні, що робить їх ідеальними двигунами для багатьох застосувань.

Електрична енергія в асинхронному двигуні перетворюється через обертові магнітні поля. Трифазні струми на стороні статора створюють електромагнітне поле, яке взаємодіє з електромагнітним полем в обмотках ротора. За законом Лоренца виникає результуючий крутний момент і електрична енергія перетворюється в механічну енергію обертання ротора.

На рисунку 1.1 зображена конструкція трифазного асинхронного двигуна [3].



Рисунок 1.1 – Конструкція трифазного асинхронного двигуна [3]

Конструкція трифазного асинхронного двигуна порівняно проста і складається з двох основних частин - нерухомого статора та обертового ротора. В асинхронному двигуні змінні струми подаються від трифазних клем і протікають через обмотки статора, виробляючи обертовий потік статора в двигуні [3].

Швидкість обертання магнітного поля визначається як синхронна швидкість і пов'язана з кількістю полюсів асинхронного двигуна та частотою джерела живлення.

$$n_{\text{синхр}} = \frac{120 f_m}{P}, \quad (1.1)$$

де $n_{\text{синхр}}$ - синхронна швидкість в обертах в хвилину;

f_m - частота мережі живлення;

P - кількість полюсів.

Обертове магнітне поле від статора буде спричиняти напругу в обмотках ротора, оскільки обмотки ротора мають коротке замикання, в обмотках ротора буде генеруватися великий циркуляційний струм. Цей індукований струм ротора взаємодіє з обертовим магнітним полем. В наслідок дії закону Лоренца, дотична електромагнітна сила генерується на обмотках ротора, а сума сил на кожній обмотці ротора створює крутний момент, який повертає ротор у напрямку руху обертання поля.

Коли обертове магнітне поле вперше генерується, ротор все ще знаходиться в стані спокою. Однак ротор буде швидко прискорюватися, щоб не відставати від обертового потоку статора. Зі збільшенням частоти обертання ротора обмотки ротора перетинаються полем не настільки сильно, тому напруга в обмотках ротора зменшується.

Якщо швидкість ротора дорівнює швидкості потоку, обмотки ротора більше не будуть перетинатися полем, і ротор почне гальмувати [3]. Ось чому такі двигуни називають асинхронними двигунами, тому що частота обертання ротора ніколи не буде дорівнювати синхронній швидкості обертання. Різниця між частотою обертання електромагнітного поля статора та частотою обертання ротора визначається як швидкість ковзання:

$$n_k = n_{\text{синхр}} - n_m, \quad (1.2)$$

де n_k - швидкість ковзання;

$n_{\text{синхр}}$ - швидкість обертового магнітного поля;

n_m - механічна частота обертання вала двигуна.

Коефіцієнт ковзання можна визначити як:

$$s = \frac{n_{\text{синхр}} - n_m}{n_{\text{синхр}}}. \quad (1.3)$$

Якщо ротор обертається із синхронною швидкістю, то $s = 0$, а якщо ротор зупинився, то $s = 1$.

За допомогою просторових векторів при моделюванні асинхронного двигуна можна ефективно визначити всі змінні стану двигуна [4]. Такі змінні, як трифазні напруги, струми та потоки асинхронних двигунів, можна легко та зручно аналізувати та описувати.

Три фазові осі визначаються векторами: e^{j0° , e^{j120° та e^{j240° , як показано на рисунку 1.1. Вектор струму статора i_s та ротора i_r можна описати рівняннями:

$$i_s = i_{as} \cdot e^{j0^\circ} + i_{bs} \cdot e^{j120^\circ} + i_{cs} \cdot e^{j240^\circ} . \quad (1.4)$$

$$i_r = i_{ar} \cdot e^{j0^\circ} + i_{br} \cdot e^{j120^\circ} + i_{cr} \cdot e^{j240^\circ} . \quad (1.5)$$

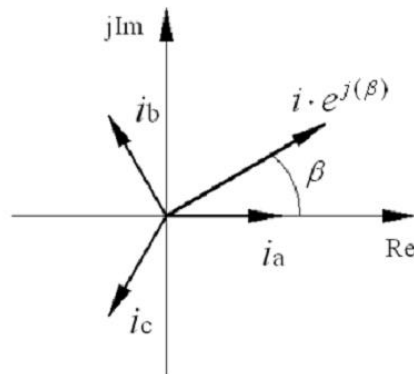


Рисунок. 1.1 – Векторна діаграма струму

Моделювання, аналіз та управління асинхронним двигуном можна значно спростити, використовуючи перетворення координат. Трифазну змінні можна перевести у двофазні змінні [5], а стаціонарні змінні можна перенести в обертальні змінні [6]. Зазвичай це перетворення включає такі два етапи:

1. Перетворення Кларка.
2. Перетворення Парка.

Перетворення Кларка переводить трифазну систему в двофазну. Візьмемо струми, наприклад:

$$\begin{pmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{3} & -\frac{\sqrt{3}}{3} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{pmatrix} . \quad (1.6)$$

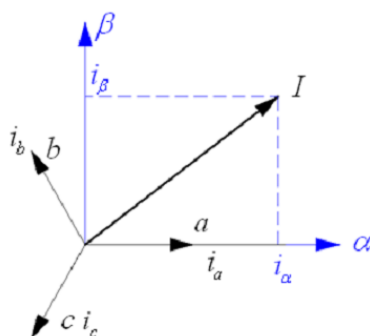


Рисунок. 1.2 – Перетворення Кларка трифазних струмів

Перетворення Парка перетворює стаціонарну систему на ротаційну:

$$\begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{pmatrix}. \quad (1.7)$$

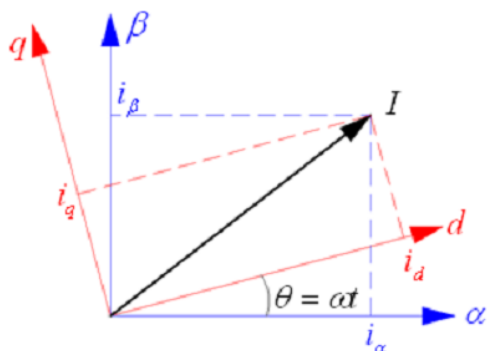


Рисунок. 1.3 – Перетворення Парка двофазних струмів

Модель асинхронного двигуна зазвичай містить три частини: рівняння потоку, рівняння напруги та рівняння крутного моменту [4]. Існує три види потоків: потік статора, потік ротора та взаємний потік. Потік статора та вектори потоку ротора можна виразити через струм статора i_s та струм ротора i_r , які наведені нижче:

$$\Psi_s = L_s \cdot I_s + L_m \cdot I_r, \quad (1.8)$$

$$\Psi_r = L_r \cdot I_r + L_m \cdot I_s. \quad (1.9)$$

де L_s та L_r - індуктивність статора та індуктивність ротора відповідно;

L_m - взаємна індуктивність між обмотками статора та ротора.

Рівняння напруги асинхронних двигунів можна описати в різних системаї координат. Для опису асинхронних двигунів зазвичай використовують три системи координат [4].

1. Стаціонарна система координат.
2. Синхронна обертальна система координат.
3. Полеорієнтована синхронна система координат.

Асинхронний двигун зазвичай має три набори обмоток статора, а ротор також можна розглядати як три набори обмоток [4]. І статор, і ротор можуть бути представлені індуктивністю та опором в еквівалентній схемі заміщення. За допомогою перетворення Кларка модель трифазного асинхронного двигуна може бути виражена як еквівалентна двофазна модель [4]. Еквівалентні схеми в нерухомій обмотці асинхронного двигуна показані на рисунку 1.4 та на рисунку 1.5.

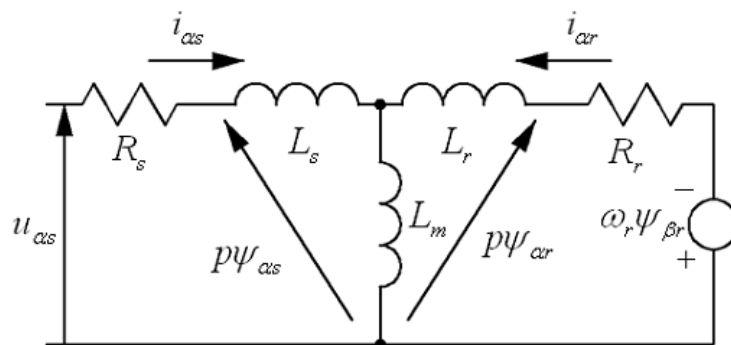


Рисунок. 1.4 – Альфа-компонент еквівалентної схеми асинхронного двигуна

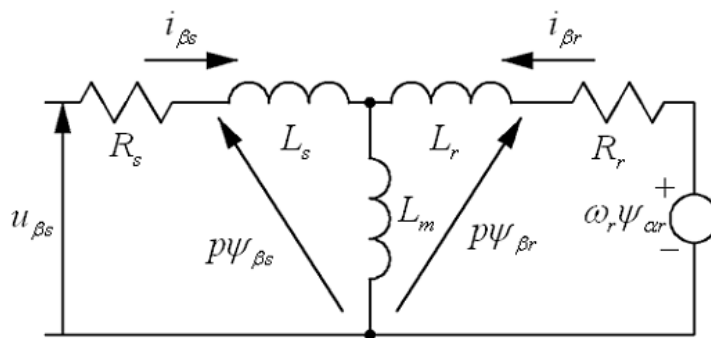


Рисунок. 1.4 – Бета-компонент еквівалентної схеми асинхронного двигуна

Виходячи із доугого закону Кірхгофа, рівняння напруги статора та ротора можуть бути виражені як:

$$u_{\alpha s} = i_{\alpha s} R_s + p\Psi_{\alpha s}, \quad (1.10)$$

$$u_{\beta s} = i_{\beta s} R_s + p\Psi_{\beta s}, \quad (1.11)$$

$$0 = i_{\alpha r} R_r + p\Psi_{\alpha r} + \omega_r \Psi_{\beta r}, \quad (1.12)$$

$$0 = i_{\beta r} R_r + p\Psi_{\beta r} - \omega_r \Psi_{\alpha r}, \quad (1.13)$$

де $\omega_r \Psi_{\beta r}$ та $\omega_r \Psi_{\alpha r}$ - швидкість обертання електрорушійної сили;
 p - диференціальний оператор.

Підставивши рівняння 1.8 та 1.9 у рівняння 1.10 та рівняння 1.11, рівняння напруги статора можна переписати:

$$u_{\alpha s} = (R_s + L_s p)i_{\alpha s} + L_m p i_{\alpha r}, \quad (1.14)$$

$$u_{\beta s} = (R_s + L_s p)i_{\beta s} + L_m p i_{\beta r}. \quad (1.15)$$

Рівняння напруги ротора можуть бути переписані як:

$$0 = L_m p i_{\alpha r} + (R_r + i_r p) i_{\alpha r} + \omega_r L_m i_{\beta s} + \omega_r L_r i_{\beta r}. \quad (1.16)$$

$$0 = L_m p i_{\beta r} + (R_r + i_r p) i_{\beta r} - \omega_r L_m i_{\alpha s} - \omega_r L_r i_{\alpha r}. \quad (1.17)$$

У обертальній системі координат позначимо швидкість обертання через ω_e . Використовуючи перетворення Парка, рівняння 1.10 і 1.11 можна виразити в синхронній обертальній системі координат d-q, тому рівняння напруги статора можна переписати як:

$$u_{ds} = i_{ds} R_s + p \psi_{ds} - \omega_e \psi_{qs}, \quad (1.18)$$

$$u_{qs} = i_{qs} R_s + p \psi_{qs} + \omega_e \psi_{ds}, \quad (1.19)$$

Останні доданки в рівнянні 1.18 та рівняннс 1.19 можна визначити як швидкість електрорушійної сили, оскільки вони безпосередньо пов'язані з синхронною швидкістю двигуна. Коли $\omega_e = 0$, ці рівняння повертаються до стаціонарної форми.

Рівнянням напруги ротора можна отримати аналогічно з рівняння 1.12 та рівняння 1.13. У цей час швидкість ротора ω_r , а оскільки осі d-q закріплені на роторі, відносна швидкість щодо синхронно обертової обмотки дорівнює $\omega_e - \omega_r$. Тому в синхронно обертовій обмотці рівняння напруги ротора слід переписати як:

$$0 = i_{dr} R_r + p \psi_{dr} + (\omega_r - \omega_e) \psi_{qr}, \quad (1.20)$$

$$0 = i_{qr} R_r + p \psi_{qr} - (\omega_r - \omega_e) \psi_{dr}. \quad (1.21)$$

Рівняння напруги статора можна переписати як:

$$u_{ds} = i_{ds}(R_s + L_s p) - L_s \omega_e i_{qs} - L_m \omega_e i_{dr} + L_m p i_{qr}, \quad (1.22)$$

$$u_{qs} = i_{qs}(R_s + L_s p) + L_s \omega_e i_{ds} + L_m \omega_e i_{dr} + L_m p i_{qr}. \quad (1.23)$$

Рівняння напруги ротора можна переписати як:

$$0 = L_m p i_{ds} - (\omega_e - \omega_r) L_m i_{qs} + (R_r + L_r p) i_{dr} - L_r (\omega_e - \omega_r) i_{qr}, \quad (1.24)$$

$$0 = L_m p i_{qs} + (\omega_e - \omega_r) L_m i_{ds} + (R_r + L_r p) i_{qr} + L_r (\omega_e - \omega_r) i_{dr}. \quad (1.25)$$

Крутний момент утворюється в результаті взаємодії магнітного поля статора та магнітного поля ротора [7], тому можна записати:

$$T_e = K_0 B_r \times B_s. \quad (1.26)$$

де T_e - індукований крутний момент;

B_r та B_s - це густина магнітного потоку ротора та статора відповідно.

Крім того, електромагнітний крутний момент створюється взаємодією струму і магнітного поля. Використовуючи дві величини струму (струм статора та струм ротора) та три потоки (потік статора, взаємний потік та потік ротора), крутний момент можна виразити у шести різних формах [8]:

$$T_e = K_1 \Psi_s \times I_r, \quad (1.27)$$

$$T_e = K_2 \Psi_m \times I_r, \quad (1.28)$$

$$T_e = K_3 \Psi_r \times I_r, \quad (1.29)$$

$$T_e = K_4 \Psi_s \times I_s, \quad (1.30)$$

$$T_e = K_5 \Psi_m \times I_s, \quad (1.31)$$

$$T_e = K_5 \Psi_r \times I_s. \quad (1.32)$$

де K_1, K_2, \dots, K_6 - коефіцієнти крутного моменту.

Рівняння руху системи має вигляд:

$$T_e = T_L + \frac{J}{n_p} \cdot \frac{d\omega}{dt}, \quad (1.33)$$

де T_L - крутний момент навантаження;

ω - швидкість обертання ротора;

n_p - число полюсів;

J - момент інерції ротора.

1.2. Алгоритми керування двигуном

Найчастіше використовувані методи керування асинхронними двигунами змінного струму - це керування орієнтацією поля та пряме керування крутним моментом.

Методи векторного керування почали розвиватися приблизно в 1970 р. [9]. Оpubліковано декілька типів векторного керування, такі як керування орієнтоване на потік ротора, керування орієнтоване на потік статора та керування орієнтоване на взаємний потік.

Незалежно від того, який тип векторного керування використовується, всі методи керування асинхронними двигунами змінного струму використовують імітацію окремо збудженого двигуна постійного струму, в якому електромагнітний момент і магнітне поле можна контролювати окремо.

Векторно-орієнтоване керування має здатність керувати струмами, які утворюють поле та струмом, який наводиться [16]. Для різних застосувань люди можуть вибрати різну орієнтацію потоку для деяких особливих вимог. Однак лише система керування потоком ротора забезпечує повну розв'язану систему.

Векторно-орієнтоване керування відноситься до типу векторного керування, яке орієнтоване на потік ротора. Крім того, орієнтоване на поле керування можна класифікувати на непряме або пряме орієнтоване керування, залежно від способу отримання орієнтації потоку ротора.

Пряме векторно-орієнтоване керування отримує орієнтацію взаємного потоку, використовуючи датчик на ефекті Холла всередині асинхронного двигуна. Однак використання датчиків цього типу є дорогим і незручним, оскільки для розміщення датчиків потоку потрібно зробити спеціальні модифікації. Крім того, неможливо виміряти потік ротора, тому ми повинні виміряти взаємний потік безпосередньо, а потім розрахувати інформацію про потік ротора.

З іншого боку, непряме векторно-орієнтоване керування базується на оцінці орієнтації потоку ротора. Використовуючи сигнали від клем двигуна, такі як трифазні струми та швидкість обертання ротора, орієнтацію потоку ротора можна оцінити за допомогою рівнянь стану двигуна. Непряме векторно-орієнтоване керування не має проблем, таких, які притаманені прямому векторно-орієнтованому керуванню, що робить його популярним у більшості додатків.

Пряме керування крутним моментом був запроваджений в Японії Такахасі та Нагочі [10], а також у Німеччині Депенброком [11]. Цей алгоритм керування не відповідає добре розробленим стратегіям керування двигуном постійного струму. Замість того, щоб виконувати перетворення координат, щоб роз'єднати електромагнітний момент і

магнітне поле, він використовує керування за допомогою контролера гістерезису.

Такий регулятор чудово працює з напівпровідниковим інвертором. Як вказує назва, найважливішою особливістю прямого керування крутного моменту є те, що цей метод безпосередньо керує електромагнітним крутним моментом і потоком статора.

Типове пряме керування крутним моментом використовує два контролери гістерезису [12]. Зазвичай перед реалізацією регулятора гістерезису фактичний потік статора обчислюється з напруги статора, а електромагнітний момент обчислюється з напруг статора та струмів статора.

Тому метод прямого керування крутним моментом сильно залежить від змінних статора. У міру зміни напруги на статорі потік статора швидко змінюється, тоді як потік ротора змінюється повільно. Це змінить кут між потоками статора та ротора, і, отже, електромагнітний крутний момент буде збільшений або зменшений.

У блоці керування гістерезисом у схемі прямого керування крутним моментом, зазвичай, використовуються дворівневий контролер гістерезису потоку статора та трирівневий контролер гістерезису крутного моменту.

Один із двох сигналів генерується з контролера гістерезису потоку статора, коли фактичний потік статора порівнюється з його еталоном. З іншого боку, один із трьох сигналів генерується з контролера гістерезису крутного моменту. Крім того, потрібно розрахувати номер сектора, в якому лежить вектор потоку статора.

Використовуючи в якості входів разом давач потоку, давач крутного моменту та номер сектору потоку та використовується таблиця пошуку напруги. Відповідний вектор напруги для інвертора вибирається

з таблиці пошуку на основі того, чи потрібно збільшувати або зменшувати крутний момент і потік статора. Пряме керування крутним моментом приваблює багатьох дослідників завдяки швидкій реакції крутного моменту та простому методу керування [12, 13].

Об'єктивне порівняння між алгоритмом керування орієнтацією поля та алгоритмом прямого керування крутним моментом насправді важко здійснити, оскільки кожен алгоритм має свої власні специфічні вимоги та переваги. Найбільш чіткі відмінності можна навести такі: особливістю алгоритму керування орієнтацією поля є використання потоку ротора, тоді як алгоритм прямого керування крутним моментом завжди використовує потік статора. Інша відмінність полягає в тому, що для алгоритму керування орієнтацією поля необхідні два контролери струму, але вони замінені таблицею перемикань у алгоритмі прямого керування крутним моментом.

Наявність контролера струму може бути перевагою алгоритму керування орієнтацією поля. Однак у практичних операціях це є обмежуючим фактором з точки зору перехідних характеристик. З іншого боку, два окремі контролери гістерезису для потоку та крутного моменту в алгоритмі прямого керування крутним моментом здатні негайно подати максимальну напругу на двигун, що призводить до кращої реакції крутного моменту.

Взагалі кажучи, алгоритм прямого керування крутним моментом забезпечує кращу динамічну реакцію крутного моменту, тоді як алгоритм керування орієнтацією поля забезпечує кращу стабільну поведінку. Але для транспортних засобів важливі як стійкий стан, так і динамічні характеристики.

Отже очевидно уявити, що якщо існує метод керування, який поєднує в собі переваги алгоритму керування орієнтацією поля та

алгоритму прямого керування крутним моментом разом, то можна досягти як стійкого стану, так і динамічних показників. Насправді були проведено певні дослідження в області поєднання алгоритму керування орієнтацією поля та алгоритму прямого керування крутним моментом для поліпшення як стійкого стану, так і динамічних показників, [14-18].

1.3. Висновки до першого розділу

1. Для побудови системи автоматичного керування електричним двигуном, яка базується на використанні трифазного асинхронного двигуна, доцільно використовувати частотний перетворювач. Аналіз технологій автоматичного керування електричним двигуном дозволив виділити серед них керування орієнтацією поля та пряме керування крутним моментом, як найбільш відповідні для реалізації потрібної нам системи автоматичного керування електричним двигуном.

2. Пряме векторно-орієнтоване керування отримує орієнтацію взаємного потоку, використовуючи датчик на ефекті Холла всередині асинхронного двигуна. Однак використання датчиків цього типу є дорогим і незручним, оскільки для розміщення датчиків потоку потрібно зробити спеціальні модифікації. Крім того, неможливо виміряти потік ротора, тому ми повинні виміряти взаємний потік безпосередньо, а потім розрахувати інформацію про потік ротора.

3. Непряме векторно-орієнтоване керування базується на оцінці орієнтації потоку ротора. Використовуючи сигнали від клем двигуна, такі як трифазні струми та швидкість обертання ротора, орієнтацію потоку ротора можна оцінити за допомогою рівнянь стану двигуна.

2. Основна частина

2.1. Аналіз вимог технічного завдання на розробку системи автоматичного керування електричним двигуном

Розробку системи автоматичного керування електричним двигуном будемо здійснювати для системи водопостачання. Відцентрові вентилятори, насоси та компресори об'єднуються в один клас навантажувальних пристроїв для електроприводу, так як їх характеристики, з точки зору запитів і умов роботи електроприводу, мають багато спільного.

Звичайні способи регулювання насосних і вентиляторних установок складаються полягають у дроселюванні напірних ліній і зміні загального числа працюючих агрегатів по одному з технологічних параметрів - тиску на колекторі або в певній точці мережі, рівню в приймальному або регулюючому резервуарі та інше. Ці способи регулювання призначені для вирішення технологічних задач і практично не враховують енергетичних аспектів транспортування води або газу.

Гідравлічне та електротехнічне обладнання насосних і вентиляторних установок вибирається по найбільшим технічним параметрам (подачі, напору та ін.). Все ж в реальному житті виявляється, що установки, які вводяться в експлуатацію, виходять на проектні режими протягом декількох років. Тому наявні станції нерідко працюють в режимах, які відрізняються від розрахункових. Крім того, мають місце добові, тижневі і сезонні коливання витрат і напорів, обумовлені нестійким водоспоживанням, в результаті цього робочі режими насосів знаходяться поза робочих зон їх характеристик.

					КРБАКІТ. 2017024.01.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		22

З появою надійного регульованого електроприводу утворилися передумови для розробки принципово нової технології транспорту води або газу з м'яким регулюванням робочих параметрів насосної або вентиляторної установок без непродуктивних витрат електроенергії і з широкими можливостями підвищення точності і ефективності технологічних критеріїв роботи систем подачі.

В даний час в приводах насосів та вентиляторів використовуються асинхронні двигуни, які керуються перетворювачами частоти.

Додатково нова технологія енергозбереження в вентиляторних установках з великою сумарною потужністю дозволяє регулювати потужність у години максимуму навантаження і тим самим скоротити витрати на електроенергію.

При частотному регулюванні насосів можна в значній мірі уникнути аварійних ситуацій за рахунок запобігання гідравлічних ударів, що виникають при зміні режимів роботи і пуску системи при нерегульованому електроприводі.

2.2. Принцип роботи системи автоматичного керування електричним двигуном на рівні структурної схеми

Структурна схема системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання наведена на рисунку 2.1. Структурна схема системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання складається з трифазної мережі змінного струму, частотного перетворювача, асинхронного електродвигуна, водяного насоса, давача тиску та програмованого реле. Частотний перетворювач керує електродвигуном. Тиск у системі вимірюється датчиком тиску, сигнал зворотного зв'язку з якого надходить на програмоване реле.

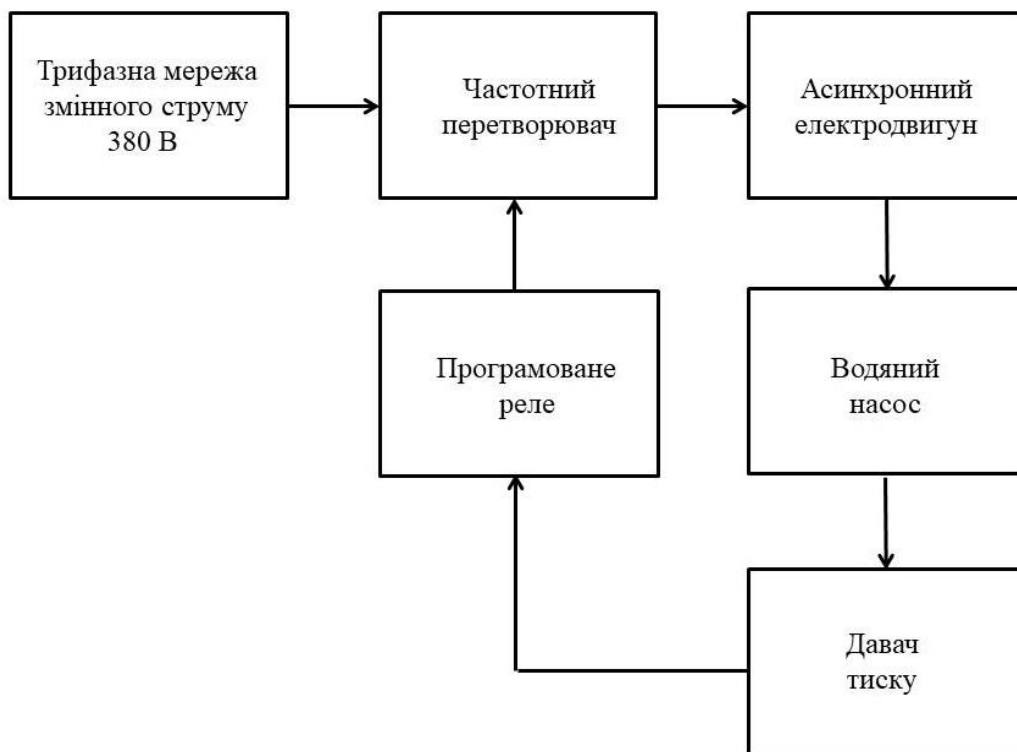


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання

Протягом доби витрата води Q значно змінюється. Максимальні (пікові) витрати води виникають у ранкові та вечірні години, в той час як вночі витрати води практично нульові, а в вдень витрати води також невеликі. Якщо тиск води у водопровідній системі при певних витратах води відрізняється від заданого, то частотний перетворювач плавно змінює швидкість обертання двигуна і насоса так, щоб при цих витратах (споживанні) води забезпечити заданий тиск у системі.

Таким чином, незалежно від величини витрат води в системі, тиск p в кранах підтримується постійним. Переваги використання частотного перетворювача при підтримці заданого тиску води в системі наступні:

- зниження споживання електроенергії;
- виключення гідроударів в мережі і, як наслідок, зниження кількості аварій на трубопроводах;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

- усунення ударних навантажень на електричну мережу при пуску електроприводу.

Приблизний добовий графік водоспоживання представлений на рисунку 2.2.

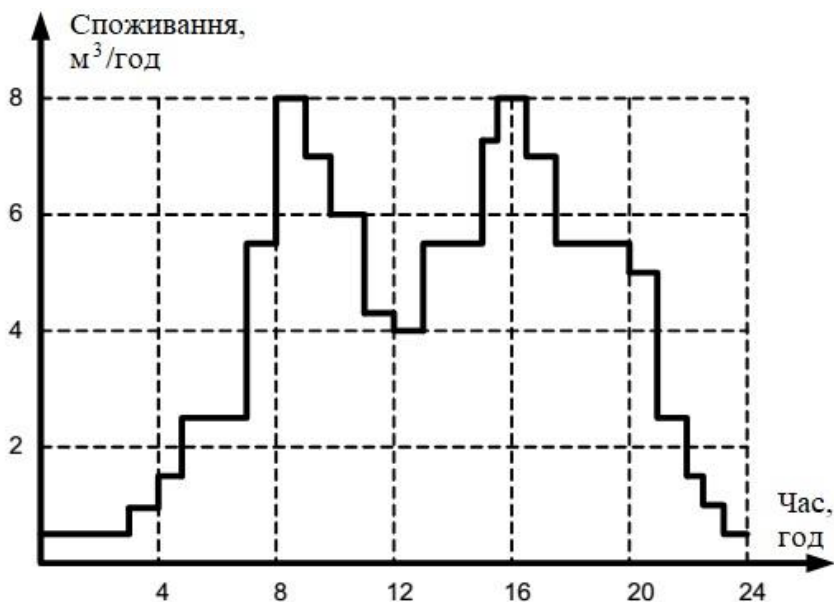


Рисунок 2.2 – Приблизний добовий графік водоспоживання

Застосування регульованого асинхронного електроприводу для керування насосними агрегатами може забезпечити:

- м'який пуск електродвигуна, відсутність механічних навантажень на електродвигун та імпульсів струму в мережі;
- відсутність гідравлічних ударів;
- раціональне використання споживаної насосним агрегатом потужності в усьому діапазоні регулювання;
- забезпечення коефіцієнта потужності двигуна насоса на значенні, близькому до 1;
- зниження величини шуму при пуску та роботі;
- забезпечення автономної і безпечною роботи, інтеграція в АСУ

ТП.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

За функціональним напрямком керування технологічним процесом розділяється на три рівні.

1. Верхній рівень - автоматизована робоча точка оператора на базі пульта у керування насосами (ПКН).

2. Середній рівень - обробка інформації від вимірювальної системи нижнього рівня і створення керуючого сигналу для виконавчих приводів.

3. Нижній рівень - виконавчий електропривод, що входить в промислове обладнання.

На верхньому рівні система керування виконує технологічне завдання на рух робочих органів окремої технічної установки або єдиної технологічної системи.

Середній рівень забезпечує програмний рух виконавчих приводів, рух по траєкторії в просторі керованих змінних.

На нижньому рівні визначається технологічне обладнання, яке безпосередньо бере участь у технологічному процесі, простір керованих і регульованих змінних технологічного обладнання.

2.3. Розрахунок параметрів та вибір елементів системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання

Розрахуємо параметри елементів системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання чотирьох поверхового будинку. В середньому, висота одного поверху дорівнює близько 3 м. Тому повний напір рідини для водопостачання чотирьох поверхового будинку дорівнює $H = 4 \cdot 3 = 12 \text{ м}$.

Для водопостачання чотирьох поверхового будинку виберемо водяний насос СЦН75-70 [19], який зображений на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Відцентровий насос СЦН75-70

Відцентровий насос СЦН75-70, який характеризується максимальним напором рідини $H = 70\text{м}$ та максимальною продуктивністю $Q = 75 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = \frac{75}{3600} = 0,021 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$.

У відцентрових насосах рух рідини відбувається під впливом відцентрових сил, що виникають при обертанні рідини лопатками робочого колеса. Робоче колесо з лопатками, насадженими на вал, обертається в середині корпусу. Рідина, яка надходить до центру колеса по вхідному патрубку, обертається разом з колесом, відкидається відцентровою силою до периферії і виходить через вихідний патрубок.

Відцентрові насоси мають наступні переваги: невеликі габарити; порівняно невелика вартість; відсутність клапанів і деталей: з зворотно-поступальним рухом; можливість прямого приєднання до швидкохідних двигунів з високою частотою обертання; плавна зміна подачі насоса зі зміною гідравлічного опору труби; можливість пуску насоса при закритій засувці на нагнітальній лінії без загрози пориву засувки або

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

трубопроводу; можливість перекачування нафти; простота автоматизації насосних станцій; обладнаних відцентровими насосами.

Потужність асинхронного двигуна визначається у відповідності до виразу (2.1).

$$P_{ов} = K_з \cdot P_{нас} = K_з \cdot \frac{Q \cdot P_n}{\eta_{нас} \cdot \eta_n} \cdot 10^{-3} = K_з \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q_n}{\eta_{нас} \cdot \eta_n} \cdot 10^{-3}, \quad (2.1)$$

де $K_з$ - коефіцієнт запасу;

$P_{нас}$ - потужність насоса (гідравлічна), кВт;

P_n - тиск на напорі насоса, Па;

Q - продуктивність насоса, $\frac{м^3}{с}$;

H - повний напір рідини, м;

ρ - густина рідини, яка перекачується, $\frac{кг}{м^3}$;

g - прискорення вільного падіння, $\frac{м}{с^2}$;

$\eta_{нас}$ - ККД насоса;

η_n - ККД передачі.

Для повного напору рідини $H = 12 м$ та продуктивності насоса $Q = 0,021 \frac{м^3}{с}$, а також враховуючи коефіцієнт запасу $K_з = 1,05$, густину води $\rho = 1000 \frac{кг}{м^3}$, прискорення вільного падіння $g = 9,81 \frac{м}{с^2}$, ККД відцентрового насоса СЦН75-70 $\eta_{нас} = 0,68$, а також ККД передачі $\eta_n = 1$, розрахуємо потужність асинхронного двигуна:

$$P_{\text{дв}} = 1,05 \cdot \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 12 \cdot 0,021}{0,68 \cdot 1} \cdot 10^{-3} = 3,81 \text{ кВт}. \quad (2.2)$$

У відповідності до розрахованої потужності $P_{\text{дв}} = 3,81 \text{ кВт}$ виберемо асинхронний двигун M2AA112MB2 з номінальною потужністю $P_{\text{ном}} = 4 \text{ кВт}$ компанії АВВ [20], який зображено на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Асинхронний двигун M2AA112MB2 компанії АВВ

З точки зору енергетики головним параметром електроприводу є його потужність. Тому при виборі частотного перетворювача, в першу чергу, потрібно визначити вимоги до його здатності навантаження.

Другим значним параметром перетворювача є вимоги до напруги мережі живлення. Як правило, перетворювачі живляться від трифазної мережі змінного струму напругою 380 В, розкид + 10% / - 15%, що повністю відповідає вимогам стандартів до якості електропостачання.

В якості частотного перетворювача виберемо привод ACS150 компанії АВВ [21], який зображено на рисунку 2.5. Широкий діапазон потужностей і функціональності частотного перетворювача ACS150 дозволяє підняти на більш високий рівень продуктивність таких типових застосувань, як міксери, конвеєри, вентилятори і насоси, а також інших технологічних процесів з використанням асинхронних двигунів.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Частотні перетворювачі ACS150 випускаються для підключення з 1-фазним і 3-фазною напругою живлення. Частотні перетворювачі ACS150 мають ряд вбудованих функцій, таких як ПІД-регулятор, вбудований гальмівний переривник, ЕМС_фільтр. Додаткове компактний пристрій FlashDrop дозволяє завантажити параметри в привід без підключення живлення.



Рисунок 2.5 – Частотні перетворювачі ACS150 компанії АВВ

При вирішенні завдання керування системою автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання частотний перетворювачі ACS150 може працювати як в ручному, так і в автоматичному режимі. В обох режимах передбачено місцеве або дистанційне керування.

В ручному режимі керування здійснюється оператором з місцевого або дистанційного пульта без зворотного зв'язку. Для зручності користувача в перетворювачі є аналоговий пристрій -

потенціометр. Стеження за параметрами робочого процесу (подача, напір, тиск, розрідження) відбувається оператором за вимірювальними приладами. Точність підтримки швидкості в ручному режимі складає $\pm 2\%$ - 3% . Діапазон регулювання швидкості складає від 0 Гц до 50 Гц.

В автоматичному режимі зі зворотним зв'язком в перетворювачі реалізується ПД-закон регулювання. Для оперативної настройки параметрів регулятора під необхідний технологічний процес Ви маєте можливість керувати коефіцієнтами зворотного зв'язку. Використання ПД-регулятора дозволяє підтримувати задані параметри практично без помилки.

При виборі частотного перетворювача ACS150 для потужних вентиляторів, димососів, компресорів з великими інерційними масами необхідно звернути увагу на можливість обмеження пускових струмів. Обмеження пускових струмів потрібно також для виключення гідроударів в трубопроводах.

В якості датчика тиску виберемо датчик надлишкового тиску ОВЕН ПД100 моделі 311 [22] з керамічною вимірювальною мембраною, сенсором на основі технології ТНК та кабельним вводом стандарту EN175301-803 (DIN43650 A), який зображено на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Датчик надлишкового тиску ОВЕН ПД100 моделі 311

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КРБАКІТ. 2017024.01.01.ПЗ

Арк.

31

Ця модель характеризується найбільш бюджетною ціною та стійкістю до агресивних середовищ. Перетворювачі цієї моделі призначені для систем регулювання та керування на об'єктах житлово-комунального господарств: прямих та зворотних трубопроводах мережевої води систем ГВП/ХВП, теплотічильниках, станціях підкачування води тощо, де не вимагається висока точність вимірювання.

Для системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання в якості пристрою програмного керування виберемо інтелектуальні реле Zelio Logic SR2 A201FU компанії Schneider Electric, яке зображено на рисунку 2.7 [23].

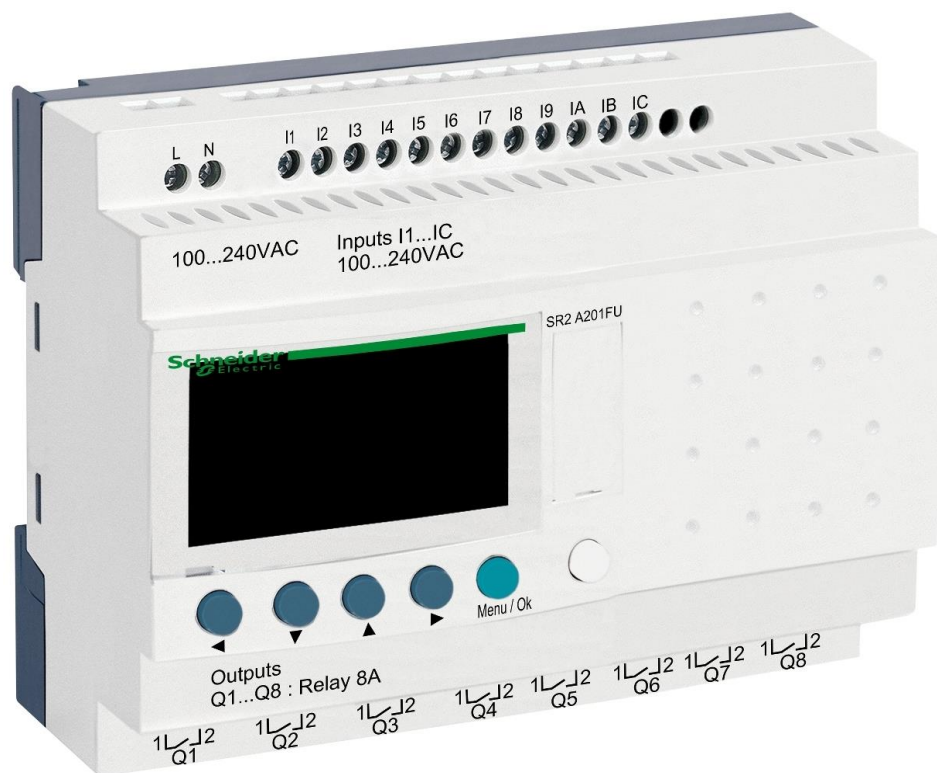


Рисунок 2.7 – Інтелектуальні реле Zelio Logic моделі SR2 A201FU

Розраховані на застосування в нескладних системах автоматизації, від 10 до 40 входів/виходів, інтелектуальні реле сімейства Zelio Logic

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

унікальним чином поєднують в собі розвинені можливості керування, невисоку вартість і простоту застосування, що робить їх безперечною альтернативою традиційним системам релейного логіки.

Завдяки широкому асортименту, легкості встановлення та програмування, інтелектуальні реле сімейства Zelio Logic використовуються для вирішення найрізноманітніших задач автоматизації.

Необхідна експлуатаційна гнучкість інтелектуальних реле сімейства Zelio Logic досягається різними виконаннями реле: компактні моделі з фіксованою кількістю входів/виходів і модульні моделі з можливістю підключення модулів розширення і підтримкою двох мов програмування: FBD (мова функціональних блок схем) або LADDER (мова сходинкових діаграм).

2.4. Розрахунок характеристик системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання

Синхронна кутова частота обертання двигуна розраховується у відповідності до виразу (2.3):

$$\omega_c = \frac{\pi \cdot n_c}{30} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314,159 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (2.3)$$

Номінальна частота обертання двигуна розраховується у відповідності до виразу (2.4):

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - S_n) \cdot n_c = (1 - 0,023) \cdot 3000 = 2930 \frac{\text{об}}{\text{хв}}. \quad (2.4)$$

Номінальна кутова частота обертання двигуна розраховується у відповідності до виразу (2.5):

$$\omega_{\text{об.н}} = (1 - S_n) \cdot \omega_c = (1 - 0,023) \cdot 314,159 = 306,83 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (2.5)$$

Номінальний момент двигуна розраховується у відповідності до виразу (2.6):

$$M_{\text{об.н}} = \frac{P_{\text{об}}}{\omega_{\text{об.н}}} = \frac{4000}{306,83} = 13,03 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.6)$$

Виберемо чотири частоти напруги живлення для керування електричним двигуном для водопостачання: $f_1 = 50 \text{ Гц}$, $f_2 = 40 \text{ Гц}$, $f_3 = 20 \text{ Гц}$, $f_4 = 10 \text{ Гц}$. Розрахуємо відносні значення частот напруги живлення для керування електричним двигуном для водопостачання:

$$f_{1*1} = \frac{f_1}{f_1} = \frac{50}{50} = 1, \quad (2.7)$$

$$f_{1*2} = \frac{f_2}{f_1} = \frac{40}{50} = 0,8, \quad (2.8)$$

$$f_{1*3} = \frac{f_3}{f_1} = \frac{20}{50} = 0,4, \quad (2.9)$$

$$f_{1*4} = \frac{f_4}{f_1} = \frac{10}{50} = 0,2. \quad (2.10)$$

Розрахуємо закон регулювання:

$$Z_p = \frac{U_1}{f_1^2} = \frac{220}{50^2} = 0,088. \quad (2.11)$$

Розрахуємо фазну напругу обмотки статора асинхронного двигуна:

$$U_1 = Z_p \cdot f_1^2 = 0,088 \cdot 50^2 = 220 \text{ В}, \quad (2.12)$$

$$U_2 = Z_p \cdot f_2^2 = 0,088 \cdot 40^2 = 140,8 \text{ В}, \quad (2.13)$$

$$U_3 = Z_p \cdot f_3^2 = 0,088 \cdot 20^2 = 35,2 \text{ В}, \quad (2.14)$$

$$U_4 = Z_p \cdot f_4^2 = 0,088 \cdot 10^2 = 8,8 \text{ В}. \quad (2.15)$$

Згідно з поданими частотами напруги живлення зробимо розрахунок значень швидкості ідеального холостого ходу:

$$\omega_1 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{30} = 314,159 \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \quad (2.16)$$

$$\omega_2 = \frac{2\pi \cdot f_2}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 40}{2} = 251,327 \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \quad (2.17)$$

$$\omega_3 = \frac{2\pi \cdot f_3}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 20}{2} = 125,664 \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \quad (2.18)$$

$$\omega_4 = \frac{2\pi \cdot f_4}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 10}{2} = 62,832 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (2.19)$$

Виберемо момент тертя $M_0 = 1,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$, тоді при частоті $f_1 = 50 \text{ Гц}$ навантаження проходить через точку номінального режиму асинхронного електродвигуна. Тоді розрахуємо коефіцієнт k у відповідності до виразу (2.20).

$$k = \frac{M_n - M_0}{\omega_n^3} = \frac{13,03 - 1,2}{306,83^3} = 4,1 \cdot 10^{-7} \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (2.20)$$

Насосне навантаження описується функцією:

$$M_c = M_0 + k \cdot \omega^3 = 1,2 + 4,1 \cdot 10^{-7} \cdot \omega^3. \quad (2.21)$$

Визначимо момент навантаження для кожної частоти обертання.

$$M_{c1} = M_0 + k \cdot \omega_{p1}^3 = 1,2 + 4,1 \cdot 10^{-7} \cdot 306,83^3 = 13,03 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.22)$$

$$M_{c2} = M_0 + k \cdot \omega_{p2}^3 = 1,2 + 4,1 \cdot 10^{-7} \cdot 245,227^3 = 7,227 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.23)$$

$$M_{c3} = M_0 + k \cdot \omega_{p3}^3 = 1,2 + 4,1 \cdot 10^{-7} \cdot 122,771^3 = 1,958 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.24)$$

$$M_{c4} = M_0 + k \cdot \omega_{p4}^3 = 1,2 + 4,1 \cdot 10^{-7} \cdot 61,35^3 = 1,294 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.25)$$

2.5. Висновки до другого розділу

1. Структурна схема системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання складається з трифазної мережі змінного струму, частотного перетворювача, асинхронного електродвигуна, водяного насоса, давача тиску та програмованого реле.

2. Частотний перетворювач керує електродвигуном. Тиск у системі вимірюється датчиком тиску, сигнал зворотного зв'язку з якого надходить на програмоване реле.

3. Необхідна експлуатаційна гнучкість інтелектуальних реле сімейства Zelio Logic досягається різними виконаннями реле: компактні моделі з фіксованою кількістю входів/виходів і модульні моделі з можливістю підключення модулів розширення.

3. Розробка програмного забезпечення системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання

3.1. Розробка структурної схеми контуру регулювання системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання

Структурна схема контуру регулювання системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання показана на рисунку 3.1.

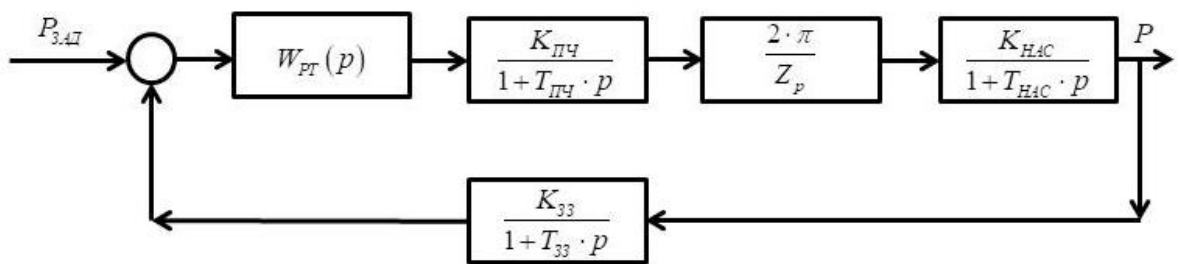


Рисунок 3.1 – Структурна схема контуру регулювання системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання

Сигнал заданого значення тиску $P_{зад}$ додається із сигналом кола негативного зворотного зв'язку, а далі поступає на регулятор тиску із передавальною характеристикою $W_{РТ}(p)$. Після регулятора тиску сигнал поступає на перетворювач частоти із передавальною

характеристикою $\frac{K_{ПЧ}}{1 + T_{ПЧ} \cdot p}$. Прийmemo коефіцієнт передачі перетворювача частоти $K_{ПЧ} = 1$.

Розрахуємо постійну часу перетворювача частоти $T_{ПЧ}$.

$$T_{ПЧ} = \frac{1}{f_{ЗАТ}} = \frac{1}{5000} = 0,0002 \text{ с}. \quad (3.1)$$

Далі сигнал поступає на блок завдання закону регулювання, який було обрано пропорційним $Z_p = \frac{U_1}{f^2}$. Передавальна характеристика блоку завдання закону регулювання визначається виразом $\frac{2 \cdot \pi}{Z_p}$.

Далі сигнал поступає на відцентровий водяний насос СЦН75-70 із передавальною характеристикою $\frac{K_{НАС}}{1 + T_{НАС} \cdot p}$. Розрахує коефіцієнт передачі відцентрового водяного насоса СЦН75-70, використовуючи вираз (3.2).

$$K_{НАС} = \frac{p}{\omega_{НОМ}} = \frac{7}{306,83} = 0,0228, \quad (3.2)$$

де $p = 7 \text{ атм}$ - тиск відцентрового водяного насоса СЦН75-70 при номінальній частоті обертання $\omega_{НОМ} = 306,83 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

Прийmemo постійну затримки насоса $T_{HAC} = 0,1 \text{ с}$.

Далі сигнал поступає на коло зворотного зв'язку із передавальною характеристикою $\frac{K_{33}}{1 + T_{33} \cdot p}$. Прийmemo коефіцієнт передачі кола зворотного зв'язку $K_{33} = 1$, а постійну затримки кола зворотного зв'язку $T_{33} = 0,1 \text{ с}$.

Визначимо вираз передавальної характеристики регулятора тиску $W_{PT}(p)$. Налаштування контуру регулювання для отримання заданих динамічних і статичних характеристик зводиться до визначення структури і параметрів контурного регулятора. Регулятор будується таким чином, щоб своєю дією він:

а) компенсував дію (і перш за все прояв інерційності) ланки об'єкта регулювання, що потрапляє в даний контур;

б) забезпечував астатизм системи по керуючому впливу (тобто рівність нулю усталеної помилки при певному типі керуючого впливу);

в) забезпечував оптимізацію процесів регулювання за обраним критерієм мінімізації інтегральної середньоквадратичної помилки регулювання.

На практиці налагодження систем електроприводу основне застосування знаходять два критерії оптимального налаштування контурів регулювання: модульний (технічний) оптимум (МО) і симетричний оптимум (СО).

Визначимо вираз передавальної характеристики регулятора тиску при налаштуванні контуру на (МО). Найпростіший оптимізований по

МО контур характеризується наявністю однієї інтегруючої ланки в контурі регулювання, яка має вигляд системи другого порядку і характеризується передавальною характеристикою.

$$W_{MO}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1)}, \quad (3.3)$$

де T_{μ} - мала постійна часу контуру тиску.

Тоді передавальна характеристика розімкнутого контуру тиску системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання описується виразом (3.4).

$$W_{роз\ КТ}(p) = W_{РТ}(p) \cdot \frac{2\pi}{Z_p} \cdot \frac{K_{ПЧ}}{1 + T_{ПЧ} \cdot p} \cdot \frac{K_{НАС}}{1 + T_{НАС} \cdot p} \cdot \frac{K_{ЗЗ}}{1 + T_{ЗЗ} \cdot p}. \quad (3.4)$$

Звідси можна визначити передавальну характеристику регулятора тиску системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.

$$W_{РТ}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1)} \cdot \frac{(T_{ПЧ} p + 1)(T_{НАС} p + 1)(T_{ЗЗ} p + 1)}{K_{ПЧ} \cdot K_{НАС} \cdot K_{ЗЗ}} \cdot \frac{Z_p}{2\pi}. \quad (3.5)$$

При оптимізації, інерційність в каналі зворотного зв'язку відноситься до «малих», і за малу некомпенсовану постійну часу всього контуру приймають:

$$T_{\mu k} = T_{\mu} + T_{33} = 0,0002 + 0,1 = 0,1002, \quad (3.6)$$

$$T_{33} \gg T_{ПЧ}, \quad (3.7)$$

$$T_{ПЧ} = T_{\mu}. \quad (3.8)$$

Тоді вираз передавальну характеристику регулятора тиску системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання (3.5) матиме вигляд:

$$\begin{aligned} W_{PT}(p) &= \frac{1}{2 \cdot T_{\mu k} p (T_{\mu k} p + 1)} \cdot \frac{(T_{\mu k} p + 1)(T_{НАС} p + 1)}{K_{ПЧ} \cdot K_{НАС} \cdot K_{33}} \cdot \frac{Z_p}{2\pi} = \\ &= \frac{1}{2 \cdot T_{\mu k} p} \cdot \frac{(T_{НАС} p + 1)}{K_{ПЧ} \cdot K_{НАС} \cdot K_{33}} \cdot \frac{Z_p}{2\pi}. \end{aligned} \quad (3.9)$$

Помножимо отриманий вираз в чисельнику та знаменнику на $T_{НАС}$ та приведемо його до канонічного вигляду.

$$\begin{aligned} W_{PT}(p) &= \frac{T_{НАС} \cdot Z_p}{2 \cdot T_{\mu k} \cdot K_{ПЧ} \cdot K_{НАС} \cdot K_{33} \cdot 2\pi} \cdot \frac{(T_{НАС} p + 1)}{T_{НАС} p} = \\ &= \frac{0,1 \cdot 1}{2 \cdot 0,1002 \cdot 1 \cdot 0,0228 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3,14} \cdot \frac{(0,1 p + 1)}{0,1 p} = 0,348 \cdot \frac{(0,1 p + 1)}{0,1 p}. \end{aligned} \quad (3.10)$$

Аналізуючи отриману передавальну характеристику регулятора тиску системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання можна зробити висновок, що отриманий вираз відповідає ПІ-регулятору.

В результаті отриманих розрахунків можна зробити висновок, що система «перетворювач частоти-асинхронний двигун-відцентровий насос» працює адекватно і реагує на різні зміни тиску, характеризується астатизмом і досить швидко реагує на зміну тиску в контурі.

3.2. Розробка алгоритму роботи системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання

Основні вимоги, які висуваються АСК ТП, в максимальному обсязі повинні забезпечувати необхідні функціональні можливості, бажані технічні характеристики технологічного об'єкта керування (ТОК).

1. ТП повинен повною мірою забезпечувати всі необхідні функції, що накладаються на нього технологією виробництва: підтримання необхідного тиску.

2. АСК ТП повинна забезпечувати ручний режим керування з пульта насоса.

3. АСК ТП повинна забезпечувати точність керування ТП, найбільшу точність вимірювання величини вихідного сигналу і високу продуктивність.

4. АСК ТП повинна забезпечувати необхідний захист і блокування технологічного обладнання від аварійних ситуацій, а також, сигналізацію і виявлення настання небезпечних ситуацій.

5. Надійність АСК ТП (здатність системи виконувати свої функції, зберігаючи експлуатаційні показники в установлених межах протягом заданого інтервалу часу при заданих умовах експлуатації).

Ступінь досягнення поставлених цілей визначається критерієм керування, тобто показником, що характеризує якість виконання ТП і приймає числові значення в залежності від вироблених системою керуючих впливів, продуктивністю ТОК при заданій якості вихідного процесу.

Контур керування повинен забезпечувати максимальну точність керування. Всі елементи контуру керування: регулятори фізичних величин (регулятори струму, швидкості, тиску), регулятор на вході електроприводу, що формує керуючий вплив, пристрої отримання інформації про стан ТП (датчик тиску) і інші інформаційні та керуючі пристрої повинні бути побудовані, відповідно до своїх функцій і параметрам сигналів. Ця умова дозволить отримати найбільшу точність керування і в повному обсязі забезпечити заданий технологічний процес максимальною продуктивністю.

Після запуску системи відбувається введення параметрів її роботи. Це тиск подачі води, швидкість обертання насоса і т.д. Після цього відбувається перевірка готовності системи до роботи з заданими параметрами. Далі здійснюється перевірка працездатності обладнання, наявність зв'язку між ПК і контролером, а також контролером і пристроями нижнього рівня і т.д.

Якщо з якихось причин система не готова до роботи, то відбувається їх з'ясування і усунення. Якщо після перевірки не вдалося усунути причину несправності, відбувається зупинка системи. Після позитивної перевірки працездатності всіх компонентів відбувається запуск приводу насоса.

Далі, якщо кнопка стоп натиснута, відбувається зупинка насоса, і відповідно, якщо кнопка стоп не була натиснута, то насос продовжує роботу і відбувається вимірювання тиску датчиком тиску. Якщо тиск відповідає встановленим значенням, то відбувається обертання насоса з усталеною швидкістю, якщо тиск не відповідає встановленим значенням, то відбувається зміна швидкості обертання насоса, і процес повторюється.

Блок-схема алгоритму роботи системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання зображена на рисунку 3.2.

					КРБАКІТ. 2017024.01.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		44

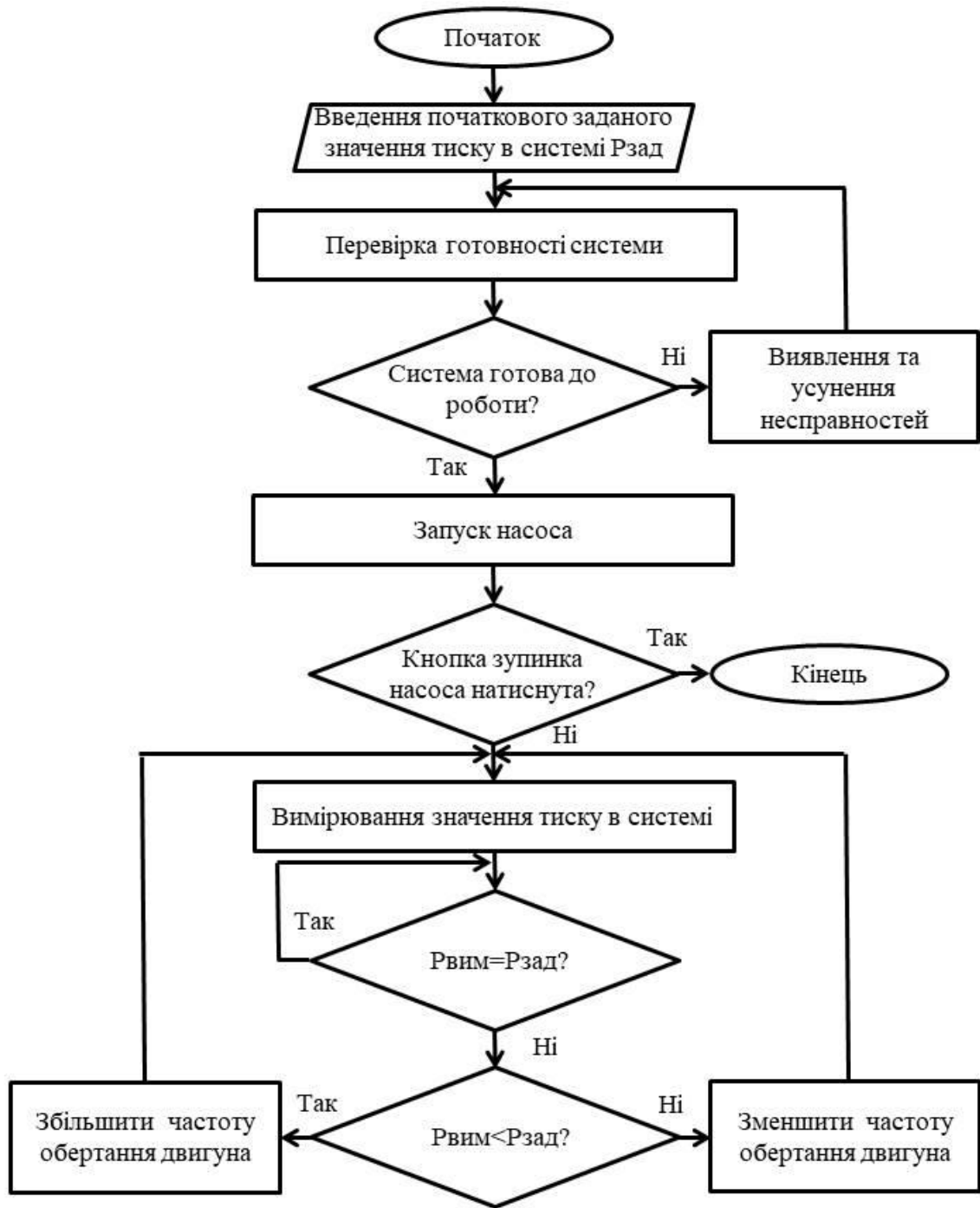


Рисунок 3.2 – Блок-схема алгоритму роботи системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання

3.3. Розробка програми роботи системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання

Для системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання в якості пристрою програмного керування виберемо інтелектуальні реле Zelio Logic SR2 A201FU компанії Schneider Electric [23].

Інтелектуальне реле Zelio Logic SR2 A201FU компанії Schneider Electric - це незалежний мікроконтролер, керований програмою, яка написана на особливій логічній алгоритмічній мові. Реле містить структурні блоки по обробці 12 вхідних сигналів, в залежності від стану яких програмно формуються рівні 8 релейних вихідних сигналів.

До складу цього реле входять вісім таймерів, що дозволяють керувати вихідними сигналами в реальному масштабі часу. Також реле оснащено 8 лічильниками, за допомогою яких проводиться програмна обробка вхідних сигналів. Для зберігання поточного стану вхідних і вихідних сигналів у структурі реле передбачено програмне використання п'ятнадцяти запам'ятовуючих елементів (котушок пам'яті).

Чотири функціональні клавіші Z1, Z2, Z3, Z4, реле можуть бути використані як для введення програми і вихідних даних, так і для програмного використання в якості функціональних кнопок автоматичних систем.

Інтелектуальне реле Zelio Logic SR2 A201FU компанії Schneider Electric працює під керуванням особливої програми, яка будується на основі логічного взаємозв'язку вхідних і вихідних елементів цього реле.

Логічний взаємозв'язок вхідних і вихідних елементів відображається по рядково за допомогою логічних функцій «І» та «АБО». Програма має вигляд малих логічних виразів, які після запуску програми опитуються в неперервному циклі і виконуються тільки за умови їх істинності.

Максимальна кількість рядків в програмі інтелектуального реле «Zelio-Logic» може бути не більше 60. У кожному рядку програми може бути не більше трьох вхідних елементів (символів) логічно пов'язаних з вихідним елементом (символом).

Для включення реле «Zelio-Logic» необхідно підключити його до електророзетки, при цьому включається екран дисплея інтелектуального реле. На цьому екрані з'являється наступне повідомлення:

123456789ABC

STOP

TH 13:30

12345678

На першому рядку екрану дисплея вказується стан входів реле. Спочатку жоден з них не активізований. На останньому рядку аналогічно вказується стан виходів, які так само спочатку обнулені. На другому рядку екрану вказано режим роботи реле.

Спочатку це режим зупинки програми (STOP). На третьому рядку вказується день тижня (TH) і поточний час (13:30). При запуску програми в режимі (RUN) активні входи і виходи виділяються курсором.

Для переходу в режим головного меню необхідно натиснути клавішу Set/Ok, при цьому на екран з'являються чотири рядки цього меню, починаючи з позиції program:

TIME SET

>PROGRAM

PARAMET

VISU

RUN/STOP

CONFIG

CLEAR PROG

TRANSFER

PROG. INFO

Позиція TIME SET зазвичай залишається поза області екрану, так як установка параметрів часу, як правило, проводиться при першому запуску реле. Повторне включення реле зазвичай не вимагає його коригування.

Позиція PROGRAM з'являється на екрані в миготливому режимі і на ній встановлюється покажчик «>», що вказує на вибір цієї позиції у всьому головному меню. Клавішею Z2 можна переміщати цей покажчик вниз по екрану, а клавішею Z1 можна аналогічно переміщати його вгору, при цьому змінюється вибір миготливої позиції меню.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КРБАКІТ. 2017024.01.01.ПЗ

Арк.

48

При натисканні клавіші Set/Ok в позиції PROGRAM активізується ця функція, яка призначена для набору, перегляду і редагування програми роботи інтелектуального реле «Zelio-Logic».

У позиції PARAMET розкривається функція, яка дозволяє змінювати параметри програмних елементів реле.

У позиції VISU розкривається функція, яка дозволяє переглядати на екрані дисплея і змінювати параметри програмних елементів реле під час його роботи.

У позиції RUN/STOP розкривається функція, яка дозволяє запускати або зупиняти програмну роботу реле.

У позиції CONFIG розкривається функція, яка дозволяє змінювати додаткові програмні можливості реле.

У позиції CLEAR PROG розкривається функція, яка дозволяє прати програму роботи інтелектуального реле.

У позиції TRANSFER розкривається функція, яка дозволяє забезпечити інформаційний зв'язок інтелектуального реле з персональним комп'ютером для взаємної пересилання програм.

У позиції PROG. INFO розкривається функція, яка дозволяє відображати всі елементи, необхідні для створення багатоступінчастої програми. Для вибору необхідної позиції меню потрібно клавішами Z1 або Z2 підвести покажчик «>» до потрібної позиції цього меню і натиснути клавішу Set/Ok, при цьому відбудеться активізація обраної функції.

В якості вхідних елементів інтелектуального реле використовуються контакти на його дискретних входах I1, I2,, I9, IA, IB, IC, які можуть бути нормально відкритими і нормально закритими. Кожне з цих станів контактів описується своїм символом. Логічний стан символів залежить від стану контакту, як наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Логічний стан символів в залежності від стану контакту

№	Стан контакту	Стан символу I1	Стан символу i1
1	Контакт розімкнутий	I1=0	i1=1
2	Контакт замкнутий	I1=1	i1=0

Аналогічні стани можуть приймати символи I2, I3,, I9, IA, IB, IC та i2, i3,, i9, iA, iB, iC в залежності від стану контактів.

В якості вихідних елементів інтелектуального реле використовуються котушки релейних елементів Q1, Q2, ..., Q8, які можуть бути використані в чотирьох режимах, як наведено у таблиці 3.2.

У режимі 1 котушка замикається тільки на час подачі на неї одиничного сигналу її живлення.

У режимі 2 котушка змінює свій стан на протилежне при подачі одиничного імпульсу її живлення.

У режимі 3 котушка замикається від одиничного імпульсу живлення і постійно знаходиться в замкнутому стані, навіть якщо

вхідного живлення немає. В цьому режимі двічі не можна використовувати цю команду для замкнутої котушки.

Таблиця 3.3 - Логічний стан символів котушки релейних елементів

№	Позначення режиму роботи котушки	Опис режиму роботи котушки
1	$\{QN$	Контакти котушки замкнуті при подачі на неї
2	$\}QN$	Подача імпульсу на котушку змінює її стан на протилежний
3	SQN	Режим самоблокування - при подачі імпульсу котушка вмикається та залишається ввімкнутою при будь-якому стані контактів
4	RQN	Вимкнення котушки імпульсом після її самоблокування

Де N - номер котушки (від 1 до 8).

Режим 4 відключає котушку, замкнуту по режиму 3. Після чого знову можна використовувати цей режим.


Логічний стан котушок Q1, Q2, ..., Q4, може бути використаний в програмі в якості вхідного логічного сигналу, який відображається через стан символів QN та qN, як наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Логічний стан котушок

№	Стан котушки QN	Стан символу QN	Стан символу qN
1	Котушка розімкнута	QN=0	qN=1
2	Котушка замкнута	QN=1	qN=0

Для набору програми вибираємо вище в головному меню реле позицію PROGRAM і активізуємо її натисканням кнопки Set/Ok.

Після цього на деякий час на екран виводиться напис «LINE1», а потім на початку першого рядка екрану з'явиться мерехтливий курсор у вигляді темного прямокутника.

Кожен рядок екрана (програми) містить 7 знако місць. На непарних за номером знако місці курсор приймає прямокутну форму, а на парних округлену форму. У цьому можна переконатися, прогнавши клавішею Z3 курсор уздовж рядка. При цьому можна простежити таку послідовність чергування форми курсору .

На останньому знако місці екрану завжди поміщається елемент типу котушки. Перші три непарні знако місця можуть бути зайняті вхідними елементами типу контакту. Парні позиції рядка завжди представлені символами зв'язку, які можуть бути у вигляді двох логічних функцій типу «І» та «АБО».

За логічної функції «І» всі елементи лінійно пов'язані в рядку. Наприклад: I1- I2 - I3 - Q3. Це означає, що котушка Q3 ввімкнеться тільки тоді, коли контакти I1, I2, I3 будуть замкнуті одночасно.

При логічній функції "АБО" вхідні елементи розташовуються в декількох рядках. Наприклад:

I1- } - Q3.
I2- }
I3- }

За цією схемою котушка Q3 ввімкнеться в тому випадку, коли буде замкнутий хоча б один з контактів I1, I2, I3. Можливий і більш складний варіант включення котушки Q3. Наприклад:

I1- } I4 - Q3.
I2- }
I3- }

За цієї логічної схемою котушка Q3 ввімкнеться в тому випадку, коли одночасно з контактом I4 буде замкнутий і хоча б один з контактів I1, I2, I3.

Так як кількість знако місць на екрані інтелектуального реле «Zelio Logic» не перевищує семи, то це накладає обмеження на кількість вхідних контактів, які можуть бути записані в одному рядку. Таких контактів не може бути більше трьох. Це обмеження знижує логічні можливості програм цього інтелектуального реле, тому в програмні засоби цього інтелектуального реле вводяться запам'ятовуючі елементи, у вигляді допоміжних котушок, які позначаються буквою М і діють так само як і вихідні котушки Q.

У структурі реле передбачено 15 таких елементів. Використання в програмі допоміжних котушок може бути проілюстровано наступним прикладом.

I1- I2 – I3 – {M1
I4- I5 – I6 – {M2
M1 – M2 - - {Q3

У цьому прикладі вихідна котушка Q3 ввімкнеться тільки при одночасному замиканні контактів I1, I2, I3, I4, I5, I6, так як третій рядок програми виконує логічну функцію M1&M2.

Як і вихідні котушки Q допоміжні котушки M використовуються в таких же режимах, тобто (MN, SMN, RMN). Де N - номер котушки M (від 1 до 15).

Текст програми роботи системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання наведено в додатку А.

Висновки до третього розділу

1. На практиці налагодження систем електроприводу основне застосування знаходять два критерії оптимального налаштування контурів регулювання: модульний (технічний) оптимум (МО) і симетричний оптимум (СО).

2. Найпростіший оптимізований по МО контур характеризується наявністю однієї інтегруючої ланки в контурі регулювання, яка має вигляд системи другого порядку і характеризується передавальною характеристикою.

3. Для системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання в якості пристрою програмного керування виберемо інтелектуальні реле Zelio Logic SR2 A201FU компанії Schneider Electric.

ВИСНОВКИ

В процесі розробки системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання в якості пристрою програмного керування вибрано інтелектуальне реле Zelio Logic SR2 A201FU компанії Schneider Electric.

В першому розділі були розглянуті наступні питання: будова і принцип роботи асинхронних двигунів, а також алгоритми керування асинхронними двигунами.

У другому розділі проведено аналіз вимог технічного завдання на розробку системи автоматичного керування електричним двигуном.

Розроблено принцип роботи системи автоматичного керування електричним двигуном на рівні структурної схеми.

Виконано розрахунок параметрів та вибір елементів системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.

Проведено розрахунок характеристик системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.

У третьому розділі розроблено програмне забезпечення системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.

Розроблено структурну схему контуру регулювання системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.

Розроблено алгоритм роботи та програмне забезпечення системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.

Література

- 1 Andrzej M. Trzynadlowski, Control of Induction Motors, Academic Press, A Harcourt Science and Technology Company, USA, 2001.
- 2 Spiegel, R.J. Turner, M.W. and McCormick, V.E. (2003). Fuzzy-Logic-based controllers for efficiency optimization of inverter-fed induction motor drives. Fuzzy sets and systems.137. 387-401.
- 3 Online source, available at http://en.wikipedia.org/wiki/Induction_motor.
- 4 Novotny, Donald and Lipo, Thomas, Vector control and dynamics of AC Drives, Oxford University Press, New York, 1996.
- 5 F. Tahri, A.Tahri, Eid A. AlRadadi and A. Draou Senior, "Analysis and Control of Advanced Static VAR compensator Based on the Theory of the Instantaneous Reactive Power," presented at ACEMP, Bodrum, Turkey, 2007.
- 6 J. Lewis Blackburn, Symmetrical Components for Power Systems Engineering, Marcel Dekker, New York (1993).
- 7 Bahram Amin, Induction motors: analysis and torque control, Springer, 2001.
- 8 Zhengshi WANG, "High Performance Computation for flux and speed estimation of vector controlled adjustable speeddrives" (Hong Kong) Ph.D. Dissertation, The Hong Kong Polytechnic University 2005.
- 9 F. Blaschke, "The principle of field orientation as applied to the new Transvector closed loop control system for rotating field machines," Siemens Review, vol.34, pp.217-220, May 1972.
- 10 I. Takahashi and Noguchi, "A new quick response and high efficiency control strategy of an induction motor," IEEE Trans. Ind. Appl., vol.22,

pp820-827, Sept/Oct. 1986.

11 Depenbrock, "Direct self control of inverter-fed induction machine," IEEE Trans. Power Electronics, vol.3. no.4, pp.420-429, Oct. 1988.

12 Habetler Thomas, Profumo Francesco, Pastorelli Michele, Tolbert Leon, "Direct Torque Control of Induction Machines Using Space Vector Modulation," IEEE Tran. on Industry Appl., vol. 28, No.5, Sept/Oct 1992 pp.1045-1053.

13 Kazmierkowski, Marian and Henry Tunia, "Automatic Control of Converter-Fed Drives", PWM-Polish Scientific Publications, Warszawa, 1994, pp 455-468.

14 Domenico Casadei, Francesco Profumo, Giovanni Serra, Angelo Tani, "FOC and DTC: Two Viable Schemes for Induction Motors Torque Control," IEEE Trans. on power electronics, vol. 17, No. 5, Sept. 2002.

15 Zakdy Sorchini, Philip T. Krein, "Formal Derivation of Direct Torque Control for Induction Machines," IEEE Trans. on power electronics, vol. 21, No. 5, Sept. 2006.

16 Jiang Zhijun, Hu Shimiao, Cao Wenhui, "A new fuzzy logic torque control scheme based on vector control and direct torque control for induction machine," The 3rd International Conference on Innovative Computing Information and Control, Dalian, Liaoning 18-20 June 2008.

17 Shuxi Liu, Shan Li, Mingyu Wang, "An improved direct torque control of induction motor with current hysteresis band," Automation Congress, 2008. WAC 2008. World, Hawaii, HI, Sept. 28 2008-Oct. 2 2008.

18 M. Farasat, N. Rostami, M. R. Feyzi, "Speed sensorless hybrid field oriented and direct torque control of induction motor drive for wide speed

range applications," Power Electronic & Drive System & Technologies Conference, 17-18 Feb. 2010.

19 Online source, available at <https://nasos-2005.com>.

20 Online source, available at <https://e-unit.com.ua>.

21 Online source, available at <https://new.abb.com/drives/ru/nv-privody/microprivody/ACS150>.

22 Online source, available at <https://owen.ua/ua/datchyky/pd100-311-371-datchyky-tysku-dlja-zhkg>.

23 Online source, available at <https://www.se.com/ua/uk/product/SR2A201FU/інтелект.-реле-20вх-вих%2Сдисплей%2С~240в/?range=531-zelio-logic&selected-node-id=12147015981>.

					КРБАКІТ. 2017024.01.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		58

Додаток А

Текст програми роботи системи автоматичного керування електричним двигуном

1) Z1-----SM1
2) Z2-----RM1
3) M1----|-----TT1
4) |---C1|-----|-----[Q1
5) |---C2| |-----[Q5
6) |---C3|
7) |---C4|
8) |---C5|
9) |---C6|
10) T1----|-----|-----CC1
11) |-----CC2
12) |-----CC3
13) |-----CC4
14) |-----CC5
15) |-----CC6
16) |-----CC7
17) |-----CC8
18) C4----|-----C7-----M1-----|-----[Q2
19) C5-----|
20) C6-----|
22) C1---|---M1-----C2-----C5-----C7-----|-----[Q3
23) C3---|
24) C4---|
25) C6---|
26) C2-----|-----C4-----C7-----M1-----|-----[Q4
27) C3-----|
28) C5-----|
29) C6-----|
30) C2-----|-----RC1
31) C3-----|
32) C4-----|
33) C5-----|
34) C6-----|
35) C7-----|
38) C8-----|

39) C3-----|-----RC2
 40) C4-----|
 41) C5-----|
 42) C6-----|
 43) C7-----|
 44) C8-----|
 45) C4-----|-----RC3
 46) C5-----|
 47) C6-----|
 48) C7-----|
 49) C8-----|
 50) C5-----|-----RC4
 51) C6-----|
 52) C7-----|
 53) C8-----|
 54) C8-----|
 55) C6-----|-----RC5
 56) C7-----|
 57) C8-----|
 58) C7-----|-----RC6
 59) C8-----|
 60) C7-----|-----RC7
 61) |-----RC8

Додаток Б
Презентація

1

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА НА ТЕМУ:
Система автоматичного керування електричним двигуном

Виконала
ст. гр. АКІТ-17-1
А.І. Гринів

Науковий керівник
к.т.н., доц.
Радельчук Г.І.

Актуальність теми. Актуальність роботи обумовлена розробкою системи автоматичного керування асинхронним двигуном для подолання їх головних недоліків, а саме: зменшення пускового струму та можливість керування частотою обертання їх ротора в автоматизованому режимі.

Метою роботи є розробка системи автоматичного керування електричним двигуном шляхом розробки алгоритму взаємодії їх мікроконтролерної системи керування та комп'ютера в реальному масштабі часу.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі завдання:

- розробити структурну схему системи автоматичного керування електричним двигуном у реальному масштабі часу;
- розробити алгоритм роботи системи автоматичного керування електричним двигуном;
- розробити програму роботи системи автоматичного керування електричним двигуном.

•**Об'єкт дослідження** – є процес керування електричним двигуном.

•**Предмет дослідження** – є системи автоматичного керування електричним двигуном.

•**Методи досліджень.** При вирішенні поставлених завдань у роботі були використані методи теорії керування, теорії кіл та методи алгоритмізації та програмування.

•**Практичне значення.** У роботі розроблена система автоматичного керування електричним двигуном та програмне забезпечення її роботи. Використання такої системи дозволяє підвищити ефективність роботи електричних двигунів та можливість керування частотою обертання їх ротора в автоматизованому режимі.

Будова і принцип роботи асинхронних двигунів

- Порівняно з двигунами постійного струму, асинхронні двигуни мають вищу щільність потужності та механічно більш міцні, що робить їх ідеальними двигунами для багатьох застосувань.



Рисунок 1 – Конструкція трифазного асинхронного двигуна

Принцип роботи системи автоматичного керування електричним двигуном на рівні структурної схеми



Рисунок 2 - Структурна схема системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання

Приблизний добовий графік водоспоживання

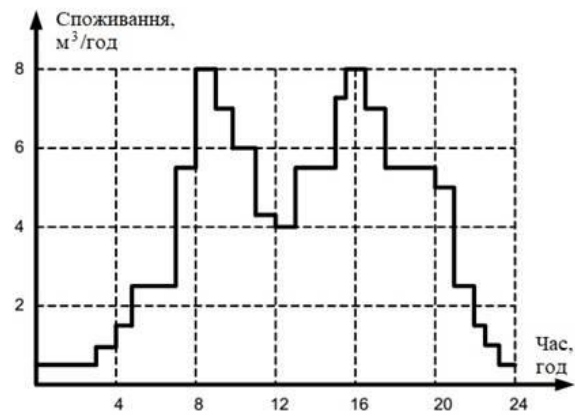


Рисунок 3 - Приблизний добовий графік водоспоживання

Застосування регульованого асинхронного електроприводу для керування насосними агрегатами може забезпечити:

- м'який пуск електродвигуна, відсутність механічних навантажень на електродвигун та імпульсів струму в мережі;
- відсутність гідравлічних ударів;
- раціональне використання споживаної насосним агрегатом потужності в усьому діапазоні регулювання;
- забезпечення коефіцієнта потужності двигуна насоса на значенні, близькому до 1;
- зниження величини шуму при пуску та роботі;
- забезпечення автономної безпечною роботи, інтеграція в АСУ ТП.

Розробка структурної схеми контуру регулювання системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання

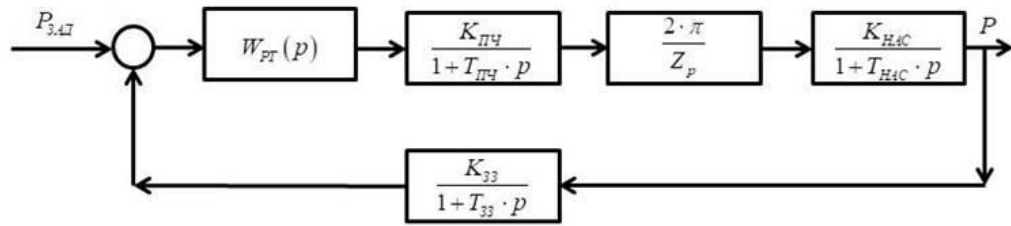


Рисунок 4 – Структурна схема контуру регулювання системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання

Розробка алгоритму роботи системи автоматичного керування ⁷
електричним двигуном для водопостачання

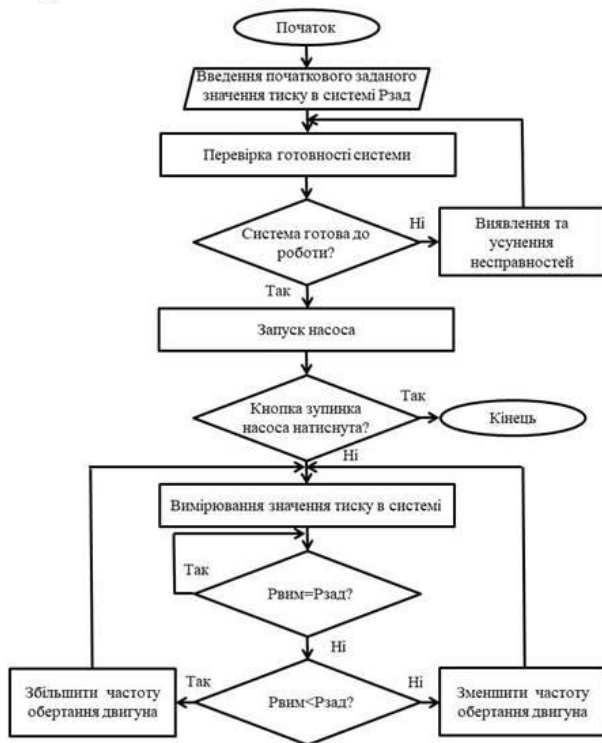


Рисунок 5 - Блок-схема алгоритму роботи системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання

Розробка програми роботи системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання

Для системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання в якості пристрою програмного керування виберемо інтелектуальні реле Zelio Logic SR2 A201FU компанії Schneider Electric

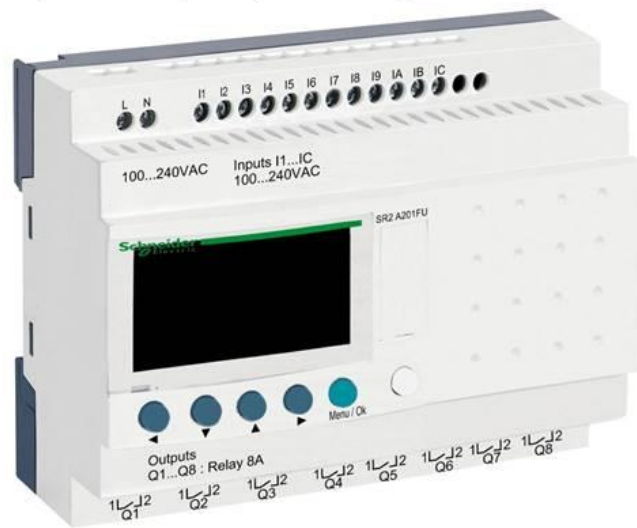


Рисунок 6 - Інтелектуальні реле Zelio Logic моделі SR2 A201FU

Інтелектуальне реле Zelio Logic SR2 A201FU компанії Schneider Electric - це незалежний мікроконтролер, керований програмою, яка написана на особливій логічній алгоритмічній мові. Реле містить структурні блоки по обробці 12 вхідних сигналів, в залежності від стану яких програмно формуються рівні 8 релейних вихідних сигналів.

До складу цього реле входять вісім таймерів, що дозволяють керувати вихідними сигналами в реальному масштабі часу. Також реле оснащено 8 лічильниками, за допомогою яких проводиться програмна обробка вхідних сигналів. Для зберігання поточного стану вхідних і вихідних сигналів у структурі реле передбачено програмне використання п'ятнадцяти запам'ятовуваних елементів (котушок пам'яті).

Чотири функціональні клавіші Z1, Z2, Z3, Z4, реле можуть бути використані як для введення програми і вихідних даних, так і для програмного використання в якості функціональних кнопок автоматичних систем.

Інтелектуальне реле Zelio Logic SR2 A201FU компанії Schneider Electric працює під керуванням особливої програми, яка будується на основі логічного взаємозв'язку вхідних і вихідних елементів цього реле.

Логічний взаємозв'язок вхідних і вихідних елементів відображається по рядково за допомогою логічних функцій «І» та «АБО». Програма має вигляд малих логічних виразів, які після запуску програми опитуються в неперервному циклі і виконуються тільки за умови їх істинності.

Максимальна кількість рядків в програмі інтелектуального реле «Zelio-Logic» може бути не більше 60. У кожному рядку програми може бути не більше трьох вхідних елементів (символів) логічно пов'язаних з вихідним елементом (символом).

В якості вхідних елементів інтелектуального реле використовуються контакти на його дискретних входах I1, I2,, I9, IA, IB, IC, які можуть бути нормально відкритими і нормально закритими.

Текст програми роботи системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання наведено в додатку А.

В процесі розробки системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання в якості пристрою програмного керування вибрано інтелектуальне реле Zelio Logic SR2 A201FU компанії Schneider Electric.

В першому розділі були розглянуті наступні питання: будова і принцип роботи асинхронних двигунів, а також алгоритми керування асинхронними двигунами.

У другому розділі проведено аналіз вимог технічного завдання на розробку системи автоматичного керування електричним двигуном.

Розроблено принцип роботи системи автоматичного керування електричним двигуном на рівні структурної схеми.

Виконано розрахунок параметрів та вибір елементів системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.

Проведено розрахунок характеристик системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.

У третьому розділі розроблено програмне забезпечення системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.

Розроблено структурну схему контуру регулювання системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.

Розроблено алгоритм роботи та програмне забезпечення системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Гринів А. І. на захист дипломного проекту (роботи)

(прізвище, ініціали)

за спеціальністю 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

На тему: Система автоматичного керування електричним двигуном

Дипломний проект (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагіат додаються.



Декан факультету

(підпис)

Савенко О. С.

(прізвище та ініціали)

ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Гринів А. І. за період навчання на факультеті програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем з 2017 по 2021 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з такими розподілом оцінок за:

національною шкалою: відмінно 0,00 %, добре 0,00 %, задовільно 100,00.

шкалою ЄКТС: А 2,38 %, В 0,00 %, С 0,00 %, D 4,76 %, E 92,86 %.

Методист факультету

(підпис)

Калус Т. В.

(прізвище та ініціали)

ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент

Гринів А. І. виконав кваліфікаційну роботу на високому рівні. В результаті виконання роботи студентом розроблено структурну схему, алгоритм та програму роботи системи автоматичного керування електричним двигуном у реальному масштабі часу. Студентка показала глибокі знання та враховує наявні за спеціальністю

Оцінка дипломного проекту (роботи)

Відмінно

Керівник дипломного проекту (роботи)

(підпис)

Дудковська Т. І.

(прізвище та ініціали)

" 22 " 06 2021 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ)

Дипломний проект (роботу) розглянуто. Студент Гринів А. І. допускається до захисту цього проекту

Завідувач кафедри

AKIT:ITK

(назва)

Корогодник В. В.

(підпис, прізвище, ініціали)

" 22 " 06 2021 р.

Anti-Plagiarism v-15.257**Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%****Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 7%**

ID: 95059 Назва: Бакалаврська робота Гринів А. Додано в БД: 2021-06-22 Автора: Гринів А. Керівники: Мартинюк В.В. Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	48429	406	739 (2%)	8 (2%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

Ім'я користувача:
Кафедра АКІТІТК

ID перевірки:
1008344585

Дата перевірки:
22.06.2021 11:13:59 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet

Дата звіту:
22.06.2021 11:29:09 EEST

ID користувача:
100005862

Назва документа: Gryniv_Antyplagiat

Кількість сторінок: 51 Кількість слів: 7589 Кількість символів: 54720 Розмір файлу: 1.94 MB ID файлу: 1008414868

6.92% Схожість

Найбільша схожість: 2.93% з Інтернет-джерелом (http://elar.khnu.km.ua/jspui/bitstream/123456789/9433/1/Novak_T_O_..)

6.92% Джерела з Інтернету

105

Сторінка 53

Пошук збігів з Бібліотекою не проводився

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнено

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнено

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

62

РІШЕННЯ КАФЕДРИ
**АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ**

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод моніторингу сонячних панелей

Автор: Гринів Адріана Іванівна

Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма: Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Науковий керівник: к.т.н, доц. Радельчук Галина Іванівна

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	Відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та дорацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження: Запозичення у розмірі 6,92%, виявлені в роботі відповідають тексту стандартних бланків та списку літератури, решта запозичень є випадковими, або на них є посилання, тому ці запозичення не є плагіатом, бо вони не стосуються наукової новизни і практичної значущості роботи.

22.06.2021р.

Науковий керівник роботи:

Зав. каф. АКІТіТК



Радельчук Г.І.

Мартинюк В.В.

РЕЦЕНЗІЯ
на кваліфікаційну роботу Гринів Адріани Іванівни
на тему: “Система автоматичного керування електричним двигуном”

Кваліфікаційну роботу присвячено розробці системи автоматичного керування електричним двигуном. В ній на основі аналізу будови і принципу роботи асинхронних двигунів розроблено систему автоматичного керування електричним двигуном та запропоновано алгоритм взаємодії мікропроцесорної системи керування з комп'ютером у реальному масштабі часу, який забезпечує підвищення енергетичної ефективності технологічного процесу.

В процесі аналізу вимог технічного завдання на розробку системи автоматичного керування електричним двигуном розроблено структурну схему системи, виконано розрахунок параметрів та вибір елементів системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання, проведено розрахунок характеристик системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.

Розроблено структурну схему контуру регулювання системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання та алгоритм роботи і програмне забезпечення її роботи.

Всі розділи кваліфікаційної роботи виконанні сумлінно та на високому рівні із дотриманням вимог до кваліфікаційних робіт бакалаврів.

До недоліків роботи можна віднести неповний аналіз впливу неінформативних параметрів на апаратне та програмне забезпечення системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання, але вказаний недолік не зменшує рівня кваліфікаційної роботи бакалавра.

Вважаю, що кваліфікаційна робота бакалавра Гринів Адріани Іванівни заслуговує оцінки «відмінно», а Гринів Адріана Іванівна заслуговує присвоєння кваліфікації бакалавра з автоматизація та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Опонент:

д.т.н., професор, завідувач
кафедри комп'ютерних науки та
інформаційних технологій



Бармак О.В.

Відгук на кваліфікаційну роботу
студентки групи АКІТ-17-1 Гринів Адріани Іванівни

Кваліфікаційна робота студентки Гринів Адріани Іванівни присвячена розробці системи автоматичного керування електричним двигуном шляхом розробки алгоритму взаємодії їх мікроконтролерної системи керування та комп'ютера в реальному масштабі часу.

В результаті виконання роботи були вирішені наступні питання:

- розроблено структурну схему системи автоматичного керування електричним двигуном у реальному масштабі часу;
- розроблено алгоритм роботи системи автоматичного керування електричним двигуном;
- розроблено програму роботи системи автоматичного керування електричним двигуном..

За час виконання дипломної роботи студентка Гринів Адріана Іванівна показала глибокі знання та практичні навички із автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, а також вміння працювати з персональним комп'ютером.

В цілому дипломна робота виконана на високому рівні, а студентка Гринів Адріана Іванівна заслуговує на оцінку відмінно.

Керівник: к.т.н., доц.



Радельчук Г.І.

Завідувачу кафедри
автоматизації, комп'ютерно-
інтегрованих технологій і
телекомунікацій
проф. Мартинюку В.В.
здобувача вищої освіти
А.І. Гринів,
факультету ПКТС, 4 курс,
група АКІТ-17-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

23.06.2021р

дата



підпис