

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-енергетичний факультет

Кафедра електроенергетики, електротехніка та електромеханіки

ЕЛЕКТРОПРИВІД І АВТОМАТИЗАЦІЯ

**Методичні рекомендації до проведення лабораторних робіт
для здобувачів вищої освіти ступеня «бакалавр»
спеціальності 208 «Агроінженерія» денної та заочної форми навчання**

**Миколаїв
2018**

УДК 621.313. 13
Е 50

Рекомендовано науково-методичною комісією інженерно-енергетичного факультету МНАУ, протокол № 9 від «26» квітня 2018 р.

Укладачі:

Авдєєва О. А. – канд. техн. наук, доцент кафедри судових енергетичних систем національного університету ім. адм. Макарова

Садовий О. С. – асистент кафедри енергетики аграрного виробництва, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

І. П. Атаманюк – доктор. техн. наук, професор кафедри вищої та прикладної математики Миколаївський національний аграрний університет.

І. С. Білюк – канд. техн. наук, доцент кафедри автоматички, НУК ім. адм Макарова.

© Миколаївський національний аграрний університет, 2018

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
Лабораторна робота №1.ДОСЛІДЖЕННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНУТИМ РОТОРОМ.....	4
Лабораторна робота №2.ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З НЕЗАЛЕЖНИМ ЗБУДЖЕННЯМ.....	12
Лабораторна робота №3.ВИПРОБУВАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА З КОМУТАЦІЙНИМИ АПАРАТАМИ ПІСЛЯ МОНТАЖУ.....	17
Лабораторна робота №4.ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА.....	20
Лабораторна робота №5.ДАТЧИКИ.....	31
Лабораторна робота №6.МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЗАСОБАМИ ІНТЕГРОВАНОГО ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ МАТЛАВ.....	42
Лабораторна робота №7.ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ФУНКЦІЙ У СИСТЕМІ МАТЛАВ.....	54

ВСТУП

«ЕЛЕКТРОПРИВІД І АВТОМАТИЗАЦІЯ» є однією із завершальних навчальних дисциплін під час підготовки фахівців освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 208 «Агроінженерія» денної та заочної форми навчання в аграрних вищих навчальних закладах II-IV рівнів акредитації.

Мета початкової дисципліни – оволодіння здобувачем вищої освіти основних знань з будови та роботи електропривода сільськогосподарських машин, його апаратури керування і захисту та засобів автоматизації.

У результаті вивчення навчальної дисципліни здобувачі вищої освіти мають знати:

- Будову, принцип дії та характеристики електродвигунів і робочих машин;
- Сучасні засоби автоматизації електроприводів машин, які виробляють, переробляють або зберігають сільськогосподарську продукцію;
- Основи інженерних розрахунків параметрів і характеристик системи «електродвигун-робоча машина» в усталених і перехідних режимах роботи;
- Самостійно орієнтуватися в електричних типових схемах автоматизованого керування двигунами змінного і постійного струму.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1
ДОСЛІДЖЕННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З
КОРОТКОЗАМКНУТИМ РОТОРОМ

1.1. *Мета роботи*

1.1.1. Ознайомитися з пристроєм асинхронного двигуна з к.з. ротором.

1.1.2. Зняти і побудувати робочі і механічну характеристики двигуна.

1.2. *Основні теоретичні положення*

Трьохфазний асинхронний двигун складається з двох основних частин: статора і ротора. Статор - нерухома частина двигуна, служить для створення обертового магнітного поля. Схема з'єднання трифазної обмотки статора - зірка або трикутник. Магнітне поле статора перетинає провідники обмотки ротора і наводить в них змінну е.р.с. Оскільки обмотка ротора замкнута, ця е.р.с. викликає в ній струм того ж напрямку, що і е.р.с. В результаті взаємодії струму ротора з обертовим магнітним полем, виникає електромагнітна сила яка діє на провідники ротора. Сила створює обертовий момент, діє в ту ж сторону, що і сила.

Під дією моменту обертання ротор приходить в рух і після розбігу обертається в тому ж напрямі, що і магнітне поле з декілька меншою частотою обертання, ніж поле:

$$n_2 = (0,92...0,98)n_1,$$

де n_1 - частота обертання магнітного поля статора, або синхронна частота обертання;

n_2 - частота обертання ротора.

Синхронна частота обертання визначається частотою струму (f_1) джерела живлення двигуна та числом пар полюсів статора (p):

$$n_1 = \frac{60f_1}{p}.$$

Частота обертання ротора визначається ковзанням:

$$n_2 = n_1(1 - s),$$

де s - ковзання:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1};$$

Величина е.р.с. в обмотці статора та ротора дорівнює:

$$E_1 = 4,44K_{об1}f_1W_1\Phi m,$$

$$E_2 = 4,44K_{об2}f_2W_2\Phi m.$$

Величина е.р.с. в обмотці нерухомого ротора дорівнює:

$$E_{2к} = 4,44K_{об2}f_1W_2\Phi m,$$

де $K_{об1}$ і $K_{об2}$ - коефіцієнти обмотки статора і ротора:

$$K_{об} = (0,92...0,96);$$

де f_2 - частота струму ротора;

f_1 - частота струму статора;

Φm - магнітний потік статора;

W_1, W_2 - число витків обмотки статора і ротора.

Величина ковзання визначає величину е.р.с. ротора і частоту струму рухомого ротора:

$$f_2 = f_1 s,$$

$$E_2 = E_{2к} s.$$

Струм фази обмотки ротора визначається за законом Ома:

$$I_2 = \frac{E_2}{R_2 + (X_2 * s)} = \frac{E_{2к} s}{(R_2/s) + X_2},$$

де - $E_{2к}$, X_2 - е.р.с. і індукційний опір обмотки нерухомого ротора, тобто коли $f_2 = f_1$.

З даного виразу випливає, що в момент пуску, коли $s = 1$, струм в обмотці ротора і статора (пусковий) найбільший. Великий пусковий струм, викликає падіння напруги $U = I\pi Z$, призведе до зниження напруги живлення двигуна та до зменшення обертового моменту, а також до додаткового нагріву машини.

Обертовий момент асинхронного двигуна може бути визначений:

$$M = \frac{4,44mf_1 W_2 \Phi m K_{062} I_2 \cos \varphi_2}{\omega} = C \Phi m I_2 \cos \varphi_2,$$

де C - конструктивний коефіцієнт двигуна;

m - число фаз.

Для отримання рівняння механічної характеристики необхідно скористуватись схемою заміщення асинхронного двигуна .

Підставивши значення приведенного струму в рівняння електромагнітного моменту:

$$M_{\text{ем}} = \frac{mI R}{s}$$

отримаємо:

$$M = \frac{pm (U_{1\phi})^2 R'_2}{2\pi f_1 s [(R_1 + R'_2/s)^2 + (X_1 + X'_2)]},$$

де R'_2 і X'_2 - приведені до обмотки статора активний і реактивний опори фази обмотки ротора.

Вказане рівняння є рівняння механічної характеристики $M = f(s)$.

Спрощений вираз механічної характеристики має вигляд:

$$M = \frac{2M_k}{s/s_k + s_k/s},$$

де s_k - критичне ковзання;

M_k - критичний момент;

$$s_k = \frac{R'_2}{X_k}; \quad X_k = X_1 + X'_2; \quad M_k = \frac{mpU_1^2 \Phi}{4\pi f_1 X_k};$$

Робочі характеристики двигуна знімаються при незмінній напрузі живлення і частоті струму мережі.

Розглянемо ці характеристики:

1) залежність $s = f(P_2)$. Збільшення потужності на валу двигуна P_2 відповідає зміні гальмівного моменту, а отже збільшенню ковзання;

2) залежність $n = f(P_2)$ - зовнішня характеристика. З визначення ковзання виходить, що $n = n(1 - s)$, а оскільки із збільшенням потужності P_2 ковзання росте, впливає що, частота обертання n із збільшенням потужності P_2 падає незначно;

3) залежність $M = f(P_2)$. Із збільшенням потужності P_2 до P_n обертовий момент, також росте, оскільки частота обертання при цьому змінюється незначно;

4) залежність $\cos\varphi_1 = f(P_2)$. Оскільки головний магнітний потік і реактивна потужність, яка використовується з мережі, мало залежать від навантаження, слідує, $\cos\varphi_1$ суттєво змінюється

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{P_1 + Q_1},$$

при зміні навантаження, оскільки змінюється при цьому активна потужність. При малих навантаженнях, $\cos\varphi_1$ є досить низьким, тому асинхронні двигуни повинні працювати при номінальному навантаженні.

5) залежність $\eta = f(P_2)$:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \sum P}$$

де $\sum P$ - сумарні втрати двигуна.

Із збільшенням потужності P_2 к.к.д. буде зростати до номінального значення, а далі за рахунок збільшення змінних втрат (P_{m1} , P_{m2}) зменшуватися.

Це пояснюється наступним. Споживана активна потужність двигуна дорівнює:

$$P_1 = P_2 + P_{m1} + P_{ст} + P_{мех} + P_{доп} + P_{m2},$$

де P_{m1} , P_{m2} - втрати в міді обмотки статора та ротора;

$P_{ст}$ - втрати в сталі статора і ротора;

$P_{мех}$ - втрати механічні;

$P_{доп}$ - втрати додаткові;

Із збільшенням навантаження сума втрат $P_{ст} + P_{мех} + P_{доп}$ практично залишається постійною. ККД двигуна при цьому зростає (при навантаженні від 0 до $P_{ном.}$), потім ККД падає, оскільки втрати в міді зростають пропорційно квадрату струму:

$$P_{м1} + P_{м2} = (I_1)^2 R_1 + (I_2)^2 R_2.$$

1.3. План роботи

1.3.1. Зібрати схему згідно рис. 1.1.

1.3.2. Дослід неробочого руху.

Увімкніть стенд тумблером “Мережа”, схему лабораторної установки тумблером $S2$, асинхронний двигун кнопкою $S4$.

Генератор постійного струму $M1$ не вмикати (перемички $П1$ і $П2$ відсутні, регулятор ЛАТРа $T1.1$ в положення “0” тумблер $S6$ відключений).

У цьому режимі вимірюються наступні параметри двигуна:

-потужність неробочого руху;

-струм неробочого руху.

-напруга статора.

По вимірних величинах розраховуються параметри схеми заміщення двигуна в режимі неробочого руху.

1.3.3. Робочі характеристики двигуна і дослід короткого замикання.

Заміряйте параметри асинхронного двигуна:

-фазний струм статора;

-потужність, використовуючи з мережі.

УВАГА! Перед проведенням роботи переконайтеся що всі галетні перемикачі ЛАТРів ($T1$, $T1.1$, $T1.3$) встановлені в поз.“0”. При роботі з однофазними ЛАТРами $T1.1$ і $T1.3$ не допускається одночасне використання трифазного ЛАТРа $T1$.

двигун, при прослизанні пасика по шківках – зменшить напругу ЛАТРа. Дані вимірювань занести в табл. 1.1.

Дослід короткого замикання.

Зафіксуйте рукою шків асинхронного двигуна. (При необхідності встановити який з двигунів є шуканим, зніміть пасік з шківів і запустіть двигун кнопкою). Включить стенд тумблером “Мережа”, схему лабораторної установки тумблером S_2 , здійсніть короточасний запуск асинхронного двигуна кнопкою S_4 . Запам'ятати по черзі свідчення приладів і відключити двигун кнопкою S_3 .

УВАГА! Проведення досвіду вимагає обережності! Шків двигуна при поданій на нього напрузі не відпускати! Час включення двигуна не повинен перевищувати 10 сек. Паузи між експериментами не менше 1 хв. η

Таблиця 1.1.

Дослідні данні						Результати розрахунку					
Двигун				Генератор							
$U_{дв}$	$I_{дв}$	$P_{ф}$	n_2	$U_{Г}$	$I_{Г}$	P_2	M	s	$\eta_{дв}$	$\eta_{Г}$	$\cos\varphi_1$
В	А	Вт	об/хв	В	А	Вт	Нм	-	-	-	-

За результатами виміру розраховуються та будуються робочі характеристики і характеристика короткого замикання асинхронного двигуна.

1.3.4. Вказівки по визначенню розрахункових величин

1.3.4.1. Потужність, яка підводиться до двигуна

$$P_1 = P_{w_1} + P_{w_2},$$

де P_{w_1} і P_{w_2} - показники ватметрів.

1.3.4.2. Потужність на валу двигуна:

$$P_2 = \frac{P_{Г}}{\eta_{Г}} = \frac{U_{Г} I_{Г}}{\eta_{Г}},$$

де $\eta_{Г}$ - к.к.д. генератора.

1.3.4.3. Обертовий момент на валу двигуна:

$$M = \frac{P_2}{\omega_2} = 9,55 \frac{P_2}{n_2} .$$

1.3.4.4. Ковзання двигуна:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}, \quad n_1 = \frac{60f_1}{p} .$$

1.3.4.5. ККД двигуна:

$$\eta_{\text{дв}} = \frac{P_2}{P_1} .$$

1.3.4.6. Коефіцієнт потужності двигуна:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_{\text{дв}} I_{\text{дв}}} ,$$

де $U_{\text{дв}}$ – лінійна напруга;

$I_{\text{дв}}$ - лінійний струм статора.

1.4. Обробка результатів лабораторної роботи

1.4.1. Побудувати робочі характеристики двигуна.

1.4.2. Побудувати механічну характеристику двигуна:

$$n_2 = f(M), \text{ або } s = f(M).$$

1.5. Контрольні питання

1.5.1. Пристрій асинхронного двигуна і принцип його дії.

1.5.2. Від чого залежить швидкість обертання магнітного поля статора?

1.5.3. Поясніть, чому ротор асинхронного двигуна не може обертатися синхронно з магнітним полем статора?

1.5.4. Що називається ковзанням?

1.5.5. Чому у момент пуску струм статора найбільший?

1.5.6. Які способи зниження пускового струму?

1.5.7. Від яких параметрів залежить момент обертання двигуна?

1.5.8. Як зміниться момент двигуна, що обертає, якщо напруга в мережі знизиться на 10%?

1.5.9. Що таке критичне ковзання?

1.5.10. Пояснити механічну характеристику двигуна.

1.5.11. Які способи регулювання частоти обертання двигуна?

1.5.12. Пояснити робочі характеристики двигуна.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З НЕЗАЛЕЖНИМ ЗБУДЖЕННЯМ

2.1. Мета роботи

2.1.1. Вивчити конструкцію, параметри, режими роботи генератора постійного струму (ГПС) незалежного збудження.

2.1.2. Зняти характеристику неробочого руху $E_o = f(I_b)$.

2.1.3. Зняти зовнішню характеристику $U = f(I_b)$.

2.1.4. Зняти регулювальну характеристику $I_b = f(I_H)$.

2.2. Основні теоретичні відомості

ГПС як і двигун постійного струму складається із статора з обмотками збудження, якоря і щіткового - колекторного вузла.

Напруга постійного струму знімається на навантаження з щіток.

При обертанні якоря в нерухомому магнітному полі генератора в обмотці якоря наводиться змінна е.р.с., яка за допомогою колектора і системи струмопровідних щіток перетвориться в е.р.с. постійної напруги:

$$E_{\text{я}} = C_e \Phi n.$$

З формули випливає, що е.р.с., яка наводиться в обмотці якоря, який обертається з постійною частотою обертання, залежить тільки від магнітного потоку головних полюсів або від струму збудження. Залежність:

$$E_o = f(I_B), \text{ при } I_H = 0$$

називають характеристикою неробочого руху .

Залежність напруги U генератора, який працює на змінне навантаження, від струму I_H приймачів при незмінному опорі ланцюга збудження постійної частоти обертання, представлені графіком:

$$U = f(I_H),$$

називається зовнішньою характеристикою .

Процентна змінна напруги генератора $U\%$ при переході від номінального навантаження до режиму неробочого руху визначають по формулі:

$$\Delta U\% = \frac{U_0 - U_{\text{ном.}}}{U_{\text{ном.}}} \cdot 100\%$$

Регулювання напруги ГПС при змінному навантаженні досягається примусовою зміною струму збудження. Залежність:

$$I_B = f(I_H),$$

що показує зміну струму збудження від струму навантаження I_H для підтримки напруги $U = const$ при $n = const$, називається регулювальною характеристикою генератора .

Напруга генератора визначається за формулою:

$$U = E_{\text{я}} - I_{\text{я}} R_{\text{я}}.$$

2.3. План роботи

2.3.1. Дослід неробочого руху

Зберіть схему згідно рис. 2.1.

УВАГА! Перед проведенням роботи переконаєтеся що всі галетні перемикачі Латрів(Т1, Т1.1, Т1.3) встановлені в поз.“0”. При роботі з однофазними Латрами Т1.1 і Т1.3 не допускається одночасне використання трифазного Латра Т1.

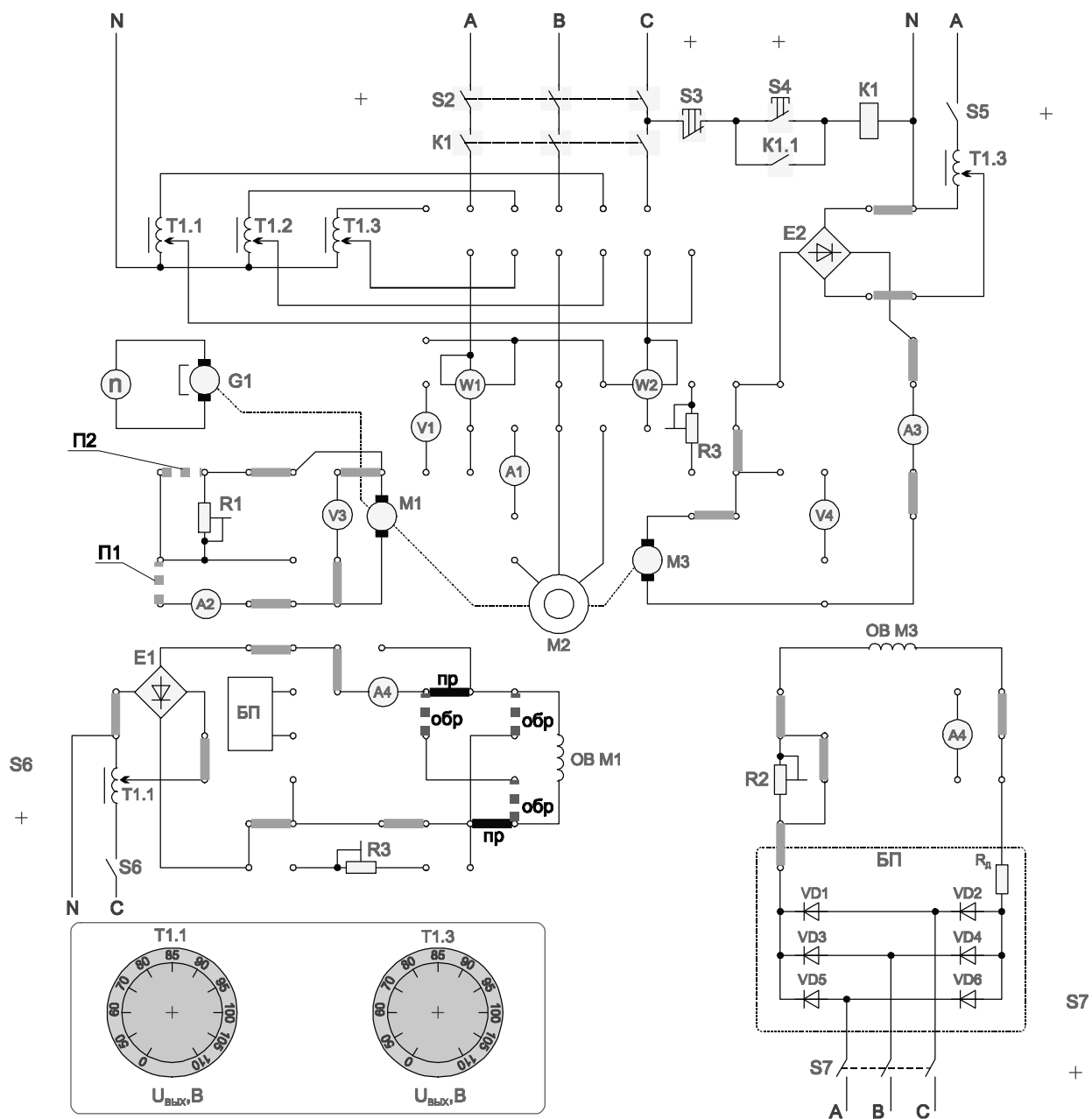


Рис. 2.1.

Встановити $R1 = \infty$ (перемички П1 і П2 – відсутні), у ланцюзі живлення обмотки збудження генератора перемички підключення самої обмотки встановлені в поз. “ пр”. Увімкнути стенд тумблером “мережа”, подайте живлення на обмотку збудження двигуна тумблером $S7$, включіть ЛАТР живлення якоря двигуна $T1.3$ тумблером $S5$. Збільшуйте напругу на двигуні (він почне обертатися в прямому напрямку) до отримання швидкості близько 3000 об/хв (початкові установки). Зафіксувати свідчення вольтметра $V3$ для

струму $I_b = 0$. Включіть ЛАТР Т1.1 тумблером S_6 , і збільшити струм збудження генератора до величини біля 80 мА. Проведіть вимірювання при струмі збудження близько 40, 60 і 80 мА. Запишіть в таблицю виміряні параметри:

Встановити $R1 = \infty$ (перемички П1 і П2 – відсутні), у ланцюзі живлення обмотки збудження генератора перемички підключення самої обмотки встановлені в поз. “пр”. Увімкнути стенд тумблером “мережа”, подайте живлення на обмотку збудження двигуна тумблером S_7 , увімкніть живлення якоря двигуна Т1.3 тумблером S_5 . Збільшуйте напругу на двигуні (він почне обертатися в прямому напрямку) до отримання швидкості близько 3000 об/хв (початкові установки). Зафіксувати покази вольметра V_3 для струму $I_b = 0$. Включіть ЛАТР Т1.1 тумблером S_6 , і збільшуйте струм збудження генератора до величини біля 80 мА. Проведіть вимірювання при струмі збудження близько 40, 60 і 80 мА. Запишіть в таблицю виміряні параметри:

- струм збудження генератора;
- напругу генератора.

Виконайте ті ж операції при зміні полярності обмотки збудження генератора М1. Для цього в ланцюзі живлення обмотки збудження генератора перемички підключення самої обмотки встановити в позицію “обр”.

2.3.2. Дослід короткого замикання

Закоротіть якір генератора, встановивши перемички П1, П2. Для побудови характеристики досить зняти дві точки: при двох значеннях струму збудження генератора вимірюється струм короткого замикання генератора. По вимірних величинах будується характеристика короткого замикання. При початкових установках Т1.3 повторіть всі операції і проведіть вимірювання для струму збудження 40 і 60 мА.

При суттєвій зміні швидкості двигуна (більше 20%) збільшуйте напругу на якорі двигуна перемикачем ЛАТРа Т1.3 до відновлення значення швидкості з допуском 20%.

2.3.3. Зовнішня характеристика.

Встановити перемичку П1, перемичка П2 – відсутня. Провести вимірювання при різних значення $R1\phi$ при початкових установках Т1.3.

При суттєвій швидкості двигуна (більше 20%) збільшить напругу на якорі двигуна перемикачем ЛАТРа Т1.3 до відновлення значення швидкості з допуском 20%.

Змінюючи величину опору $R1$ виміряйте:

- напругу генератора М1;
- струм генератора.

2.3.4. Регулювальна характеристика.

Схема рис. 2.1, перемичка П1 – встановлена, П2 – відсутня. При початкових установках Т1.3 встановити напругу на виході генератора біля 50В, змінюючи величину навантаження резистором $R1$. Змінюючи напругу на обмотці збудження ЛАТРою Т1.1 при значеннях струму збудження близько 40, 60, 80 мА виміряти:

- 1) струм збудження генератора;
- 2) струм якоря генератора.

2.4. *Обробка результатів лабораторної роботи*

2.4.1. Побудувати характеристику неробочого руху генератора.

2.4.2. Побудувати зовнішню характеристику генератора.

2.4.3. Побудувати регулюючу характеристику генератора.

2.5. *Контрольні питання*

2.5.1. Призначення і будова ГПС.

2.5.2. Як відбувається перетворення механічної енергії в електричну?

2.5.3. Від чого залежить е.р.с. генератора?

2.5.4. Які причини викликають зменшення напруги на генераторі при збільшенні навантаження?

2.5.5. Як можна використовувати генератор незалежного збудження для вимірювання частоти обертання машин і механізмів?

2.5.6. Перерахувати способи зміни полярності напруги навантаження генератора незалежного збудження.

2.5.7. Призначення колектора в ГПС.

2.5.8. Написати рівняння електричної рівноваги в ланцюзі якоря ГПС.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ВИПРОБУВАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА З КОМУТАЦІЙНИМИ АПАРАТАМИ ПІСЛЯ МОНТАЖУ

3.1. Мета роботи

3.1.1. Одержання навичок монтажу електроустаткування по монтажних кресленнях.

3.1.2. Вивчити методику перевірки електроустаткування для керування роботою електродвигуна.

Приладита інструмент: викрутка, паяльник, тестер.

3.2. Короткі теоретичні відомості

Найбільш широке поширення у всіх галузях промисловості, будівництва і сільського господарства мають асинхронні електродвигуни трифазного струму з короткозамкненим ротором. Електродвигуни характеризуються номінальними даними, які вказані в їхніх паспортах: потужністю, напругою, струмом статора, кратністю пускового струму, коефіцієнтом потужності, частотою обертання ротора, номінальним обертаючим моментом.

Змонтований і встановлений на робоче місце електродвигун перевіряють при роботі вхолосту і під навантаженням; при необхідності випробовують. Керування, регулювання і захист електричних машин здійснюють за допомогою електричних апаратів. Апарати, застосовувані для керування електричними ланцюгами, підрозділяються на неавтоматичні

і автоматичні. До автоматичних апаратів належать: контактори, магнітні пускачі, автоматичні вимикачі, які управляються дистанційно або діють автоматично при зміні встановленого режиму роботи електродвигунів або живильної мережі.

Для виконання лабораторної роботи необхідно вміти добре розбиратися в схемах, знати пристрій електродвигунів і апаратів, і вміти здійснювати збирання схем керування, а при необхідності робити відповідні випробування і виміри.

3.3. Порядок проведення роботи

Записати паспортні дані асинхронного електродвигуна (див. таблицю на корпусі електродвигуна) і ознайомитися з пусковою апаратурою (записати їхнє повне позначення і основні дані).

Для виконання роботи необхідно змонтувати електричну схему, наведену на рис. 3.1.

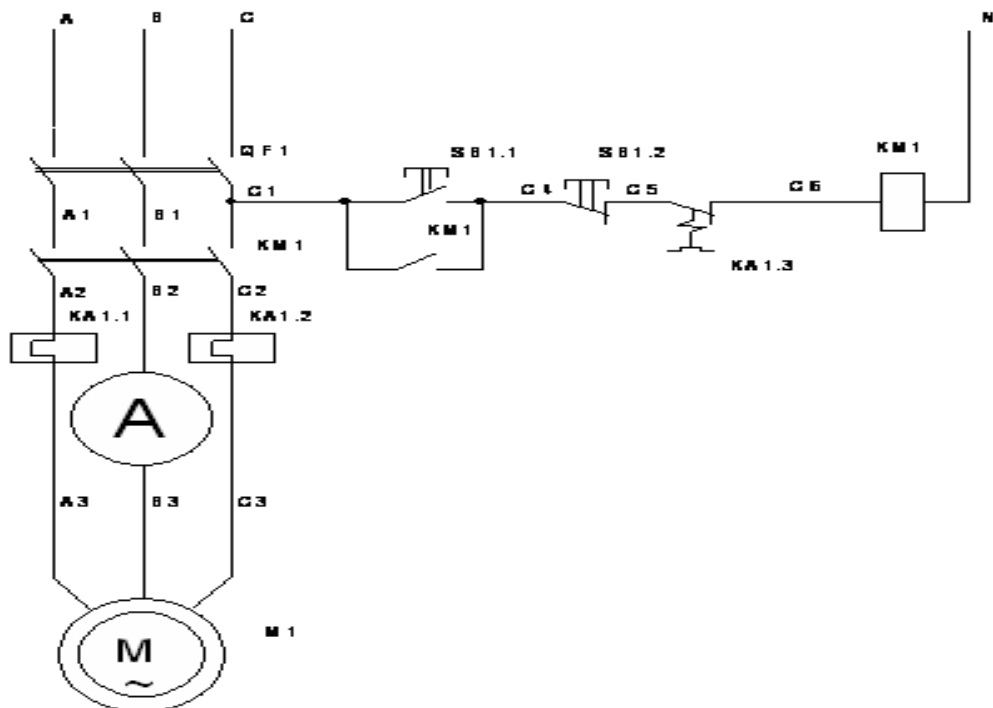


Рис. 3.1

Дослідження в даній роботі виконуються на основі асинхронного електродвигуна М1. Для керування роботою електродвигуна

використовуються наступні комутаційні апарати: автоматичний вимикач *QF1* - для підключення схеми керування до живлячої напруги із захисту від струмів короткого замикання; магнітний пускач *KM1* - для підключення обмотки статора двигуна до живлячої напруги; теплове реле *KA1* - для захисту двигуна від тривалих перевантажень; кнопки кнопкового посту *SB1.1* і *SB1.2* - для пуску ізупинки двигуна.

Контроль за струмом у фазах, фазною напругою, споживаною активною потужністю і швидкістю обертання валу електродвигуна виконується по приладах: *A1*, *V1*, *W1* і *n*. Контроль за роботою комутаційних апаратів провадиться візуально.

Складання схеми виконується за монтажною схемою рис. 3.2.

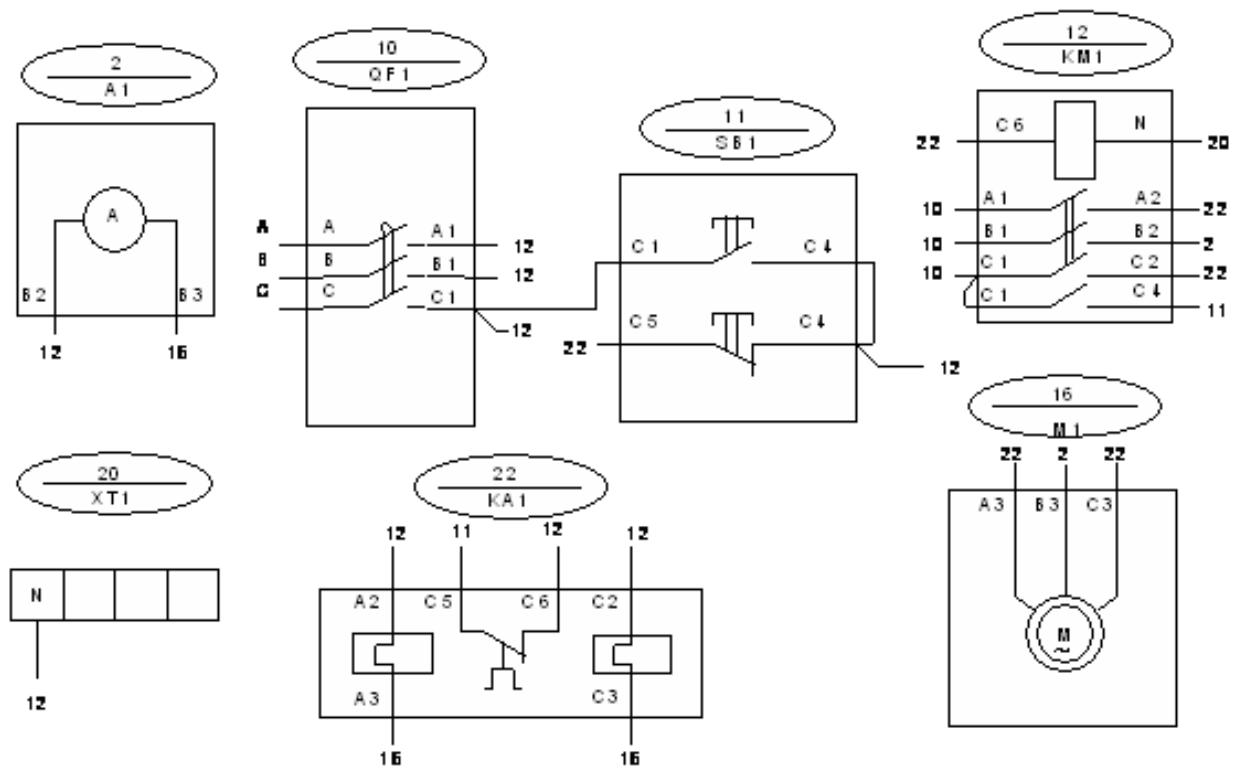


Рис. 3.2

Ознайомитися з розташуванням апаратів на панелі стенда. За монтажною схемою на рис. 3.2 змонтувати схему керування двигуном *M1*. За допомогою тестера перевірити монтаж схеми за схемою електричною принциповою при відключеному живленні стенда. Після перевірки викладачем зробити перевірку роботи схеми при поданій напрузі живлення. Зняти показання амперметра. Тестером виміряти всі фазні та лінійні напруги.

Зафіксувати показання. Зробити висновок про правильність вибору пуско-регулюючої апаратури і апаратів захисту. Обґрунтувати висновки.

3.4. *Контрольні питання*

3.4.1. Які апарати належать до пуско-регулюючої апаратури. Перелічіть їх.

3.4.2. У яких режимах перевіряють електродвигун після монтажу.

3.4.3. Яке призначення автоматичного вимикача $QF1$ і теплового реле $KA1$ у схемі рис. 3.1.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

4.1. *Мета роботи*

4.1.1. Дослідження однофазного трансформатора в різних режимах роботи.

4.1.2. Визначення параметрів заступної схеми трансформатора.

4.1.3. Побудова зовнішньої характеристики трансформатора.

4.1.4. Побудова векторних діаграм для різноманітних режимів роботи трансформатора.

4.1.5. Вивчити будову однофазного трансформатора.

4.2. *Основні теоретичні положення*

Трансформатор являє собою електромагнітний апарат, який призначений для перетворення електричної енергії змінного струму однієї напруги в електричну енергію змінного струму іншої напруги при незмінній частоті.

Трансформатор складається з замкнутого магніто проводу зібраного з тонких, ізольованих один від другого листів електротехнічної сталі, на якому знаходиться дві обмотки, з ізольованого мідного проводу. На первину

обмотку подається напруга мережі, до затискачів вторинної приєднуються навантаження.

Змінний магнітний потік, розбудження в магнітопроводі трансформатора, наводиться в обох обмотках е.р.с., діюче значення яке визначає витрати.

$$E_1 = 4,44 W_1 f \Phi m,$$

$$E_2 = 4,44 W_2 f \Phi m,$$

де Φm - амплітуда магнітного потоку;

f - частота змінного струму;

W_1 і W_2 - числа витків, які відповідають первинній та вторинній обмоткам.

Розрізняють наступні режими роботи трансформатора:

- режим неробочого руху;
- режим короткого замикання;
- режим навантаження .

Режим неробочого руху

Режим неробочого руху є таким межовим режимом, при якому вторинна обмотка розімкнута. напруга U_{20} на її затискачах дорівнює E_2 . Дослід режиму неробочого руху дає змогу визначити наступні величини:

коефіцієнт трансформації:

$$n = \frac{U_{1н}}{U_{2н}},$$

де $U_{1н}$ – номінальна напруга на первинній обмотці трансформатора

струм неробочого руху:

$$I_{10} = (3...10) \% I_{1н},$$

де $I_{1н}$ - номінальний струм трансформатора;

активну потужність P_0 , яка являє собою втрати потужності при неробочому руху, які витрачаються на втрати активної потужності, на перемагнічування магнітопровода з частотою мережі, а також на

компенсацію дії розмагнічення вихрових струмів, які виникають в листах магнітопровода.

Використовуючи результати дослідження неробочого руху та паспортні характеристики трансформатора, можна визначити параметри (Z_0 , R_0 , X_0) заступної схеми (рис. 4.1) трансформатора.

$$Z_0 = \frac{U_{1H}}{I_{10}}, \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_{1H} I_{10}}, \alpha = 90^\circ - \varphi_0, R_0 = \frac{P_0}{I_{10}^2},$$

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2},$$

де R_0 - активний опір, втрати потужності в якому дорівнюють втратам потужності в магнітопроводі трансформатора;

X_0 - індуктивний опір первинної обмотки;

Z_0 - повний опір;

φ_0 - кут зсуву по фазі між струмом та напругою первинної обмотки в режимі неробочого руху;

α - кут між струмом неробочого руху і магнітним потоком в режимі неробочого руху.

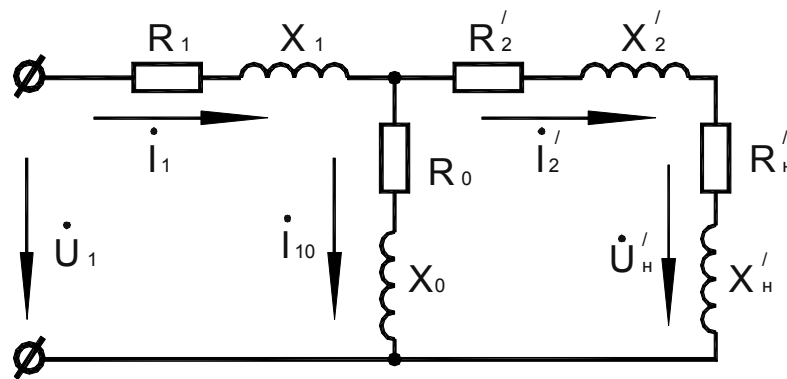


Рис. 4.1.

Режим короткого замикання

Режим короткого замикання є другим межовим режимом роботи трансформатора, при якому вторинна обмотка замкнута накоротко.

Розрізняють коротке замикання в процесі експлуатації трансформатора та досліджений режим короткого замикання. При експлуатаційному короткому замиканні до первинної обмотки подається повна напруга мережі і

по обмоткам протікають струми значно більші номінальних. В досліді короткого замикання на первинну обмотку подається така знижена напруга короткого замикання ($U_{1к}$), при якій по вторинній обмотці тече номінальний струм.

$$U_{1к} = (3...10)\%U_{1н}$$

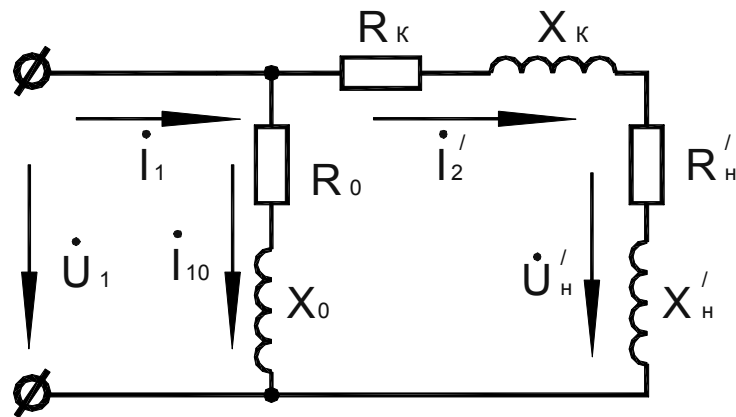


Рис. 4.2.

Потужність P_K , визначена з досліді короткого замикання являє собою втрати в активних опорах обох обмоток трансформатора

$$P_K = (I_{1н})^2 R_1 + (I_{2н})^2 R_2,$$

де R_1 і R_2 – активні опори первинної та вторинної обмоток трансформатора.

В досліді короткого замикання визначаються втрати потужності в обмотках трансформатора та уточнюють значення коефіцієнта трансформації з результатів вимірювання та паспортними даними визначають параметри (R_1, R_2', X_1, X_2') заступної схеми трансформатора (рис. 4.1, рис. 4.2.).

$$Z_K = \frac{U_{1к}}{I_{1н}}, R_K = \frac{P_K}{(I_{1н})^2}, \cos f_K = \frac{P_K}{U_{1к} I_{1н}}, X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2},$$

$$R_1 = (R_2)' = \frac{R_K}{2}, X_1 = (X_2)' = \frac{X_K}{2}, R_2 = \frac{(R_2)'}{n^2}, X_2 = \frac{(X_2)'}{n^2},$$

де R_K і X_K – активний та реактивний опір короткого замикання трансформатора;

$(R_2)'$ і $(X_2)'$ - приведені опір вторинної обмотки трансформатора до первинної обмотки.

Для даного трансформатора маємо:

$$(U_2)' = nU_2 = U_1, \quad (I_2)' = \frac{I_2}{n}.$$

Режим навантаження

В режимі навантаження трансформатор навантажується в межах від нуля до номінальної, одним з навантажень: активним, активно-індуктивним або ємнісним.

Рівняння електричного стану цього режиму:

$$U_2 = E_2 - I_2(R_2 + jX_2) = E_2 - I_2 Z_2,$$

$$U_1 = -E_1 + I_1(R_1 + jX_1) = -E_1 + I_1 Z_1,$$

$$I_1 = I_{10} + (-(I_2)'),$$

де Z_1 та Z_2 – комплекси повних опорів обмоток трансформатора.

Залежність $U_2 = f(I_2)$ називається зовнішньою характеристикою трансформатора (рис. 4.3).

Процентне вимірювання вторинної напруги при змінному навантаженні визначається так:

$$U_{20} - U_2$$

$$\Delta U_2 \% = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \cdot 100 \%,$$

де U_{20} і U_2 – відповідно вторинна напруга при неробочому руху та заданому навантаженні, яка визначається вторинним струмом та коефіцієнтом потужності $\cos \phi_2$ навантаження.

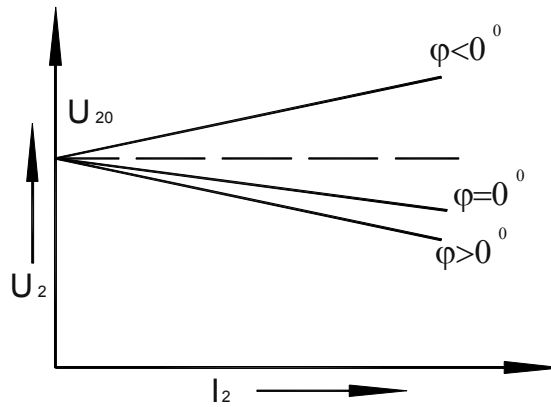


Рис. 4.3.

Величину ΔU_2 можна розрахувати по формулі:

$$\Delta U_2 \% = \beta (U_{a.k.} \% \cos \varphi_2 + U_{p.k.} \% \sin \varphi_2),$$

I_2

де $\beta = \frac{I_2}{I_{2H}}$ - коефіцієнт навантаження;

I_{2H}

$U_{a.k.} \%$ - активна складова напруги короткого замикання трансформатора;

$U_{p.k.} \%$ - реактивна складова напруги короткого замикання трансформатора

в процентах;

$\cos \varphi_2$ - коефіцієнт потужності навантаження.

$$U_{a.k.} \% = \frac{P_k}{S_H} 100 \% = \frac{R_k I_{1H}}{U_{1H}} 100 \%;$$

$$U_{p.k.} \% = \sqrt{((U_{p.k.} \%)^2 - (U_{a.k.} \%)^2)};$$

$$S_H = U_{1H} I_{1H},$$

де S_H - повна потужність трансформатора, ВА.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) трансформатора

По даним режиму неробочого руху, короткого замикання та режиму навантаження трансформатора визначається к.к.д. трансформатора:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1 \Delta P} = \frac{P_2 \beta S_H \cos \varphi_2}{\beta S_H \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_k},$$

де $P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$ - активна корисна потужність, знімається з затискачів вторинної обмотки;

$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$ - активна потужність, яка споживається трансформатором з мережі;

Залежність $\eta = f(\beta)$ показана на рис. 4.4.

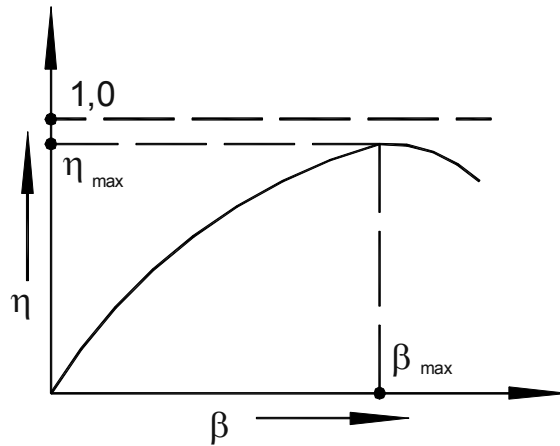


Рис. 4.4.

β_{max} - коефіцієнт навантаження трансформатора, при якому к.к.д. трансформатора сягає максимального значення

$$\beta_{max} = \sqrt{\frac{P_o}{P_K}}$$

Побудова векторної діаграми дослідження трансформатора в режимі неробочого руху (рис. 4.5, а) та короткого замикання (рис. 4.5, б). На рис. 4.6. показані векторні діаграми навантаженого трансформатору з навантаженнями: активним (рис. 4.6, а) та активно-індукційним (рис. 4.6, б).

4.3. План роботи

4.3.1. Дослідження трансформатора в режимі неробочого руху. Зібрати схему відповідно рис. 4.7.

Увімкнути стенд тумблером "Мережа", зібрану схему тумблером S9 "верхне положення", пакетним перемикачем.

Встановити напругу на первинній обмотці $U_{1н} = 220В$.

Зняти показання приборів U_1, A_1, W_1, U_2 . По результатам вимірювання провести розрахунок параметрів схеми заміщення трансформатора (Z_o, R_o, X_o, N). Вторинні параметри виміряти підключивши U_1 на вторинну обмотку.

4.3.2. Вимірювання трансформатора в режимі короткого замикання.
Зібрати схему згідно рис. 4.8.

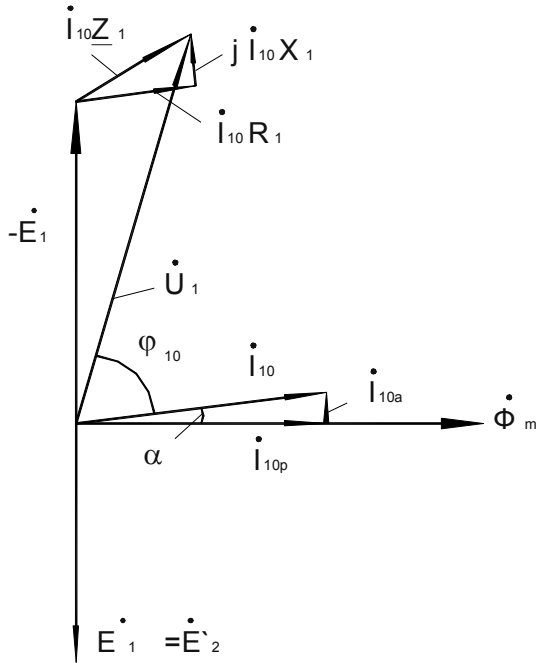


Рис. 4.5, а

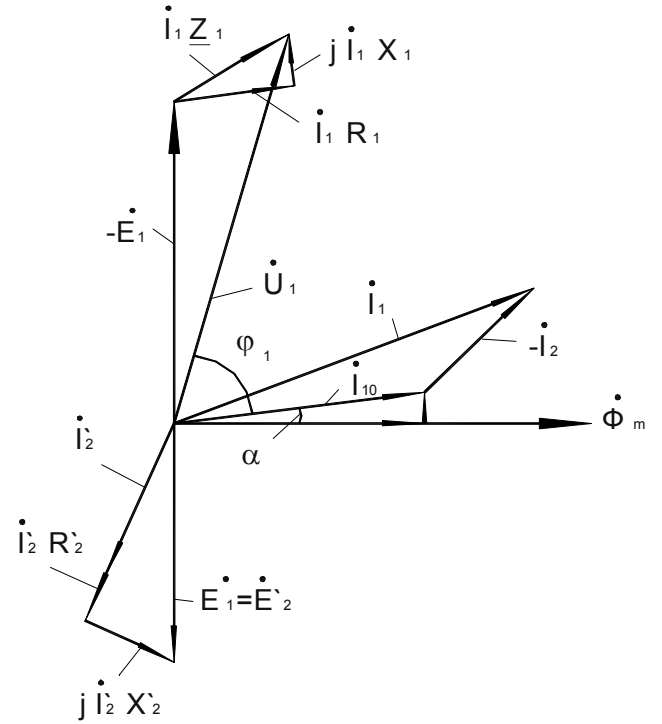


Рис. 4.5, б.

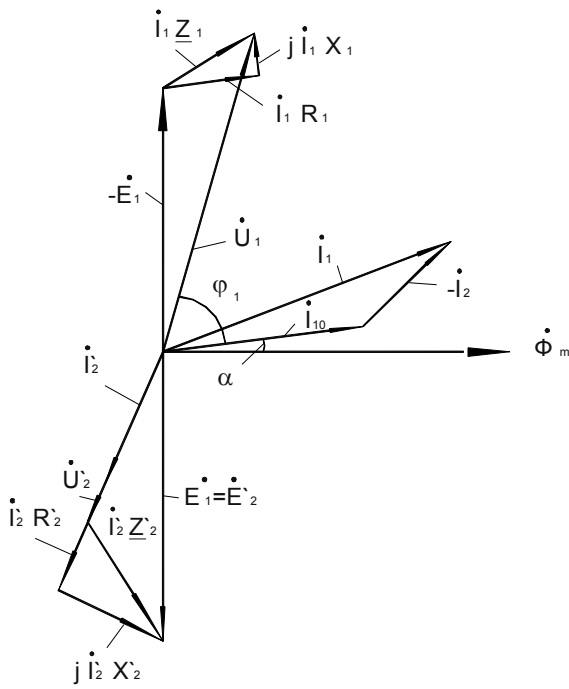


Рис. 4.6, а

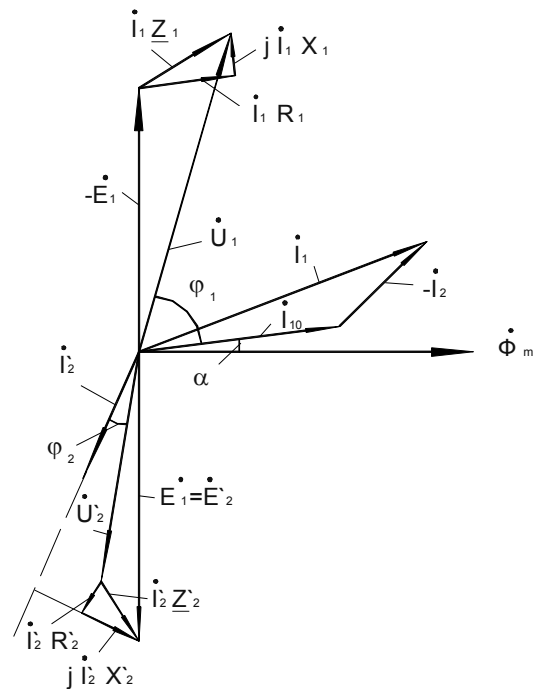


Рис. 4.6, б

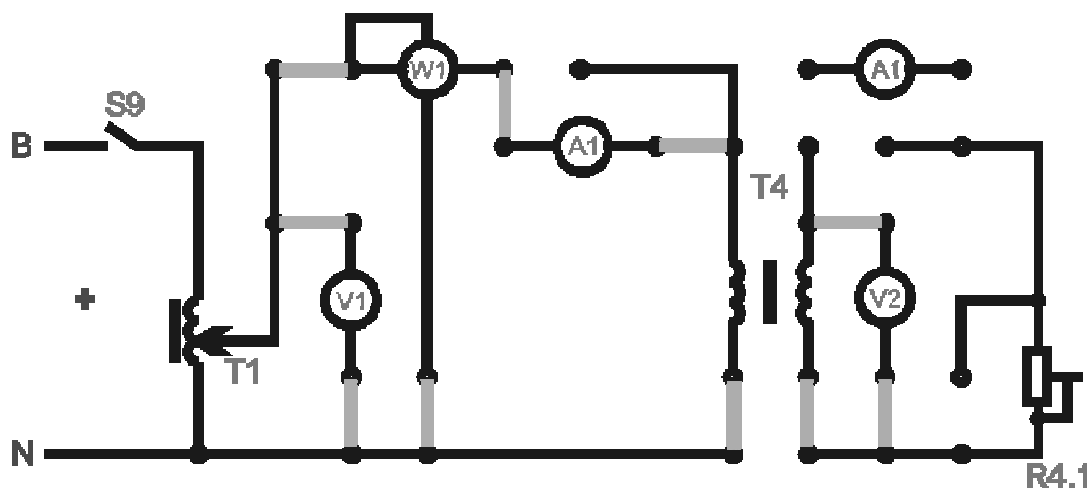


Рис. 4.7.

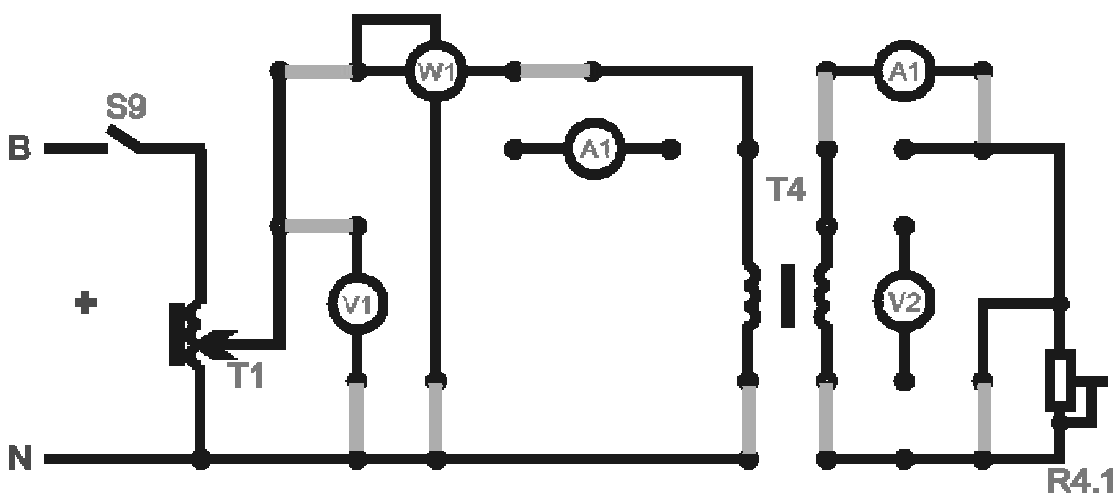


Рис. 4.8.

Введіть пакетний вимикач Т1, $V\phi$ в положення "0".

Увага! Перед проведенням роботи треба впевнитись що всі галетні перемикачі ЛАТРів (Т1, Т1.1, Т1.3) поставлені в поз. "0". При роботі з трьох фазним ЛАТРом Т1 не допускається одночасне використання однофазних ЛАТРів Т1.1 и Т1.3.

Увімкнути стенд тумблером "Мережа". Змінюючи первинну напругу перемикачем Т1, $V\phi$, встановити струм у вторинній обмотці Т4 по амперметру А1 в межах (0,8...1) А (ручку галетника ЛАТРа Т1 ставить тільки в межах 0-20 В, для запобігання виходу зі строю елементів схеми). Вимкнути

живлення схеми тумблером $S9$. Увімкнути амперметр $A1$ в первинне коло дослідного трансформатора $T4$, згідно рис. 4.9.

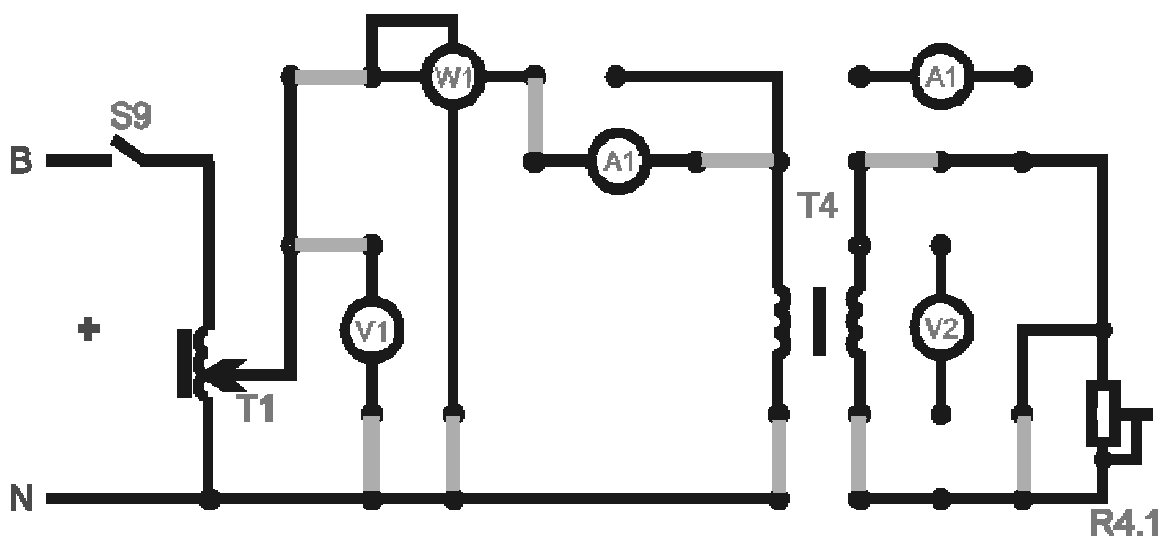


Рис. 4.9

Увімкнути живлення схеми тумблером $S9$. Зняти показання з приборів $A1$, $V1$, $W1$.

За результатами вимірювання зробіть розрахунок параметрів схеми заміщення трансформатора (Z_k , R_k , X_k) та опорів обмоток (R_1 , X_1 , R_2 , X_2).

4.3.3. Дослідження трансформатора в режимі навантаження.

Зібрати схему згідно рис. 4.10.

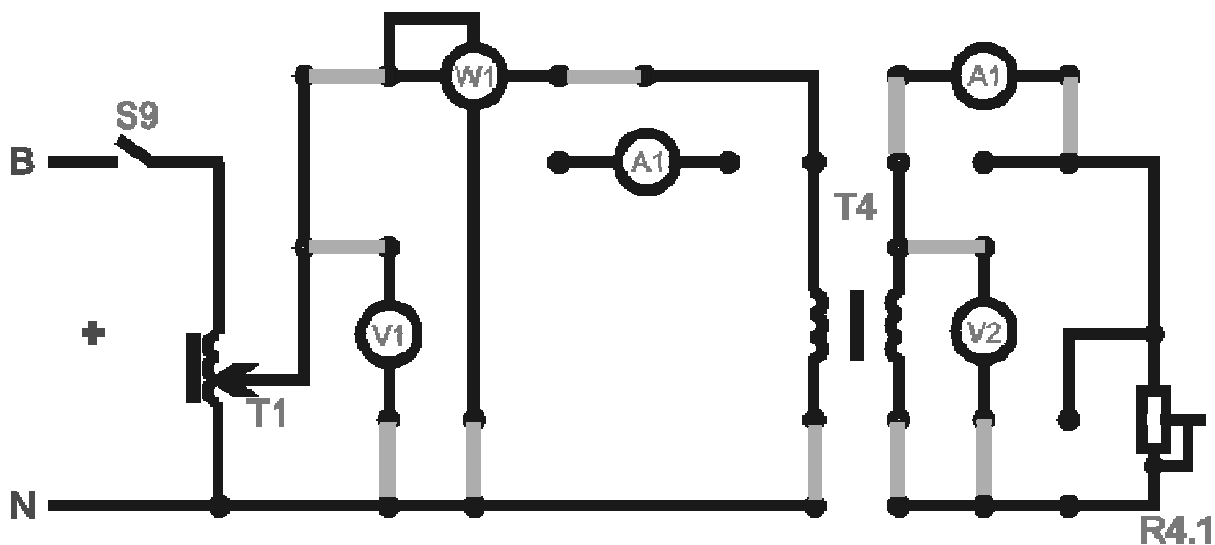


Рис. 4.10.

Увімкнути стенд тумблером “Мережа”. Увімкнути схему тумблером S9. Встановите напругу на первинній обмотці перемикачем T1, $V_{\phi} = 220V$. Змінюючи величину опору навантаження перемикачем R4 (положення 1- 6), зніміть покази приладів $V1$, $V2$, $A1$, $A2$, $W1$. Побудуйте зовнішню характеристику $U_2 = f(I_2)$.

4.4. Обробка результатів лабораторної роботи

4.4.1. Обчислити параметри схеми заміщення трансформатора.

4.4.2. Обчислите коефіцієнт трансформації.

4.4.3. Побудуйте залежність $U_2 = f(I_2)$.

4.4.4. Побудуйте залежність $\eta = f(I_2)$.

4.4.5. Накреслите схему заміщення трансформатора.

4.4.6. Намалюйте одну з векторних діаграм трансформатора в масштабі.

4.5. Контрольні питання

4.5.1. Конструкція однофазного трансформатора?

4.5.2. Від чого залежать е.р.с обмоток трансформатора?

4.5.3. У яких випадках трансформатор називається таким, що підвищує і коли таким що знижує?

4.5.4. Що називається коефіцієнтом трансформації?

4.5.5. Як визначити номінальні струми обмоток трансформатора, якщо відомі його номінальна потужність і напруга?

4.5.6. Що називається зовнішньою характеристикою трансформатора?

4.5.7. Які втрати енергії мають місце в трансформаторі і від чого вони залежать?

4.5.8. Що називають схемою заміщення трансформатора і як визначити її параметри?

4.5.9. Як виконують досліди неробочого руху і короткого замикання?

4.5.10. Для чого магнітопровід трансформатора збирають з окремих листів електротехнічної сталі?

4.5.11. Чому ватметр в ланцюзі первинної обмотки трансформатора при розімкненій вторинній обмотці практично вимірює потужність магнітних втрат.

4.5.12. Чому в режимі холостого ходу трансформатора його сердечник нагрівається, а обмотки залишаються холодними?

4.5.13. Чому в досвіді короткого замикання значно знижують напругу на первинній обмотці трансформатора?

4.5.14. Чому в режимі короткого замикання трансформатора його обидві обмотки нагріваються, а магнітопровід залишається холодним?

4.5.15. Чому зменшується напруга на затискачах вторинної обмотки при збільшенні струму навантаження при активному і активно-індуктивному навантаженні?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ДАТЧИКИ

5.1. Датчики є елементами, що здійснюють безперервний функціональний зв'язок між вхідним параметром в одному процесі і вихідним параметром - в іншому. В електричних датчиках зміна вхідного (часто неелектричного) параметра викликає зміну вихідного електричного параметра. Тому електричні датчики прийнято відносити до електричних апаратів.

Залежність вихідного параметра “Y” датчика від вхідного параметра “X” є основною характеристикою датчика, яка може бути лінійною або нелінійною.

5.1.1. Для лінійної характеристики відношення $Y/X = K$ називають чутливістю датчика. Якщо характеристика датчика нелінійна (рис. 5.1),

користуються відношенням $\Delta Y/\Delta X = K$, що називають диференціальною чутливістю або коефіцієнтом передачі датчика.

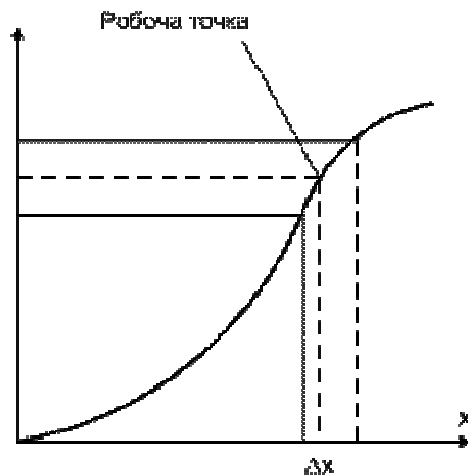


Рис.5.1

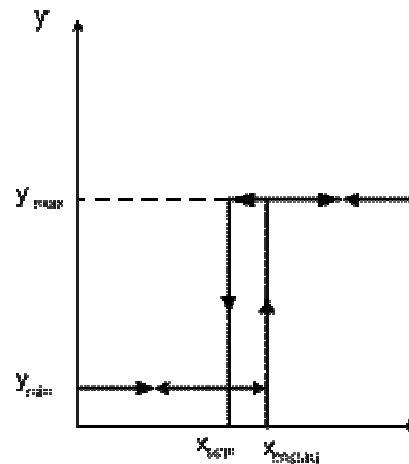


Рис.5.2

Коефіцієнт передачі датчика варто визначати для його робочої точки (див. рис. 5.1).

Для інерційних датчиків основна характеристика описується вже не коефіцієнтом передачі, а передаточною функцією

$$W(p) = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{K}{Tp + 1} \quad (5.1)$$

де K - коефіцієнт передачі (чутливість) датчика; T - стала часу.

Звичайно до датчиків пред'являються вимоги лінійності характеристик, максимальної чутливості і швидкодії, високої перешкодозахищеності і надійності. Крім того, однією з основних вимог є стабільність

характеристик датчика в часі і при зміні умов роботи (температури, тиску, вологості, положення датчика в просторі й ін.)

5.1.2. Реле є елементами, що здійснюють переривчастий стрибкоподібний функціональний зв'язок між вхідним параметром в одному процесі і вихідним - в іншому.

5.1.3. Принцип дії реле пояснюється рис. 5.2. При зміні вхідного параметра "X" в межах $0 \leq X \leq X_{\text{стрим.}}$ значення вихідного параметра "Y" залишається незмінним: $Y = Y_{\text{мін}}$. При досягненні "X" значення $X = X_{\text{стрим.}}$ параметр "Y" змінюється стрибком до значення $Y = Y_{\text{макс}}$. При зменшенні параметра "X" до значення $X = X_{\text{стриг.}}$ величина "Y" буде залишатися незмінної. При $X = X_{\text{стриг.}}$ (звичайно $X_{\text{стрим.}} > X_{\text{стриг.}}$) величина "Y" стрибком зменшується до значення $Y = Y_{\text{мін}}$. Час перехідного процесу в ланцюзі вихідного параметра визначається інерційністю реле.

Коефіцієнтом повернення реле називається відношення $X_{\text{стриг.}} / X_{\text{стрим.}} = K_{\text{в}}$.

Відношення $X_{\text{макс}} / X_{\text{стрим.}} = K_{\text{к}}$ називається коефіцієнтом керування.

Відношення $Y_{\text{макс}} / Y_{\text{мін}} = K_{\text{кв}}$ зветься коефіцієнта кратності зміни вихідного параметра.

Залежно від виду вхідного параметра розрізняють датчики і реле лінійного і кутового механічного переміщення, швидкості, прискорення, моменту, температури, тиску й ін.

5.2. Датчики і реле переміщення

Потенціометричний датчик складається з джерела еталонної напруги і змінного електричного опору (потенціометра), величина якого залежить від положення рухомого контакту. Потенціометричні датчики призначені для перетворення лінійних і кутових переміщень в електричний сигнал, а

також для відтворення найпростіших функціональних залежностей у системах автоматичного керування.

Принцип дії потенціометричного датчика пояснює рис. 5.3. До затискачів потенціометра прикладається еталонна напруга U_E . При переміщенні движка потенціометра вихідна напруга $U_{вих}$ змінюється пропорційно вхідному параметру – переміщенню X .

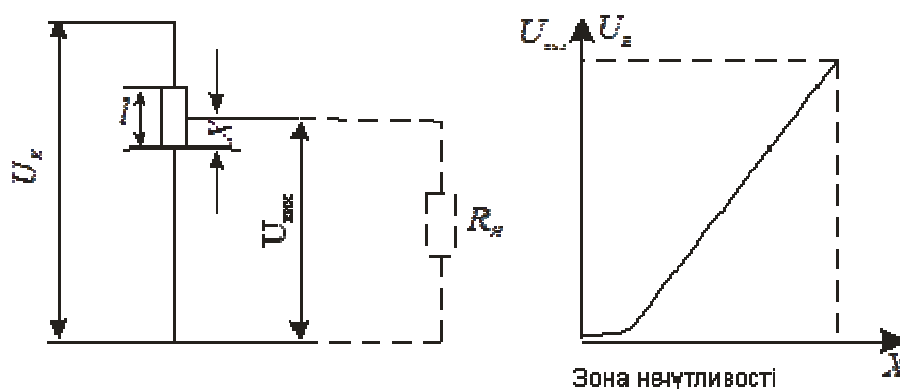


Рис. 5.3. Рис. 5.4.

Для режиму холостого ходу статична характеристика буде лінійна, тому що справедливо співвідношення

$$U_{вих} = \frac{U_E}{R} R_x, \quad (5.2)$$

де R - повний опір потенціометра; R_x - опір частини потенціометра, що приходить на величину переміщення движка X .

З огляду на те, що $R_x/R = X/l$, де l - повна довжина ходу рухомого контакту, одержимо:

$$U_{вих} = U_E X/l = KX, \quad (5.3)$$

де K - коефіцієнт передачі потенціометричного датчика.

При наявності навантажувального опору R_H характеристика потенціометричного датчика стає нелінійною, що видно з наступного вираження:

$$U_{\text{вх.}} = \frac{U_E R_1}{R_1 R_2 / R_H + R}, \quad (5.4)$$

де $R_2 = R - R_1$.

Якщо R_H є вхідним опором напівпровідникового підсилювача, то з достатнім ступенем точності можна вважати $R_H = \infty$. У цьому випадку вираз (5.4) здобуває вид (5.2).

Статична характеристика потенціометричного датчика представлена на рис. 5.4.

Для потенціометричного датчика кутового переміщення вирази (5.2) – (5.4) також справедливі, однак замість лінійного переміщення X в них використовується кут повороту φ .

5.3. Датчики сили і моменту

Вимір сил і моментів здійснюється, звичайно, непрямим шляхом по величині деформацій тіл, на які впливають ці сили і моменти. Найбільше поширення одержали тензометричні датчики, чутливим елементом яких є тензометричний резистор, який представляє собою компактно укладений у вигляді петель тонкий дріт діаметром 0,002-0,05 мм із матеріалу з високим електричним опором. Ряди цього дроту обклеюються тонкою плівкою по обидва боки. Самі тензометричні резистори наклеюються на деталь, механічна деформація якої підлягає виміру.

Включення тензометричних резисторів датчика сили доцільно виконувати за мостовою схемою (рис. 5.5). При розтяганні (або стисканні) деталі Д під дією сили F аналогічну деформацію перетерплює і дріт тензометричного резистору, що викликає зміну його електричного опору на величину ΔR . Розбаланс мосту фіксується амперметром ПА.

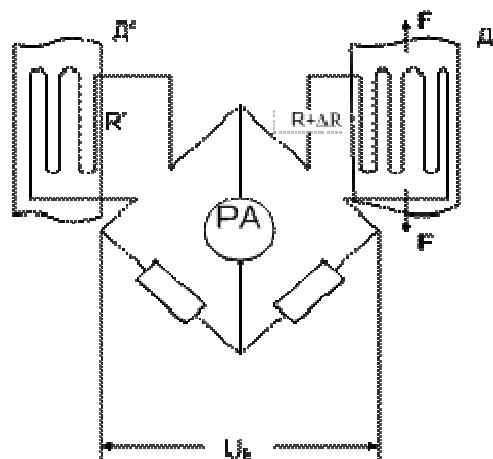


Рис.5.5

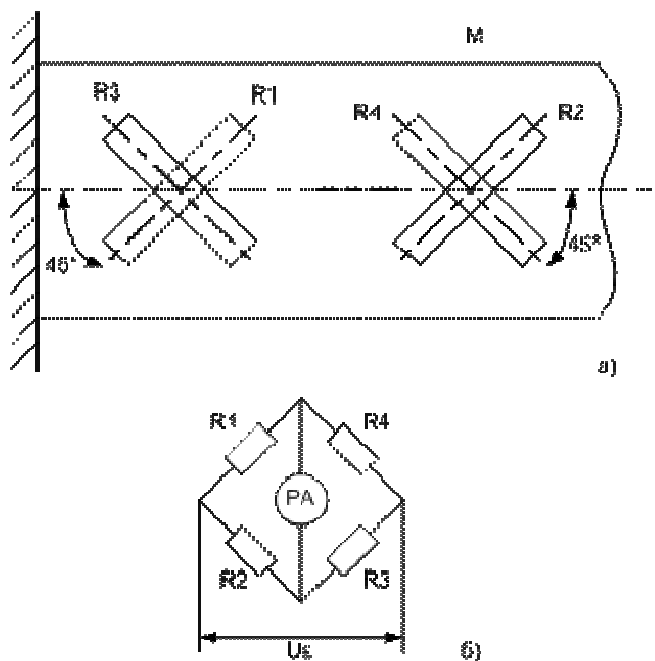


Рис.5.6

Для компенсації температурної погрішності тензометричного датчика доцільно в інше плече мосту включити, як це показано на рис. 5.5,

ідентичний тензометричний опір, величина якого залишається незмінною за рахунок кріплення його на ділянці D' , не підданій деформації.

Спосіб наклейки і схема підключення тензометричних опорів датчика обертаючого моменту, нечутливого до впливу згинальних моментів, показані, відповідно, на рис. 5.6.

5.4. Датчики і реле температури

Для реалізації датчиків температури широко використовується властивість провідників і напівпровідників змінювати свій опір залежно від температури. Зв'язок опору R з температурою τ визначається наступною залежністю:

$$R = R_0[1 + \alpha(\tau - \tau_0)], \quad (5.5)$$

де R_0 - опір при температурі τ_0 ; α - температурний коефіцієнт опору.

Для міді $\alpha = 0,004 \text{ (1/}^\circ\text{C)}$, для нікелю $\alpha = 0,0046 \text{ (1/}^\circ\text{C)}$. Більшим температурним коефіцієнтом володіють напівпровідникові терморезистори – термістори. Для них $\alpha = -(0,03 + 0,06) \text{ (1/}^\circ\text{C)}$.

Датчики, що використовують термо-ЕРС, складаються з термопар або декількох термопар, з'єднаних послідовно. В якості матеріалу термопар використовують дорогоцінні і неблагородні метали і їхні сплави. Особливістю більшості термопар є нелінійна залежність термо-ЕРС від температури, що обмежує їхнє застосування в датчиках автоматичних пристроїв.

Термореле і датчики із проміжними перетвореннями, що використовують лінійне розширення, можуть працювати як під впливом тепла, переданого шляхом теплообміну, так і під впливом тепла, виділюваного струмом, що проходить через сприймаючу систему.

Чутливий елемент таких реле і датчиків виготовляється з матеріалів (найчастіше металів і їхніх сплавів) з різними коефіцієнтами лінійного розширення. При зміні температури окремі частини чутливого елемента подовжуються по-різному, що приводить до спрацьовування контактів.

В якості матеріалів з великим коефіцієнтом лінійного розширення можливо також використання рідини і газу. Прикладом може служити контактний термометр, у якому рухливим контактом є сам ртутний стовпчик.

Різновидом реле і датчиків температури, що використовують лінійне розширення тіл, є біметалічні реле і датчики, чутливим елементом яких є пластина або спіраль із біметалу. Один кінець пластини або спірالي закріплюється нерухомо, а інший пов'язаний з виконавчим органом або, у випадку реле, з контактами.

5.6. Індуктивні датчики і реле

В основу роботи датчиків і реле даної групи покладена властивість дроселя або трансформатора з повітряним зазором змінювати свою індуктивність при зміні величини повітряного зазору.

На рис. 5.7 представлена спрощена схема безконтактного датчика переміщення. Величина індуктивності дроселя при ненасиченому магнітопроводі визначається наступним виразом:

$$L = \mu_0 W^2 S / 2\delta, \quad (5.6)$$

де μ_0 - абсолютна магнітна проникність вакууму;

W - число витків обмотки;

S - площа перетину полюса;

δ - величина повітряного зазору.

З виразу (5.6) видно, що зміна величини повітряного зазору приводить до зміни індуктивності дроселя і струму навантаження.

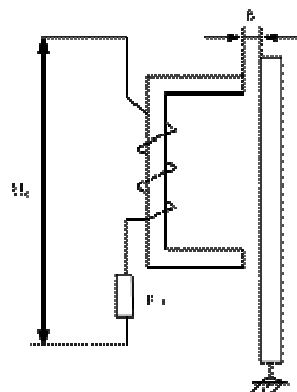


Рис. 5.7

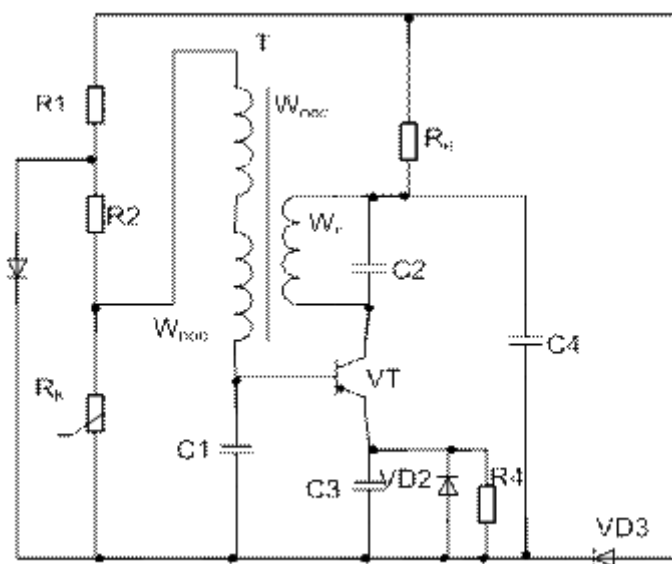


Рис.5.8

Принцип дії безконтактного кінцевого вимикача пояснюється схемою рис. 5.8. Чутливим елементом тут є імпульсний трансформатор з повітряним зазором, магнітна система якого складається із двох сердечників. На одному із цих сердечників розташована обмотка коливального контуру генератора W_{Γ} і обмотка позитивного зворотного зв'язку $W_{\text{ЗЗ}}$, на іншому – обмотка негативного зворотного зв'язку $W_{\text{ЗЗ}}$.

При відсутності екрана в зазорі забезпечується сильний вплив негативного зворотного зв'язку і генератор перебуває в незбудженому стані. Введення екрана в зазор приводить до зниження впливу негативного

зворотного зв'язку, збудженню генератора і появі напруги на виході безконтактного кінцевого вимикача.

5.6. Магнітокеровані реле (геркони)

Магнітокеровані герметизовані реле (геркони) являють собою герметичну скляну капсулу 1 (рис. 7.9), заповнену інертним газом, у яку впаяні пружні струмоведучі пластини 2,3 з магнітом якого матеріалу.

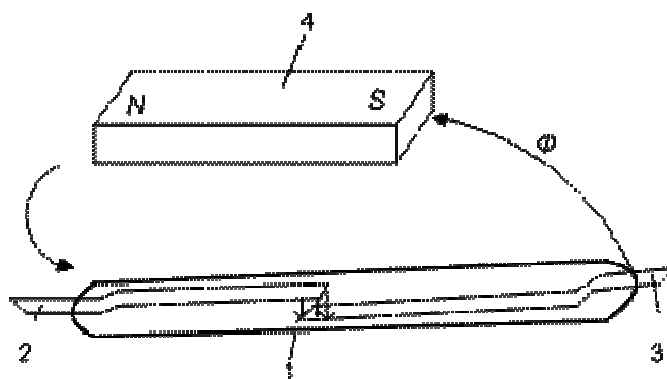


Рис. 5.9

Магнітний потік Φ , створений постійним магнітом 4 або електромагнітом, проходить по пластинах 2 і 3 і створює електромагнітну силу притягання в зазорі між кінцями пластин. Після припинення дії магнітного поля пластини повертаються у вихідний стан.

Достоїнством герконів є стабільність контактного опору, величина якого лежить у межах 0,03-0,2 Ом, а також висока зносостійкість, що досягає сотень мільйонів спрацьовувань. Завдяки відсутності масивних елементів геркони є відносно швидкодіючим пристроями. Час спрацьовування герконів лежить у межах 0,5-2 мс.

5.7.1 Вивчити конструкцію датчиків і реле неелектричних величин.

5.7.2. Вивчити принципові схеми лабораторної установки, ознайомитися з вимірювальними приладами, апаратами і елементами.

7.7.3. Дослідити термореле ТР-200:

- визначити температуру спрацьовування і відключення термореле;

- розрахувати коефіцієнт повернення термореле.

5.7.4. Дослідити контактний термометр:

- визначити межі регулювання контактного термометра;
- визначити температуру спрацьовування і відключення контактного термометра;
- розрахувати коефіцієнт повернення контактного термометра;
- порівняти коефіцієнти повернення термореле і контактного термометра.

5.7.5. Дослідити датчик температури ТМ-101:

- зняти залежність температури датчика від часу при його нагріванні і охолодженні;
- визначити власну сталу часу нагрівання і охолодження датчика графічним способом.

5.7.6 Дослідити потенціометричний датчик переміщення:

- зняти характеристику $U_{\text{в.к.}} = f(\varphi)$ потенціометричного датчика;
- визначити коефіцієнт передачі датчика.

5.7.7. Дослідити реле рівня МДУ-2с:

- визначити величину навантаження при спрацьовуванні й відключенні реле;
- розрахувати коефіцієнт повернення реле рівня.

5.7.8. Дослідити безконтактні кінцеві вимикачі КВД- 3-12, БВК 201-24 і магнітокероване реле (геркон):

- визначити величину механічного переміщення екрана, при якому кінцеві вимикачі і геркон спрацьовують і відключаються;
- розрахувати і порівняти коефіцієнти повернення безконтактних кінцевих вимикачів і геркона.

5.7.9. Дослідити тензометричний датчик моменту:

- зняти характеристику $I_{\text{в.к.}} = f(M)$ тензометричного датчика;
- визначити коефіцієнт передачі датчика.

5.7.10. Скласти звіт по проведених дослідженнях.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6
МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЗАСОБАМИ
ІНТЕГРОВАНОГО ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ MATLAB

6.1 Вивчити основні принципи роботи, та ознайомитись з базовими командами системи MATLAB.

6.2. Теоретичні відомості

6.2.1. Інтегрований програмний комплекс Matlab

Matlab - це інтерактивне середовище для виконання різноманітних наукових та інженерних розрахунків. Назва пакета походить від скорочень англійських слів Matrix Laboratory і найкраще характеризує його сутність, де матричні операції є основою більшості розрахунків.

Пакет підтримує виконання операцій з векторами, матрицями та масивами даних, реалізує сингулярні і спектральні розкладання, підтримує роботу з алгебраїчними поліномами, вирішує нелінійні рівняння і задачі оптимізації, інтегрування в квадратурах, вирішує диференціальні рівняння, будує різного виду графіки, трьохмірні поверхні та лінії рівня.

6.2.3. До найважливіших особливостей пакета відносять:

- *можливість вибору та зміни платформи* - програми та дані можна переносити на різні типи комп'ютерів з різними операційними системами;
- *відкрита архітектура* з точки зору можливості створення спеціальних підпрограм, спрямованих на розв'язування певного класу задач. Такі підпрограми можна написати як за допомогою мови програмування самого пакета (так звані m-файли), так і мовою програмування C. Отже, кожен користувач пакета може зробити свій внесок у розширення його можливостей.

6.2.4. До основних областей використання Matlab відносять:

- математичні обчислення;
- розробка алгоритмів;

- обчислювальний експеримент, моделювання;
- аналіз інформації, дослідження та візуалізація результатів;
- наукова та інженерна графіка;
- розробка додатків.

Спеціальні підпрограми, пов'язані з розв'язанням певного класу задач, формують тематичні підкаталоги (toolbox). Можна виділити такі найважливіші toolbox -и:

- *System Identification Toolbox* призначений для аналізу сигналів у системах керування. Дозволяє використовувати параметричні та непараметричні алгоритми ідентифікації, зокрема, розрахунок і верифікацію моделі, вибір порядку моделі, демонстрацію та перетворення сигналів. Дає змогу за відомими вхідними та вихідними сигналами об'єкта, попередньо задавши порядок моделі, створити його модель у вигляді рівнянь стану.

- *Control System Toolbox* призначений для синтезу, аналізу та моделювання неперервних у часі та дискретних систем. Дозволяє використовувати різні форми опису системи (передавальна функція, система рівнянь змінних стану, розкладання на прості дроби). Виконує перетворення від однієї форми запису системи до іншої, а також від неперервної до дискретної та навпаки. Дає змогу досліджувати реакцію системи на різні типи вхідних сигналів, а також синтезувати регулятори. Дозволяє аналізувати поведінку системи в частотній області.

- *Signal Processing Toolbox* призначений для цифрового перетворення та аналізу сигналів у часовій та частотній областях. Дозволяє проектувати цифрові та аналогові фільтри. Можливим є параметричне моделювання.

- *Fuzzy Logic Toolbox* включає середовище моделювання в області нечіткої логіки разом з засобами до проектування інтелектуальних систем керування.

- *μ -Analysis and Synthesis Toolbox* вимагає інсталяції *Signal Processing Toolbox* і є пакетом для аналізу та синтезу лінійних робастних систем керування (систем керування з підвищеною стійкістю). Використовується для

проектування оптимальних систем керування, основна увага акцентується на питаннях стійкості системи та її вразливості до зміни параметрів.

- *Neural Network Toolbox* спрощує побудову та дослідження штучних нейронних мереж. Дає змогу використовувати різні алгоритми навчання нейронних мереж. Реалізує різні типи нейронів і нейронних мереж. Кожен нейрон описується вектором ваг, значенням зміщення та видом активаційної функції. Зв'язок із Simulink-ом дає змогу використовувати штучні нейронні мережі як окремі блоки в моделях досліджуваних систем.

- *Nonlinear Control Design Toolbox* дає змогу виконувати оптимізацію лінійних та нелінійних систем керування.

- *Optimization Toolbox* реалізує різні методи оптимізації лінійних і нелінійних систем та розв'язування систем нелінійних рівнянь. Функції пакету дають змогу знаходити екстремум довільної функції як за наявності, так і за відсутності обмежень, а також для випадку багатокритеріальної оптимізації.

- *Robust Control Toolbox* призначений для дослідження багатовимірних робастних систем керування. Виконує синтез оптимальних регуляторів.

- *Spline Toolbox* призначений для розв'язування задач апроксимації та інтерполяції за допомогою сплайнів, з можливістю інтегрування та диференціювання отриманого рівняння.

- *Statistics Toolbox* реалізує різноманітні статистичні функції, включаючи моделювання випадкових подій та генератори випадкових сигналів.

6.3. Режими роботи Matlab.

Після входу в середовище Matlab на екрані розкривається вікно (Рисунок 5.1), у якому з'являється символ ">>", що сигналізує про готовність пакета до роботи.

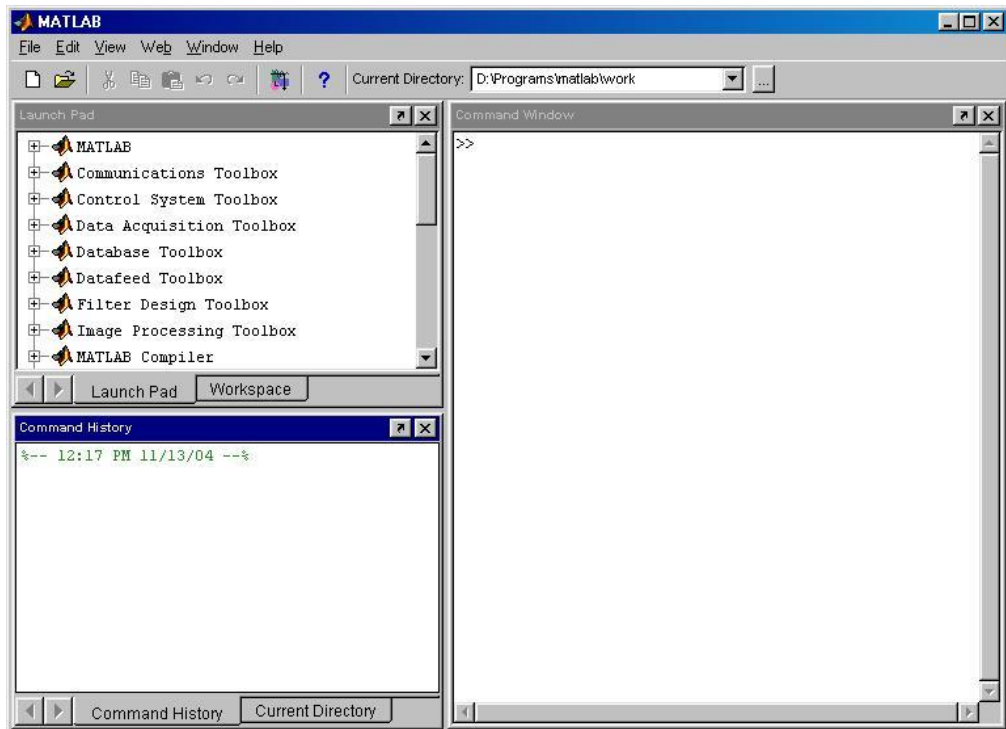


Рисунок 6.1 - Вигляд головного вікна середовища пакету Matlab.

Починаючи з цього моменту кожна команда з клавіатури буде сприйнята, інтерпретована та виконана. Результат обчислення значення виразу є доступним як значення змінної, якій присвоєний вираз. Так, виконання команди наступного синтаксису:

>> змінна = вираз

дозволить обраховувати значення виразу, внести змінну до робочої області, а на появиться результат.

Пакет Matlab має деякі особливості:

- вбудовані функції (наприклад, $\sin x$) записуються прописними буквами, а їх аргументи вказуються в круглих дужках;
- значення змінних записані з використанням букв різного регістру будуть різними (наприклад, A і a);
- для блокування виводу результату обчислень деякого виразу після нього треба поставити знак “;” (крапка з комою);
- у деяких випадках математичний вираз, що вводиться, може виявитися настільки довгим, що для нього не вистачить одного рядка. У цьому випадку частину виразу можна перенести на новий рядок за допомогою знаку три крапки “...”;

- пакет MatLab є насамперед програмою для роботи з матрицями, тому звичайні математичні операції $*$, $/$, $+$, $-$ виконуються в матричному виді. Для поелементного виконання арифметичних операцій використовується оператор “.” (наприклад $Z=V./A$);
- елементи векторів і матриць записуються в квадратних дужках, та розділяються пробілами або комами (наприклад $V=[1\ 2\ 3\ 4]$ і $V=[1, 2, 3, 4]$ – ці записи є ідентичними).

6.4. Команди керування вікном командного режиму

6.4.1. До основних команд керування вікном командного режиму відносять наступні команди:

- **clc** – очищає екран та розміщує курсор у лівому верхньому куті порожнього екрану;
- **home** – повертає курсор у лівий верхній кут вікна;
- **echo<file_name> on** – включає режим виведення на екран тексту Script-файлу (файлу-сценарію);
- **echo <file_name> off** – відключає режим виведення на екран тексту Script-файлу;
- **echo <file_name>** – змінює режим виведення на протилежний;
- **echo on all** – включає режим виведення на екран тексту всіх m-файлів;
- **echo off all** – відключає режим виведення на екран тексту всіх m-файлів;
- **more on** – включає режим посторінкового виведення (корисний при перегляді великих m-файлів);
- **more off** – відключає режим посторінкового виведення (у цьому випадку для перегляду великих файлів треба використовувати лінійку прокручування);
- **diary file_name.txt** – веде запис на диск усіх команд у рядках введення та отриманих результатів у вигляді текстового файлу з зазначеним ім'ям;
- **diary off** – призупинити запис у файл;
- **diary on** – починає запис у файл.
- **clear <name 1>, <name 2>, ...**– використовується для знищення певних змінних чи функцій з робочої області пакету;
- **clear all** – знищення усіх змінних або функцій з робочої області пакету;
- **help** – видає назви всіх доступних файлів допомоги;
- **help <filename>**– допомога в роботі з окремим файлом з зазначеним ім'ям.

Клавiші \uparrow і \downarrow використовуються для підстановки після маркера рядка введення “>>” раніше введених стрічок, наприклад для їхнього виправлення, дублювання або доповнення.

У випадку великих програм, під час використання циклічних операторів доцільніше записати необхідну програму у вигляді m-файлу, а потім подати його назву в командній стрічці. При необхідності програму з файлу можна вивести на екран за допомогою команди **type**. Створення такого файлу можна здійснювати за допомогою будь-якого текстового редактора, навіть поза пакетом.

Для ілюстрації можливостей пакета та окремих його toolbox-ів служать численні демонстраційні програми, що мають потужну систему підказок та пояснень виконаних дій. Для доступу до описаних вище ілюстрацій роботи пакета необхідно в командній стрічці набрати:

```
>>demo
```

Відкривши за допомогою "мишки" необхідний каталог у дереві каталогів “Matlab Demos”, користувач отримує доступ до демонстраційних файлів, запуск яких здійснюється за допомогою кнопки “Run”.

6.5. Типи та формати даних

Matlab не вимагає декларації типу даних чи їх розміру. Ім'я змінної може складатися з довільної комбінації букв та цифр, але не більше 19 знаків, при цьому перший символ має бути буквою. Дані можуть бути занесені в робочу область пакету в скалярній та матричній формі.

Для ілюстрації різних форматів розглянемо вектор, що містить два елементи – числа:

$$X = [4/3 \ 1.2345e-6]$$

У різних форматах представлення числа будуть мати наступний вигляд:

format short	1.3333	0.0000
format short e	1.3333e+000	1.2345e-006

format long	1.33333333333333	0.00000123450000
format long e	1.33333333333333e+000	1.23450000000000e-006
format bank	1.33	0.00

Задання формату відбивається тільки на формі виведення чисел. Обчислення завжди відбуваються у формі подвійної точності, а введення чисел можливе в будь-якому зручному для користувача вигляді.

У середовищі пакету визначена змінна типу *string*. Змінна такого типу є довільним текстовим фрагментом, записаним з допомогою апострофів, причому розрізняють верхні та нижні символи. Текст запам'ятовується у вигляді вектора, а кожен знак тексту становить окремий елемент такого вектора. Наприклад, запис $s = 'student'$ є текстовою змінною $s = student$.

6.6. Системні змінні

6.6.1 Основні системні змінні, що застосовувані в системі MatLab:

- **i** або **j** – уявна одиниця (квадратний корінь з -1), (наприклад $\gg c = 45 + 56*i$);
- **pi** – число $\pi = 3.141592\dots$;
- **eps** – похибка операцій над числами з плаваючою крапкою (2^{-52});
- **realmax** – найбільше число з плаваючою крапкою;
- **realmin** – найменше число з плаваючою крапкою;
- **ans** – змінна, що зберігає результат останньої операції;
- **NaN** – вказівка на нечисловий характер даних (Not-a-Number), а також на невизначеність $0/0$

6.7. Елементарні математичні функції пакету

Прийнято, що всі функції пакета Matlab визначені за допомогою малих літер, а звертання до них з використанням великих літер буде трактовано як помилка. Деякі елементарні математичні функції, доступні в середовищі пакета наведені в Таблиці 6.1.

**Таблиця 6.1 - Основні
математичні функції пакету**

Тригонометричні		Піднесення до степені	
sin, cos, tan, cot	тригонометричні функції	x^y	піднесення числа x у ступінь y
asin, acos, atan, acot	обернені тригонометричні функції	pow2(n)	підносить 2 у ступінь n
sinh, cosh, tanh, coth	гіперболічні функції	sqrt	корінь квадратний
asinh, acosh, atanh, acoth	обернені гіперболічні функції	nexpow2	від виразу 2^n повертає ступінь n
sec, csc	секанс і косеканс	Функції комплексного аргументу	
asec, acsc	обернені функції секанса і косеканса	abs	модуль комплексного числа
sech, csch	гіперболічний секанс і косеканс	angle	фаза комплексного числа
asech, acsch	обернені гіперболічні функції	conj	комплексно-спряжене число
Логарифмічні		imag	уявна частина комплексного числа
		real	дійсна частина комплексного числа
exp	експонента	cplxpair	сортування на комплексно-спряжені пари
log	натуральний логарифм		
log10	десятковий логарифм		
log2	логарифм за основою два		

6.8. Текстові коментарі

Оскільки MatLab використовується для досить складних обчислень, важливе значення має наочність їхнього опису. Вона досягається за допомогою текстових коментарів. Текстові коментарі вводяться за допомогою символу % (наприклад *% It is factorial function*).

При введенні букви “с” російського алфавіту буде відбуватися перехід на наступну стрічку. Рекомендуємо міняти російське “с” на англійське, що

на загальний вид коментарю ніяк не позначається. Так само не рекомендуємо вводити російськомовні коментарі й у тексти m-файлів, що може привести до того, що програма стане непрацездатною.

6.9. Робота з mat-файлами

*6.9.1. Файли з розширенням *.mat є бінарними, у них можуть зберігатися значення змінних робочої області.*

6.9.2. Для збереження використовується команда:

```
>> save FILENAME
```

У разі необхідності збереження значення тільки окремих змінних після імені файлу необхідно подати перелік цих змінних, наприклад

```
>>save C:\Users\mia\labor1.mat X Y Z
```

Другий спосіб збереження через панель інструментів *Save Workspace as...*

Для завантаження збережених змінних у робочу область необхідно виконати наступну команду:

```
>> load FILENAME
```

де FILENAME –ім'я файлу у якому збережені дані.

Якщо потрібно завантажити окремі змінні необхідно ввести команду:

```
>> load FILENAME X Y Z
```

6.10.Завдання для виконання

6.10.1. Перед виконанням роботи ознайомитись з теоретичними відомостями.

6.10.2.У відповідності до отриманого номеру варіанту вибрати значення змінних для виконання лабораторної роботи (Таблиця 1) та вирази для обчислення (Таблиця 2).

6.10.3.Зберегти значення змінних у mat-файл з назвою <name>, де name – ваше прізвище.

6.10.4. Очистити робочу область та вікно. Завантажити значення змінних з *mat*-файлу та обчислити значення виразу. Результат зберегти.

6.10.5. Створити текстові коментарі до роботи, провести запис на диск фрагменту роботи, використовуючи команди керування вікном.

6.11. Зміст звіту

6.11.1. Тема та мета роботи.

6.11.2. Коротко основні теоретичні відомості.

6.11.3. Відобразити отримані результати (п. 2.3-2.5) у вигляді копій екрану.

6.11.4. Висновки за результатами виконаної роботи.

6.12. Контрольні запитання

6.12.1. Коротка характеристика *MATLAB*.

6.12.2. Перелічіть основні операції, що можна виконувати засобами *MATLAB*.

6.12.3. Перелічіть та дайте коротку характеристику тематичним підкаталогам *MatLab* (*toolbox*).

6.12.4. Головне вікно пакету *MatLab*.

6.12.5. Перелічіть області використання *MatLab*.

6.12.6. Особливості роботи з пакетом *MatLab*.

6.12.7. Які ви знаєте команди керування вікном командного режиму?

6.12.8. Як подивитись демонстрації програми?

6.12.9. Для чого використовується команда *format*?

6.12.10. Перелічіть системні змінні *Matlab*.

6.12.11. Назвіть основні тригонометричні функції *Matlab*.

6.12.12. Як закоментувати стрічку *Matlab*?

6.12.13. Робота з *mat*-файлами.

Таблиця 1 – Варіанти завдання

Номер варіанту	Значення змінних					Номер виразу
	a	b	R	W	L	
1	7,1	2	1,89	2,1	3,2	1
2	0,43	2,1	1	9,8	2,45	2
3	0,12	2,3	1,1	3	1,89	3
4	0,34	4,5	2,34	1,32	5	4
5	0,45	6	4,3	3	5	5
6	0,1	1	2	2,34	2,45	6
7	2,3	1,9	2,31	2	7,6	7
8	4,3	0,9	1,78	4	3,2	8
9	2,1	0,45	1,78	1,7	2	9
10	1,4	0,12	2,9	2	2,4	10
11	2,3	1,34	8,1	7	5,1	11

12	1,4	1,98	2	2,8	0,98	12
13	8,6	1,78	1,1	3	0,56	13
14	5,4	1,4	2	1,89	2,1	14
15	3,1	0,3	0,89	2,9	2,3	15
16	0,43	3,5	0,56	3,4	4,5	16
17	9	4,3	0,54	2,89	6	17
18	1	2,1	0,67	2,5	1	18
19	2,1	3,2	9,1	1,9	1,9	19
20	2,2	1,5	4,3	4,6	0,9	20
21	3,1	2,7	4,7	0,45	0,45	21
22	1,67	2,8	8,1	0,87	0,12	22
23	1,45	5,1	3,2	0,3	1,34	23
24	1,9	0,9	1,34	0,1	1,98	24
25	1,2	8,1	2,65	0,01	1,78	25
26	1,34	1,5	1,89	1,4	1,1	26
27	1,56	0,56	1,23	2,1	2	27
28	1,67	0,9	2,31	1,98	0,89	28
29	1,89	1,1	1,78	9,7	0,56	29
30	1,78	1,78	1,9	1,76	0,54	30

Таблиця 2 – Математичні вирази

Номер виразу	Значення виразу
1	$X = \operatorname{tg}\left(\frac{1}{2} \operatorname{arctg}\left(\frac{2a}{1-a^2-b^2}\right)\right) + \frac{b}{4} \cdot \ln\left(\frac{a^2+(b+1)^2}{a^2+(b-1)^2}\right)$
2	$X = \operatorname{tg}\left(\frac{\sin 2a}{\cos 2a + \sin 2b} + j \frac{2b}{\cos 2a + \cos 2b}\right)$
3	$X = \operatorname{tg}\left(\frac{tba}{\cos 2a + \cos 2b} + b \frac{\sin 2b}{2a + \cos 2b}\right)$
4	$X = \frac{1}{2} + \frac{\sin(W^2/2)}{\pi a} \cdot \left(1 - \frac{3}{(\pi b^2)^2}\right) - \frac{\cos(\pi\pi^2/2)}{\pi^2 L^3} \cdot \left(1 - \frac{5}{(\pi L^2)^2}\right)$
5	$X = \frac{1}{2} - \frac{\cos(\pi\pi^2/2)}{\pi R} \cdot \left(1 - \frac{3}{(\pi R^2)^2}\right) - \frac{\cos(\pi\pi^2/2)}{\pi^2 W^3} \cdot \left(1 - \frac{5}{(\pi x^2)^2}\right)$
6	$X = \frac{RL(R+L) + R(wL-1/wa)^2}{(R+L)^2 + (wL-1/wa)^2} + b \frac{R(wL-1/wa)}{(R+L)^2 + (wL-1/wa)^2}$
7	$X = 16 \cdot \omega^2 a \left[\ln\left(1 + \frac{\pi}{b/a}\right) + \frac{1}{3.64 + 2(L/a) + 0.51(L/a)^2} \right]$
8	$X = \frac{120}{\sqrt{b}} \left[\operatorname{arch} \frac{a}{W} - \ln \sqrt{1 + \left(\frac{a}{2L}\right)^2} \right]$
9	$X = \sqrt{1 + L^2 \frac{(\pi a)^2}{2 \ln(W/b)}} \left[1 - \left(\frac{a}{b}\right)^2 \right]$
10	$X = 1.25 \left[\frac{5.9R}{\exp(a \cdot \sqrt{b+1.41})/87} \right] - R \cdot \log\left(\frac{a}{b}\right)$

11	$X = \frac{\sqrt{\pi[W(1+(\cos 2b)/2)] - (3 \cdot \sin 2R)L}{a \cdot R}$
12	$X = a(1 - \frac{b^{-WL}}{\sqrt{1-a^2}} \cdot \sin(W\sqrt{1-a^2} + \arctg(\frac{\sqrt{1-a^2}}{b}))$
13	$X = a \sin \frac{\pi}{4} + L^2 \sin 2 \frac{\pi}{4} + W^L \sin b \frac{\pi}{4}$
14	$X = \frac{1}{4} \ln \frac{1+a}{1-b} + \frac{1}{2} \arctg W$
15	$X = \frac{b \cos \frac{\pi}{3}}{1} + \frac{W^2 \cos 2 \frac{\pi}{3}}{2} + \frac{a^L \cos W \frac{\pi}{3}}{R}$
16	$X = 1.25 \left[\frac{5.9R}{\exp(a \cdot \sqrt{b+1.41})/87} \right]$
17	$X = \sqrt{1 - L^2 \frac{a^2}{2 \ln(W)} \left[1 - \left(\frac{a}{b}\right)^2 \right]}$
18	$X = \frac{\sqrt{\pi[W(1+(\cos 2b)/2)]}{a \cdot R - (3 \cdot \sin 2R)L}$
19	$X = \frac{\sqrt{\pi[W(1+(\cos 2b)/2)]}{a \cdot R}$
20	$X = \frac{1}{4} \ln \frac{1+a}{1-b} + \frac{1}{2} \arctga$
21	$X = \frac{W^2 \cos 2 \frac{\pi}{3}}{2} + \frac{a^L \cos W \frac{\pi}{3}}{R}$
22	$X = \frac{1}{2} - \frac{\cos(\pi\pi^2/2)}{\pi R} - \frac{\cos(\pi\pi^2/2)}{\pi^2 W^3} \cdot (1 - \frac{5}{(\pi a^2)^2})$
23	$Z = \operatorname{tg}\left(\frac{1}{2} - \frac{2a}{1-a^2-b^2}\right) + \ln\left(\frac{a^2+(b+1)^2}{a^2+(b-1)^2}\right)$
24	$X = \cos\left(\frac{\sin 2a}{\sin 2b} + \frac{2b}{\cos 2b}\right)$
25	$X = \sin\left(\frac{a}{\cos 2a + \cos 2b} + b \frac{\sin 2b}{2a + \cos 2b}\right)$
26	$X = (1 - \frac{3}{(\pi b^2)^2}) - \frac{\cos(\pi\pi^2/2)}{\pi^2 L^3} \cdot (1 - \frac{5}{(\pi a^2)^2})$
27	$X = \left[\frac{5.9R}{\exp(a \cdot \sqrt{b+1.41})/87} \right] - R \cdot \log\left(\frac{a}{b}\right)$
28	$X = \frac{\sqrt{\pi}}{a \cdot RL} + \sin(2a)$
29	$X = \sin(W\sqrt{1-a^2} + \arctg(\frac{\sqrt{1-a^2}}{b}))$
30	$X = L^2 \sin 2 \frac{\pi}{4} + W \sin b \frac{\pi}{4}$

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ФУНКЦІЙ У СИСТЕМІ MATLAB

7.1. Мета роботи

Отримання навичок побудови графіків функцій однієї, двох змінних, параметрично заданих ліній і поверхонь, анімованих графіків, а також оформлення ліній і поверхонь різними стилями у системі MATLAB.

7.2. Постановка завдання

За наведеними нижче варіантами завдань необхідно:

- 7.2.1. Побудувати графіки функцій однієї змінної.
- 7.2.2. Побудувати графіки двох функцій в одному вікні.
- 7.2.3. Побудувати графіки двох функцій у різних масштабах.
- 7.2.4. Ознайомитись із методами оформлення ліній.
- 7.2.5. Побудувати графіки функцій двох змінних.
- 7.2.6. Ознайомитись із методами оформлення поверхонь.
- 7.2.7. Побудувати графіки параметрично заданих ліній і поверхонь.
- 7.2.8. Побудувати анімований графік.

7.3. Короткі відомості з теорії

Для візуалізації розрахунків в MATLAB широко використовується машинна графіка, яка є двох типів:

- 1) звичайна двовимірна і тривимірна растрова графіка;
- 2) спеціальна дескрипторна графіка.

В MATLAB більшість команд звичайної растрової високорівневої графіки, орієнтованої на кінцевого користувача, автоматично встановлюють властивості графічних об'єктів і забезпечують відтворення графіки у потрібній системі координат, палітрі кольорів, масштабі і т.д. Використання графіки в MATLAB практично виключає необхідність у складних математичних розрахунках, звичайно необхідних для побудови графіків.

На нижчому рівні розв'язання задач використовується орієнтована на досвідченого програміста дескрипторна графіка, за якої кожному графічному об'єкту у відповідність ставиться особливий опис – дескриптор, на який можливі посилання при використанні графічного об'єкта. Дескрипторна графіка дає змогу здійснити візуальне програмування об'єктів інтерфейсу користувача – кнопок керування, текстових панелей і т.д.

Графіки в MATLAB будують в окремих вікнах, які можна переміщувати і змінювати їх масштаб. MATLAB будує графіки функцій по ряду точок, які з'єднує відрізками прямих, тобто виконує лінійну інтерполяцію функції в інтервалі між суміжними точками.

7.4.Методика виконання роботи

7.4.1.Побудова графіків функцій однієї змінної

Для побудови графіка функції $y = f(x)$ в лінійному масштабі достатньо тим або іншим способом сформувавши два вектора однакової розмірності – вектор значень аргументів x , вектор відповідних значень функції y , і звернутись до функції *plot(x,y)*. Задати набір значень аргументу x можна або безпосередньо вказавши елементи вектора x , або вказавши у квадратних дужках початок, крок і кінець відрізка, на якому будуватиметься графік функції, наприклад $x = [-5:0.01:10]$.

Функція *plot* автоматично створює вікно з заголовком Figure1, в якому розташоване стандартне меню і панель інструментів, виокремлене прямокутне поле з графіком функції, відповідним масштабом і розміткою по обох координатних осях. Сам графік функції MATLAB будує шляхом з'єднання суміжних точок таблиці відрізками прямих. Чим меншою є кількість точок, тим помітніша кусково-лінійна структура графіка. Для того, щоб графік не мав згинів, слід задавати менший крок при введенні вектора x .

7.4.2. Побудова графіків декількох функцій в одному вікні

Для побудови графіків декількох функцій в одному вікні необхідно задати таблиці усіх функцій і вказати їх у списку аргументів функції *plot*. Наприклад, для двох функцій y_1 і y_2 , заданих на векторах x_1 і x_2 , необхідно задати значення x_1 , x_2 , y_1 , y_2 і використати команду $\text{plot}(x_1, y_1, x_2, y_2)$. При цьому вектори аргументів x_1 і x_2 можуть збігатися.

Для побудови в одному вікні графіків функцій, значення яких значно відрізняються одне від одного, використовують функцію *plotyy*. Яка по-різному масштабує осі для більш наочного сприйняття обох графіків.

7.4.3. Побудова графіків функцій у логарифмічному масштабі

Для побудови графіків функцій у логарифмічному і напівлогарифмічному масштабах використовують такі функції:

- *loglog* – логарифмічний масштаб по обох осях;
- *semilogx* – логарифмічний масштаб тільки по осі абсцис;
- *semilogy* – логарифмічний масштаб тільки по осі ординат.

Аргументи вказаних функцій задаються по тим самим правилам, що і у випадку лінійного масштабу.

7.4.5. Оформлення графіків функцій однієї змінної

MATLAB дає можливість управляти виглядом графіків (кольором, типом лінії, типом маркерів) як з командної строки, так і за допомогою меню Tools вікна, у якому графік побудований.

Задати стиль графіка з командної строки користувач може вказавши у функції *plot* додатковий параметр – набір з трьох символів, які беруться в апострофи і визначають колір, тип лінії і тип маркерів графіка. Символи і елементи оформлення, що їм відповідають, наведені у таблиці 7.1:

Символи оформлення ліній

Колір		Тип маркера		Тип лінії	
y	жовтий	.	крапка	—	суцільна
m	рожевий	o	коло	:	пунктирна
c	блакитний	x	хрестик	-.-	штрих-пунктирна
r	червоний	+	знак “+”		
g	зелений	*	зірочка	--	штрихова
b	синій	s	квадрат		
k	чорний	v	трикутник		

Наприклад, для виведення графіка заданої функції жовтого кольору пунктирною лінією з трикутними маркерами у командний рядок вводять команду $plot(x, y, 'yv:')$.

Зручність користування графіками багато в чому залежить від додаткових елементів оформлення, які задають такими командами:

- *gridon* – нанесення координатної сітки;
- *xlabel, ylabel* – підписи осей;
- *title* – розміщення заголовку графіка;
- *legend* – розміщення текстової інформації про різні лінії.

У випадку застосування команд, що передбачають надписи, останні виконуються у круглих дужках в апострофах.

7.4.6. Побудова графіків функцій двох змінних

MATLAB пропонує різні способи візуалізації функцій двох змінних – побудова тривимірних графіків (поверхонь) і ліній рівня, параметрично заданих ліній і поверхонь.

Графічні об'єкти типу Surface є криволінійними поверхнями, заданими таблично, вузлами сітки розмірності $m \times n$, що заповнює на площині xu

прямокутну область, і масивом z тієї самої розмірності, що є значеннями функції у вузлах цієї сітки.

Для побудови графіка функції двох змінних $z = f(x, y)$ область визначення необхідно розбити прямокутною сіткою. Для цього зручно використовувати два двовимірні масиви x і y , які зберігають інформацію про координатні вузли. Задають такі масиви командою $[x, y] = \text{meshgrid}(u, v)$, де u і v – вектори значень аргументів x та y . Далі задають масив значень функції z .

Коли масиви x , y і z сформовані, для створення і одночасного відображення об'єкта типу `Surface` використовують одну із функцій: $\text{surf}(x, y, z)$ або $\text{mesh}(x, y, z)$. Вони по-різному відображають досліджувану поверхню. Так, команда $\text{mesh}(x, y, z)$ будує її графік у вигляді контурного графіка. А команда $\text{surf}(x, y, z)$ будує каркасну поверхню і заливає кожен клітинку поверхні певним кольором, при цьому колір в межах кожної клітинки є постійним.

MATLAB також дає змогу будувати поверхні, що складаються з ліній рівня. Для цього замість команди побудови графіка вводять такі дві команди: $\text{levels}(a:k:b)$, яка задає параметри розміщення ліній рівня (початок, масштаб і кінець відрізка), і $\text{contour3}(x, y, z, \text{levels})$, яка виводить зображення у графічному вікні. Параметр levels може також задавати кількість ліній рівня.

7.4.7. Оформлення графіків функцій двох змінних

Для оформлення поверхонь, побудованих з використанням команди surf , ефектами і кольором, використовують такі команди:

- shading – прибирання каркасних ліній;
- shadinginteger – плавна заливка поверхні кольором, який залежить від значень функції;
- shadingfaceted – повернення поверхні до вигляду, що визначається командою surf ;

- *hiddenof* – перетворення каркасної поверхні на невидиму;
- *hiddenon* – прибирання невидимої частини поверхні;
- *colormap* – встановлення кольорової палітри для оформлення поверхні. Опис палітр, доступних для застосування в MATLAB, наведено у табл. 7.2.

Таблиця 7.2

Палітри для кольорового оформлення поверхні

Палітра	Зміна кольору
autumn	плавна зміна: червоний – оранжевий – жовтий
bone	легкий відтінок синього
colorcube	зміна кожного кольору від темного до яскравого
hot	плавна зміна: чорний – червоний – оранжевий – жовтий – білий
gray	сірий
hsv	кольори райдуги
jet	Синій – блакитний – зелений – жовтий – червоний
prism	Циклічна зміна кольорів: червоний – оранжевий – жовтий – зелений – синій – фіолетовий і т.д.

Команда *colorbar* дає можливість вивести поряд з поверхнею стовпчик, що встановлює відповідність між кольором і значенням функції.

Команди для підписування осей і розміщення заголовку графіка такі самі, як і у випадку графіків функцій однієї змінної.

При побудові тривимірних поверхонь MATLAB розташовує вісі координат завжди однаковим чином. Тому частина поверхні залишається схованою. Для отримання повної інформації про поверхню її бажано оглянути з усіх боків. Положення спостерігача за системою координат характеризується двома кутами: азимутом (Az), який відраховується від осі, протилежної y , і кутом (El), що відображає висоту спостерігача над площиною xy . Зміна положення спостерігача стосовно графіка здійснюється командою *view(Az,El)*, аргументи Az і El якої вимірюються у градусах.

7.4.8. Побудова графіків параметрично заданих ліній і поверхонь

MATLAB дає змогу будувати параметрично задані тривимірні лінії, що визначаються формулами $x = x(t)$, $y = y(t)$, $z = z(t)$, де параметр $t \in [a, b]$, і параметрично задані поверхні, що визначаються формулами $x = x(u, v)$, $y = y(u, v)$, $z = z(u, v)$, де параметри $u \in [a, b]$ і $v \in [a, b]$.

Для побудови параметрично заданої лінії необхідно ввести розмітку відрізка $[a, b]$, якому належить параметр t , задати функції $x = x(t)$, $y = y(t)$, $z = z(t)$, а для виведення графіка застосувати команду $plot3(x, y, z)$.

Для побудови параметрично заданої поверхні необхідно спочатку задати вектор-стовпець значень параметра u (можливе використання команди $u = (a:k:b)$, де k – крок розбиття відрізка $[a, b]$) і вектор-рядок параметра v . Далі сформувати матриці x і y , що містять значення функцій $x = x(u, v)$ і $y = y(u, v)$ в точках, які відповідають значенням параметрів u і v . Операція добутку векторів у цьому випадку застосовується у звичному вигляді множення векторів (позначення операції “*” без крапки).

Матриця z повинна мати ту саму розмірність, що й матриці x і y , і містити значення, які відповідають значенням параметрів. У випадку, коли функція z за умовою містить добуток векторів параметрів u і v , то операція множення виконується у звичному вигляді як множення векторів. У випадку, коли функція z містить тільки один з векторів параметрів, для розрахунку значень z наявний вектор параметра домножається у звичному розумінні справа або зліва на одиничні вектор-рядок v або вектор-стовпець u відповідно до того, який параметр відсутній – u чи v . Розмірність одиничного вектора має бути такою самою, як і вектора параметра, який міститься у функції z , і може задаватись командою $ones(size(v))$ або $ones(size(u))$.

Останнім кроком є виведення поверхні із застосуванням команд $surf(x, y, z)$ або $mesh(x, y, z)$.

7.4.9. Побудова анімованих графіків

MATLAB дає можливість будувати анімовані графіки, що відображають траєкторію руху точки на площині або у просторі впродовж заданого інтервалу часу.

Для введення траєкторії руху точки задають закон змінювання її координат: $x(t)$, $y(t)$ – у випадку руху точки на площині; $x(t)$, $y(t)$ і $z(t)$ – у випадку руху точки у просторі. Параметр t є вектор-рядком, що містить набір значень з інтервалу часу, впродовж якого рухається точка.

Команди виводу траєкторії руху точки в MATLAB є такими:

- *comet*(x,y) – у двовимірному просторі;
- *comet3*(x,y,z) – у тривимірному просторі.

7.5. Виконання лабораторної роботи складається з таких кроків:

7.5.1. Ознайомитися з теоретичними відомостями.

7.5.2. Запустити систему MATLAB.

7.5.3. Визначити завдання у відповідності із заданим варіантом.

7.5.4. Побудувати графіки функцій однієї змінної.

7.5.5. Побудувати графіки двох функцій в одному вікні.

7.5.6. Побудувати графіки двох функцій у різних масштабах.

7.5.7. Ознайомитись із методами оформлення ліній.

7.5.8. Побудувати графіки функцій двох змінних.

7.5.9. Ознайомитись із методами оформлення поверхонь.

7.5.10. Побудувати графіки параметрично заданих ліній і поверхонь.

7.5.11. Побудувати анімований графік.

7.5.12. Відповісти на контрольні питання.

7.5.13. Оформити звіт.

7.5.14. Здати звіт викладачу і захистити лабораторну роботу.

7.6. Приклад виконання

7.6.1. Побудова графіків функції однієї змінної

Завдання 1. Побудувати графік функції $y(x) = e^{-x} \sin 10x$ на відрізку $[0; 1]$.

Методика виконання:

У командному рядку задаємо вектор x значень аргумента функції:

```
>> x=[0:0.05:1];
```

Розраховуємо вектор y значень функції:

```
>> y=exp(-x).*sin(10*x);
```

У командну строку робочого середовища вводимо команду побудови графіка функції однієї змінної:

```
>> plot(x,y)
```

У графічному вікні Figure 1 отримуємо зображення графіку функції (рис. 7.1):

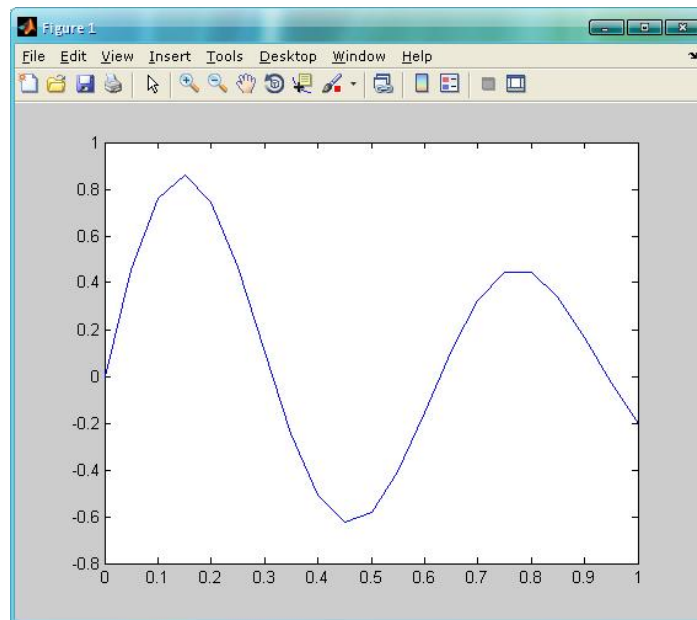


Рис. 7.1. Графік функції $y(x) = e^{-x} \sin 10x$ на відрізку $[0; 1]$

Завдання 2. Побудувати графіки двох функцій $f(x) = e^{-0.1} \sin^2 x$ і $g(x) = e^{-0.2} \sin^2 x$ на відрізку $[-2\pi; 2\pi]$ в одних координатних осях.

Методика виконання:

У командному рядку генеруємо вектор-рядок аргументу x і вектор-рядки f і g , які містять значення функцій $f(x)$ і $g(x)$, та вводимо команду побудови графіків двох функцій в одному вікні:

```
>> x=[-2*pi:pi/20:2*pi];  
>> f=exp(0.1*x).*sin(x).^2;  
>> g=exp(-0.2*x).*sin(x).^2;  
>> plot(x,f,x,g)
```

У графічному вікні отримуємо графіки заданих функцій (рис. 7.2):

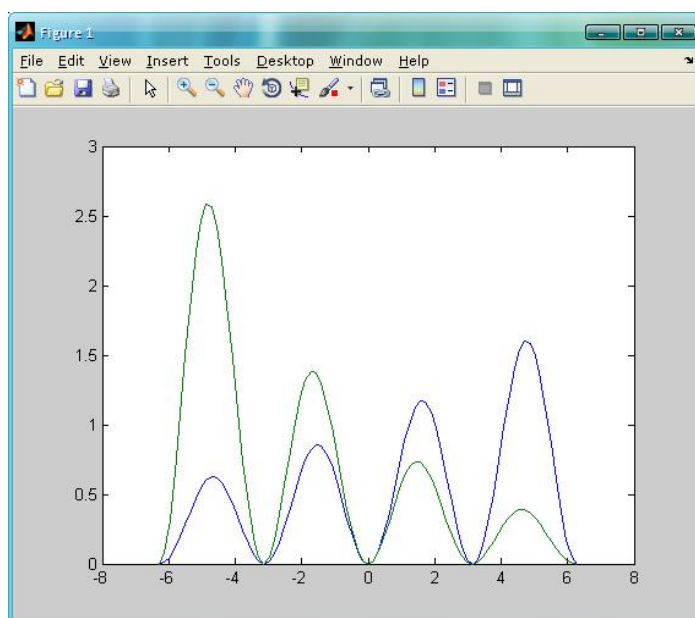


Рис. 7.2. Графіки функцій $f(x) = e^{-0.1} \sin^2 x$ і $g(x) = e^{-0.2} \sin^2 x$ на відрізку $[-2\pi; 2\pi]$

Завдання 3. Побудувати графіки функцій $f(x)$ і $g(x)$ з попереднього завдання, визначені на відрізках $[-\pi; 2\pi]$ і $[-2\pi; \pi]$ відповідно.

Методика виконання:

У командному рядку генеруємо вектор-рядки аргументів x_1 , x_2 і вектор-рядки f і g , які містять значення функцій $f(x_1)$ і $g(x_2)$, та вводимо команду побудови графіків двох функцій в одному вікні (рис. 7.3):


```

>>x1=[-pi:pi/20:2*pi];
>>f=exp(0.1*x1).*sin(x1).^2;
>>x2=[-2*pi:pi/20:pi];
>>g=exp(-0.2*x2).*sin(x2).^2;
>> plot(x1,f,x2,g)

```

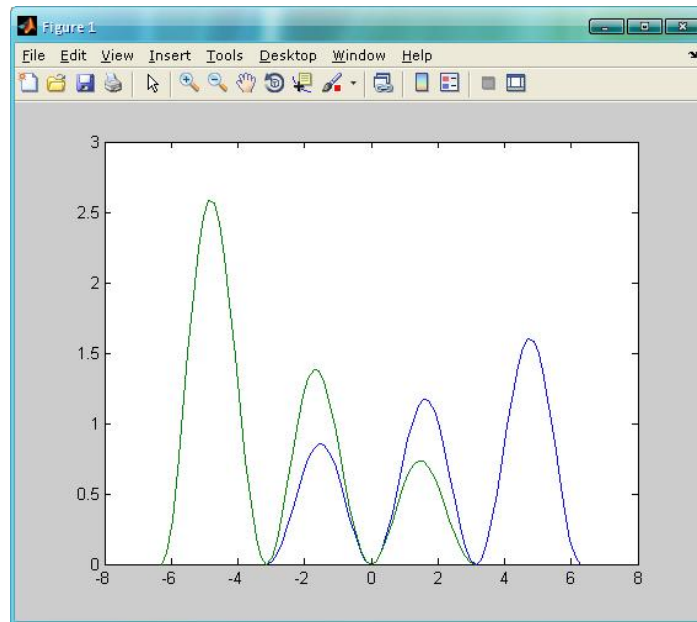


Рис.7.3. Графіки функцій $f(x) = e^{-0,1} \sin^2 x$ і $g(x) = e^{-0,2} \sin^2 x$ на відрізках $[-\pi; 2\pi]$ і $[-2\pi; \pi]$

Завдання 4. Побудувати графіки функцій, $f(x) = x^{-3}$ і $F(x) = 1000(x + 0,5)^{-4}$, визначених на відрізку $[0,5; 3]$, значення яких значно відрізняються одні від одних.

Методика виконання:

У командному рядку вводимо такі команди:

```

>> x=[0.5:0.01:3];
>> f=x.^(-3);
>> F=1000*(x+0.5).^(-4);
>> plotyy(x,f,x,F)

```

і отримуємо графіки заданих функцій у графічному вікні (рис. 7.4):

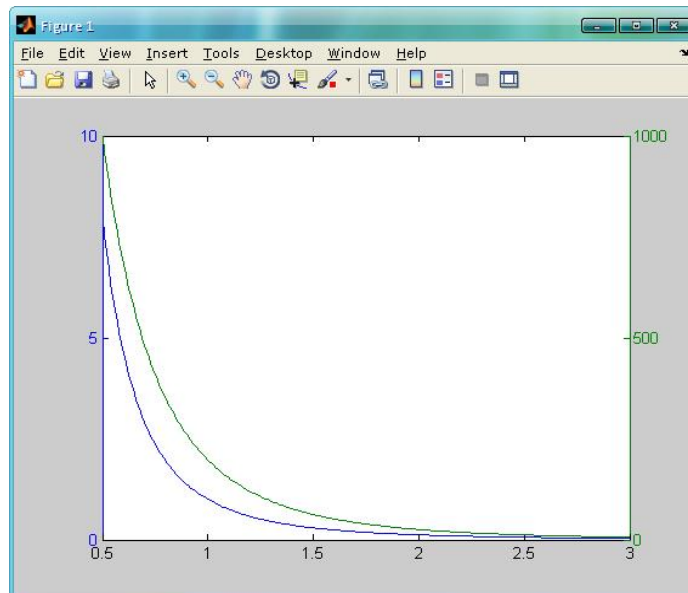


Рис. 7.4. Графіки функцій $f(x)=x^{-3}$ і $F(x)=1000(x+0,5)^{-4}$ на відрізку $[0,5; 3]$

Завдання 5. Побудувати графіки функцій $f(x)=\ln 0,5x$ і $g(x)=\sin(\ln x)$ на відрізку $[0,1; 5]$ у логарифмічному масштабі по осі x .

Методика виконання:

У командному рядку вводимо такі команди:

```
>> x=[0.1:0.01:5];
```

```
>> f=log(0.5*x);
```

```
>> g=sin(log(x));
```

```
>> semilogx(x,f,x,g)
```

і отримуємо графіки заданих функцій у графічному вікні (рис. 7.5).

7.6. Оформлення графіків функцій однієї змінної

Завдання 6. Побудувати перший графік $f(x)$ із завдання 2 червоними точковими маркерами без лінії, а другий графік $g(x)$ – пунктирною чорною лінією.

Методика виконання:

У командному рядку робочого середовища MATLAB викликаємо команди завдання 2 для редагування і отримуємо таку послідовність команд:

```

>> x=[-2*pi:pi/20:2*pi];
>> f=exp(0.1*x).*sin(x).^2;
>> g=exp(-0.2*x).*sin(x).^2;
>> plot(x,f,'r.',x,g,'k:')

```

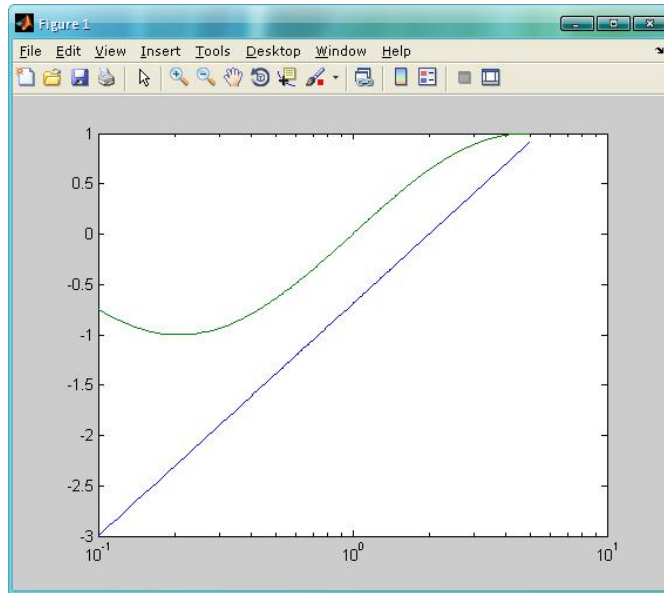


Рис. 7.5. Графіки функцій $f(x)=\ln 0,5x$ і $g(x)=\sin(\ln x)$ на відрізку $[0,1; 5]$ у логарифмічному масштабі по осі x

У графічному вікні отримуємо графіки заданих функцій (рис. 7.6):

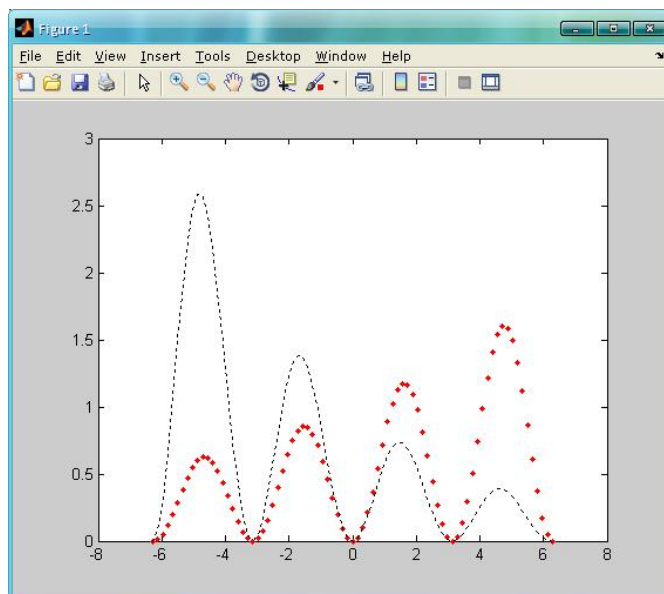


Рис. 7.6. Оформлення графіків функцій $f(x)$ і $g(x)$ із завдання 2

Завдання 7. Вивести графіки зміни добової температури за 10 та 11 червня. Вивести усю необхідну інформацію: створити легенду, підписати вісі, оформити лінії різними стилями. Дані температур ($^{\circ}\text{C}$) наведено у таблиці:

Час Дата	00 ⁰⁰	04 ⁰⁰	07 ⁰⁰	09 ⁰⁰	10 ⁰⁰	11 ⁰⁰	12 ⁰⁰	13 ⁰⁰	13 ³⁰	14 ⁰⁰	14 ³⁰	15 ⁰⁰	16 ⁰⁰	17 ⁰⁰	18 ⁰⁰	20 ⁰⁰	22 ⁰⁰
10.06	14	15	14	16	18	17	20	22	24	26	25	20	16	13	13	14	13
11.06	12	13	13	14	16	18	20	20	23	25	25	20	16	12	12	12	10

Методика виконання:

У командному рядку вводимо такі команди:

```
>> time=[0 4 7 9 10 11 12 13 13.5 14 14.5 15 16 17 18 20 22];
>> temp1=[14 15 14 16 18 17 20 22 24 26 25 20 16 13 13 14 13];
>> temp2=[12 13 13 14 16 18 20 20 23 25 25 20 16 12 12 12 10];
>> plot(time,temp1,'ro-',time,temp2,'g*-')
>> grid on
>> title ('Добові температури')
>> xlabel('Час (год)')
>> ylabel('Температура (C)')
>> legend('10 червня','11 червня')
```

і отримуємо графіки заданих функцій у графічному вікні (рис. 7.7).

7.7. Побудова графіків функцій двох змінних

Завдання 8. Побудувати графік функції $z(x,y) = x^2 + y^2$ на області визначення, що є квадратом $x \in [0; 1]$, $y \in [0; 1]$.

Методика виконання:

У командному рядку вводимо команди побудови прямокутної сітки розбиття області визначення, розрахунку значень функції у вузлах сітки і побудови графіку функції:

```
>> [X,Y]=meshgrid(0:0.2:1,0:0.2:1);
```

```
>> Z=X.^2+Y.^2;
```

```
>> mesh(X,Y,Z)
```

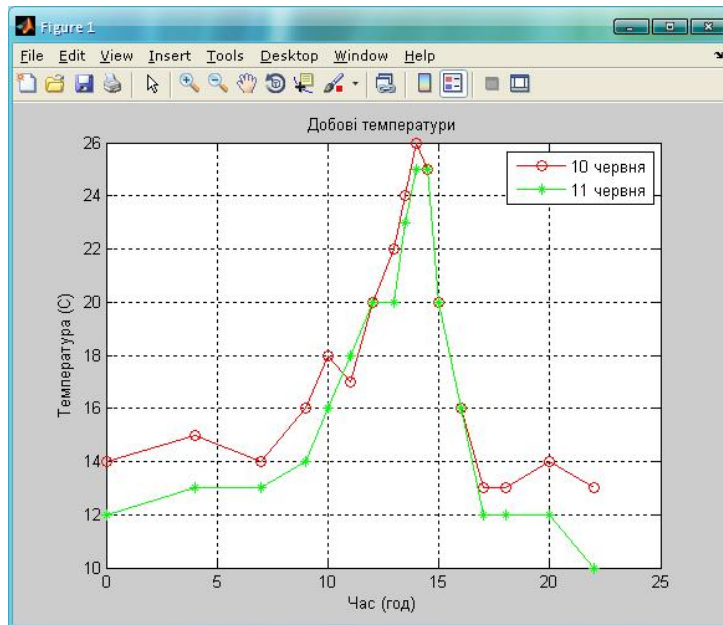


Рис. 7.7. Графіки добових температур за 10 і 11 червня

Отримуємо задану поверхню у графічному вікні (рис. 7.8):

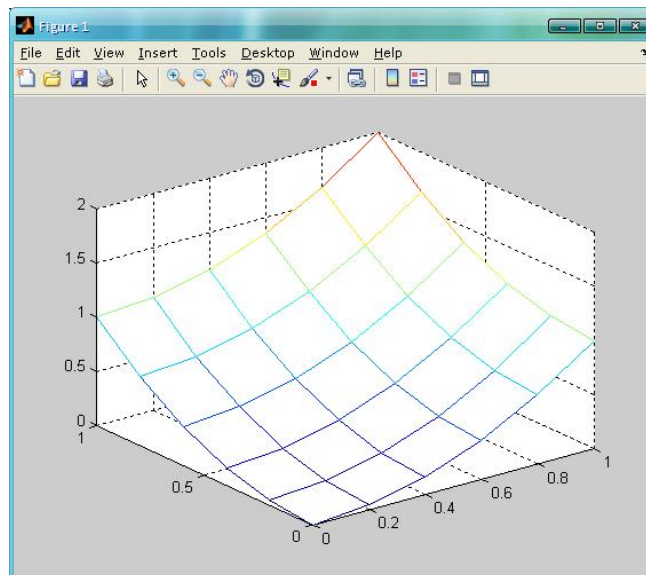


Рис. 7.8. Поверхня $z(x,y) = x^2 + y^2$ на області визначення $(x,y) \in [0; 1] \times [0; 1]$.

7.8.Оформлення графіків функцій двох змінних

Приклад 9. Побудувати графік поверхні, заданої у завданні 8, за допомогою команди *surf* доповнити його інформацією про колір.

Методика виконання:

Враховуючи, що координатна сітка і значення функції $z(x,y)$ були введені у командний рядок на попередньому етапі, вводимо такі команди:

```
>> surf(X,Y,Z)
```

```
>> colorbar
```

Отримуємо задану поверхню у графічному вікні (рис. 7.9):

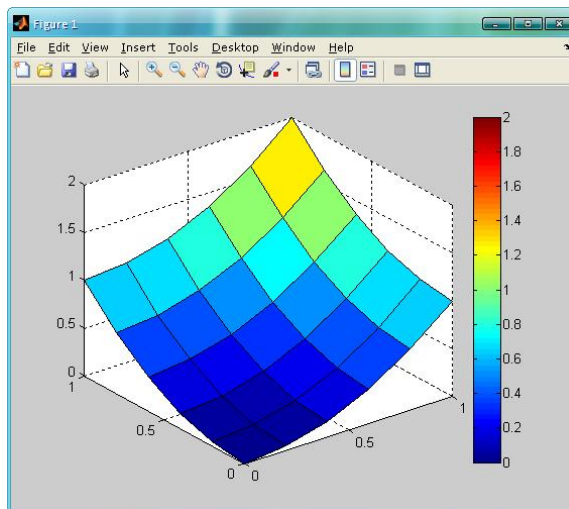


Рис. 7.9. Поверхня $z(x,y) = x^2 + y^2$

Завдання 10. Побудувати поверхню $z(x,y) = 4 \sin 2\pi x \cdot \cos 1,5\pi y \cdot (1-x^2)y(1-y)$ на прямокутній області визначення $x \in [-1;1]$, $y \in [0;1]$ із використанням ліній рівня.

Методика виконання:

У командний рядок вводимо такі команди:

```
>> [X,Y]=meshgrid(-1:0.05:1,0:0.05:1);
```

```
>> Z=4*sin(2*pi*X).*cos(1.5*pi*Y).*(1-X.^2).*Y.*(1-Y);
```

```
>> levels=(0:0.01:0.5);
```

```
>> contour3(X,Y,Z,levels)
```

У графічному вікні отримуємо поверхню, що складається з ліній рівня (рис. 7.10):

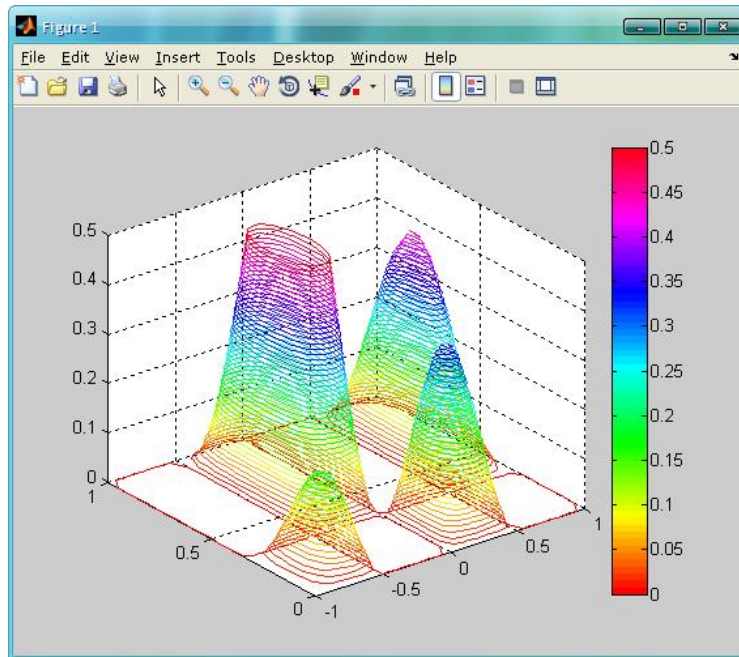


Рис. 7.10. Поверхня $z(x,y) = 4\sin 2\pi x \cdot \cos 1,5\pi y \cdot (1-x^2)y(1-y)$ з ліній рівня

Завдання 11. Побудувати графік функції з попереднього завдання на прямокутній області визначення $x \in [-1; 1]$, $y \in [0; 1]$ з кроком сітки 0,05 і оформити його кольоровою палітрою, заголовком і підписами осей.

Методика виконання:

Оскільки координатна сітка і значення функції $z(x,y)$ були задані у командному рядку на попередньому етапі, вводимо такі команди:

```
>> surf(X,Y,Z)
>> colorbar
>> colormap(autumn)
>> title('Графік функції z(x,y)')
>> xlabel('x')
>> ylabel('y')
>> zlabel('z')
```

У графічному вікні отримуємо поверхню, що складається з ліній рівня (рис. 7.11):

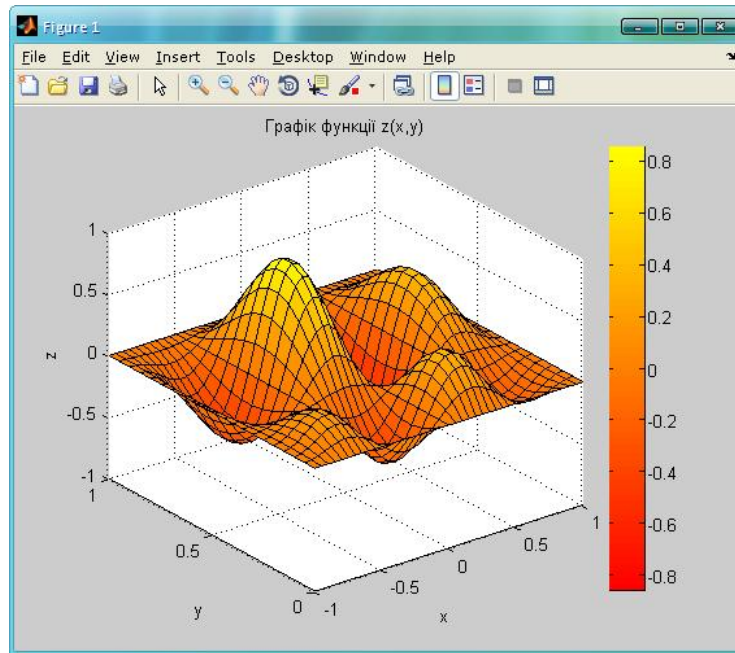


Рис. 7.11. Оформлення поверхні $z(x,y) = 4 \sin 2\pi x \cdot \cos 1,5\pi y \cdot (1 - x^2)y(1 - y)$

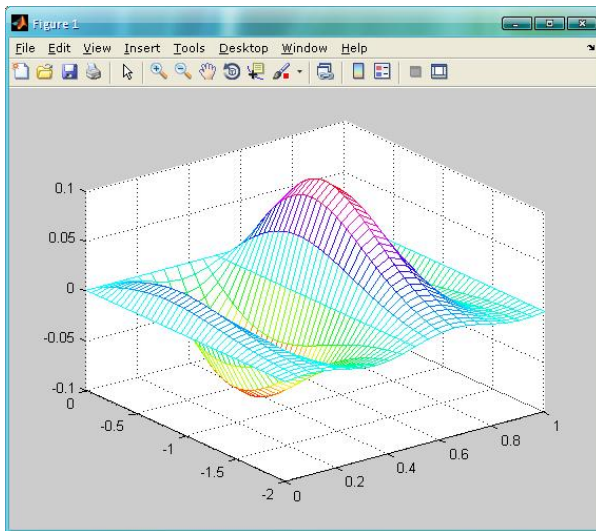
Завдання 12. Побудувати графік функції двох змінних $z(x,y) = e^{-y^2} \cdot \cos 3\pi x \cdot x(1-x)y$ на прямокутній області визначення $x \in [0; 1]$, $y \in [-2; 0]$ з кроком сітки 0,05. Повернути поверхню з азимутом $Az = 135$, кутом $EI = 45^\circ$.

Методика виконання:

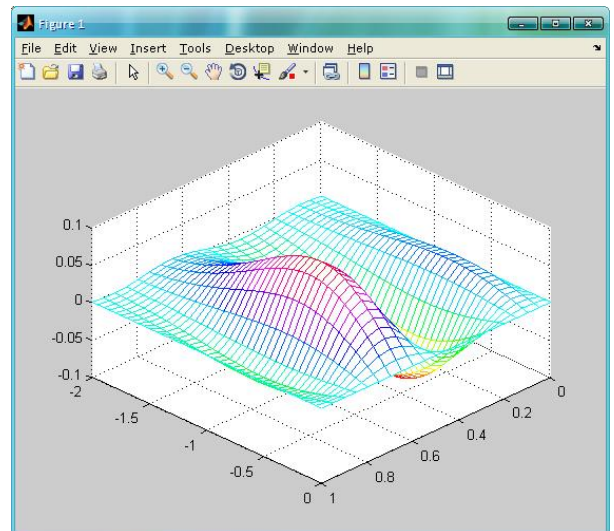
До командного рядка вводимо такі команди:

```
>> [X,Y]=meshgrid(0:0.05:1,-2:0.05:0);
>> Z=-exp(-Y.^2).*cos(3*pi*X).*X.*(1-X).*Y;
>> mesh(X,Y,Z)
>> view(135,45)
```

і отримуємо задану поверхню і поверхню, повернуту на азимут $Az = 135$ і кут $EI = 45^\circ$ (рис. 7.12).



а)



б)

Рис. 7.12. Поверхня $z(x,y) = e^{-y^2} \cdot \cos 3\pi x \cdot x(1-x)y$ вихідна (а) і повернута з азимутом $Az = 135$ і кутом $Ei = 45^\circ$ (б)

7.9. Побудова параметрично заданих ліній і поверхонь

Завдання 13. Побудувати графік параметрично заданої лінії $x = e^{-|t-50|/50} \cdot \sin t$, $y = e^{-|t-50|/50} \cdot \cos t$, $z = t$, $t \in [0; 100]$.

Методика виконання:

До командного рядка вводимо такі команди:

```
>> t=[0:0.1:100];
>> x=exp(-abs(t-50)/50).*sin(t);
>> y=exp(-abs(t-50)/50).*cos(t);
>> z=t;
>> plot3(x,y,z)
```

і отримуємо зображення параметрично заданої лінії (рис. 7.13).

Завдання 14. Побудувати параметрично задану поверхню $x(u,v) = 0,3u \cos v$, $y(u,v) = 0,3u \sin v$, $z(u,v) = 0,6u$, $u, v \in (-2\pi; 2\pi)$.

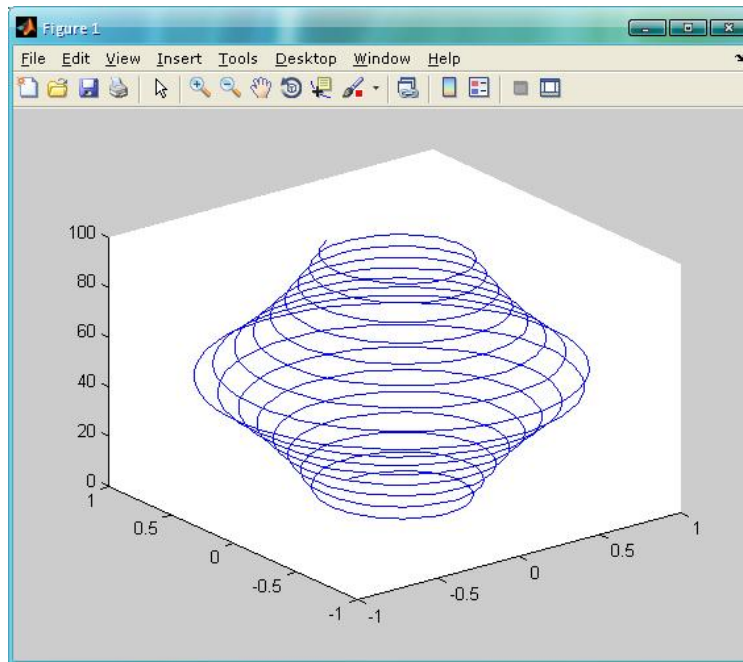


Рис. 7.13. Зображення параметрично заданої лінії $x = e^{-|t-50|/50} \cdot \sin t$, $y = e^{-|t-50|/50} \cdot \cos t$, $z = t$, $t \in [0; 100]$

Методика виконання:

До командного рядка вводимо такі команди:

```
>> u=[-2*pi:0.1*pi:2*pi];
>> v=[-2*pi:0.1*pi:2*pi];
>> u=(-2*pi:0.1*pi:2*pi)';
>> v=[-2*pi:0.1*pi:2*pi];
>> X=0.3*u*cos(v);
>> Y=0.3*u*sin(v);
>> Z=0.6*u*ones(size(v));
>> surf(X,Y,Z)
```

і отримуємо зображення параметрично заданої поверхні (рис. 7.14).

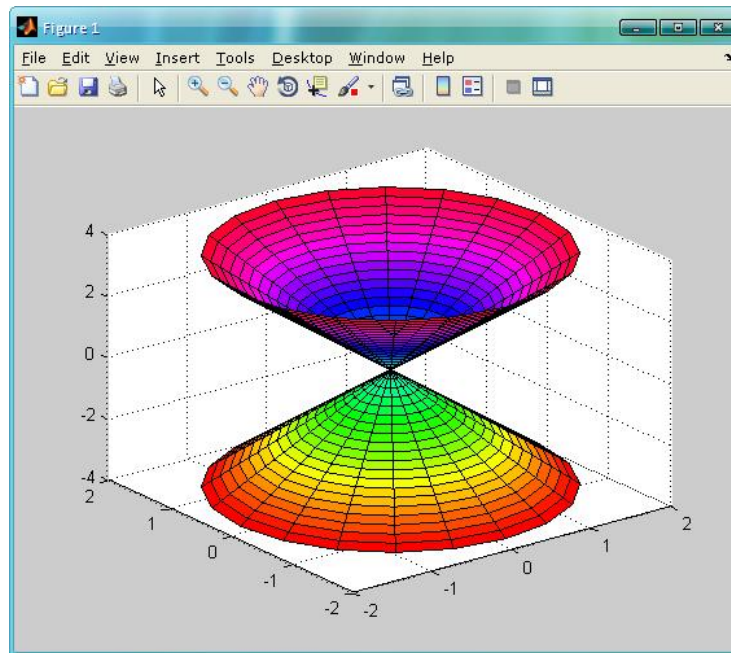


Рис. 7.14. Зображення параметрично заданої поверхні
 $x(u, v) = 0,3u \cos v$, $y(u, v) = 0,3u \sin v$, $z(u, v) = 0,6u$, $u, v \in (-2\pi; 2\pi)$

7.10. Побудова анімованих графіків

Завдання 15. Побудувати траєкторію руху точки впродовж 10 с, координати якої змінюються за законом: $x(t) = \frac{\sin t}{t+1}$, $y(t) = \frac{\cos t}{t+1}$.

Методика виконання:

До командного рядка вводимо такі команди:

```
>> t=[0:0.001:10];
>> x=sin(t)./(t+1);
>> y=cos(t)./(t+1);
>> comet(x,y)
```

і отримуємо зображення руху точки (рис. 7.15).

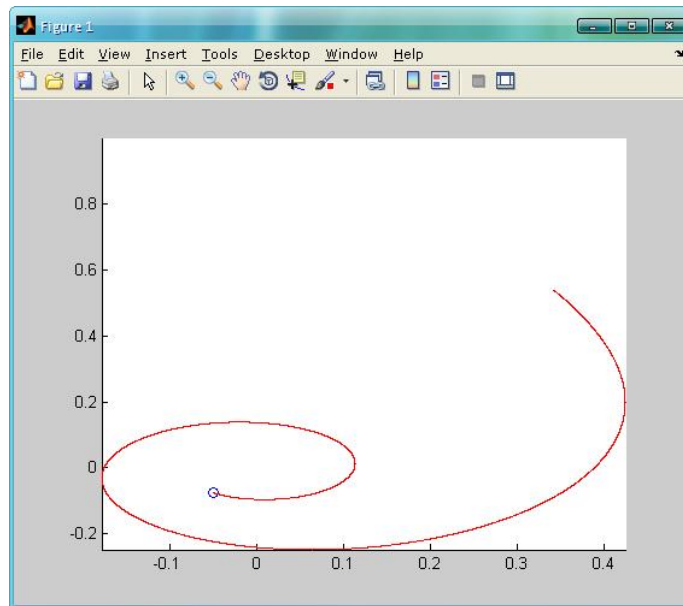


Рис. 7.15. Зображення руху точки у просторі за законом $x(t) = \frac{\sin t}{t+1}$,

$$y(t) = \frac{\cos t}{t+1}$$

7.10. Контрольні питання

7.10.1. Яку команду використовують для побудови графіка функції однієї змінної в MATLAB?

7.10.2. Яку команду використовують для побудови графіків двох функцій в одному вікні?

7.10.3. Як побудувати графік функції у логарифмічному масштабі?

7.10.4. Як задати стиль оформлення графіка і вивести додаткові елементи оформлення графічного вікна в MATLAB?

7.10.5. Які команди використовують для побудови поверхонь в MATLAB?

7.10.6. Чим відрізняються поверхні, побудовані за допомогою команд mesh і surf?

7.10.7. Які команди використовують для оформлення поверхонь ефектами і кольором?

7.10.8. Як вивести стовпчик, що встановлює відповідність між кольором і значенням функції, поряд з поверхнею?

- 7.10.9. Як побудувати поверхню, що складається з ліній рівня?
- 7.10.10. Як переглянути поверхню під іншим кутом і азимутом?
- 7.10.11. Як задати одиничний вектор заданої розмірності в MATLAB?
- 7.10.12. Який алгоритм побудови параметрично заданої поверхні в MATLAB?
- 7.10.13. Яку команду використовують для виведення траєкторії руху точки у двовимірному просторі?
- 7.10.14. Яку команду використовують для виведення траєкторії руху точки у тривимірному просторі?

7.11. Варіанти завдань

7.11.1. Побудувати графік функції $f(x) = e^{-x/n} \cos\left(\frac{2x}{n} + \frac{5\pi}{n}\right)$ на відрізку $[-3n; 3n]$.

7.11.2. Побудувати в одній системі координат графіки функцій $f(x) = \left(\frac{x}{n}\right)^2 \sin\left(\frac{2x}{n}\right)$ та $g(x) = -\left(\frac{x}{n}\right)^2 \cos\left(\frac{3x}{n}\right)$ на відрізку $[-5\pi n; 5\pi n]$.

7.11.3. Побудувати в одній системі графіки функцій $f(x)$ та $g(x)$ заданих у попередньому завданні, визначених, відповідно, на відрізках $[-6\pi n; 3\pi n]$ та $[-3\pi n; 6\pi n]$.

7.11.4. Побудувати в одній системі графіки функцій $f(x) = 2x^{-0,5n}$ та $g(x) = 3000x^{-0,3n}$ на відрізку $[0; 3]$.

7.11.5. Побудувати в одній системі графіки функцій $f(x) = 2\ln(nx)$ та $g(x) = \cos\left(\ln\frac{3x}{n}\right)$ на відрізку $[0,1; 5n]$ у логарифмічному масштабі за віссю x .

7.11.6. Побудувати перший графік з попереднього завдання зеленими квадратними маркерами із суцільною лінією, а другу – блакитними трикутниками зі штрих-пунктирною лінією.

7.11.7. Вивести графіки фондових індексів за вказаний термін, використовуючи вказані дані. Навести легенду, підписати вісі, оформити лінії різними стилями.

Дата	Індекс ПФТС	Ціна акцій ПАТ “Мотор Січ”
28.12.2012	328,69	2210
27.12.2012	327,26	2185
26.12.2012	322,64	2159
25.12.2012	320,31	2157
24.12.2012	324,79	2137
21.12.2012	325,71	2118
20.12.2012	324,54	2140
19.12.2012	322,16	2148
18.12.2012	320,7	2117
17.12.2012	322,17	2097
14.12.2012	323,38	2104
13.12.2012	324,59	2112
12.12.2012	323,57	2026
11.12.2012	324,04	1994
10.12.2012	324,46	1967
07.12.2012	324,06	1971
06.12.2012	321,1	1956
05.12.2012	318,15	1940
04.12.2012	314,1	1918
03.12.2012	317,07	1885
30.11.2012	318,65	1874
29.11.2012	320,28	1872
28.11.2012	320,69	1882
28.12.2012	317,06	2210

7.11.8. Побудувати графік функції $z(x, y) = 2nx^2 - 3nxy + ny^2$ на області $x \in [-5n; 5n]$, $y \in [-5n; 5n]$. Вивести інформацію про колір та значення функції у заданій точці.

7.11.9. Побудувати графік попередньої функції у вигляді ліній рівня. Задати кольорову палітру.

7.11.10. Повернути графік попередньої функції з азимутом $-10n^\circ$ та кутом піднесення $5n^\circ$.

7.11.11. Побудувати графік параметрично заданої лінії: $x = e^{\frac{t-n}{n}} \cos t$;
 $y = e^{\frac{2t-n}{n}} \sin\left(t + \frac{2\pi}{3n}\right)$; $z = t$. Задати тип та колір лінії. Побудувати траєкторію
точці, що рухається вздовж цієї лінії протягом 10 с.

7.11.12. Побудувати графік параметрично заданої поверхні:
 $s(x, y) = \sin\left(\frac{2x}{n}\right) \sin\left(\frac{3y}{n}\right)$; $v = 0,5 \sin \frac{3x}{n} \cos \frac{2x}{n}$; $w(x, y) = 1,5 \cos \frac{x}{n}$;
 $x, y \in [-3\pi n; 3\pi n]$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Яцун М.А. Електричні машини: навчальний посібник / М.А.Яцун – Львів: Видавництво Державного університету “Львівська політехніка”, 1999. – 427 с.
2. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: учебник для вузов / А.В. Иванов-Смоленский– М.: Энергия, 1980. – 928 с.
3. Вольдек А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек– Л.: Энергия, 1974. – 782 с.
4. Автоматика и автоматизация производственных процессов / И.И.Мартыненко, Б.Л.Головинский, Р.Д.Проценко, Т.Ф.Резниченко.– М.: Агропромиздат, 1985г. – 335с.
5. Бородин И.Ф. Основы автоматизации /И.Ф.Бородин – М.: «Колос», 1970г. – 327с.
6. Воронов А.А. Основы теории автоматического регулирования и управления /А.А.Воронов, В.К.Титов, Б.Н.Новогренов. –М.: «Высшая школа», 1977г. – 519с.
7. Бесекерский В.А., Теория систем автоматического регулирования /Попов Е.П., Бесекерский В.А.-М.: Наука, 1972г. – 768с.

Навчальне видання

ЕЛЕКТРОПРИВІД І АВТОМАТИЗАЦІЯ

Методичні рекомендації

Укладачі: **Авдєєва** Олена Андрійовна

Садовий Олексій Степанович

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. ____.

Тираж ____ прим. Зам. № ____

Надруковано у видавничому відділі

Миколаївського національного аграрного університету

54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №4490 від 20.02.2013р.