

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра електроенергетики,  
електротехніки та електромеханіки**

**ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ**

методичні рекомендації для проведення лабораторних робіт здобувачами ступеня вищої освіти «бакалавр» спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" денної та заочної форм навчання

**Миколаїв**

**2019**

**УДК 621.313.3(075.8)**

**E50**

Рекомендовано до видання методичною комісією інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету. Протокол № 12 від "16" 05 2019\_р.

Укладачі: д.т.н., проф. Ставинський А. А., асистент Циганов О. М.

Рецензенти:

Новогрецький С.М.

к.т.н., доцент, кафедри СЕС НУК

Шарейко Д.Ю.

к.т.н., доцент, кафедри автоматики НУК

© Миколаївський національний  
аграрний університет, 2019.

## ВСТУП

Електричні машини – це одна з фундаментальних дисциплін електротехнічного циклу. Дисципліна вивчає теорії електромагнітного та електромеханічного перетворення енергії, а також основи теорії проектування електромеханічних і електромагнітних пристроїв, генеруючих агрегатів електростанцій, автоматизованих електроприводів та інших електротехнічних систем і комплексів.

Задачею вивчення електричних машин є набуття майбутніми інженерами-електроенергетиками теоретичних і практичних знань у галузі електромеханічного і електромагнітного перетворення енергії. Предметом вивчення є електричні машини і трансформатори, які є основними елементами у сучасних енергетичних і електротехнічних устаткуваннях.

Курс складається з шести модулів, які охоплюють наступні розділи: загальні питання теорії електричних машин, машини постійного струму, трансформатори, асинхронні машини, синхронні машини, електричні мікромашини.

Лабораторний практикум з електричних машин передбачає виконання робіт з використанням учбового стенду НТЦ – 03, а також робіт ознайомлювального і розрахункового характерів.

В методичних рекомендаціях подані лабораторні роботи, які проводяться з використанням стенду НТЦ – 03 у наступному порядку: мета роботи, основні теоретичні відомості, план роботи, обробка результатів роботи, контрольні питання.

## Пам'ятка по техніці безпеки

### *Загальні вимоги по техніці безпеки*

До виконання лабораторних робіт допускаються здобувачі вищої освіти, які прослухали інструктаж по охороні праці та розписалися в журналі по техніці безпеки.

Категорично забороняється включати самостійно діючі макети та стенди, що може привести до нещасного випадку.

В лабораторії повинні бути встановлені, аптечка, вогнегасник.

При порушенні вимог інструкції з техніки безпеки здобувач вищої освіти звільняється від виконання лабораторної роботи та повинен пройти повторний інструктаж по техніці безпеки.

### *Вимоги по техніці безпеки перед початком роботи*

Розпочинати лабораторну роботу в лабораторіях кафедри можна тільки після проходження інструктажу по техніці безпеки. Здобувачі вищої освіти допускаються до виконання лабораторної роботи безпосередньо під наглядом викладача або лаборанта кафедри.

Викладач при вивченні нової теми та при переході в іншу лабораторію обов'язково повинен провести позаплановий інструктаж з техніки безпеки в даній лабораторії, який фіксується в журналі періодичного інструктажу.

## 1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

### ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ОБЛАДНАННЯМ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З КУРСУ "ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ"

#### 1.1. Мета роботи

Ознайомлення з будовою учбового стенду НТЦ – 0.3 та принципом виконання лабораторних робіт за допомогою вказаного стенду.

#### 1.2. Основні положення

Учбовий лабораторний стенд по курсу "Електричні машини" (надалі - стенд) призначений для проведення лабораторно-практичних робіт у вищих учбових закладах.

Стенд забезпечує проведення наступних лабораторних робіт:

- дослідження генератора постійного струму з незалежним збудженням;
- дослідження двигуна постійного струму з незалежним збудженням;
- дослідження однофазного трансформатора;
- дослідження трифазного трансформатора;
- дослідження груп з'єднань трифазного трансформатора;
- дослідження асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором;
- дослідження сельсинів в індикаторному і трансформаторному режимах роботи.

Напруга живлення стенду – через знижувальний трансформатор 380/220. Вихідна трифазна мережа після трансформатора: змінного струму, частота 50Гц, лінійна напруга 220 В (фазна напруга 127В).

#### 1.3. Будова і принцип роботи

Конструктивно стенд складається з наступних складових частин. (рис. 1.1): корпусу стенду, лицьової (передньої) панелі.

Принципова електрична схема на лицьовій панелі для зручності користування розділена на чотири функціональні фрагменти. (рис. 1.2):

- електричні машини;

- трифазний трансформатор;
- однофазний трансформатор;
- сельсини.

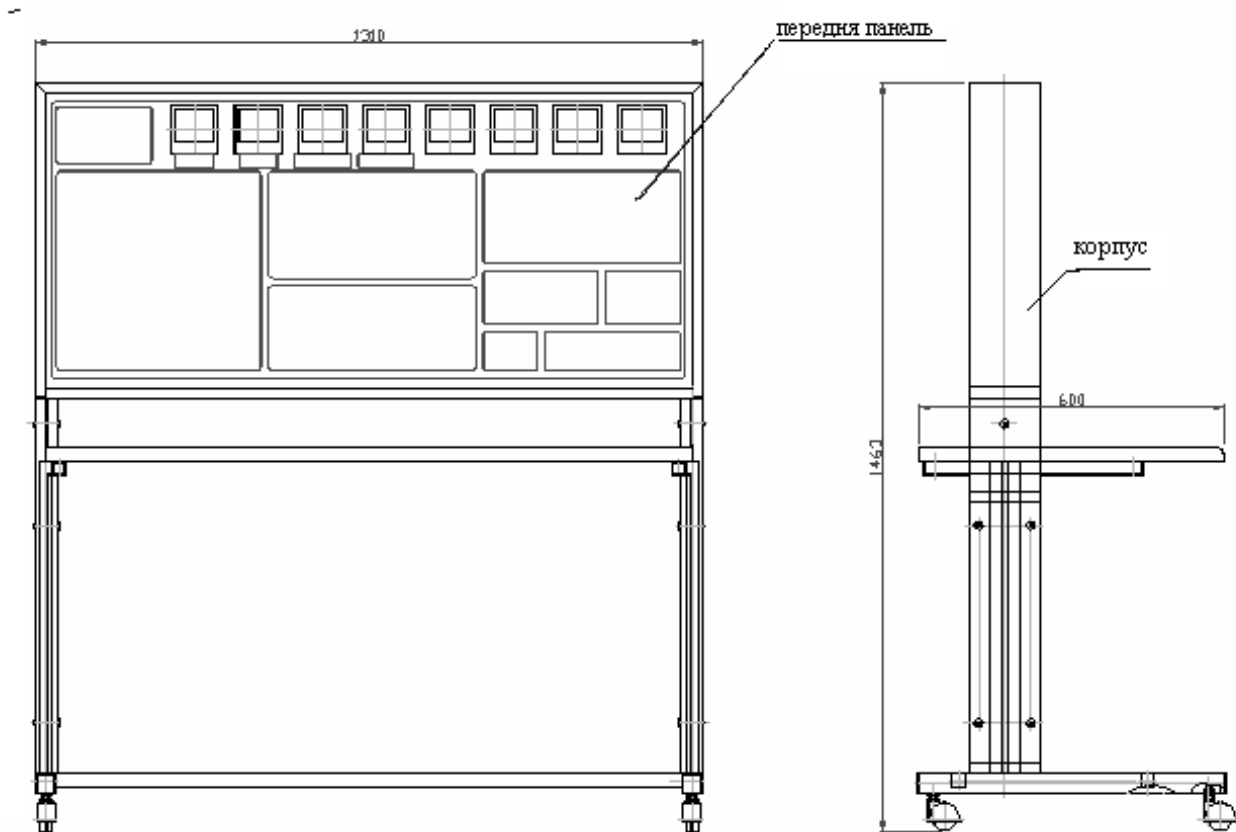


Рис. 1.1. Зовнішній вигляд стану

У нижній частині лицьової панелі розташовані необхідні органи управління і сельсини М4, М5.

Для збірки схем, що вивчаються, слід з'єднувальними проводами провести комутацію відповідних гнізд, виведених на лицьову панель стану.

Електроустаткування стану встановлене в корпусі стану за лицьовою панеллю.

Зокрема:

- резистори  $R1, R2, R3, R4$  блок  $E1$ ;
- трансформатори  $T1.1, T1.2, T1.3.$ ;
- блок електричних машин, в який входять асинхронний двигун  $M2$ , двигун постійного струму  $M3$  з тахогенератором, машина навантаження  $M1$ ;
- трансформатори  $T 3.1, T 3.2, T 3.3$ ;
- блок запобіжників  $A, B, C$ .

Вал асинхронного двигуна М2 механічно сполучений з валами двигунів М1 і М3 за допомогою пружного гумового пасика.

Плата блоку Е1 є двотактним випрямлячем, зібраних по мостовій схемі на діодах Д242 і забезпечує напругу живлення для двигуна постійного струму М1 і машини навантаження М3.

Трансформатори Т1.1, Т1.2, Т1.3 виконують функцію трифазного автотрансформатора із ступінчастою зміною фазної напруги в межах від 0 до 250 В. Зміна фазної напруги здійснюється пакетним перемикачем з написом Т1. У окремих роботах використовуються однофазні автотрансформатори Т1.1, Т1.3. Зміна їх вихідної напруги здійснюється перемикачами Т1.1. і Т1.3. також ступінчато в межах від 0 до 100 В.

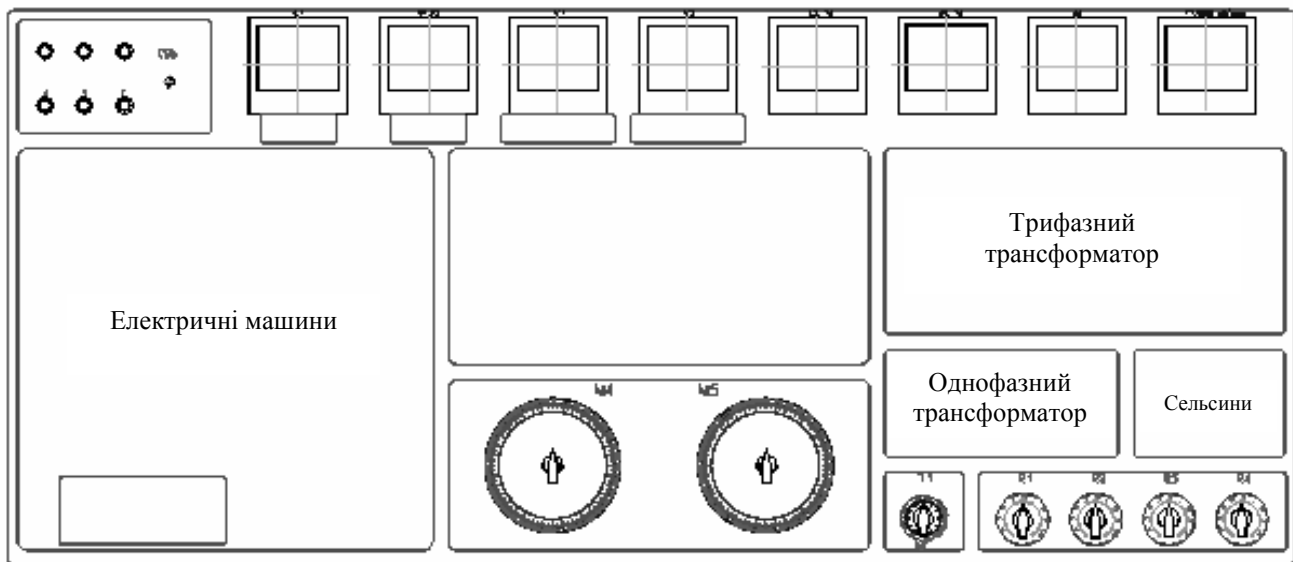


Рис. 1.2. Лицьова панель

Трансформатори Т3.1, Т3.2, Т3.3 виконують функцію випробовуваного трифазного трансформатора, а Т3.1 використовується і як однофазний трансформатор, який випробується.

На панелі приладів розташовані: амперметри змінного струму А1, А2 і постійного струму А3, А4 – класу точності 2,5; вольтметри змінного струму V1, V2 і постійного струму V3, V4 – класу точності 2,5; ватметри W1, W2 класу точності 2,5; вимірник швидкості n, класу точності 4,0.

Межі вимірювань зазначених приладів вказані на панелі.

У лівій частині лицьової панелі розташовані сигнальні лампи "А", "В", "С", що відображають подачу на стенд трифазної напруги, яка здійснюється розташованим нижче двохпозиційним перемикачем  $S1$ . У разі обриву будь-якої фази гасне відповідна сигнальна лампа.

Як вже було зазначено, принципова електрична схема на лицьовій панелі розбита на фрагменти.

У верхній лівій частині розташований фрагмент схеми, де виконуються наступні лабораторні роботи:

- дослідження двигуна постійного струму;
- дослідження генератора постійного струму;
- дослідження асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

Після збірки будь-якій з вищеназваних схем тумблерами  $S2, S5, S6, S7$  включається необхідна в лабораторній роботі напруга.

Пуск і зупинка двигуна  $M2$  здійснюється натисненням кнопок  $S3, S4$  відповідно.

Для отримання постійної напруги 24 В необхідного для живлення двигунів  $M1$  і  $M3$  використовується схема БЖ (блок живлення) що включається тумблером  $S7$ .

У разі потреби зміни величини живлячої напруги використовуються автотрансформатори  $T1.1.$  і  $T1.3$ , які комутуються тумблерами  $S5, S6$  відповідно.

**УВАГА!** Неприпустимо одночасне використання трифазного автотрансформатора  $T1.1, T1.2, T1.3$  і однофазних  $T1.1, T1.3$  в одній лабораторній роботі. Перед початком роботи всі вони повинні бути встановлені в положення «0».

Джерела живлення, які не використовуються при проведенні будь-якої лабораторної роботи на стенді повинні бути обов'язково в положенні "Вимкнено" (нижнє положення тумблерів).

Зміна режимів навантаження здійснюється зміною опорів  $R1, R2, R3$  відповідними перемикачами в нижній частині лицьової панелі.

У верхній правій частині лицьової панелі розташований фрагмент схеми, де виконуються наступні лабораторні роботи:

- дослідження трифазного трансформатора;
- дослідження груп з'єднання трифазних трансформаторів.



Трифазне живлення на даний фрагмент схеми включається тумблером  $S8$ . Регулювання напруги, що підводиться, здійснюється пакетним перемикачем  $T1$ , розташованому в нижній частині лицьової панелі.

УВАГА! Одночасне включення ватметрів  $W1$ ,  $W2$  в первинний і вторинний ланцюг трифазного трансформатора неприпустимо.

У нижній правій частині лицьової панелі розташовані фрагменти схеми, де виконуються лабораторні роботи:

- дослідження однофазного трансформатора;
- дослідження сельсинів в трансформаторному режимі;
- дослідження сельсинів в індикаторному режимі.

Напруга живлення на вище вказані схеми включаються тумблерами  $S9$  і  $S10$ .

#### 1.4. *Заходи безпеки при роботі на стенді*

При експлуатації стенду необхідно дотримувати "Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів" і "Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів".

Стенд необхідно експлуатувати в приміщенні без підвищеної небезпеки по ступеню ураження електричним струмом.

Включення живлення стенду і виконання робіт проводити тільки після дозволу викладача.

Збірку електричних схем для проведення лабораторної роботи, технічне обслуговування проводити при відключеному живленні стенду.

Корпус стенду повинен бути заземлений. Опір контуру заземлення не більше 4 Ом.

При заміні запобіжника або перед розтином задньої кришки необхідно відключити стенд від живлення мережі.

#### 1.5. *Підготовка і порядок роботи*

Перед початком роботи необхідно детально ознайомитися з схемою лабораторної роботи. Накреслити принципову схему роботи в зошиті. Продумати, яким чином проводити комутацію між вузлами схем, розібратися в їх призначенні,

з'ясувати роботу схеми і її елементів. Після цього викреслити монтажну схему з вказівкою місць підключення перемичок або скласти таблицю з'єднань, згідно якої проведеться комутація елементів апаратів.

Збірку схеми проводити тільки при відключеній живлячій мережі. Після закінчення збірки схеми ретельно перевірити правильність з'єднань відповідно до малюнків, що додаються до лабораторних робіт. Переконатися у відсутності коротких замикань в монтажі схеми. Після чого звернутися до викладача за дозволом на проведення лабораторної роботи.

Приступаючи до роботи, слід встановити всі тумблери в нижнє положення, відповідне їх відключеному стану. При проведенні роботи стежити за тим, щоб величини вимірюваних параметрів не виходили за межі їх паспортних даних. При проведенні робіт, в яких струми навантаження перевищують 0,5 А рекомендується між експериментами робити паузи для того, щоб елементи навантажень і регулюючі елементи блоку живлення не перегрівалися.

## 2. 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 регульовальну 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:

$$E_o = f(I_{\text{в}}), \text{ при } I_{\text{н}} = 0$$

називають характеристикою неробочого руху .

Залежність напруги  $U$  генератора, який працює на змінне навантаження, від струму  $I_{\text{н}}$  приймачів при незмінному опорі ланцюга збудження постійної частоти обертання, представлені графіком:

$$U = f(I_{\text{н}}),$$

називається зовнішньою характеристикою .

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

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

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

$$I_{\text{в}} = f(I_{\text{н}}),$$

що показує зміну струму збудження від струму навантаження  $I_{\text{н}}$  для підтримки напруги  $U = \text{const}$  при  $n = \text{const}$ , 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.

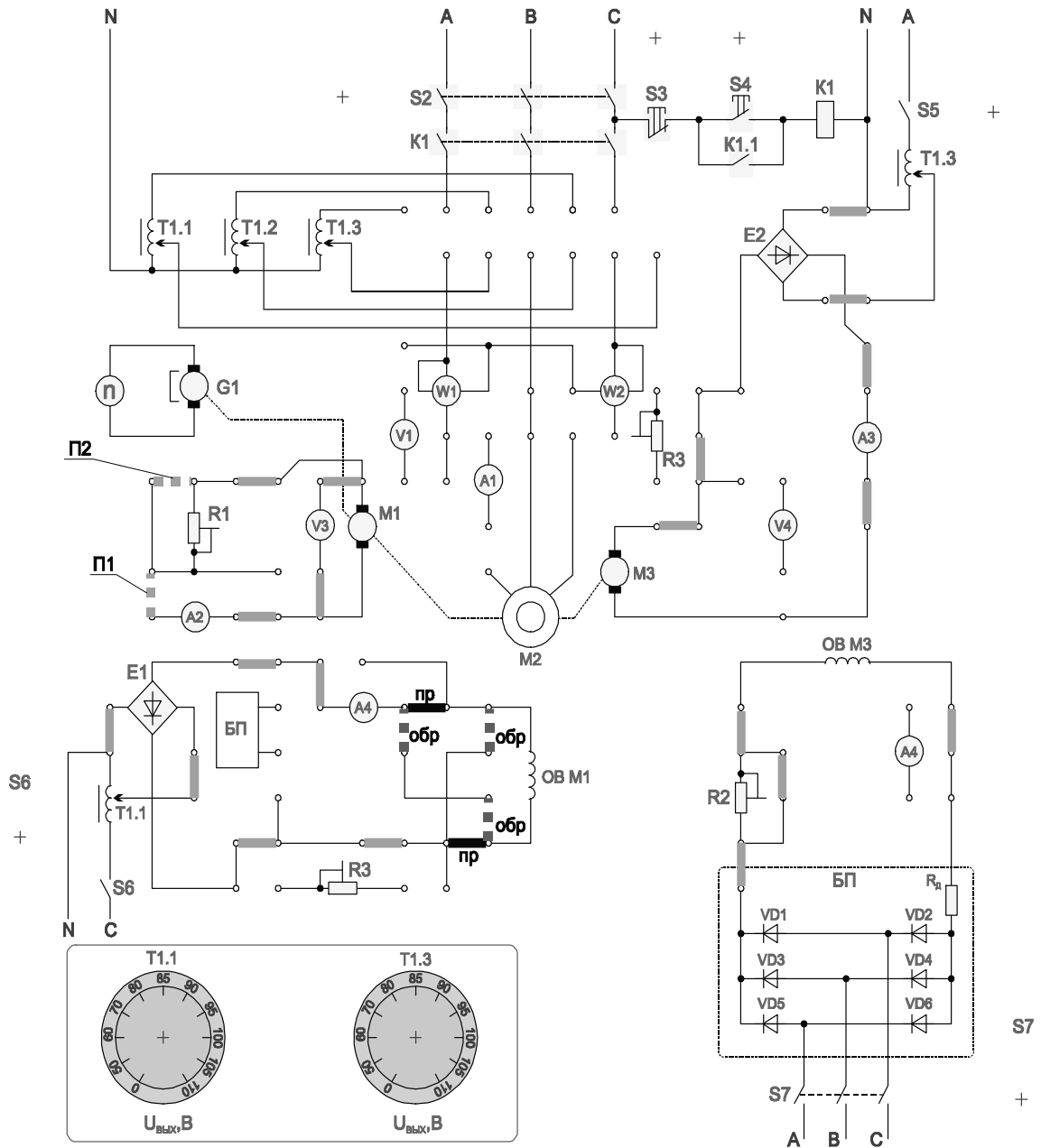


Рис. 2.1.

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.

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 Т1.3 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  $S6$ , 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  $S7$ , увімкніть живлення якоря двигуна Т1.3 тумблером  $S5$ . Збільшуйте напругу на двигуні (він почне обертатися в прямому напрямку) до отримання швидкості близько 3000 об/хв (початкові установки). Зафіксувати покази вольтметра  $V3$  для струму  $I_b = 0$ . Включіть ЛАТР Т1.1 тумблером  $S6$ , 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 значеннях  $R1\phi$  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  $M1$ ;
- струм генератора.

#### 2.3.4. Регулювальна характеристика.

Схема рис. 2.1, перемикач П1 – встановлена, П2 – відсутня. При початкових установах Т1.3 встановити напругу на виході генератора біля 50 В, змінюючи величину навантаження резистором  $R1$ . Змінюючи напругу на обмотці збудження ЛАТРОм 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.

### 3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З НЕЗАЛЕЖНИМ ЗБУДЖЕННЯМ

### 3.1. Мета роботи

3.1.1. Вивчити пристрій двигуна постійного струму. Записати паспортні дані двигуна.

3.1.2. Випробувати двигун методом генератора навантаження, отримати його механічну і робочі характеристики.

3.1.3. Засвоїти способи регулювання частоти обертання двигуна.

3.1.4. Дослідити регульовальні властивості двигуна.

### 3.2. Основні теоретичні положення

Двигун постійного струму (ДПС) складається з:

- нерухомої частини – статора;
- частини, що обертається - якоря.

Статор - порожнистий сталевий циліндр, на внутрішній поверхні якого укріплено парне число головних полюсів з обмотками збудження постійного струму. Якщо обмотки збудження отримують живлення від стороннього джерела електричної енергії постійної напруги, двигун називають двигуном незалежного збудження.

Якір - циліндр на валу машини з пакету тонких листів електротехнічної сталі з пазами, заповненими обмоткою, приєднаною до колекторних пластин, на які накладається система щіток.

Аналіз режимів роботи двигуна можна провести на базі основних рівнянь, що описують його роботу:

$$U = E_{\text{я}} + I_{\text{я}}R_{\text{я}};$$

$$E_{\text{я}} = C_e \Phi n;$$

$$M = C_m \Phi I_{\text{я}},$$

де  $U$  - напруга живлення двигуна;

$E_{\text{я}}$  – проти - е.р.с., яка індуктується в обмотці якоря;

$I_{я}$  - струм якоря;

$R_{я}$  - опір обмотки якоря;

$C_e$  - конструктивна постійна двигуна,

$$C_e = \frac{p N}{60a};$$

$p$  - число пар головних полюсів двигуна;

$N$  - число активних провідників якоря;

$a$  - число паралельних гілок обмотки якоря;

$n$  - частота обертання якоря;

$M$  - електромагнітний момент двигуна;

$C_m$  – постійна моменту двигуна,

$$C_m = \frac{p N}{2\pi a};$$

$\Phi$  – магнітний потік обмотки збудження.

З першого рівняння легко визначити струм якоря

$$I_{я} = \frac{U - E_{я}}{R_{я}};$$

У початковий момент пуску, коли  $n = 0$  і відповідно до рівняння  $E_{я} = C_e \Phi n = 0$ , струм якоря в режимі пуску дорівнює:

$$I_{яп} = \frac{U}{R_{я}},$$

і т.к. і оскільки опір якорного ланцюга малий, струм  $I_{яп}$  досягає небезпечної для двигуна величини, тому силові двигуни постійного струму запускають за допомогою пускового реостата, який обмежує пусковий струм до безпечного значення (звичай до (2,5...3)  $I_{ян}$ ). І лише у міру розгону двигуна, що супроводжується збільшенням  $E_{я}$ , опір пускового реостату зменшується до 0.

$$I_{яп} = \frac{U}{R_{я} + R_d};$$



Для забезпечення по можливості швидкого пуску при обмеженому струмі якоря, струм збудження при пуску роблять максимальним, повністю виводячи регульовальний реостат в ланцюзі збудження двигуна.

З виразу для електромагнітного моменту витікає, що для зміни напрямку обертання існують два способи:

- змінити напрям струму якоря, не змінюючи напрям струму збудження;
- змінити напрям струму збудження, не змінюючи напрям струму якоря.

Основні характеристики двигуна - механічна, регульовальна і робочі.

Рівняння механічної характеристики:

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{(R_{\text{я}} + R_{\text{д}})}{C_e C_m \Phi^2} M.$$

Механічна характеристика двигуна постійного струму з незалежним збудженням:

$$M_{\text{н}} = 9,55 \frac{P_{\text{н}}}{n_{\text{н}}};$$

$$n_0 = \frac{U}{C_e \Phi}.$$

З рівняння механічної характеристики випливає що, регулювати частоту обертання ДПС можливо зміною напруги живлення, зміною струму збудження і зміною величини додаткового опору в колі якоря.

Регулювання частоти обертання якоря зміною величини додаткового опору  $R_{\text{д}}$  в ланцюзі якоря не економічно із-за значних теплових втрат в цьому ж резисторі. Краще регулювати частоту обертання якоря зміною напруги  $U$  на обмотці якоря або зміною магнітного потоку двигуна, змінюючи струм збудження.

Регульовальні властивості двигуна зазвичай характеризуються регульовальною характеристикою  $n_0 = f(I_{\text{в}})$  або  $I_{\text{я}} = f(I_{\text{в}})$  при  $U = U_{\text{н}}$  і постійному навантаженню на валу двигуна, зокрема в режимі неробочого руху.

Потужність  $P_1$ , яка споживається двигуном з електричної мережі обчислюють за формулою:

$$P_1 = U (I_{\text{я}} + I_{\text{в}}).$$

Потужність  $P_2$  на валу двигуна визначають методом генератора навантажувального генератора, з'єднаного з досліджуваним двигуном муфтою.

Вимірюючи потужність генератора

$$P_0 = U_0 I_0,$$

що працює при напрузі  $U_0$  і струмі  $I_0$ , і знаючи його к.к.д. для різних навантажень, тобто залежність  $\eta(P_0)$ , знаходять потужність на валу двигуна так:

$$P_2 = \frac{P_0}{\eta}.$$

Момент двигуна визначається так:

$$M = 9,55 \frac{P_2}{n};$$

ККД двигуна визначають:

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

Робочими характеристиками є характеристики:

$$n(P_2); M(P_2), I_{\text{я}}(P_2), \eta(P_2),$$

які отримують при напрузі  $U_{\text{н}} = \text{const}$  і  $I_{\text{в}} = \text{const}$ . (рис.3.4).

### 3.3. План роботи

#### 3.3.1. Дослідження робочих характеристик двигуна МЗ (рис.3.1.)

Встановити перемикачі  $R3, R2$  в позицію "1", перемичку  $ПЗ$ . Для навантаження двигуна використовується генератор  $M2$ , який навантажується резистором  $R1$ .

УВАГА! Перед початком роботи переконайтеся що всі галетні перемикачі Латрів ( $T1, T1.1, T1.3$ ) встановлені в поз."0". При роботі з однофазними Латром  $T1.1$  і  $T1.3$  не допускається одночасне використання трифазного Латра  $T1$ .

Вмикайте стенд тумблером "Мережа". Вмикайте живлення обмотки збудження двигуна тумблером  $S7$ . Вмикайте ЛАТР  $T1.3$  тумблером  $S5$ . Збільшуючи напругу на якорі двигуна (контролюється приладом  $V4$ ) встановити його швидкість обертання біля 3000об/мин. Включити ЛАТР  $T1.1$  тумблером  $S6$ , збільшуючи напругу в

обмотці збудження генератора, довести напругу на якорі генератора (прилад  $V3$ ) до 60-75 В. Провести вимірювання при цьому значення  $U_0$  і  $I_0=0$ .

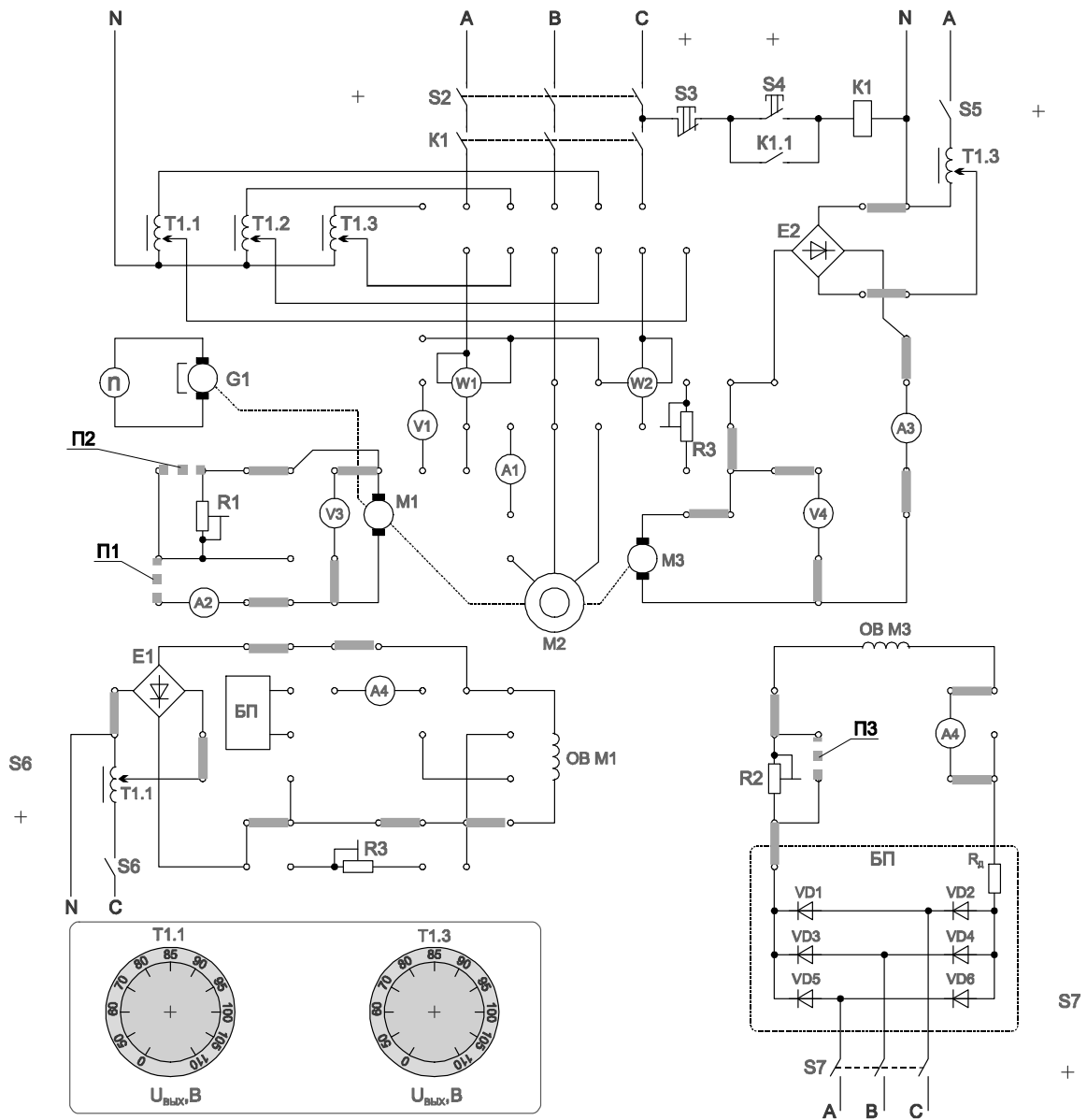


Рис. 3.1.

Встановити перемичку П1. Далі змінюючи опір навантаження  $R1$  від поз.11 до поз.1, провести вимірювання і записати дані в табл. 3.1.:

- струм двигуна М3 (прилад А3);
- частоту обертання  $n$  (прилад  $n$ );
- напруга на якорі двигуна М3 (прилад  $V4$ );
- напруга на генераторі М2 (прилад  $V3$ );
- струм генератора М2 (прилад А2).

Виміри					Обчислення				
Двигун			Генератор						
$U, В$	$I_{я} дв, А$	$n, об/хв$	$U_о, В$	$I_о, А$	$P_1, Вт$	$P_2, Вт$	$\eta_{дв}$	$M, Нм$	$P_Г, Вт$

3.3.2. Зняття регулювальної характеристики двигуна:

$$I_B = f(I_A), \text{ при } n = const; U = const.$$

Встановити на схемі R2 в поз.1 (рис. 3.1.). При тих же положеннях перемикачів Латрів T1.1, T1.3, перемикач ПЗ – встановлена, П1 – відсутній, знов включити в тій же послідовності тумблери. Провести вимірювання, відзначити величину швидкості. Прибрати перемикач ПЗ. Зменшити струм збудження двигуна до 80мА, при цьому швидкість збільшиться. Встановити перемикач П1 і змінюючи R1 від поз.11 до поз.1 (R1 – зменшується) знизити швидкість приблизно до колишнього значення. Знов зменшити струм збудження резистором R2, і змінюючи R1 повернутися до колишньої швидкості. Вимірювання провести при струмах збудження біля 60 мА, 40 мА і запишіть в табл. 3.2. вимірювальні параметри:

- струм якоря двигуна;
- струм збудження двигуна.

Таблиця 3.2

	Номер досліду					
	1	2	3	4	5	6
Струм якоря $I_A, А$						
Струм збудження $I_B, А$						

3.3.3. Дослідження можливості регулювання частоти обертання двигуна, вимірюванням струму збудження:  $n = f(I_B)$  при  $U_n = const$ .

В схемі рис. 3.1. перемикачі П1 та ПЗ – відсутні. R2 в поз.1, змінюючи величину опору R2 від поз.1 до поз.11, записати в табл. 3.3. вимірювані величини:

- частоту обертання двигуна;
- струм збудження двигуна;
- струм якоря двигуна.

Для цього провести включення роботи як і в попередніх дослідах. Резистором  $R_2$  послідовно отримати значень струму збудження близько 100, 80, 60 мА. При цьому заміряти швидкість і струм якоря.

### 3.4. Обробка результатів лабораторної роботи

Таблиця 3.3

	Номер опиту					
	1	2	3	4	5	6
Струм якоря $I_a$ , А						
Частота обертання $n$ , об/хв						
Струм збудження $I_b$ , А						

3.4.1. Зробити необхідні розрахунки для побудови робочих характеристик двигуна.

3.4.2. Побудувати механічну характеристику двигуна

$$M = f(n)$$

при  $R_d = 0$ .

3.4.3. Побудувати робочі характеристики двигуна.

3.4.4. Побудувати регульовальну характеристику двигуна.

### 3.5. Контрольні питання

3.5.1. Охарактеризувати пристрій ДПС.

3.5.2. Охарактеризувати принцип роботи ДПС.

3.5.3. Охарактеризувати пусковий реостат?

3.5.4. Охарактеризувати способи регулювання частоти обертання ДПС.

3.5.5. Що називається механічною характеристикою ДПС?

3.5.6. Пояснити регульовальну характеристику ДПС.

3.5.7. Пояснити робочі характеристики ДПС.

3.5.8. Як визначається корисна потужність на валу двигуна?

## 4. 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  $\Phi_m$  - 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:

$$n = \frac{U_{1H}}{U_{2H}},$$

де  $U_{1H}$  – номінальна напруга на первинній обмотці трансформатора  
струм неробочого руху:

$$I_{10} = (3...10)\%I_{1H},$$

де  $I_{1H}$  - 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.

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

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

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;

$\varphi_0$  – кут зсуву по фазі між струмом та напругою первинної обмотки в режимі неробочого руху;

$\alpha$  - кут між струмом неробочого руху і магнітним потоком в режимі неробочого руху.

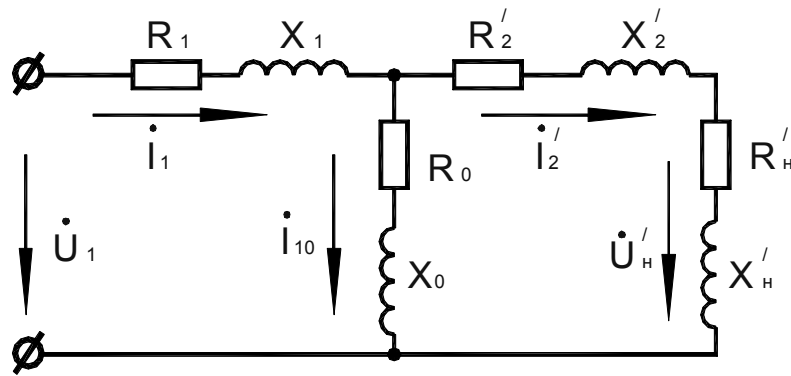


Рис. 4.1.

### Режим короткого замикання

Режим короткого замикання є другим межовим 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.

$$U_{1к} = (3...10)\% U_{1н.}$$

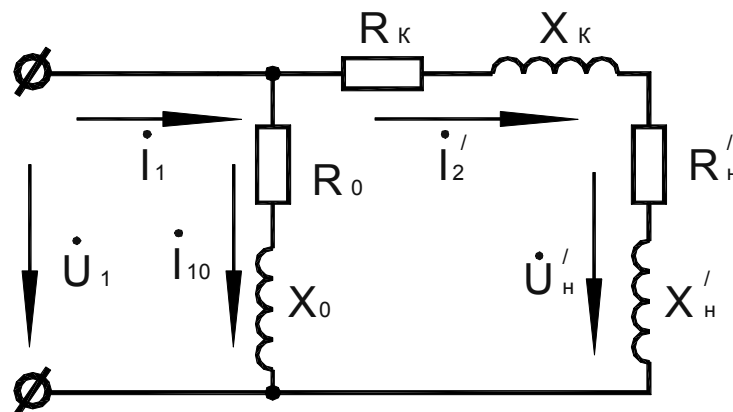


Рис. 4.2.

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 уточнюються 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.).

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

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

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

$(R_2)'$  і  $(X_2)'$  - приведений 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:

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

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

$$I_1 = I_1 o + (-I_2)',$$

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:

$$\Delta U_2 \% = \frac{U_{2o} - U_2}{U_{2o}} 100 \%,$$

де  $U_{20}$  і  $U_2$  – відповідно вторинна напруга при неробочому руху та заданому навантаженні, яка визначається вторинним струмом та коефіцієнтом потужності  $\cos\varphi_2$  навантаження.

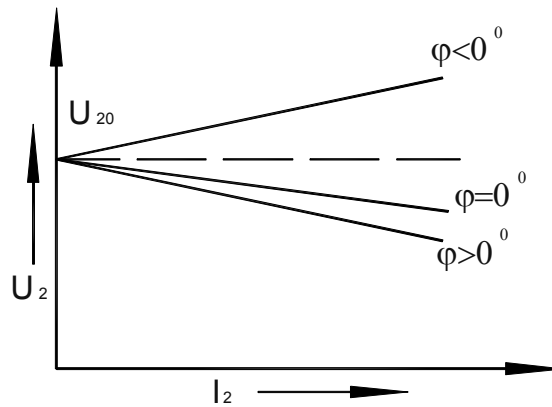


Рис. 4.3.

Величину  $\Delta U_2$  можна розрахувати по формулі:

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

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

$U_{a.k.} \%$  - 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:

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

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.

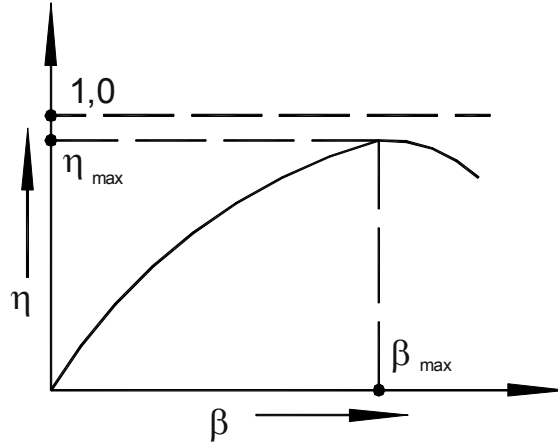


Рис. 4.4.

$\beta_{max}$  - 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 трансформатора 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.

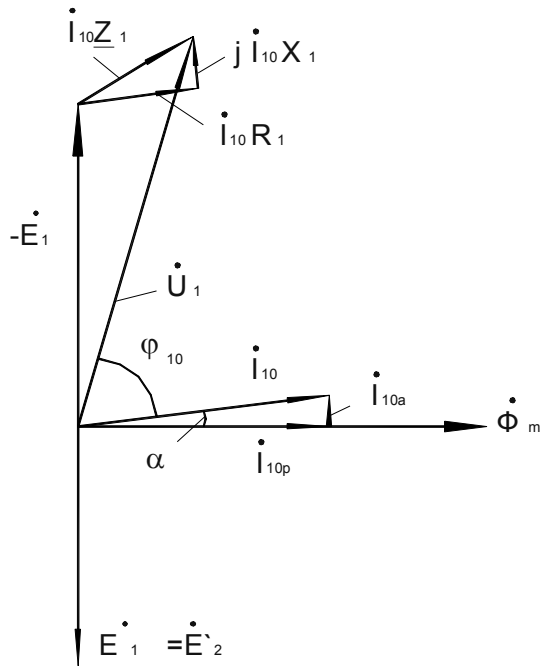


Рис. 4.5, а

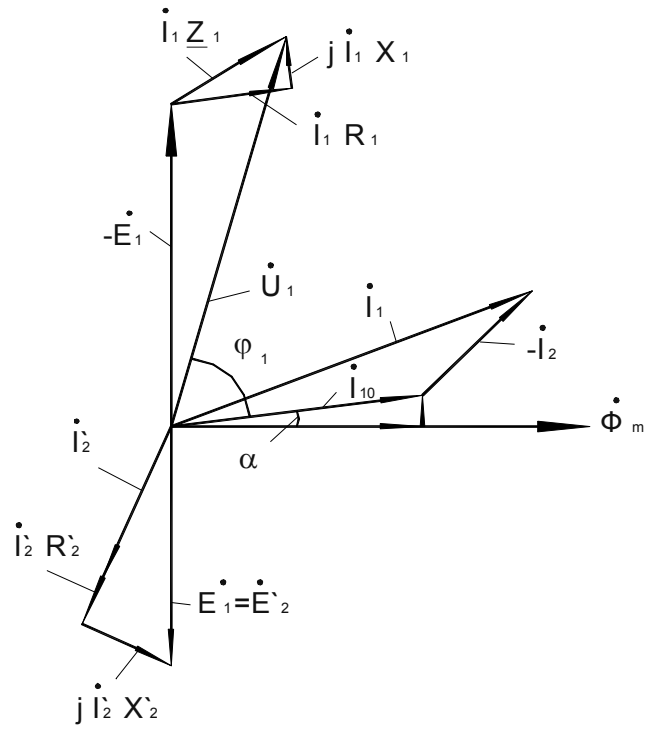


Рис. 4.5, б.

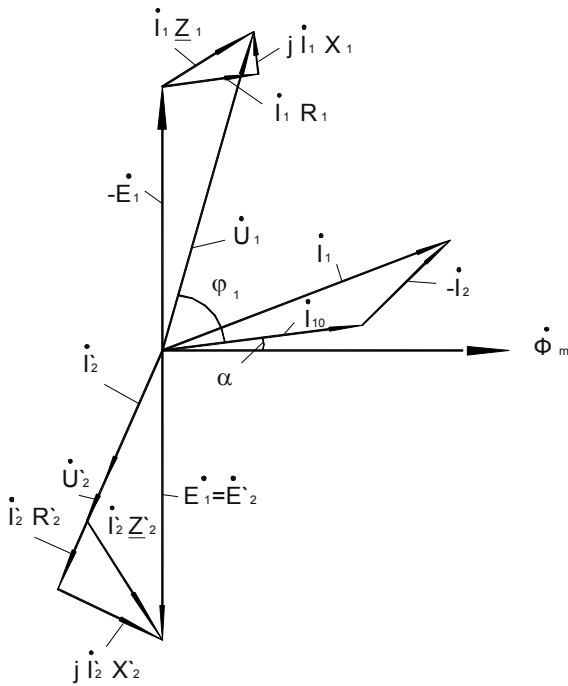


Рис. 4.6, а

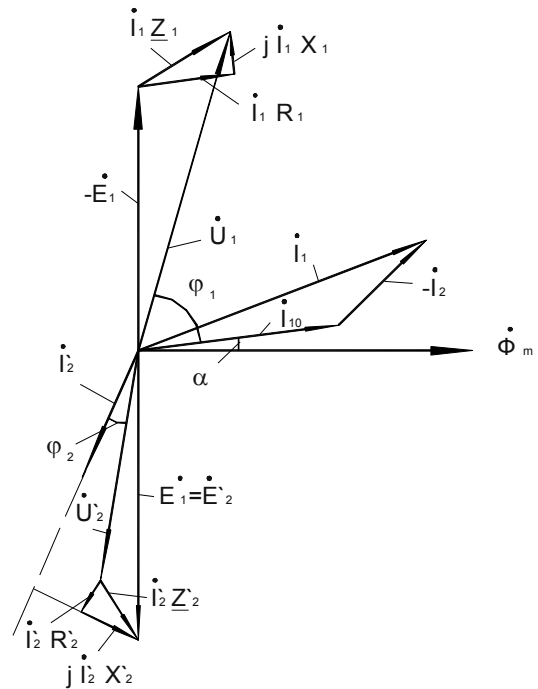


Рис. 4.6, б

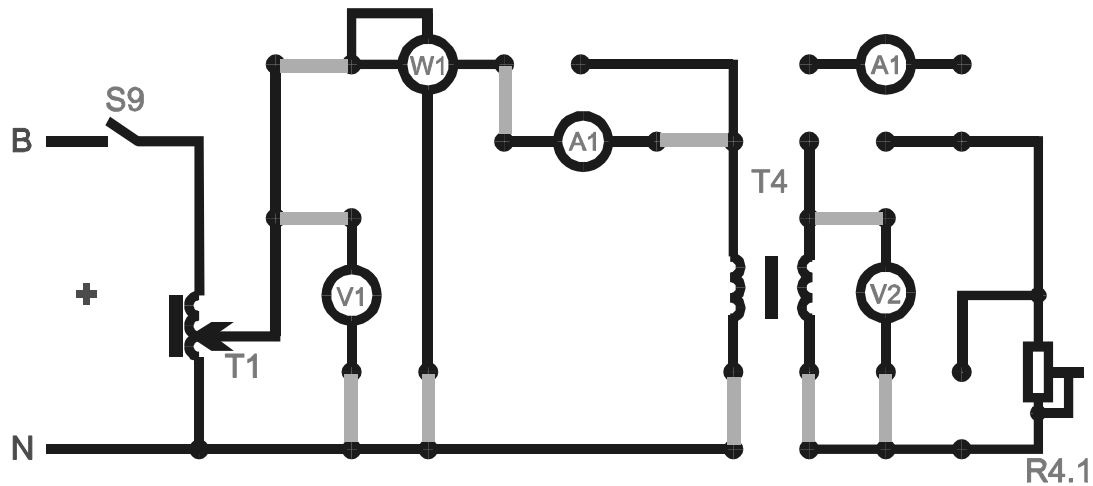


Рис. 4.7.

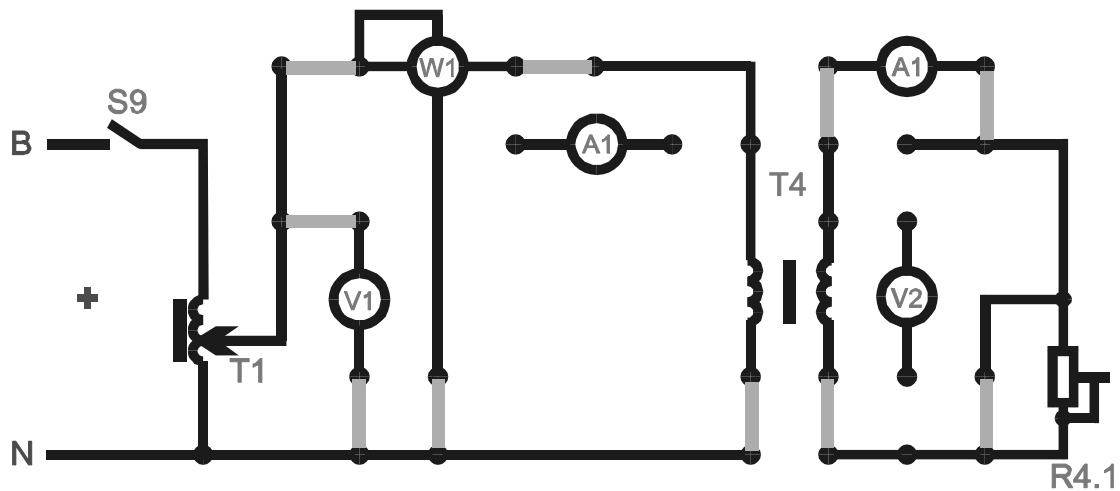


Рис. 4.8.

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 А1 в первинне коло дослідного трансформатора Т4, згідно рис. 4.9.

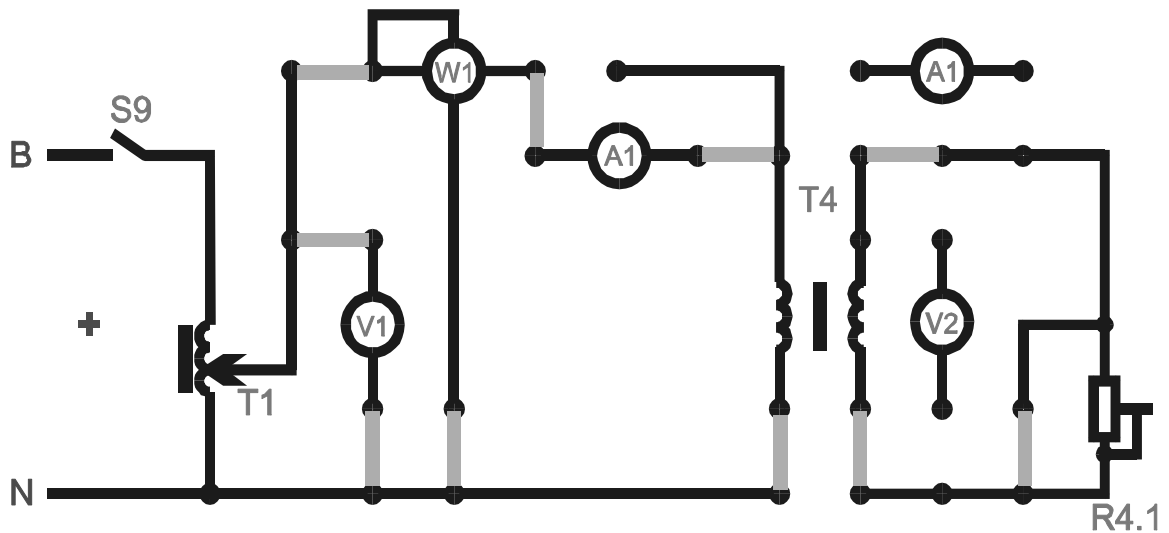


Рис. 4.9

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.

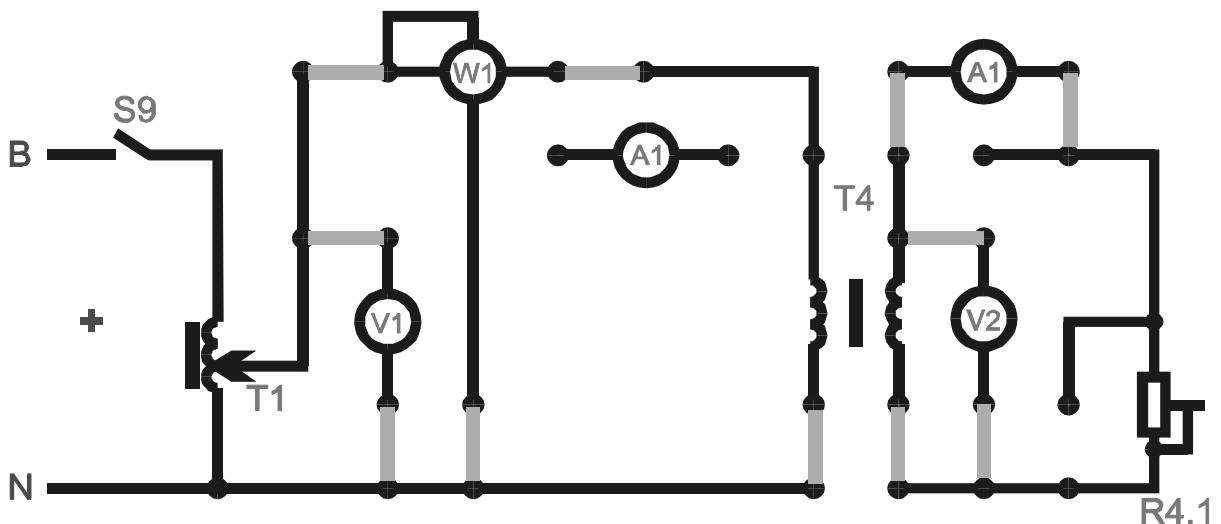


Рис. 4.10.

Увімкнути стенд тумблером “Мережа”. Увімкнути схему тумблером  $S9$ . Встановите напругу на первинній обмотці перемикачем  $T1$ ,  $V_\phi = 220V$ . Змінюючи вели-

чину опору навантаження перемикачам  $R4$  (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. Обчисліть коефіцієнт трансформації.

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

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

4.4.5. Накресліть 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 дослід 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?

## 5. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

### 5.1. Мета роботи

5.1.1. Вивчити конструкцію трифазного трансформатора.

5.1.2. Визначити фазний і лінійний коефіцієнти трансформації трифазного трансформатора при різних способах з'єднання фаз його обмоток.

5.1.3. Побудувати характеристики трансформатора у функції вторинного струму при симетричному навантаженні.

5.1.4. Визначити номінальний к.к.д. трансформатора.

### 5.2. Основні теоретичні положення

Трифазні трансформатори перетворюють електричну енергію в трифазних колах з одним співвідношенням лінійної напруги і струмів в електричну енергію з іншим співвідношенням вказаних величин при незмінній частоті.

У стержневих трифазних трансформаторах з розташуванням трьох стержнів в одній площині, замкнутих зверху і знизу ярмами, є дві трифазні обмотки - вищої напруги (ВН) і нижчої напруги (НН), в кожену з яких входять по три фазні обмотки або фази.

Трифазний трансформатор має 12 виводів від 6 незалежних фазних обмоток. Початкові виводи фаз обмотки вищої напруги позначають буквами *A, B, C*, кінцеві виводи - *X, Y, Z*, а для фаз обмотки нижчої напруги приймають аналогічні позначення - *a, b, c, x, y, z*. Фазні обмотки вищої і нижчої напруги сполучають зіркою або



трикутником. з'єднання зіркою позначають -Y, її нейтральні точки - буквами N, n, з'єднання трикутником - Δ.

Фазний коефіцієнт трансформації трифазного трансформатора визначають відношенням фазних напруг при неробочому руху

$$n = U_{1\phi x} / U_{2\phi x};$$

Лінійний коефіцієнт трансформації визначають аналогічно:

$$n = U_{1\text{лх}} / U_{2\text{лх}}.$$

Якщо з'єднання фазних обмоток виконане по схемах Y/Y або Δ/Δ, то обидва коефіцієнти трансформації однакові:

$$n_{\text{л}} = n_{\phi}.$$

При з'єднанні фаз обмоток по схемі Y/Δ:

$$n_{\text{л}} = n_{\phi} \sqrt{3},$$

а по схемі Δ/Y:

$$n_{\text{л}} = n_{\phi} / \sqrt{3}$$

Властивості трифазного трансформатора при симетричному навантаженні визначають за його характеристиками:

$$U_{2\text{л}}(I_{2\text{л}}), I_{1\text{л}}(I_{2\text{л}}), \cos\varphi_1(I_{2\text{л}}), \eta(I_{2\text{л}})$$

при  $U_{1\text{л}} = \text{const}$ ;  $f = \text{const}$  і  $\cos\varphi_2 = \text{const}$ , які можна отримати з дослідів.

Коефіцієнт потужності трифазного трансформатора:

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{(\sqrt{3})U_{1\text{л}}I_{1\text{л}}},$$

де  $P_1$  - активна потужність з боку первинної обмотки трансформатора;

$U_{1\text{л}}$ ,  $I_{1\text{л}}$  - лінійна напруга і лінійні струми в первинній обмотці трансформатора.

К.К.Д. трансформатора:

$$\eta = \frac{\beta S_{\text{H}} \cos\varphi_2}{\beta S_{\text{H}} \cos\varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_{\text{K}}},$$

де  $\beta$  - коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$\beta = I_2 / I_{2\text{H}};$$

$S_H$  - номінальна потужність трансформатора:

$$S_H = \sqrt{3} U_{1H} I_{1H} = \sqrt{3} U_{2H} I_{2H} ;$$

$\cos\varphi^2$  - коефіцієнт потужності навантаження;

$P_0$  і  $P_K$  - потужності, що відповідають відповідно дослідам холостого ходу і короткого замикання;

$I_2$  і  $I_{2H}$  - відповідно струм навантаження вторинної обмотки трансформатора і номінальний струм.

Річний к.к.д. трансформатора знаходять так:

$$\eta_{\text{рік}} = \frac{W_2}{W_2 + W_0 + W_K},$$

де  $W_2 = \Sigma \beta S_H \cos 2\varphi ti$  - енергія, віддана трансформатором за рік;

$W_0 = 8760P_0$  - енергія, що відповідає річним втратам в магнітопроводі;

$W_K = \Sigma \beta^2 P_K ti$  - енергія, яка відповідає річним втратам в обмотках.

### 5.3. План роботи

#### 5.3.1. Визначення коефіцієнта трансформації.

УВАГА! Перед проведенням роботи переконайтесь що всі галетні перемикачі Латрів (Т1, Т1.1, Т1.3) встановлені в поз.“0”. При роботі з трифазним Латром Т1 не допускається одночасне використання однофазних Латрів Т1.1 і Т1.3.

Зберіть схему згідно рис. 5.1. Увімкніть стенд тумблером “Мережа”, включите зібрану схему тумблером S8. Перемикачем Т1, Vф поставити напругу 220В. Використовуючи вольтметр V1, заміряйте фазну напругу первинної і вторинної обмоток. По вимірних величинах визначите коефіцієнт трансформації дослідного трансформатора ТЗ.

Встановити перемикачем Т1, Vф напругу 220В. Увімкніть стенд тумблером “Мережа”. Включите схему роботи тумблером S8. Виміряти фазну напругу на первинній обмотці трансформатора ТЗ вольтметром V1. Зняти покази приладів А1, W1.

#### 5.3.3. Дослід короткого замикання.

Зібрати схему згідно рис.5.3. Вивести пакетний перемикач  $T1$ ,  $V\phi$  в положення 0. Включити стенд та схему лабораторної роботи тумблером “Мережа”,  $S8$ .

Змінюючи первинну напругу перемикачем  $T1$ ,  $V\phi$  від 0 до 20В (ручку галетника ЛАТРа  $T1$  встановлювати тільки в межах 0-20 В, щоб запобігти виходу з ладу елементів системи) зняти показання  $A1$ ,  $V1$  и  $W1$  при положенні галетника на 20В.

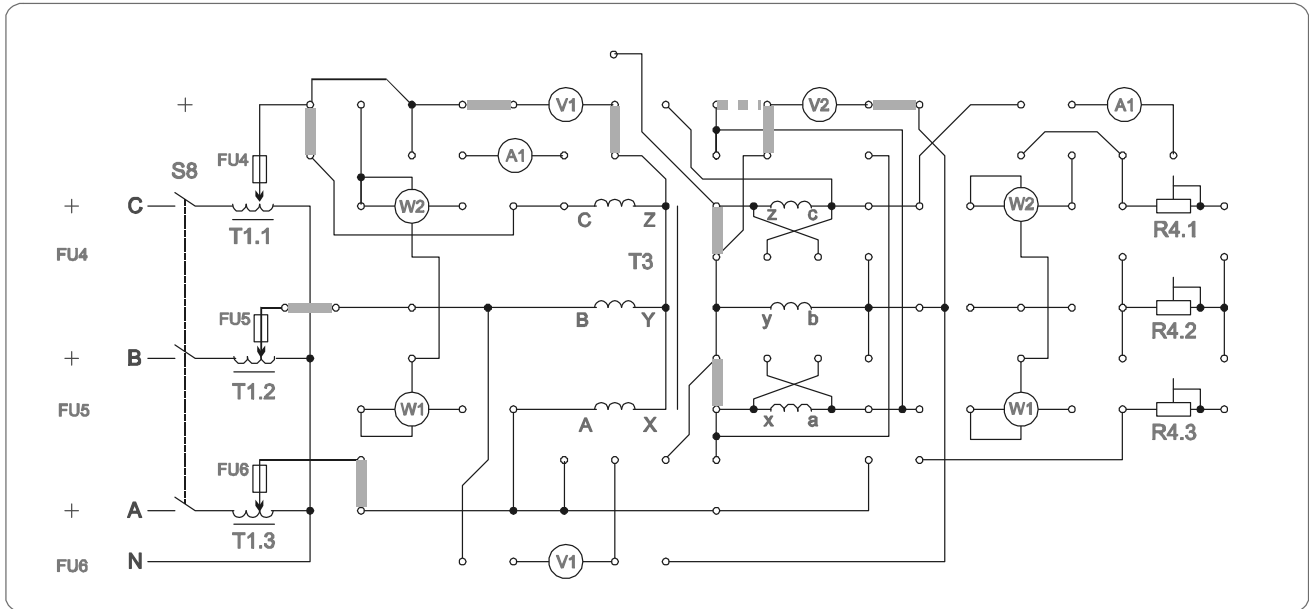


Рис. 5.1.

### 5.3.2. Дослід неробочого руху.

Зберіть схему відповідно рис. 5.2.

Встановить перемикачем  $T1$ ,  $V\phi$  напругу 220В. Увімкніть стенд тумблером “Мережа” та схему роботи тумблером  $S8$ . Виміряйте фазну напругу на первинній обмотці трансформатора  $T3$  вольтметром  $V1$ . Зніміть покази приладів  $A1$ ,  $W1$ .

### 5.3.3. Дослід короткого замикання.

Зібрати схему відповідно до рис. 5.3. Встановити пакетний вимикач  $T1$ ,  $V\phi$  у положення. Увімкнути стенд і схему лабораторної роботи тумблером “Мережа”,  $S8$ .

Змінюючи первинну напругу за допомогою перемикача  $T1$ ,  $V\phi$  від 0 до 20 В (ручку галетника ЛАТРа  $T1$  встановлювати тільки у межах 0-20 В, для запобігання виходу з ладу елементів схеми) зніміть покази  $A1$ ,  $V1$  і  $W1$  при положенні галетника на 20 В.

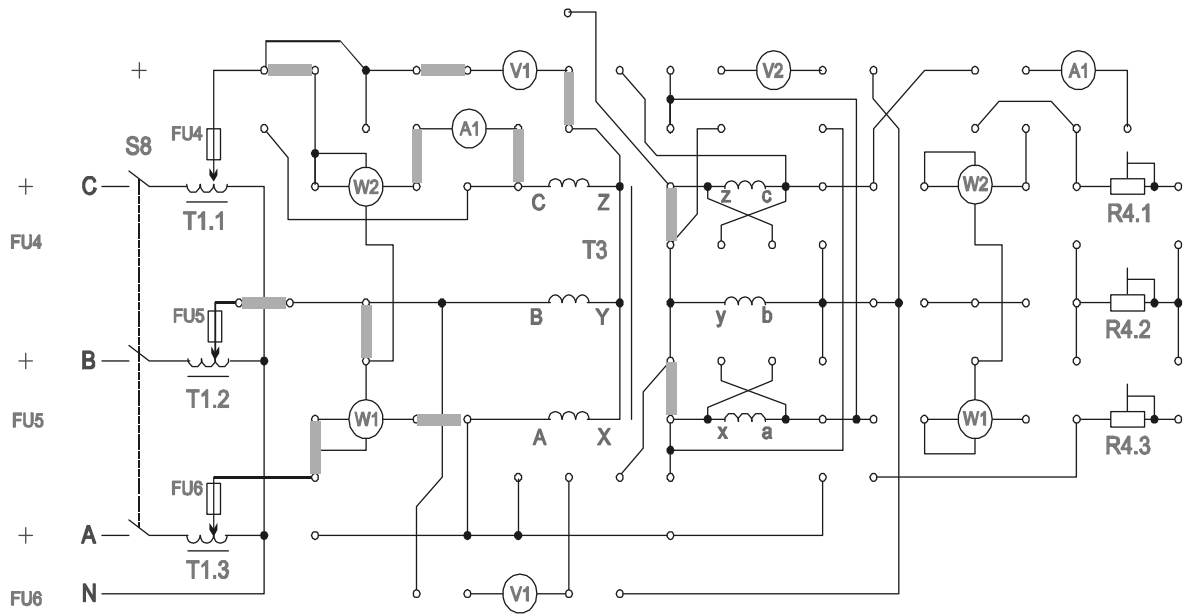


Рис. 5.2.

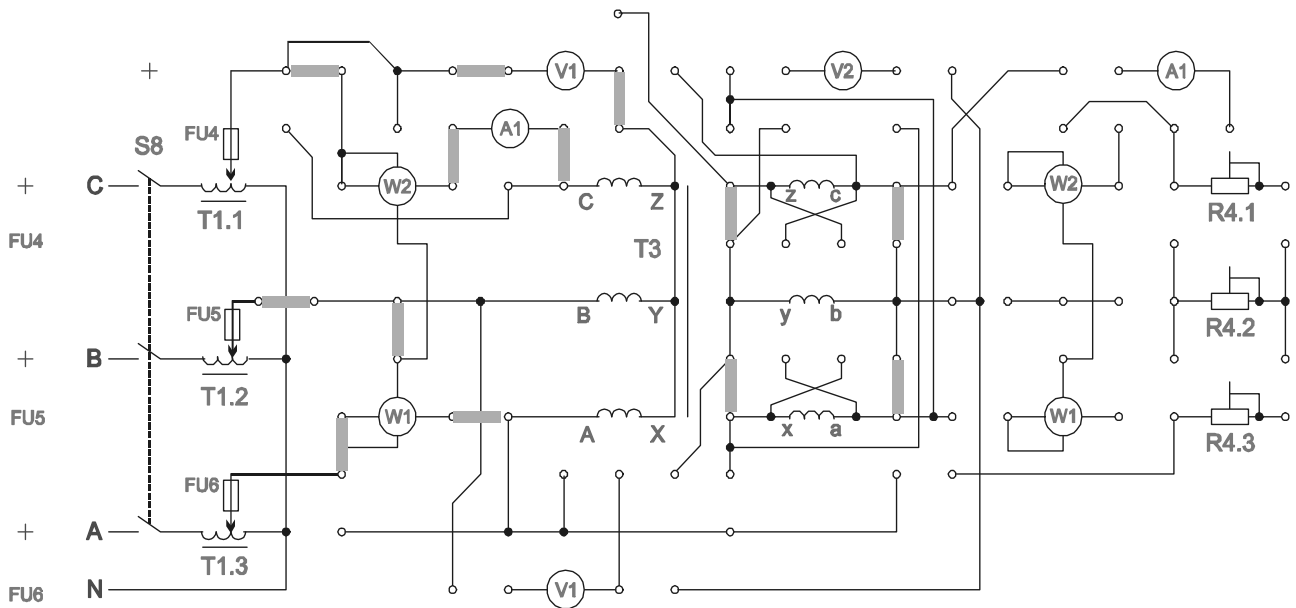


Рис. 5.3.

#### 5.3.4. Робота трансформатора під навантаженням.

Зберіть схему згідно рис. 5.4. Змінювати величину опорів навантажень  $R4$  (положення 1-6), використовуючи прилади  $A1$ ,  $W1$ ,  $V1$ , зніміть їх показання (щоб запобігти перегріву резисторів навантажень при великих струмах навантаження, після 5 хвилин роботи необхідно зробити паузу 5-10 хвилин.)

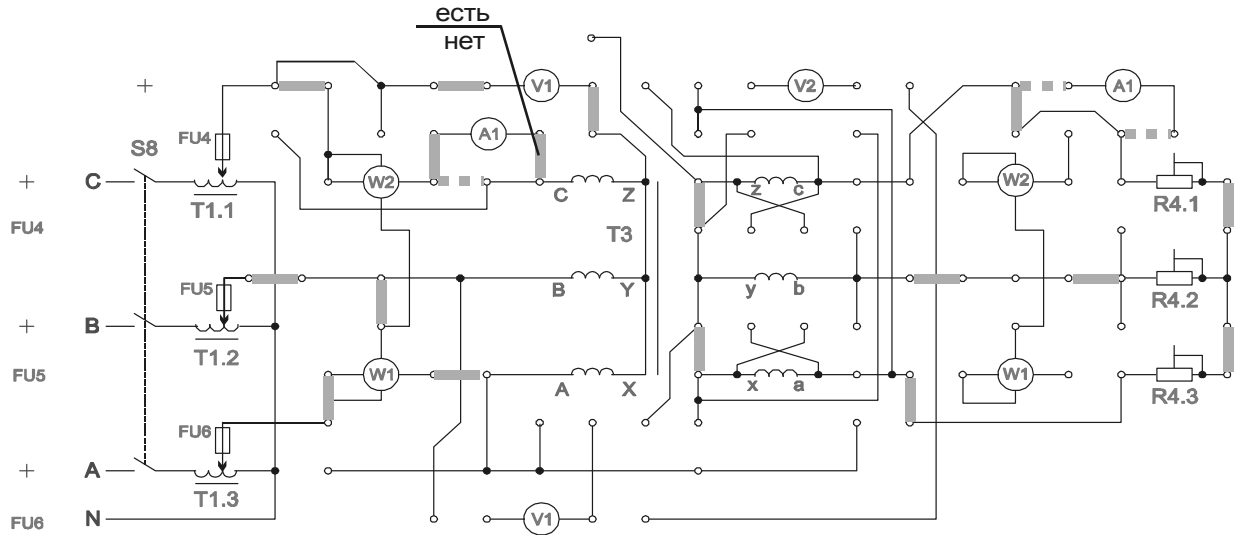


Рис. 5.4.

#### 5.4. Обробка результатів лабораторної роботи

5.4.1. Обчислити коефіцієнти трансформації трифазного трансформатора: фазний і лінійний.

5.4.2. Розрахувати для режиму навантаження коефіцієнт потужності і к.к.д. трансформатора.

5.4.3. Побудувати в загальній системі координат характеристики трансформатора у функції вторинного струму:  $U_{2л}(I_{2л})$ ,  $I_{1л}(I_{2л})$ ,  $\cos\varphi(I_{2л})$ ,  $\eta(I_{2л})$

5.4.4. Визначити номінальний і річний к.к.д. трансформатора, якщо він працює 3 місяці в році з навантаженням 80, 5 місяців з навантаженням 100 і 4 місяці в режимі холостого ходу.

#### 5.5. Контрольні питання

5.5.1. Як влаштований трифазний трансформатор?

5.5.2. Що називають фазним і лінійним коефіцієнтом трансформації?

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

5.5.4. Чому к.к.д. трансформатора залежить від навантаження?

5.5.5. Як визначають коефіцієнт навантаження трансформатора?

5.5.6. Яка область застосування трифазних трансформаторів?

## 6. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГРУП З'ЄДНАНЬ ТРИФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

### 6.1. Мета роботи

6.1.1. Вивчити різноманітні групи з'єднань фазних обмоток трьохфазних трансформаторів

### 6.2. Основні теоретичні положення

Кожному типу фазних обмоток трифазного трансформатора відповідає визначений кут зсуву векторів лінійних низьких напруг до відповідних їм векторів лінійних високих напруг. Цей кут залежить від напрямку накручування обмоток, маркування виводів та прийнятого типу з'єднань фазних обмоток. При однаковому напрямку накручування, одному й тому ж маркуванню виводів та з'єднань фазних обмоток по схемі  $Y/Y$  кут між векторами лінійних напруг  $U_{ab}$  та  $U_{AB}$  дорівнює нулю, і такий трансформатор відноситься до групи 0. В випадку з'єднання фазних обмоток по схемі  $Y/\Delta$  кут дорівнює  $330^\circ = 30^\circ 11$  і трансформатор відноситься до групи 11.

При різних напрямках фазних обмоток високої та низької напруги трансформатори відносяться відповідно до груп 6 та 5, оскільки кут між векторами відповідних лінійних напруг дорівнює  $180^\circ = 30^\circ 6$  та  $150^\circ = 30^\circ 5$ . Стандартними групами з'єднань фазних обмоток трьохфазних трансформаторів являються:

$$Y/Y_n-0; Y/\Delta-11; Y_n/\Delta-11; \Delta/Y_n-11; \Delta/\Delta-0,$$

де знак  $Y_n$  – позначається з'єднання зірочкою з виділеною нейтральною точкою.

Аналогічно знаходять наступні пари затисків інших фазних обмоток трансформатора. Відзначимо, що при підведенні проводів мережі змінної напруги до фазних обмоток вищої напруги відхилення стрілки вольтметра будуть меншими, а при приєднанні до аналогічних обмоток нижчої напруги - великими внаслідок їх різного опору.

Приналежність фазних обмоток вищої і нижчої напруги до однієї і тієї ж фази трансформатора встановлюють почерговим підключенням кожної фазної обмотки вищої напруги до мережі змінної напруги, якщо останнє, не вище за номінальну

напругу обмотки, що підключається, з вимірюванням трьох е.р.с., що наводяться відповідними магнітними потоками у фазних обмотках нижчої напруги.

Фазна обмотка низької напруги, з найбільшим е.р.с., відповідає підключеній фазній обмотці високої напруги, т.е. обидві обмотки розташовані на одному стержні магнітопроводу і належать одній фазі трансформатора.

Після визначення затискачів обмоток високої та низької напруги різних фаз знаходять початки та їхні кінці. Для цього приймають один з затискачів фазної обмотки високої напруги за початок  $A$ , а другий за кінець  $X$ , збирають установку (рис. 6.1), де позитивний полюс джерела з'єднують із затискачем  $A$ , а до затисків відповідної фазної обмотки нижчої напруги приєднують магнітоелектричний вольтметр з нулем посередині шкали і вказаною полярністю його затискачів. Якщо замикання кнопки  $K_n$  викличе відхилення стрілки вольтметра вправо від нульової відмітки, а при розмиканні її вліво, то затиск вольтметра, відмічений знаком "+", буде сполучений з початком " $a$ " фазної обмотки нижчої напруги, а при зворотному відхиленні стрілки вольтметра затиск його, відмічений знаком "+", буде сполучений з кінцем " $x$ " цієї ж обмотки. Далі затиски фазних обмоток вищої напруги на змінному струмі (рис. 6.2.в), для чого обмотку  $AX$  сполучають послідовно з іншою обмоткою високої напруги, а до затискачів третьої обмотки приєднують електромагнітний вольтметр. Регулюючий реостат  $R_p$  необхідний, якщо змінна напруга мережі  $A, B$  перевищує номінальну напругу трансформатора. Якщо включення 2-х полюсного вимикача викличе значне відхилення стрілки вольтметра, то затиск  $X$  виявиться приєднаним до затискачів  $A$ , а якщо його свідчення близькі до нуля, то затискач  $X$  буде приєднаний до затискача  $Y$ . Після визначення початку  $B$  і кінця  $Y$  другої обмотки високої напруги на її місце включають третю обмотку, а вольтметр приєднують до затискачів  $B$  і  $Y$ , а потім знаходять затискачі  $C$  і  $Z$ . Також розмічають затискачі  $b, y, c$  обмоток низької напруги.

Після з'єднання розмічених фазних обмоток високої і низької напруги зіркою або трикутником приступають до перевірки групи з'єднання трифазних обмоток методом постійного струму за допомогою магнітоелектричного вольтметра з нулем посередині шкали і вказаною полярністю його затискачів високої напруги, наприклад  $A$  і  $B$ , при дотриманні відповідної полярності викликає у момент зами-

кання кнопки  $K_n$  наведення у фазних обмотках низької напруги миттєвих е.р.с., напрям яких залежить від групи з'єднання обмоток трансформатора. Почергове приєднання відповідних затисків вольтметра до затисків  $a$  і  $b$ ,  $b$  і  $c$  дозволяє встановити як нульове значення різниці потенціалів, так і напрям миттєвої е.р.с., вважаючи його позитивним при замиканні кнопки  $K_n$  і відхиленні стрілки вольтметра вправо від нульової відмітки шкали і негативним при протилежному її зсуві від нуля. Аналогічні досліди проводять при черговому підключенні джерела до затисків  $B, C$  і  $A, C$  із записом дев'яти випадків в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1

Гр 0	$A,$ $B$	$B,$ $C$	$A,$ $C$	Гр 11	$A,$ $B$	$B,$ $C$	$A,$ $C$	Гр 6	$A,$ $B$	$B,$ $C$	$A,$ $C$	Гр 5	$A,$ $B$	$B,$ $C$	$A,$ $C$
$a,b$				$a,b$				$a,b$				$a,b$			
$b,c$				$b,c$				$b,c$				$b,c$			
$a,c$				$a,c$				$a,c$				$a,c$			
Відхилення стрілки				Відхилення стрілки				Відхилення стрілки				Відхилення стрілки			

а)

б)

в)

г)

Підключення джерела до будь-яких двох затисків трифазної обмотки

Оскільки кожній групі з'єднання 3-х фазних обмоток відповідають певні відхилення стрілки вольтметра, то за наслідками дослідів можна встановити належність трансформатора до тієї або іншої групи. У момент розмикання кнопки  $K_n$  е.р.с., що наводяться у фазних обмотках низької напруги, викликають протилежні відхилення стрілки вольтметра, що необхідно враховувати при використанні цих спостережень для визначення групи з'єднання обмоток трансформатора.

### 6.3. План роботи

При проведенні роботи дотримуйтесь обережності оскільки вимірювана напруга може перевищувати 250В! КОМУТАЦІЮ В СХЕМІ ПРОВОДИТИ ТІЛЬКИ ПРИ ВІДКЛЮЧЕНОМУ ЖИВЛЕННІ!



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

6.3.1. Визначення групи з'єднань фазних обмоток трансформатора Y/Y-0. Зберіть схему згідно рис. 6.1.

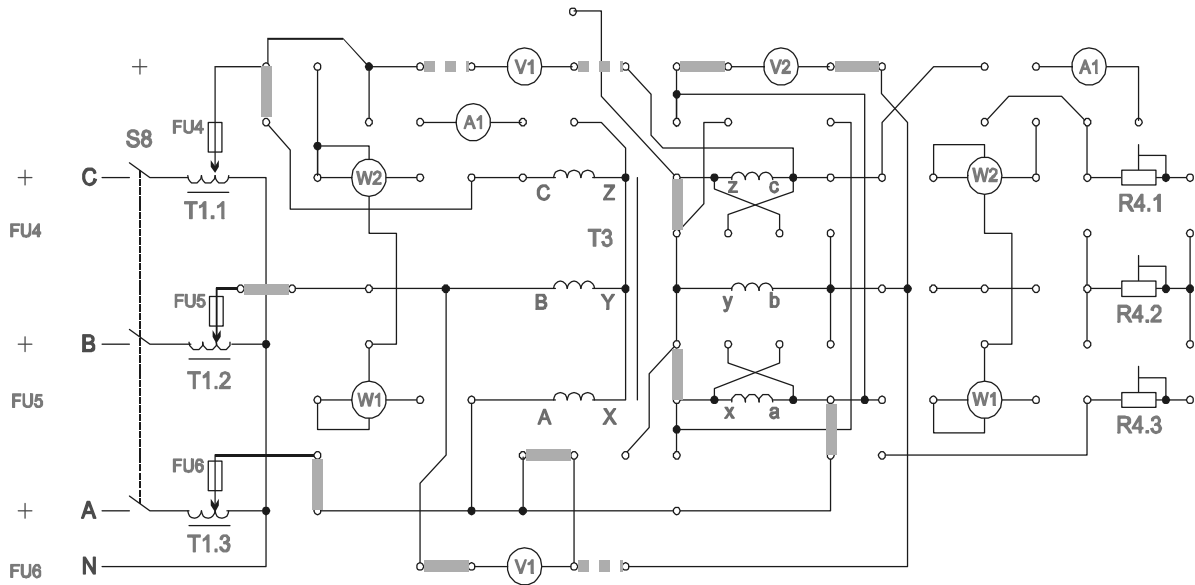


Рис. 6.1.

Вмикаючи стенд і схему лабораторної установки перемикачами  $S1$ ,  $S8$ , встановити пакетним перемикачем Т1,  $V_f$  напругу 130В.

Використовуючи вольтметр  $V1$ , зміряйте  $U_{AB}$ ,  $U_{ab}$ ,  $U_{Bb}$ ,  $U_{Cc}$ .

По формулах розрахуйте величини:

$$U_{Bb} = \kappa U_{ab} - U_{ab} = U_{ab}(\kappa - 1);$$

$$U_{Cc} = U_{ab}(\kappa - 1);$$

де  $\kappa = U_{AB}/U_{ab}$ .

Співпадання результатів розрахунку та експерименту вказує, що, отримана група з'єднань 0.

6.3.2. Для отримання з'єднань Y/Y-6 – зберіть схему, показану на рис.6.2.

Використовуючи вольтметр  $V1$  и тестер, Виміряйте напругу  $U_{Xy}$ ,  $U_{By}$ ,  $U_{Cz}$ .

за формулами:

$$U_{By} = U_{Xy} (\kappa + 1),$$

$$U_{Cz} = U_{Xy} (\kappa + 1),$$

визначте напругу  $U_{By}$  та  $U_{Cz}$ . При співпаданні результатів вимірювань та розрахунків група з'єднань будуть  $Y/Y-6$ .

6.3. Для отримання з'єднань  $Y/\Delta-11$  зібрати схему на рис.6.3.

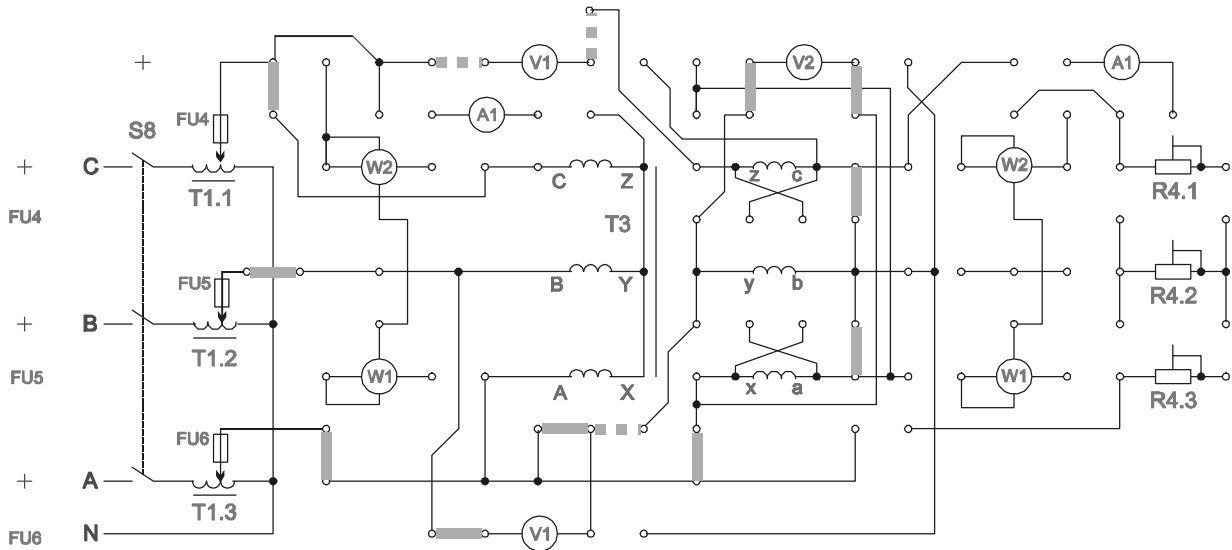


Рис. 6.2.

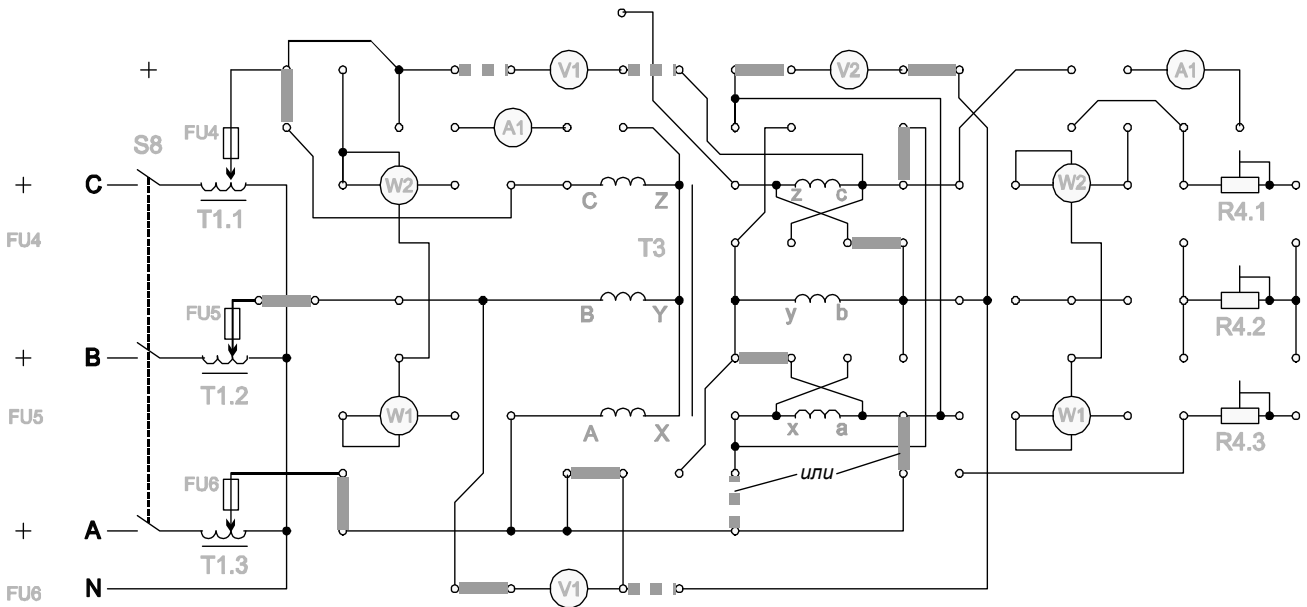


Рис. 6.3.

Вольтметром  $V1$  і тестером виміряти напругу  $U_{ab}$ ,  $U_{Bb}$ ,  $U_{Cc}$ . З використанням формули

$$U_{Bb} = U_{Cc} = \sqrt{(1 - \sqrt{3k + k^2})} \cdot U_{ab},$$

визначити  $U_{Bb}$ ,  $U_{Cc}$ . Співпадання результатів розрахунку і експерименту вказує, що група з'єднань  $Y/\Delta$ -11.

Якщо результати вимірювань суттєво відрізняються від розрахунку, необхідно переставити перемичку з'єднань первинних обмоток з вторинними в позицію, позначену пунктирною лінією.

#### 6.4. *Опрацювання даних лабораторної роботи*

6.4.1. Провести розрахунки по п.п. 3.3.1., 3.3.2., 3.3.3. та перевірити відповідність результатів розрахунку групам з'єднань фазних обмоток трифазного трансформатора.

#### 6.5. *Контрольні питання*

6.5.1. Які можуть бути типи і групи з'єднання обмоток трифазних трансформаторів?

6.5.2. Як визначають за допомогою вольтметра групу з'єднання обмоток трифазного трансформатора?

### 7. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

#### **ДОСЛІДЖЕННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНУТИМ РОТОРОМ**

##### 7.1. *Мета роботи*

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

7.1.2. Зняти і побудувати робочі і механічну характеристики двигуна.

##### 7.2. *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 напрямку, 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:

$$E_1 = 4,44K_{об1} f_1 W_1 \Phi m,$$

$$E_2 = 4,44K_{об2} f_2 W_2 \Phi m.$$

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

$$E_{2к} = 4,44K_{об2} f_1 W_2 \Phi m,$$

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;

$\Phi m$  - 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  $U = I_p Z$ , призведе до зниження напруги живлення двигуна та до зменшення обертового моменту, а також до додаткового нагріву машини.

Обертовий момент асинхронного двигуна може бути визначений:

$$M = \frac{4,44 m f_1 W_2 \Phi m K_{о62} I_2 \cos \varphi_2}{\omega} = C \Phi m I_2 \cos \varphi_2,$$

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:

$$M_{ем} = \frac{m I R}{s}$$

отримаємо:

$$M = \frac{p m (U_{1\phi})^2 R_2'}{2\pi f_1 s [(R_1 + R_2'/s)^2 + (X_1 + X_2')^2]},$$

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;

$$s_k = \frac{R'_2}{X_k}; \quad X_k = X_1 + X'_2; \quad M_k = \frac{mpU^2_1\Phi}{4\pi f_1 X_k};$$

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:

$$P_{M1} + P_{M2} = (I_1)^2 R_1 + (I_2)^2 R_2.$$

### 7.3. План роботи

7.3.1. Зібрати схему згідно рис. 7.1.

7.3.2. 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.

7.3.3. 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 (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.

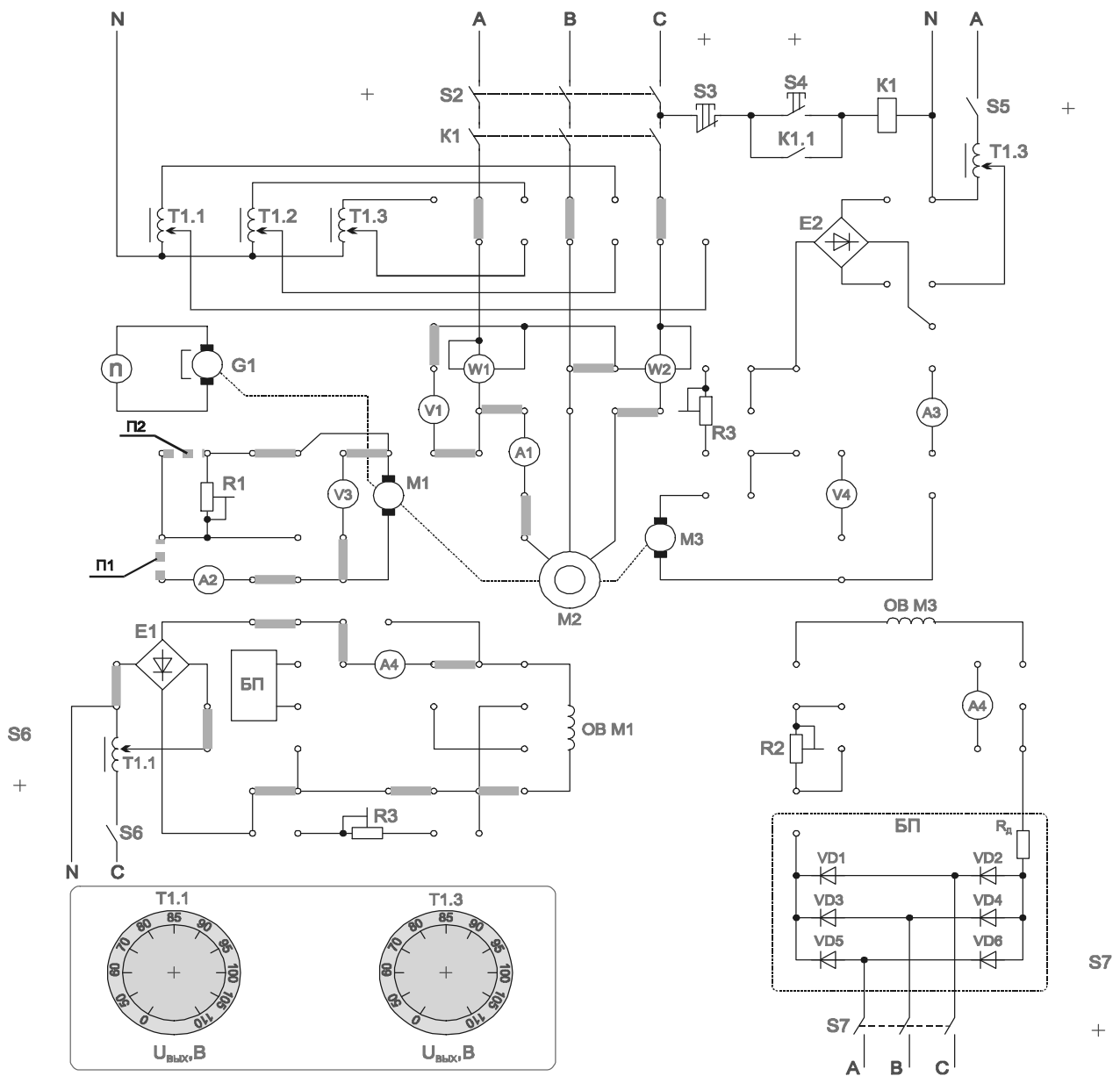


Рис. 7.1.

Для зняття робочих характеристик встановіть перемичку П1. Увімкніть стенд тумблером “Мережа”, схему лабораторної установки тумблером S2, асинхронний двигун кнопкою S4. Тумблером S6 включіть ЛАТР Т1.1 і встановіть його регулятор в положення “50” і змінійте навантаження генератора резистором R1 (положення 1-6) і при необхідності отримання  $R1 = 0$  встановити перемичку П2. Змінюючи положення регулятора ЛАТРа Т1.1 можна збільшувати навантаження на асинхрон-



ний двигун, при прослизанні пасика по шківках – зменшить напругу ЛАТРа. Дані вимірювань занести в табл. 7.1.

Дослід короткого замикання.

Зафіксуйте рукою шків асинхронного двигуна. (При необхідності встановити який з двигунів є шуканим, зніміть пасік з шківів і запусіть двигун кнопкою). Включіть стенд тумблером “Мережа”, схему лабораторної установки тумблером S2, здійсніте короткочасний запуск асинхронного двигуна кнопкою S4. Запам'ятати по черзі свідчення приладів і відключити двигун кнопкою S3.

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 7.1.

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.

#### 7.3.4. Вказівки по визначенню розрахункових величин

##### 7.3.4.1. Потужність, яка підводиться до двигуна

$$P_1 = P_{W1} + P_{W2},$$

де  $P_{W1}$  і  $P_{W2}$  - показники ватметрів.

##### 7.3.4.2. 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.

##### 7.3.4.3. Обертвий момент на валу двигуна:

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

##### 7.3.4.4. Ковзання двигуна:

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

7.3.4.5. ККД двигуна:

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

7.3.4.6. 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.

#### 7.4. Обробка результатів лабораторної роботи

7.4.1. Побудувати робочі характеристики двигуна.

7.4.2. Побудувати механічну характеристику двигуна:

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

#### 7.5. Контрольні питання

7.5.1. Пристрій асинхронного двигуна і принцип його дії.

7.5.2. Від чого залежить швидкість обертання магнітного поля статора?

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

7.5.4. Що називається ковзанням?

7.5.5. Чому у момент пуску струм статора найбільший?

7.5.6. Які способи зниження пускового струму?

7.5.7. Від яких параметрів залежить момент обертання двигуна?

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

7.5.9. Що таке критичне ковзання?

7.5.10. Пояснити механічну характеристику двигуна.

7.5.11. Які способи регулювання частоти обертання двигуна?

7.5.12. Пояснити робочі характеристики двигуна.

## 8. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

### ДОСЛІДЖЕННЯ СЕЛЬСИНІВ В ІНДИКАТОРНОМУ І ТРАНСФОРМАТОРНОМУ РЕЖИМАХ РОБОТИ

#### *8.1. Мета роботи*

8.1.1. Ознайомитися з конструкцією і принципом роботи сельсинів.

8.1.2. Досліджувати роботу сельсинів в індикаторному і трансформаторному режимах.

#### *8.2. Основні теоретичні положення*

У сучасній техніці часто виникає необхідність в синхронізації обертання або повороту осей механізмів.

Для дистанційного керування, регулювання або контролю застосовуються індукційні електричні машини - трифазні або однофазні сельсини.

Однофазні сельсини - це звичайно невеликі індукційні машини, які мають однофазну обмотку збудження і трифазну обмотку синхронізації

У схемах автоматики використовуються дві системи синхронного зв'язку передачі кута: індикаторна і трансформаторна.

Індикаторна система синхронного зв'язку застосовується там, де момент опору на веденій осі малий по величині.

Трансформаторна схема синхронного зв'язку застосовується там, де на веденій осі є значний момент опору. По конструкції сельсини діляться на контактні, такі, що мають ковзаючі контакти, кільця, і безконтактні, такі, що не мають ковзаючих контактів. Сельсини випускаються на частоти: 50, 400, 500 Гц.

#### 8.2.2. Робота сельсинів в індикаторному режимі.

Проста індикаторна схема синхронного зв'язку для дистанційної передачі кута складається з двох абсолютно однакових сельсинів (приймача і датчика) і лінії зв'язку. Обмотки збудження (ОЗ) обох сельсинів підключаються до однофазної мережі змінного струму. Кінці фаз обмотки синхронізації приймача з'єднуються лінією зв'язку з кінцями фаз обмотки синхронізації датчика.

Змінний струм обмотки збудження сельсинів створює магнітний потік, який індукуює в обмотках синхронізації сельсинів е.р.с. Величина е.р.с. тієї або іншої фази обмотки синхронізації залежить від її просторового розташування відносно обмотки збудження. Якщо фази обмоток синхронізації датчика і приймача розташовані однаково щодо відповідних обмоток збудження ( $\alpha_d = \alpha_n$ ), то в сполучених між собою лінією зв'язку фазах обмоток синхронізації приймача і датчика індукуються однакові і зустрічно-направлені е.р.с. Ці е.р.с. врівноважують один одного, і в ланцюзі обмоток синхронізації струм відсутній. Таке положення ротора сельсинів називається узгодженим.

Якщо ротор датчика поворотом на деякий кут вивести з узгодженого режиму, то рівновага е.р.с., індуктованих у фазах обмоток синхронізації, порушиться. При цьому в обмотках синхронізації і лінії зв'язку з'являться струми. В результаті взаємодії цих струмів з потоком обмотки збудження сельсина - приймача виникає момент (що синхронізує), що обертає, який повертатиме ротор приймача до тих пір, поки він не прийде в узгоджене з ротором датчика положення. Величина синхронізуючого моменту, що розвивається сельсином - приймачем, залежить від кута розузгодження і параметрів сельсинів, що входять в систему.

Точність сельсинів в статичному режимі визначається похибкою  $\Delta\theta$ , яка представляє собою напівсуму максимального позитивного  $\theta_{max1}$  і максимального негативного відхилень  $\theta_{max2}$  (помилки) при різних положеннях ротора:

$$\Delta\theta = \frac{\theta_{max1} + \theta_{max2}}{2}.$$

Похибка сельсинів визначається в статичному режимі таким чином: повертають ротор датчика на  $360^\circ$  спочатку за годинниковою стрілкою, а потім проти годинникової стрілки, вимірюючи через кожних  $10^\circ$  кут розузгодження (помилку). При цьому визначають і  $\theta_{max1}$  і  $\theta_{max2}$ . Потім по формулі визначають  $\Delta\theta$ .

8.2.3. Робота сельсинів в трансформаторному режимі. Проста трансформаторна схема синхронного зв'язку складається з двох сельсинів - приймача і датчика, сполучених лінією зв'язку. У обмотку збудження сельсина - приймача підключається навантаження (або вимірювальний вольтметр).

Узгодженим положенням сельсинів в трансформаторному режимі називається таке положення роторів, при якому вихідна напруга приймача  $U_{\text{вих}}$  рівна нулю. Однофазна обмотка збудження сельсина датчика (ОЗД) підключається до мережі змінного струму. Струм цієї обмотки створює пульсуюче магнітне поле, яке, зчіплюючись з обмоткою синхронізації, наводить в її фазах е.р.с.:

$$E_{a_d} = E_m \cos \alpha_d;$$

$$E_{b_d} = E_m \cos(\alpha_d - 120^\circ);$$

$$E_{c_d} = E_m \cos(\alpha_d - 240^\circ),$$

величина яких залежить від положення фаз обмотки синхронізації щодо обмотки збудження.

Під дією е.р.с.  $E_{a_d}$ ,  $E_{b_d}$ ,  $E_{c_d}$  в сполучених між собою однойменних фазах обмоток датчика і приймача і лінії зв'язку виникають струми  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$ , величина яких визначається величиною, відповідною е.р.с., повними опорами фаз датчика  $Z_{фд}$ , приймача  $Z_{фп}$  і лінії зв'язку. Ці струми, протікаючи по фазах обмотки синхронізації приймача, створюють пульсуюче магнітне поле  $\Phi_{ap}$ ,  $\Phi_{bp}$ ,  $\Phi_{cp}$ .

Потоки фаз приймача  $\Phi_{ap}$ ,  $\Phi_{bp}$ ,  $\Phi_{cp}$  складаючись, утворюють результуючий магнітний потік  $\Phi_p$  обмотки синхронізації приймача, направлений під залежним від розузгодження кутом до однофазної обмотки збудження приймача ОЗП. Потік  $\Phi_p$ , пульсуючи з частотою мережі, наводить в однофазній (вихідній) обмотці приймача е.р.с. - вихідна напруга приймача  $U_{\text{вих}}$ .

За початок відліку кутів в сельсині - приймачі застосовується положення ротора, зрушеного відносно ротора сельсина - датчика на  $90^\circ$ . Напруга  $U_{\text{вих}}$  змінюється за законом синуса.

### 8.3. План роботи

#### 8.3.1. Індикаторний режим роботи сельсинів. Зберіть схему згідно рис. 8.1.

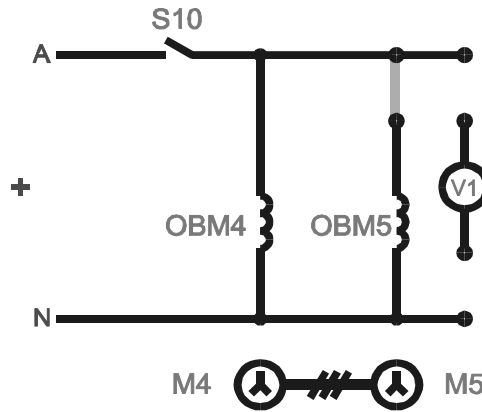


Рис. 8.1.

Увімкніть стенд перемикачем  $S1$ , схему лабораторної роботи тумблером  $S10$ . Повертаючи сельсин - датчик  $M4$ , вимірювати кут повороту сельсин - приймача  $M5$ .

### 8.3.2. Трансформаторний режим роботи сельсинів.

Зберіть схему згідно рис. 8.2.

Увімкніть стенд перемикачем  $S1$ , схему лабораторної роботи тумблером  $S10$ . Повертаючи ротор сельсина-датчика  $M4$  і зафіксувавши ротор сельсина - приймача  $M5$  знімається залежність напруги (вольтметр  $V1$ ) від кута повороту  $M4$ .

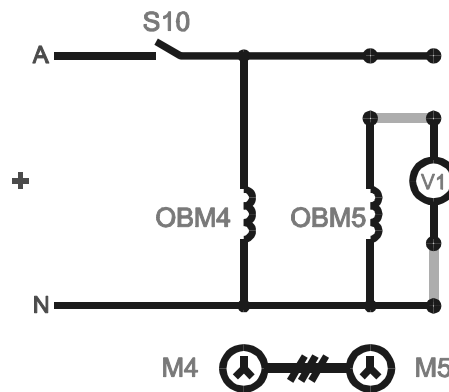


Рис 8.2.

## 8.4. Контрольні питання

8.4.1. Розкажіть про принцип дії сельсинів в індикаторному і трансформаторному режимах.

8.4.2. Як визначається точність сельсинів?

8.4.3. Розкажіть про пристрій сельсинів.

## РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА БАЛІВ ПО ДИСЦИПЛІНІ "ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ"

Оцінювання знань здобувачів вищої освіти здійснюється за рейтинговою системою балів. Для забезпечення конкретної оцінки всіх видів роботи здобувача вищої освіти а максимальна кількість залікових балів за кожний модуль приймається 100 з наступним перерахунком в загальну оцінку через коефіцієнт вагомості модуля. Оцінка виставляється у відповідності із приведеною шкалою.

Шкала оцінок

За шкалою ECTS	За національною шкалою	За шкалою навчального закладу (як приклад)
A	5 (відмінно)	90-100
BC	4 (добре)	75-89
DE	3 (задовільно)	60-74
FX	2 (незадовільно) з можливістю повторного складання	35-59
F	2 (незадовільно) з обов'язковим повтор- ним курсом	1-34

Вивчення дисципліни "Електричні машини" передбачає регулярне проведення контрольних заходів, успішне виконання яких у відведений термін надає семестрову рейтингову оцінку. Вказані заходи включають до себе проведення поточного, модульного та підсумкового контролю. Сума балів набрана здобувачем вищої освіти під час виконання всіх видів робіт за модуль сумується. За всі контрольні заходи протягом семестру з дисципліни здобувач вищої освіти може отримати до 60 балів. Здобувач вищої освіти, який отримав протягом семестру за всі контрольні заходи 45 і більше балів, може бути звільнений від складання іспиту.

Виконання лабораторної роботи складається з трьох етапів: підготовка до роботи, виконання дослідної та розрахункової частин, оформлення та захист звіту по роботі. При своєчасному виконанні вказаних етапів здобувач вищої освіти отримує максимальну кількість балів по лабораторній роботі.

## Зміст

Вступ.....	3
Пам'ятка по техніці безпеці.....	4
1. Ознайомлення з обладнанням для проведення лабораторних робіт з курсу "Електричні машини".....	5
2. Дослідження генератора постійного струму з незалежним збудженням.	10
3. Дослідження двигуна постійного струму з незалежним збудженням.....	15
4. Дослідження однофазного трансформатора .....	22
5. Дослідження трифазного трансформатора.....	32
6. Дослідження груп з'єднання трифазного трансформатора.....	38
7. Дослідження асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.....	43
8. Дослідження сельсинів в індикаторному та трансформаторному режимах роботи.....	51
Рейтингова система балів по дисципліні "Електричні машини".....	55



**ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ**

методичні рекомендації для проведення лабораторних робіт здобувачами ступеня вищої освіти «бакалавр» спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" денної та заочної форм навчання

Укладачі:  
Ставинський А. А.,  
Циганов О. М.

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк.11,8

Тираж 50 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 20.02.2013 р.