

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
за темою
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ПРИСТРОЇ
ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

з дисциплін
«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА» ТА
«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА В БУДІВНИЦТВІ»

*(для студентів усіх форм навчання за напрямками підготовки
6.060101 «Будівництво» та 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)»)*

Харків
ХНАМГ
2012

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт за темою «Електротехнічні пристрої та електричні вимірювання» з дисциплін «Електротехніка» та «Електротехніка в будівництві» (для студентів усіх форм навчання за напрямами підготовки 6.060101 «Будівництво» та 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: О. Ф. Білоусов, Я. Б. Форкун, Н. О. Сабалаєва, та ін. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 39 с.

Укладачі: доц., к.т.н. О. Ф. Білоусов,
доц., к.т.н. Я. Б. Форкун,
доц. к.т.н. Н. О. Сабалаєва,
доц., к.т.н. Д. В. Тугай,
доц., к.т.н. Ю. П. Колонтаєвський

Рецензент: проф., д.т.н. А. Г. Сосков

Рекомендовано кафедрою теоретичної та загальної електротехніки,
протокол № 12 від 21.06.2012 р.

Вступ

Електротехніка – це сукупність технічних наук, що вивчають одержання, розподіл, перетворення і використання електричної енергії, або, іншими словами, електротехнікою називається широке практичне застосування електромагнітних явищ. Широке використання електротехнічних пристроїв у промисловості передбачає вивчення основних способів їх застосування інженерами не тільки електричних спеціальностей.

Студенти будівельних спеціальностей «Промислове і цивільне будівництво», «Міське будівництво і господарство», «Технічне обслуговування, ремонт і реконструкція будівель», «Теплогазопостачання і вентиляція», «Водопостачання і водовідведення» повинні вміти використовувати основні досягнення електротехніки й забезпечити в практичних умовах разом з колегами-електриками, високоекономічну і продуктивну роботу різноманітних технічних об'єктів, використовувати досягнення електрифікації. Знання, здобуті при вивченні курсів «Електротехніка» і «Електротехніка в будівництві», повинні допомогти студентам цих спеціальностей грамотно вибирати і експлуатувати електротехнічне устаткування, що використовується на будівництві.

Ці методичні вказівки є продовженням методичних вказівок для лабораторних робіт з електротехніки за темою «Дослідження електричних лінійних кіл, що знаходяться під дією синусоїдної напруги» та разом охоплюють основні положення курсів «Електротехніка» і «Електротехніка в будівництві», затверджені в робочих і навчальних програмах вказаних дисциплін. В лабораторних роботах, що входять до цих методичних вказівок, досліджуються режими роботи трансформаторів, метрологічні характеристики електровимірювальних приладів та різні схеми випрямлячів. Розгорнутий огляд теоретичного матеріалу, що наводиться в методичних вказівках, дозволить студентам підготуватися до виконання лабораторних робіт, а також отримати чітку уяву про фізичні основи електромагнітних явищ, що досліджуються.

Усі лабораторні роботи студенти виконують на універсальних навчально-дослідницьких лабораторних стендах НДЛС-1. Кожна робота має кілька етапів, а саме: підготовка, виконання експерименту, обробка даних і оформлення звіту, складання заліку. У розділі «Загальні відомості» кожної лабораторної роботи студенти знайдуть необхідні положення з теорії електричних кіл за відповідною тематикою роботи. Під час виконання лабораторних робіт використовуються елементи набірної плати стенда.

ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ В ЛАБОРАТОРІЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

До виконання лабораторних робіт допускаються студенти, які пройшли інструктаж з техніки безпеки з наступним записом про це в спеціальному журналі. Значення напруг, з якими студент має справу при аналізі кіл на стендах НДЛС-1, є безпечними для життя людини. Усі джерела живлення забезпечені захистом від перевантажень. Тому збирання, перевірку і включення електричних кіл студенти проводять самостійно. Однак з огляду на те, що все обладнання лабораторії, в тому числі стенди і вимірювальні прилади, під'єднані до мережі 220/127 В, варто дотримуватися певних правил безпеки.

Під час роботи в лабораторії забороняється:

- доторкатися до труб опалювальної системи;
- самостійно включати вилки вимірювальних приладів у мережу;
- відключати заземлення вимірювальних приладів;
- виймати блоки стенда;
- залишати без нагляду включений стенд і вимірювальні прилади.

У разі пошкодження блоків стенда, елементів або вимірювальних приладів слід негайно відключити їх від мережі живлення і сповістити про це викладача.

По закінченні роботи на стенді необхідно виключити живлення всіх активних блоків стенда і вимірювальних приладів.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Роботу в лабораторії проводять відповідно до планів аудиторних занять. Зазвичай робота триває 2, 4 або 6 аудиторних годин. За цей час студент повинен виконати роботу, оформити звіт про неї і скласти залік за темою роботи.

Під час першого, вступного заняття, студенти формують бригади по 3 – 4 особи. За бригадою до кінця навчального року закріплюється робочий стенд, номер якого і є номером комплексу елементів набірної стенда та номером варіанта за цими методичними вказівками.

Перед тим як приступити до виконання роботи, студент отримує допуск, який свідчить про те, що він підготовлений до занять (вивчив теоретичний матеріал, підготував чернетку, зробив необхідні попередні розрахунки). Під час роботи за стендом забороняється голосно розмовляти, ходити по лабораторії, залишати лабораторію без дозволу викладача. Експериментальні дані, занесені до чернетки, наприкінці кожного досліду надають викладачеві. У разі невірних результатів досліди повторюють.

Під час виконання експериментів треба дотримуватись наступних правил:

- схеми складаються з використанням набору елементів, номер якого відповідає номеру стенда;
- схеми складаються за відключених джерел напруги;
- джерела вмикаються після перевірки викладачем складеного кола;
- по завершенні виконання кожного експерименту джерела живлення вимикаються.

До захисту роботи допускається студент, який виконав і оформив звіт про лабораторну роботу. Під час захисту студент повинен розв'язати задачу за темою лабораторної роботи і відповісти на запитання викладача (перелік теоретичних питань, які треба знати, наведений наприкінці кожної роботи).

ПОРЯДОК ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТІВ З ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Звіти виконують в учнівських зошитах або на аркушах формату А4.

Текст має бути написаний чітко й акуратно. Електричні схеми та графічну частину робіт, до якої входять графіки залежностей та діаграми, що є результатами дослідів або обчислень, необхідно виконувати згідно з вимогами державних стандартів на міліметровці із застосуванням креслярського приладдя.

Зразок титульного аркуша зошита, що містить всі звіти лабораторних робіт, наведений нижче. Після захисту останньої роботи студент повинен здати зошит викладачеві.

Звіт про лабораторну роботу має містити:

- назву роботи;
- мету роботи;
- перелік приладів, обладнання і елементів;
- назву першого дослідів й принципову схему досліджуваного кола;
- результати дослідження за першим дослідом (таблиці, графіки, розрахункові формули й обчислення);
- назву другого дослідів і т. ін. (див. попередні пункти);
- висновки.

Оформлення кожної роботи треба починати з нової сторінки.

Літерні позначення основних електричних величин і їхніх одиниць наведені в табл. 2.

ЗРАЗОК ТИТУЛЬНОГО АРКУША:

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧНОЇ ТА ЗАГАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

ЗВІТИ
З ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З ДИСЦИПЛІНИ "ЕЛЕКТРОТЕХНІКА"

Виконав
студент групи ОПБ 2008-1

Іванов О. М.

Перевірив
доц. кафедри ТіЗЕ

Тугай Д. В.

ХАРКІВ – ХНАМГ – 2012

Таблиця 1 – Літерні позначення основних електричних величин і їхніх одиниць

Найменування фізичної величини	Позначення		Найменування фізичної величини	Позначення	
	величина	одиниця		величина	одиниця
Ємність	C	Ф	Частота: - коливань - кутова	f ω	Гц рад/с
Заряд	Q	Кл	Струм	I, i	А
Індукція	B	Тл	Потенціал	V, φ	В
Індуктивність -власна -взаємна	L M	Гн Гн	Потокозчеплення	ψ	Вб
Коефіцієнт потужності в синусоїдному режимі	$\cos\varphi$	—	Проникливість (діелектрична) - вакууму - абсолютна - відносна	ϵ_0 ϵ_a ϵ	Ф/м Ф/м —
Коефіцієнт трансформації	n	—	Проникливість (магнітна) - порожності - абсолютна - відносна	μ_0 μ_a μ	Гн/м Гн/м —
Магнітний потік	Φ	Вб	Провідність: повна активна реактивна	Y G X	См См См
Потужність: -повна -активна -реактивна	S P Q	ВА Вт ВАР	Сила електрорушійна	E, e	В
Напруга	u, U	В	Зсув фаз між напругою і струмом	φ	рад(°)
Напруга поля: -електричного -магнітного	E H	В/м А/м	Опір - повний - активний - реактивний	Z R X	Ом Ом Ом
Початкова фаза	ψ	рад(°)	Число фаз багатofазної системи	m	—
Період	T	с	Число витків	n	—
Постійна часу	τ	с	Енергія електромагнітна	W	Дж

1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНИХ ТА ТРИФАЗНИХ ВИПРЯМЛЯЧІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА АКТИВНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

1.1 Мета работ:

- дослідження однофазного однопівперіодного випрямляча;
- дослідження однофазного мостового випрямляча;
- дослідження трифазного випрямляча (схема Міткевича).

1.2 Обладнання і прилади:

- універсальний навчально-дослідницький лабораторний стенд НДЛС-1;
- амперметр Э 537;
- вольтметр Э 59;
- осцилограф С1-72;
- мультиметр ВР-11.

1.3 Підготовчий етап лабораторної роботи включає вивчення теоретичного матеріалу [1– с. 514– 524; 11– с. 214–229].


Результатом підготовчого етапу є набуття навичок експериментального дослідження однофазних та трифазних випрямлячів, підключених до активного навантаження. та дослідження згладжувальних фільтрів.

1.4. Пояснення до роботи

В електротехніці зустрічаються навантаження, які споживають енергію тільки постійного струму (пристрої обчислювальної та електронної техніки, електричний транспорт, пристрої електрохімічної промисловості та ін.), але найбільш розповсюдженими є джерела, що виробляють енергію змінного струму. Тому виникає необхідність у перетворенні енергії змінного струму в енергію постійного струму. Пристрої, які забезпечують таке перетворення, називають випрямлячами.

Основою будь-яких випрямлячів є напівпровідниковий прилад, що називається діодом. Діод має два електроди, що називаються анодом (А) і катодом (К).

Діод може бути в двох станах – в провідному і непровідному. Якщо електричний потенціал анода вищий за потенціал катода, то діод буде в провідному стані (опір діода $R_d \approx 0$). У випадку, коли на аноді буде негативний потенціал відносно катода, діод буде знаходитися в непровідному стані ($R_d \rightarrow \infty$).

В електричних колах діод позначається так:  .

Принцип роботи однопівперіодного випрямляча полягає в наступному.

При підключенні послідовного з'єднання діода VD і активного опору R_H (рис. 1.1) до джерела синусоїдальної напруги $u_2(t) = U_m \sin \omega t$ у позитивний півперіод діод буде відкритим. Якщо прямим падінням напруги на діоді нехтувати (при $R_d \approx 0$), вважаючи діод ідеальним, то в позитивному півперіоді напруга джерела повністю прикладена до навантаження. Миттєве значення струму в колі буде: $i(t) = \frac{U_m}{R_H} \sin \omega t$.

У негативному півперіоді напруги джерела діод VD – закритий ($R_d \rightarrow \infty$), якщо знехтувати зворотним струмом, то негативна півхвиля напруги буде прикладена тільки до діода, і струм в навантаженні дорівнюватиме нулю.

Амплітуда негативної напівхвилі буде максимальною зворотною напругою діода $U_{дзвmax} = \sqrt{2} \cdot U_2$, де U_2 – діюче значення напруги джерела. Розглянуті процеси періодично повторюються з частотою джерела напруги. В такому випрямлячі навантаженням використовується тільки позитивний півперіод змінної напруги джерела. Струм і напруга на навантаженні R_H є пульсуючими і змінюються у межах від нуля до амплітуди вторинної напруги трансформатора U_m .

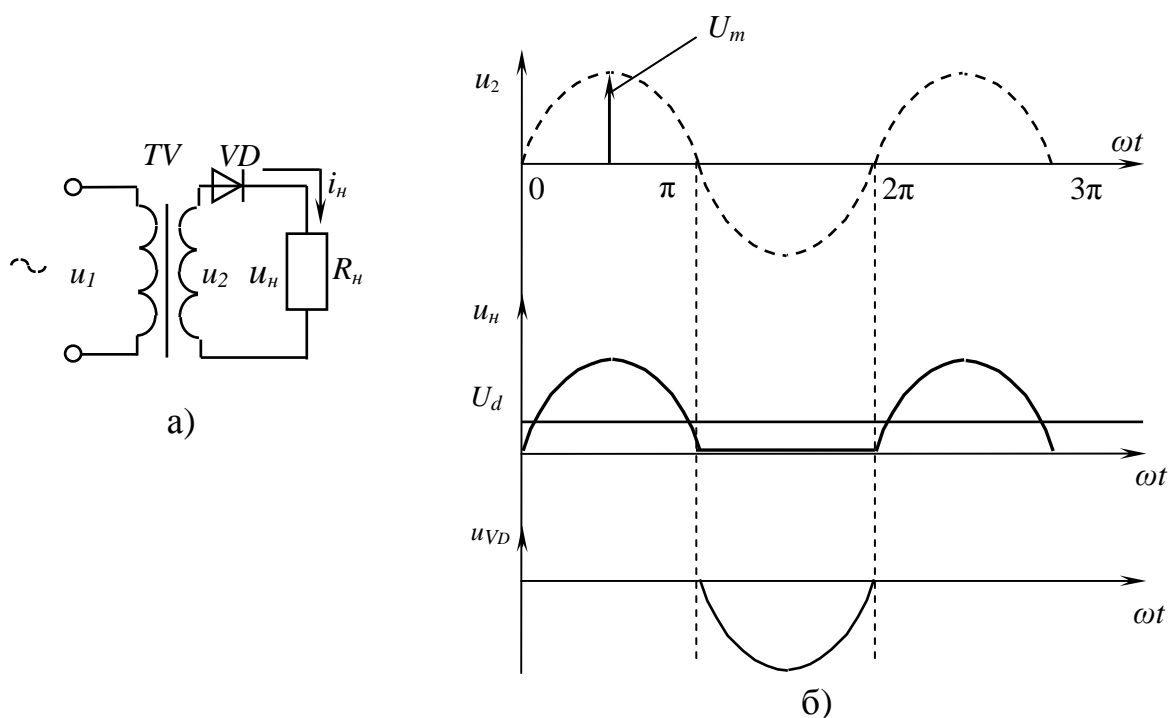


Рис. 1.1

Середнє значення напруги на навантаженні буде:

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_2(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} U_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{U_m}{2\pi} \cdot (-\cos \omega t) = \frac{U_m}{\pi} = 0,318 U_m.$$

Середнє значення випрямленого струму навантаження $-I_d = \frac{U_d}{R_H}$, амплі-

туда струму навантаження $-I_m = \frac{U_m}{R_H}$.

Діюче значення напруги на навантаженні:

$$U_H = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_2^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} U_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t)} = 0,707 \cdot U_2.$$

Важливим недоліком роботи цього випрямляча є те, що випрямлена напруга має пульсуючий і переривчастий характер. Кількість пульсацій цієї напруги за період вторинної напруги трансформатора $-p=1$.

Більш досконалим випрямлячем є однофазний двопівперіодний мостовий випрямляч, схема якого наведена на рис. 1.2.

Цей випрямляч має дві групи діодів – анодну (діоди $VD1$ і $VD2$) та катодну (діоди $VD3$ і $VD4$).

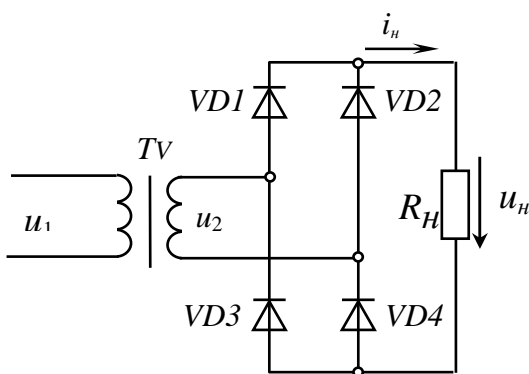


Рис. 1.2

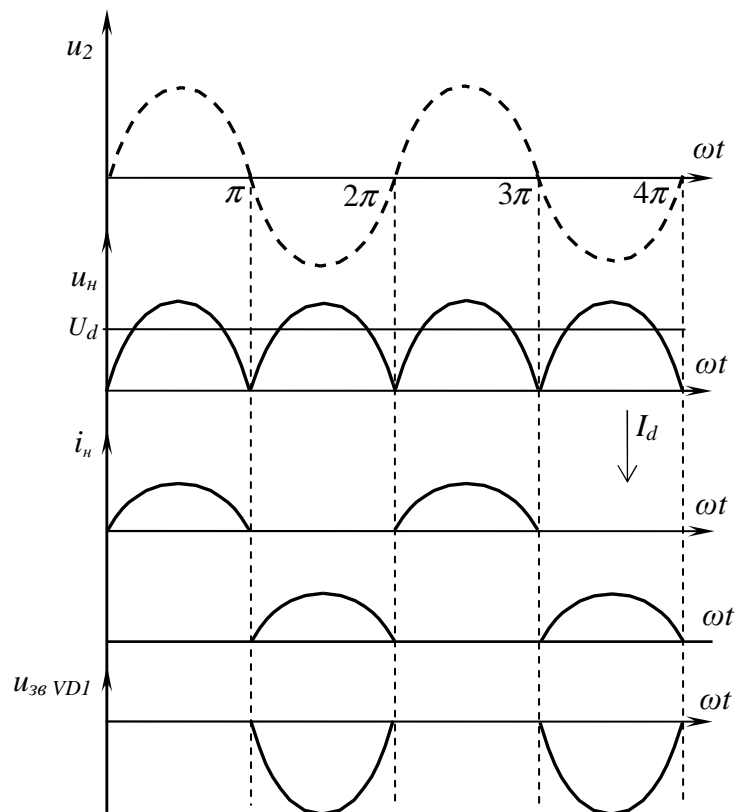


Рис. 1.3

На інтервалі $0 \leq \omega t \leq \pi$ (у позитивній півхвилі напруги джерела) діоди $VD1$ та $VD4$ будуть у відкритому стані, а діоди $VD2$ і $VD3$ – в закритому, через навантаження проходить струм. На інтервалі $\pi \leq \omega t \leq 2\pi$ (в негативному півперіоді) у відкритому стані знаходяться діоди $VD2$ і $VD3$, а в закритому – $VD1$ та $VD4$, але

через навантаження і в цьому випадку проходить струм, причому напрямок струму в навантаженні під час позитивної і негативної півхвиль однаковий.

Середнє значення напруги на навантаженні:

$$U_d = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} \sqrt{2} \cdot U_2 \cdot \sin \omega t \, d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_2 \cdot (-\cos \omega t) \Big|_0^{\pi} = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot U_2 = 0,9 \cdot U_2.$$

Середнє значення струму в навантаженні:

$$I_d = \frac{U_d}{R_n} = 0,9 \cdot \frac{U_2}{R_n}.$$

Максимальне значення струму через діод:

$$I_{d\max} = \frac{\pi}{2} \cdot I_d.$$

Діюче значення струму в навантаженні:

$$I_n = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T i^2 \cdot dt} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_0^{\pi} I_m^2 \cdot \sin^2 \omega t \cdot d(\omega t)} = \frac{\pi}{4} \cdot I_d.$$

Амплітудне значення зворотної напруги на закритому діоді:

$$U_{дзв.\max} = \sqrt{2} \cdot U_2.$$

Мостові випрямлячі забезпечують значно менші пульсації випрямленого струму, крім того, ефективніше використовують енергію джерела. Кількість пульсацій випрямленої напруги за період напруги мережі – $p=2$.

У тому випадку, коли необхідним є споживання значної потужності навантаженням (більше 2 кВт) і воно підключене до трифазної мережі, застосовують трифазні випрямлячі. Найбільш простим з них є трифазний випрямляч з нульовим виводом (так звана схема Міткевича), наведений на рис. 1.4.

Такий випрямляч містить трифазний трансформатор TV , вторинні обмотки якого обов'язково увімкнені за схемою «зірка», та три діоди $VD1$, $VD2$, $VD3$,

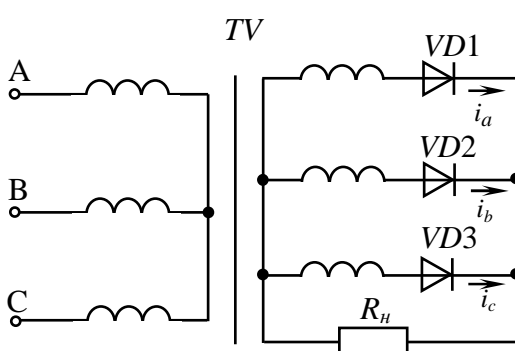


Рис. 1.4

які вмикаються послідовно з кожною вторинною обмоткою трансформатора. Інші електроди діодів об'єднуються, від необхідної полярності випрямленої напруги, анодами або катодами.

Часові діаграми струмів та напруг випрямляча наведені на рис. 1.5.

Аноди вентилів у даному випадку увімкнені до виводів вторинної обмотки трансформатора, а катодаи з'єднані разом і утворюють позитивний полюс випрямляча. Негативним полюсом є нульовий вивід трансформатора.

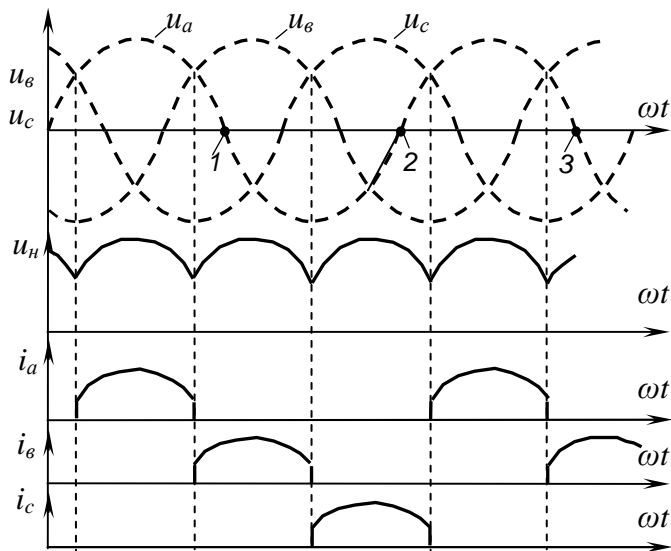


Рис. 1.5

В результаті у кожен момент часу через навантаження протікає струм, що визначається фазою з найбільш позитивною напругою.

Як видно з часових діаграм, зображених на рис. 1.5, напруга на навантаженні u_d і струм, що проходить через нього, i_d мають пульсуючий характер. Частота пульсації випрямленої напруги у три рази перевищує частоту мережі.

Недоліком схеми Міткевича є наявність постійного підмагнічування магнітоводу трансформатора. Воно зумовлене тим, що, як і у будь-якої однофазної схеми, у яких вторинною обмоткою трансформатора струм за період протікає лише один раз і в одному напрямку, тобто має постійну складову. Це вимагає використання трансформатора із підвищеним перерізом магнітопроводу – із завищеною габаритною потужністю.

Кожний діод у цій схемі працює одну третину періоду, тому середній струм через нього I_a складає третину значення середнього випрямленого струму навантаження I_d .

З часових діаграм (рис. 1.5) видно, що кожна фаза забезпечує струм в навантаженні тільки третину періоду фазної напруги, коли діод відповідної фази знаходиться в провідному стані. Дві третини періоду діоди кожної фази закриті та знаходяться під дією зворотної напруги. У закритому стані потенціал анода діода у кожен момент часу визначається напругою своєї фази, а потенціал катода – напругою фази, що живить навантаження, тобто до нього прикладається лінійна напруга, максимальне значення якої становить: $U_{дзв.макс} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_2 = 2,09 \cdot U_2$.

Більш досконалим являється трифазний мостовий випрямляч, але електромагнітні процеси, що проходять в ньому більш складні.

Для цих трифазних випрямлячів середнє значення випрямленої напруги на навантаженні можна знайти з виразу: $U_d = \frac{p}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{p} \cdot U_{2m}$,

де p – число тактів випрямляча за період фазної напруги мережі, до якої під'єднаний трансформатор TV (кількість комутацій діодів за період);

U_{2m} – амплітудне значення напруги вторинних обмоток трансформатора.

Для розглянутого випрямляча $p=3$, тому $U_d = \frac{3}{\pi} \cdot \sin 60^\circ \cdot U_{2m} = 1,17 \cdot U_2$.

Середнє значення струму в навантаженні $R_n - I_d = \frac{U_d}{R_n}$.

Активна потужність, що виділяється на навантаженні P_n , дорівнює $P_n = U_d \cdot I_d$.

При розрахунках трифазного випрямляча потрібно знати, крім $U_{\text{дзв.мах}}$, величину середнього значення струму через діод I_a за період фазної напруги:

$$I_a = \frac{I_d}{3}.$$

З точки зору споживача, будь-який випрямляч є джерелом енергії, і тому, як і для кожного джерела, однією з основних характеристик випрямляча є його

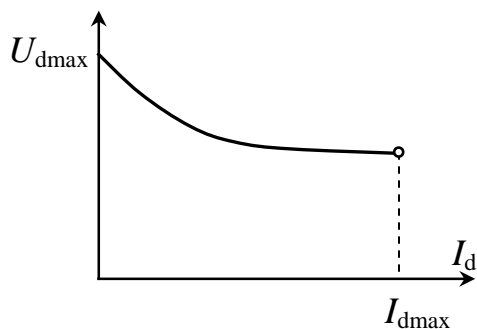


Рис. 1.6

зовнішня характеристика $U_d = f(I_d)$ – залежність зовнішньої напруги від струму навантаження. Найбільшим значення U_d буде при $I_d=0$ (режим без навантаження) і зменшується при збільшенні струму навантаження. Це зумовлено зростанням втрат потужності на ключових елементах зі зростанням струму. Приблизний вигляд зовнішньої характеристики показаний на рис. 1.6.

Зменшення U_d від сили струму I_d зумовлено впливом величини реактивного та активного опорів фазних обмоток трансформатора, опору сполучених провідників і діодів у відкритому стані.

1.5 Порядок виконання роботи

1.5.1 Дослідження вольт-амперної характеристики напівпровідникового діода

Ознайомитись з робочим місцем і вимірювальними приладами та технічними характеристиками випрямного елемента (діода КД 202) (зворотня напруга $U_{\text{дзв.мах}} = 300$ В, максимальне значення струму через діод $I_{\text{мах}} = 3$ А).

На набірному полі стенда НДЛС-1 зібрати схему, наведену на рис. 1.7. Як джерело $U_{\text{дж}}$ використати регульоване джерело з блока постійних напруг стенда НДЛС-1, підключити його з полярністю, вказаною без дужок. Як обмежуючий струм резистор R_1 використати відповідний резистор з блока змінного опору.

Вимірювальні прилади перевести в режим вимірювання постійного струму, встановити такі границі вимірювання: амперметр Э537 – 0,5 А, мультиметр ВР-11 – 2 В. Діод VD1 використати з набору елементів стенду НДЛС-1.

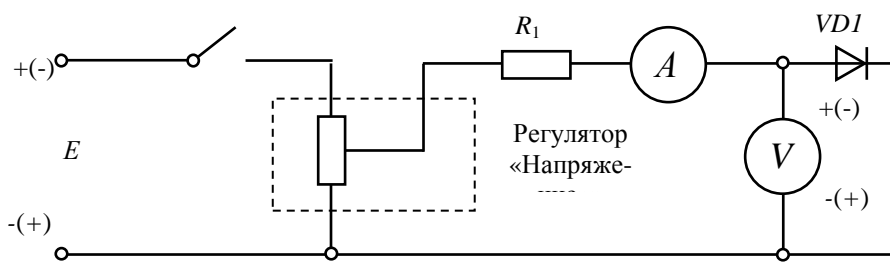


Рис. 1.7

Для зняття показань приладів, для побудови прямої гілки вольт-амперної характеристики регулятором напруги за допомогою амперметра встановлювати значення струмів через діод I_d , що вказані в табл. 1.1. При виконанні цього експерименту зверніть увагу на правильність підключення мультиметра. Результати вимірювання мультиметром напруги на діоді U_d занести до табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Результати експерименту п. 1.5.1

I_d, A	0	0,005	0,01	0,015	0,03	0,09	0,12	0,2
U_d, B								

Для зняття показань приладів, для побудови зворотної гілки вольт-амперної характеристики діода змінити полярність джерела постійної напруги та мультиметра (рис. 1.7, полярність, вказана у дужках), інші елементи залишаються без змін.

Регулятором напруги за мультиметром, що працює в режимі вольтметра, встановлювати значення напруги на діоді, вказані в табл. 1.2. Показання амперметра занести до табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати експерименту п. 1.5.1

U_d, B	0	2	5	10	15	20	25
I_d, A							

1.5.2 Дослідження однофазного мостового випрямляча

Зібрати схему однофазного мостового випрямляча, що наведена на рис. 1.8.

Як джерело змінної напруги $u_{дж}$ використати блок трифазних напруг (фаза А). У якості резистора R_n взяти резистор R_1 з блока змінних опорів. Елементи схеми – SA1 та SA2 – це перемички, що входять до складу набірних елементів стенда НДЛС-1.

Встановити такі границі вимірювання: вольтметр Э59 (V_1) – 50 В; мультиметр (V_2) – 200 В, режим вимірювання постійних напруг; амперметр Э537 – 0,5 А.

Регулятором напруги встановлювати значення напруги $U_{дж}$ за табл. 1.3. Вимірювати діючі значення напруги $U_{дж}$, напругу U_n на навантаженні R_n , струм

на вході випрямляча I_1 (амперметр в режимі вимірювання змінного струму, включений на місце SA1) та на виході випрямляча I_n (амперметр в режимі вимірювання постійного струму, включений на місце SA2).

Регулятором напруги встановлювати значення напруги $U_{дж}$ за табл. 1.3. Вимірювати діючі значення напруги $U_{дж}$, напругу U_n на навантаженні R_n , струм на вході випрямляча I_1 (амперметр в режимі вимірювання змінного струму, включений на місце SA1) та на виході випрямляча I_n (амперметр в режимі вимі-

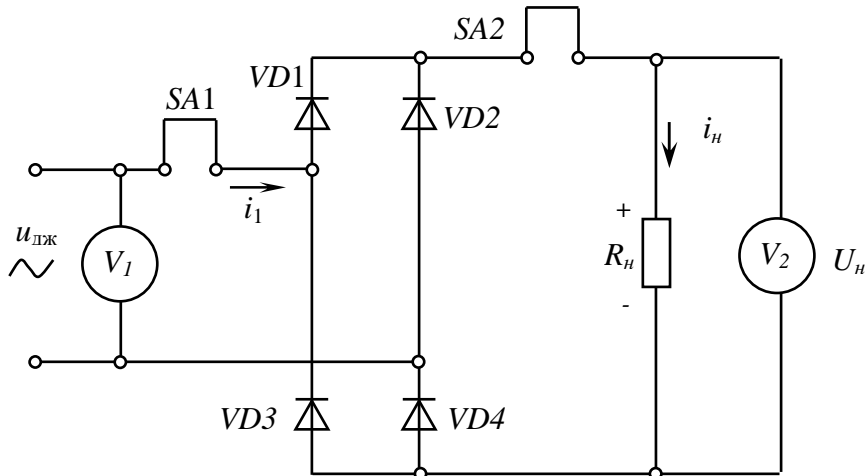


Рис. 1.8

рювання постійного струму, включений на місце SA2).

Таблиця 1.3 – Результати експерименту п. 1.5.2

$U_{дж}, В$	10	12	15	20	24
$I_1, А$					
$I_n, А$					
$U_n, В$					

Замінити резистор R_1 з блока змінних опорів на резистор R_4 того ж блоку (схема рис. 1.8). Регулятором напруги джерела встановити $U_{дж}$ на рівні 15 В. Змінюючи опір навантаження R_4 , встановлювати струм I_n відповідно до табл. 1.4 та вимірювати значення $I_1, U_n, U_{дж}$.

Таблиця 1.4 – Результати експерименту п. 1.5.2

$I_n, А$	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
$I_1, А$						
$U_n, В$						
$U_{дж}, В$						

Зняти осцилограми напруги на навантаженні та діоді випрямляча, вказуючи масштаби за напругою та часом, для чого паралельно до резистора R_n (R_4) та

діода підключати осцилограф.

1.5.3 Дослідження трифазного випрямляча (схема Міткевича)

Зібрати електричну схему, що наведена на рис. 1.9.

Як трифазне джерело змінної напруги використати блок трифазних напруг стенда НДЛС-1. Як навантаження R_H випрямляча застосувати резистор R_4 з блока змінних опорів стенда. Як вольтметр V_1 використати вольтметр Э59, як вольтметр V_2 – мультиметр ВР-11, як амперметр A – амперметр типу Э537. Графіки вимірювання приладів повинні бути такими: вольтметр Э59 – 50 В, мультиметр ВР-11 – 200 В, амперметр Э537 – 0,5 А. Режими роботи вимірювальних приладів: вольтметр Э59 – змінна напруга, мультиметр ВР-11 – постійна напруга. Встановити значення опору навантаження R_H таким, що дорівнює 100 Ом.

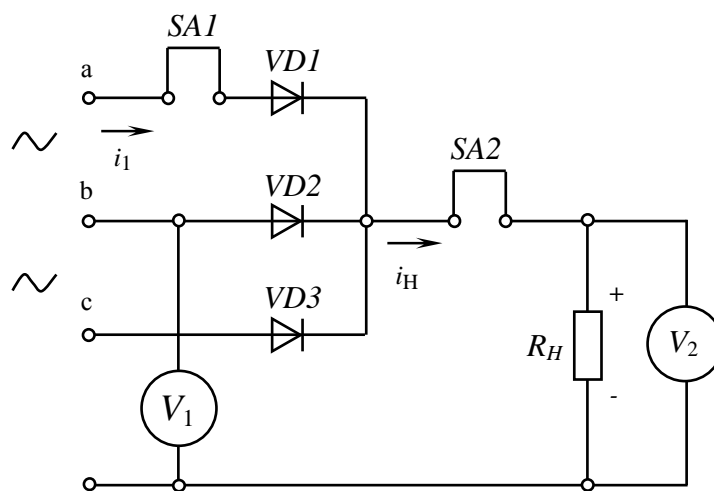


Рис. 1.9

За допомогою вольтметра V_1 встановити фазні напруги, що дорівнюють 20 В.

Перемикачем змінного опору R_4 встановлювати значення струму навантаження (показання амперметра A , що включений на місце $SA2$) за табл. 1.5. Для кожного значення струму навантаження провести вимірювання фазної напруги U_ϕ (показання вольтметра V_1), струму I_1 (показання амперметра A , що включений на місце $SA1$), напруги на навантаженні U_H (показання вольтметра V_2). Результати занести до табл. 1.5.

Зняти осцилограми напруги на навантаженні та одному з діодів випрямляча. Для цього необхідно підключати осцилограф паралельно навантаженню та діоду випрямляча.

Таблиця 1.5 – Результати експерименту п. 1.5.3

I_H, A	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
U_ϕ, B					
U_H, B					
I_1, A					

1.6 Обробка експериментальних даних

1. За результатами експериментальних даних (п. 1.5.1, табл. 1.1, 1.2) побудувати вольт-амперну характеристику діода – залежність між струмом та напругою діода $U_d=f(I_d)$.

2. За результатами експериментальних даних (п. 1.5.2, табл. 1.3) побудувати передатні характеристики: графіки залежності напруги на навантаженні та струму навантаження мостового випрямляча від напруги джерела $U_n=f(U_{дж})$, $I_n=f(U_{дж})$.

3. За результатами експериментальних даних (п. 1.5.2, табл. 1.4) побудувати зовнішню характеристику мостового випрямляча $U_n=f(I_n)$.

4. За результатами експериментальних даних (п. 1.5.3, табл. 1.5) побудувати зовнішню характеристику трифазного випрямляча $U_n=f(I_n)$

1.7 Висновки

За результатами проведеної лабораторної роботи зробити висновки про властивості випрямних діодів та методи дослідження випрямлячів та їх основних характеристик.

1.8 Контрольні запитання

1. Що таке випрямляч і для чого він застосовується?
2. Що таке випрямний діод? Наведіть його основні властивості та характеристики.
3. Наведіть схему та поясніть принцип дії однофазного мостового випрямляча.
4. Як визначити середнє значення струму через відкритий діод однопівперіодного випрямляча?
5. Як визначити амплітуду зворотної напруги на закритому діоді однофазного мостового випрямляча?
6. Що таке коефіцієнт пульсації випрямленої напруги і як його визначити?
7. Поясніть принцип дії трифазного випрямляча (схема Міткевича) та наведіть основні співвідношення напруг і струмів у цій схемі.
8. Порівняйте параметри випрямленої напруги однофазних та трифазних випрямлячів.
9. Як визначити амплітудне значення зворотної напруги на закритому діоді трифазного випрямляча?
10. Назвіть пристрої, в яких використовуються випрямлячі.

2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

2.1 Мета роботи:

- виконати вивіряння амперметра електромагнітної системи;
- виконати вивіряння вольтметра електромагнітної системи;
- засвоїти методику обробки результатів непрямих вимірювань активного опору.

2.2 Обладнання:

- універсальний навчально-дослідницький лабораторний стенд НДЛС-1;
- прилад комбінований цифровий Щ4300 або Щ4313;
- мультиметр ВР-11.
- вольтметр електромагнітної системи Э59;
- амперметр електромагнітної системи Э525.

2.3. Підготовчий етап лабораторної роботи містить вивчення теоретичного матеріалу [1 – с. 259–299, 10 – с. 8–37]

Результатом підготовчого етапу є:

- набуття навичок з вивірення амперметра і вольтметра електромагнітної системи;
- набуття навичок з визначення середньої похибки вимірювань, приведеної похибки вимірювань, варіації показань приладів.

2.4 Пояснення до роботи

Вимірюванням називається одержання значень фізичних величин шляхом зіставлення з визначеною мірою цієї величини, що відповідає прийнятій системі одиниць (наприклад, СВ (система вимірювань)). Найбільш поширеними технічними засобами вимірювання електричних величин є електровимірювальні прилади.

Електровимірювальними приладами називають засоби електричних вимірювань, призначені для вироблення сигналів вимірювальної інформації, тобто інформації про значення вимірюваної величини, у формі, доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем (наприклад, амперметр, вольтметр, ватметр, фазометр). Загалом електровимірювальний прилад перетворює електро-







магнітну енергію вхідного сигналу в механічну, електричну, світлову або в інші види енергії, що дозволяють спостерігачеві одержати інформацію про поточне значення вимірюваної величини.

Умовно всі види електровимірювальних приладів можна поділити на три групи: аналогові, електронні й цифрові.

Аналогові електровимірювальні прилади перетворюють вхідну вимірювану електричну величину в кутове переміщення покажчика. Показання таких приладів є безперервною функцією змін вимірюваної величини. У всіх аналогових електровимірювальних приладів є *відліковий пристрій*, що складається зі *шкали*, розташованої на циферблаті приладу, і *покажчика*.

Перетворення вхідної електричної величини в кутове відхилення покажчика здійснюється за допомогою вимірювального механізму аналогового приладу, що працює на використанні одного з електромагнітних явищ. Залежно від типу явища, що використовується у вимірювальному механізмі аналогового приладу, розрізняють наступні системи електромеханічних вимірювальних приладів: магнітоелектричну, електромагнітну, електродинамічну, феродинамічну, індукційну, електростатичну. Кожна з цих систем має свої переваги й недоліки, що визначають галузь її використання. В табл. 2.4. наведена інформація про застосування електромеханічних систем у різних вимірювальних приладах з урахуванням роду струму.

Таблиця 2.4 – Застосування систем електромеханічних приладів

Система приладу	Графічне позначення	Тип струму	В яких приладах застосовується
магнітоелектрична		—	амперметр, вольтметр, омметр
електромагнітна		— ~	амперметр, вольтметр, фазометр, частотомір
електродинамічна		— ~	амперметр, вольтметр, ватметр, фазометр, частотомір
феродинамічна		— ~	амперметр, вольтметр, ватметр
індукційна		~	лічильник електричної енергії
електростатична		— ~	вольтметр

Електронні вимірювальні прилади в складі своєї конструкції містять електронні блоки вхідних пристроїв, до яких належать підсилювач постійного або змінного струму, і випрямляч, що здійснює перетворення змінного струму на постійний. Сигнал, перетворений вхідним пристроєм, надходить на вимірювальний механізм, в якості якого зазвичай використовують механізм магнітоелектричної системи. Найчастіше в метрологічній практиці застосовуються електронні амперметри й вольтметри, а також електронно-променеві осцилографи.

Цифрові вимірювальні прилади (ЦВП) – це прилади, в яких безперервний вхідний сигнал перетворюється на дискретний вихідний сигнал, наведений в цифровій формі. Під дискретним сигналом розуміють переривчастий сигнал, в якому інформація міститься не в інтенсивності носія сигналу (наприклад, у значенні напруги, струму), а в кількості елементів сигналу (наприклад, у кількості імпульсів напруги) та їх взаємному розташуванні в часі та просторі. Систему таких сигналів для подання інформації називають кодом. Процес перетворення аналогової величини в цифрову називається аналогово-цифровим перетворенням, а перетворювач, що здійснює це перетворення, – аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП). Інформація про значення вимірюваної електричної величини надходить на графічний екран приладу.

За видом вимірюваних величин ЦВП поділяються на:

- вольтметри постійного та змінного струму;
- омметри і мости постійного і змінного струму;
- комбіновані прилади;
- вимірювачі частоти й інтервалів часу;
- спеціалізовані ЦВП, призначені для вимірювань температури, маси, швидкостей і т. п.

Характеристики електровимірювальних приладів.

Загальними характеристиками електровимірювальних приладів є їх *похибки, варіація показників, чутливість до вимірюваної величини, споживана потужність, час встановлення показників і надійність.*

Похибка електровимірювального приладу обумовлена класом точності цього приладу. *Клас точності* – це узагальнена характеристика приладу, обумовлена межами допустимих основних і додаткових похибок. Клас точності може бути наведений у вигляді одного числа або дробу. У приладів, клас точності яких подано одним числом, яке вказане на циферблаті приладу, основна приведена похибка (у відсотках) в робочому діапазоні шкали не перевищує значення, що відповідає класу точності. До таких приладів належать більшість стрілкових і самописних приладів.

Варіація показників приладу – це найбільша різниця показників приладу при вимірюванні одного й того ж самого значення електричної величини. Вона визначається при повільному наближенні стрілки до певної позначки шкали приладу спочатку від початкової до кінцевої позначки шкали ($\uparrow X$), а потім в зворотному напрямку ($\downarrow X$)

$$B = \frac{|\uparrow X - \downarrow X|}{X_H} \cdot 100\% ,$$

де X_H – верхня межа вимірювання приладу (нормуюче значення).

Варіація показників характеризує ступінь стійкості показників приладу за однакових умов вимірювання однієї й тієї ж величини.

Чутливістю електровимірювального приладу до вимірюваної величини x називається похідна від переміщення покажчика a по вимірюваній величині x :

$$S = \frac{da}{dx} = F(x).$$

Переміщення покажчика a , в поділках або міліметрах шкали, для великої групи приладів визначається, у першу чергу, кутом відхилення рухомої частини a вимірювального механізму. Крім того, воно залежить від типу відлікового пристрою і його характеристик (стрілковий або світловий покажчик, довжини шкали, кількості поділок шкали тощо).

Величина, зворотна чутливості, $C=1/S$ називається *ціною поділки* (постійною) приладу. Вона дорівнює кількості одиниць вимірюваної величини, що міститься в одній поділці шкали. Ціну поділки приладу можна визначити, якщо поділити верхню границю вимірювання на кількість поділок в шкалі:

$$C = \frac{X_H}{N} .$$

Похибки вимірювань

Результат будь-якого вимірювання завжди буде відрізнятися від дійсного значення вимірюваної величини. Це розходження являє собою похибку вимірювань. Залежно від числового виразу розрізняють абсолютні, відносні й приведені похибки.

Абсолютна похибка:

$$\Delta = X - X_\partial ,$$

де X – показання приладу або результат вимірювання;

X_∂ – дійсне значення вимірюваної величини.

Абсолютна похибка вимірювання, яку взято з протилежним знаком, називається поправкою:

$$\beta = -\Delta.$$

Відносна похибка – це відношення абсолютної похибки вимірювання до дійсного значення вимірюваної величини, виражене у відсотках:

$$\delta = \frac{100 \cdot \Delta}{X_{\partial}}, (\%).$$

Приведена похибка є виражене у відсотках відношення абсолютної похибки Δ до значення величини, що нормується X_n :

$$\gamma = \frac{100 \cdot \Delta}{X_n}, (\%).$$

Для того щоб визначити діапазон ймовірних похибок вимірювань, застосовують методику розрахунку середнього квадратичного відхилення результатів вимірювання. При цьому, чим більше вимірювань величини було зроблено, тим точніше отримано кінцевий результат.

За даними вимірювань визначають середнє квадратичне результати спостережень:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X}{n} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_i + \dots + X_n}{n},$$

де n – кількість вимірювань величини.

Далі обчислюють середнє квадратичне відхилення результатів окремих спостережень σ і визначають середнє квадратичне відхилення результатів вимірювань $\sigma_{\bar{X}}$:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2},$$

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$

Шуканий довірчий інтервал, який із заданою ймовірністю p охоплює дійсне значення вимірюваної величини, визначають за формулою:

$$\Delta X = \pm t_{p,n-1} \cdot \sigma_{\bar{X}},$$

де $t_{p,n-1}$ – коефіцієнт Стюдента, який знаходять з відповідних таблиць залежно від довірчої ймовірності p і числа ступенів свободи $(n-1)$.

Результат вимірювання величини записують у вигляді

$$X = \bar{X} \pm \Delta X.$$

Вивіряння електровимірювальних приладів

Під вивірянням розуміється метрологічна операція, що полягає в порівнянні мір і показань електровимірювальних приладів зі зразковими мірами або показаннями зразкових вимірювальних приладів для визначення їх похибок.

При експлуатації електровимірювальних приладів відбувається знос їх конструктивних елементів, що обумовлює появу похибок, тому через визначений проміжок часу електровимірювальні прилади повинні проходити перевірку на відповідність їх класу точності нормуючому значенню.

При виборі зразкових приладів потрібно виконувати такі вимоги:

- клас точності зразкового приладу має бути в 5 разів вищим за клас точності приладу, що вивіряється;
- верхні межі вимірювання зразкового і вивіряльного приладів мають бути однаковими або відрізнятись не більш ніж на 25 %;
- варіація показів зразкового приладу не повинна перевищувати допустимої похибки;
- при вивірянні приладів, що вимірюють постійний струм, як зразковий треба застосовувати магнітоелектричні прилади.

Вивіряння стрілкових електровимірювальних приладів завжди здійснюється методом звіряння на змінному струмі й компенсаційним методом на постійному струмі.

Метод звіряння полягає в одночасному вимірюванні величин приладом, що вивіряється, і зразковим та у порівнянні їх показів. За дійсні значення вимірюваної величини приймають покази зразкового приладу.

Якщо отримана в результаті вивіряння приведена похибка не перевищує значення класу точності приладу, що вивіряється, то такий прилад визнається робочим.

2.5 Порядок виконання роботи

2.5.1 Вивіряння амперметра електромагнітної системи

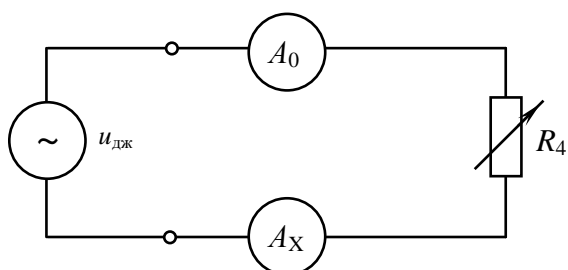


Рис. 2.1

На набірному полі скласти електричне коло за схемою рис. 2.1. В якості джерела живлення використати фазу А блока трифазних напруг. Значення напруг джерела живлення $U_{дж}$ встановити відповідно до номера робочого місця за табл. 2.1. Як зразковий амперметр A_0 використати комбінований цифровий вимірювальний прилад Щ4313 або Щ4300,

а амперметр, що вивіряється A_X , – амперметр електромагнітної системи Э525. Резистор R_4 – це резистор з блока змінних активних опорів стенда НДЛС-1.

Перевести вимірювальні прилади в режим вимірювання змінного струму та встановити такі границі вимірювання: амперметр Э525 – 0,5А, Щ4313 (Щ4300) – 500 (2000) мА. Визначити ціну поділки амперметра Э525. Величину опору R_4 встановити такою, що дорівнює 100 Ом.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для виконання експерименту п. 2.5.1

№ робочого місця	1	2	3	4	5	6
$U_{дж}, В$	15	17	20	22	25	27

Виконати вимірювання струмів зразкового амперметра (I_0) та амперметра, що вивіряється (I_X), змінюючи струм у колі з резистором R_4 , спочатку зменшуючи його опір від 100 до 60 Ом (вимірюється $\downarrow I_0$ і $\downarrow I_X$), а потім збільшуючи його в зворотному порядку від 60 до 100 (вимірюється $\uparrow I_0$ і $\uparrow I_X$). Результати вимірювань занести до табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати виконання експерименту п. 2.5.1

$R_4, Ом$	Вимірювання				Обчислення				
	$\uparrow I_0, А$	$\uparrow I_X, А$	$\downarrow I_0, А$	$\downarrow I_X, А$	$\uparrow \Delta I, А$	$\downarrow \Delta I, А$	$\beta_{сер}, А$	$\gamma, \%$	$B, \%$
100									
90									
80									
70									
60									

2.5.2 Вивіряння вольтметра електромагнітної системи

На набірному полі скласти електричне коло за схемою рис. 2.2. У якості джерела живлення використати фазу А з блока трифазних напруг. Як зразковий вольтметр V_0 використати мультиметр ВР – 11, а як вольтметр, що вивіряється,

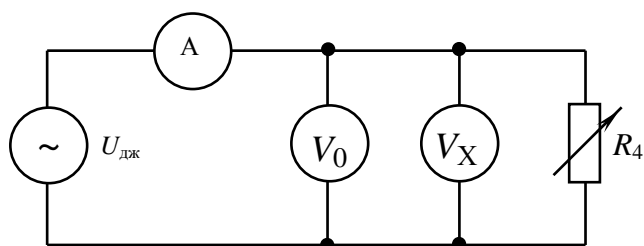


Рис. 2.2

– вольтметр електромагнітної системи Э59. Резистор R_4 – це резистор блока змінних активних опорів стенда НДЛС-1. Амперметр A – комбінований цифровий прилад Щ4313 або Щ4300.

Перевести мультиметр ВР-11 в режим вимірювання змінної напруги з верхньою межею – 200 В. Верхня межа вимірювання вольтметра Э59 – 75 В, Щ4313 (Щ4300) – залишити такою, як в п. 2.5.1. Розрахувати ціну поділки вольтметра Э59. Значення опору R_4 встановити відповідно до номера робочого місця за табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Вихідні дані для виконання експерименту п. 2.5.2

№ робочого місця	1	2	3	4	5	6
R_4 , Ом	100	90	80	70	60	100

Виконати вимірювання напруги джерела зразковим вольтметром V_0 і вольтметром, що вивіряється, V_x , змінюючи напругу джерела живлення $U_{дж}$ перший раз від 17 до 27 В ($\uparrow U_0$ і $\uparrow U_x$), а другий раз – у зворотному напрямку від 27 до 17 В ($\downarrow U_0$ і $\downarrow U_x$). Також виміряти значення струму кола I при збільшенні й зменшенні напруги джерела живлення $U_{дж}$ ($\uparrow I$ і $\downarrow I$). Результати вимірювань занести до табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати виконання експерименту п. 2.5.2

$U_{дж}$, В	Вимірювання						Обчислення					
	$\uparrow U_0$, В	$\uparrow U_x$, В	$\uparrow I$, А	$\downarrow U_0$, В	$\downarrow U_x$, В	$\downarrow I$, А	$\uparrow \Delta U$, В	$\downarrow \Delta U$, В	$\beta_{сер}$, В	γ , %	В, %	R_4 , Ом
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												

2.6 Обробка експериментальних даних

2.6.1 За результатами експериментальних даних п. 2.5.1 (табл. 2.2):

- обчислити абсолютну похибку вимірювання струму в прямому $\uparrow \Delta I = \uparrow I_x - \uparrow I_0$ та зворотному $\downarrow \Delta I = \downarrow I_x - \downarrow I_0$ напрямках;

- обчислити середню поправку $\beta_{сер} = \frac{\uparrow \beta + \downarrow \beta}{2}$ вимірювання струму з

урахуванням того, що $\uparrow \beta = -\uparrow \Delta I$; $\downarrow \beta = -\downarrow \Delta I$, тобто $\beta_{сер} = -\left(\frac{\uparrow \Delta I + \downarrow \Delta I}{2}\right)$;

- обчислити приведену похибку вимірювання струму $\gamma = \frac{100 \cdot \Delta I_{сер}}{I_H}$, де

$\Delta I_{сер} = \frac{\uparrow \Delta I + \downarrow \Delta I}{2}$, I_H – нормуюче значення або верхня границя вимірювання амперметра, що вивіряється;

- обчислити варіацію показників амперметра, що вивіряється,

$$B = \frac{|\uparrow I_x - \downarrow I_x|}{I_H} \cdot 100\%$$

Результати усіх обчислень занести до табл. 2.2.

2.6.2 За результатами експериментальних даних п. 2.5.2 (табл. 2.4):

- обчислити абсолютну похибку вимірювання напруги в прямому $\uparrow \Delta U = \uparrow U_x - \uparrow U_0$ та зворотному $\downarrow \Delta U = \downarrow U_x - \downarrow U_0$ напрямках;

- обчислити середню поправку вимірювання напруги

$$\beta_{сер} = -\left(\frac{\uparrow \Delta U + \downarrow \Delta U}{2}\right);$$

- обчислити приведену похибку вимірювання напруги $\gamma = \frac{100 \cdot \Delta U_{сер}}{U_H}$, де

$U_{сер} = \frac{\uparrow \Delta U + \downarrow \Delta U}{2}$, U_H – нормуюче значення або верхня межа вимірювання вольтметра, що вивіряється.

Результати усіх обчислень занести до табл. 2.4;

2.6.3 За результатами вимірювань п. 2.5.2 (табл. 2.4):

- розрахувати опір резистора R_4 (схема рис. 2.2) для кожного із значень

$$U_{дж} \text{ за формулою } R_i = \frac{U_{сер}}{I_{сер}} = \frac{(\uparrow U_0 + \downarrow U_0)/2}{(\uparrow I + \downarrow I)/2} = \frac{\uparrow U_0 + \downarrow U_0}{\uparrow I + \downarrow I}, (i = 1, 2 \dots n, n = 11);$$

- обчислити середнє арифметичне значення опору резистора $\bar{R} = \frac{\sum R}{n}$;

- обчислити середні статистичні значення опору резистора та квадрат цих значень: $R_i - \bar{R}$ та $(R_i - \bar{R})^2$,

- обчислити суму $\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2$;

- обчислити середнє квадратичне відхилення результатів вимірювань

опору $\sigma_{\bar{R}} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}$.

Шуканий довірчий інтервал, який із заданою ймовірністю p охоплює дійсне значення активного опору резистора, визначити за формулою $\Delta R = \pm t_{p,n-1} \cdot \sigma_{\bar{R}}$, де $t_{p,n-1}$ – коефіцієнт Стюдента, який знаходять з табл. 2.6 залежно від довірчої ймовірності p і числа ступенів свободи $(n-1)$.

Результати усіх обчислень занести до табл. 2.4 і 2.5.

Кінцевий результат вимірювання опору записати у вигляді $R = \bar{R} \pm \Delta R$.

Таблиця 2.5 – Обробка результатів вимірювань R

№	R , Ом	$(R - \bar{R})$, Ом	$(R - \bar{R})^2$, Ом
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			

Таблиця 2.6 – Значення коефіцієнта Стюдента

$n-1$	$p=0,95$	$p=0,99$	$n-1$	$p=0,95$	$p=0,99$
3	3,18	5,84	10	2,23	3,17
4	2,78	4,60	11	2,20	3,11
5	2,57	4,03	12	2,18	3,05
6	2,45	3,71	13	2,16	3,01
7	2,36	3,50	14	2,14	2,98
8	2,306	3,25	15	2,13	2,95
9	2,26	3,25	16	2,12	2,92
17	2,11	2,90	20	2,08	2,84

2.7 Висновки

За результатами роботи зробити висновки про відповідність приладів, що вивіряють, їхнім класам точності. Наведена у роботі методика дозволяє встановити значення вимірюваної величини у межах довірчого інтервалу розкиду її значень.

2.8 Контрольні запитання

1. Дайте визначення абсолютній, відносній та приведеній похибкам.
2. Наведіть порядок обробки результатів вимірювань.
3. Назвіть основні характеристики показових (стрілкових) приладів і дайте їх визначення.
4. Назвіть основні й додаткові похибки вимірювальних приладів, дайте визначення варіації показників приладу.
5. Наведіть методи вивіряння електровимірювальних приладів.
6. Назвіть вимоги, які висувають до показових електровимірювальних приладів.
7. Наведіть порядок вивіряння електровимірювальних приладів.

3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА НАПРУГИ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

3.1 Мета роботи:

- дослідження трансформатора напруги в режимі неробочого ходу;
- дослідження трансформатора в режимі короткого замикання;
- дослідження трансформатора в робочому режимі;
- визначення експлуатаційних характеристик і параметрів трансформатора.

3.2 Обладнання і прилади:

- універсальний навчально-дослідницький лабораторний стенд НДЛС-1;
- мультиметр ВР-11;
- прилад комбінований цифровий Щ4300 або Щ4313;
- вимірювальний прилад В7-20.

3.3 Підготовчий етап лабораторної роботи включає вивчення теоретичного матеріалу [1 – с. 234–246].

Результатом підготовчого етапу є:

- набуття навичок дослідження трансформатора в режимі неробочого ходу та короткого замикання;
- набуття навичок з визначення параметрів трансформатора в цих режимах;
- набуття навичок з визначення експлуатаційних характеристик трансформатора в робочому режимі.

3.4 Пояснення до роботи

Передача електричної енергії від електростанції на значні відстані до великих міст або промислових центрів є складною технічною проблемою, адже втрати енергії на нагрів дротів пропорційні квадрату сили струму в лініях електропередач, а тому для зменшення втрат необхідно зменшити силу струму в лініях. У свою чергу, щоб зменшення сили струму в лінії не знизило потужність, напругу збільшують у стільки разів, у скільки було зменшено силу струму.

Електрична енергія високої напруги змінного струму передається на великі відстані з невеликими втратами, але для використання на промислових підприємствах, транспорті, у побуті необхідно зменшувати цю напругу. Збільшення та зменшення напруги змінного струму виконується трансформаторами.

За призначенням і конструкцією трансформатори різноманітні, але мають однакові фізичні процеси та принцип дії. Трансформатор складається з шихтованого осердя, що виконується з тонколистової електротехнічної сталі (товщина 0,2–0,5 мм), де відбувається підсилення та концентрація магнітного потоку, та обмоток (катушок) з ізольованого мідного (алюмінієвого) дроту. Обмотки трансформатора відрізняються кількістю витків: обмотку з більшою кількістю витків називають обмоткою високої напруги, а обмотку з меншою кількістю витків – низької напруги. Обмотка, яка вмикається у мережу або джерело змінної напруги, називається первинною, а обмотка, до якої підключається навантаження, – вторинною.

Електричні величини $U_1; I_1; w_1$ і $U_2; I_2; w_2$ – діючі значення напруги, сили струму і кількість витків, що належать відповідно до первинної та вторинної обмоток. Якщо $w_1 > w_2$, то $U_1 > U_2$ – трансформатор знижує напругу, при цьому струми обмоток підпорядковані зворотному співвідношенню: $I_1 < I_2$. При $w_1 < w_2$, $U_1 < U_2$ та $I_1 > I_2$ – трансформатор підвищує напругу.

Принцип дії трансформатора ґрунтується на фізичному явищі електромагнітної індукції: змінне магнітне поле є джерелом вихрового електричного поля, яке в замкненому електричному контурі збуджує струм (індуктивний струм).

Розглянемо цей процес на фізичній моделі трансформатора (рис. 3.1).

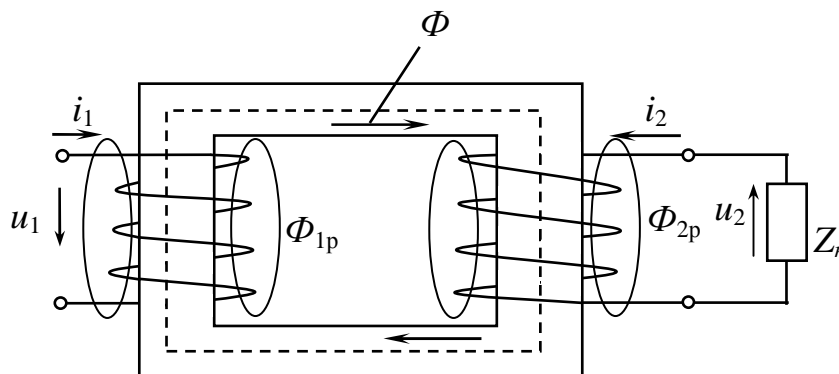


Рис. 3.1. Фізична модель трансформатора

При приєднанні первинної обмотки до джерела з синусоїдною напругою $u_1 = U_{1m} \cdot \sin \omega t$ в ній виникає змінний струм i . Магніторушійна сила (МРС) первинної обмотки $F_1 = i_1 w_1$ збуджує в осерді змінний магнітний потік $\Phi = \Phi_m \cdot \sin \omega t$, який відповідно до закону електромагнітної індукції індукуює у вторинній обмотці електрорушійну силу (ЕРС) з миттєвими значеннями:

$$e_2 = -w_2 \cdot \frac{d \Phi}{d t} = \overbrace{\omega \cdot w_2 \cdot \Phi_m}^E \cdot \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right).$$

$$\text{Діюче значення напруги } EPC: E_2 = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi_m = 2,2 \cdot \frac{\omega}{\pi} \cdot w_2 \cdot \Phi_m ,$$

де f – частота напруги джерела;

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \text{ – кутова швидкість напруги джерела.}$$

Вторинну обмотку тепер можна розглядати як вторинне джерело електроенергії. Під дією EPC e_2 , величина якої залежить від кількості витків w_2 , на затискачах цієї обмотки виникає змінна напруга u_2 , яка подається на навантаження Z_H . У контурі вторинної обмотки і навантаження виникає змінний струм i_2 .

Основний магнітний потік Φ індукуює EPC e_1 й в первинній обмотці:

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} = \omega \cdot w_1 \cdot \Phi_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right), \text{ з діючим значенням}$$

$$E_1 = 2,2 \cdot \frac{\omega}{\pi} \cdot w_1 \cdot \Phi_m .$$

Співвідношення EPC первинної та вторинної обмоток називають коефіцієнтом трансформації K_T : $\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = K_T$.

Вторинна обмотка, по якій проходить змінний струм, має MPC $F_2 = i_2 \cdot w_2$ і також створює магнітне поле. Відповідно до закону Ленця її магнітний потік спрямований проти магнітного потоку в первинній обмотці. Тому основний магнітний потік Φ у трансформаторі є результатом взаємодії потоків двох обмоток.

Крім того, кожна з обмоток створює пов'язаний тільки з нею магнітний потік розсіювання, відповідно Φ_{1p} , Φ_{2p} . Ці потоки індукують у своїх обмотках додаткові EPC :

$$e_{1p} = -w_1 \cdot \frac{d\Phi_{1p}}{dt}; \quad e_{2p} = -w_2 \cdot \frac{d\Phi_{2p}}{dt} .$$

Але оскільки $\Phi_{1p} \ll \Phi$ і $\Phi_{2p} \ll \Phi$, то і $E_{1p} \ll E_1$ і $E_{2p} \ll E_2$.

В первинну обмотку трансформатора, під'єданого до мережі, надходить електрична енергія з активною $P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$ та реактивною $Q_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \sin \varphi_1$ потужностями, де φ_1 – кут зсуву фаз між струмом i_1 і напругою u_1 .

Якщо вторинна обмотка під'єднана до навантаження Z_H , то активна потужність $P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2$, а реактивна $Q_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \sin \varphi_2$, де

$\varphi_2 = \arctg \frac{X_H}{R_H}$ – кут зсуву фаз між струмом i_2 та напругою u_2 .

Корисна потужність P_2 завжди менша витраченої потужності P_1 , тому що процес передачі енергії супроводжується втратами потужності P_{Δ} в обмотці та осерді, тобто $P_2 = P_1 - P_{\Delta}$,

де $P_{\Delta} = P_E + P_M$, P_E – потужність електричних втрат двох обмоток,

$$P_E = P_{E_1} + P_{E_2} = I_1^2 \cdot R_{об1} + I_2^2 \cdot R_{об2},$$

$R_{об1}$ і $R_{об2}$ – активний опір первинної та вторинної обмоток,

$P_M = P_{zc} + P_{вх}$ – потужність магнітних втрат двох обмоток.

Магнітні втрати потужності породжуються змінним магнітним потоком. В один півперіод змінної напруги відбувається намагнічування сталі осердя, а в другий – його розмагнічування (відповідно до петлі гістерезиса). Намагнічування та розмагнічування осердя супроводжується його нагріванням і споживанням додаткової потужності від джерела енергії, тобто магнітні втрати потужності P_M у сталі осердя мають дві складові:

P_{zc} – втрати потужності на гістерезис,

$P_{вх}$ – втрати потужності на вихрові струми.

Потужність втрат на гістерезис можна розрахувати за співвідношенням

$$P_z = \sigma_z \cdot \frac{\omega}{2\pi} \cdot B_m^n \cdot G,$$

де σ_z – коефіцієнт гістерезису, який залежить від сорту сталі осердя;

B_m – максимальна індукція;

G – вага осердя;

n – показник ступеню ($n = 1,6$ для $B_m < 1$ Тл і $n = 2$ для $B_m \geq 1$ Тл).

При зміні магнітного потоку, що пронизує сталеве осердя, у ньому виникають вихрові струми, які замикаються в площинах, перпендикулярних магнітним силовим лініям основного потоку Φ . Вихрові струми викликають нагрів сталі та сприяють розмагнічуванню осердя. Для збільшення опору магнітоводу вихровим струмам, а відповідно, для зменшення цих струмів та втрат від них сталеве осердя виконується з ізолюваних між собою листів сталі.

Потужність втрат на вихрові струми можна визначити за

$$\text{співвідношенням: } P_B = \sigma_B \cdot B_m^2 \cdot \left(\frac{\omega}{2\pi}\right)^2 \cdot G,$$

де σ_B – коефіцієнт, що залежить від сорту сталі листів та їх товщини.

Один з основних параметрів, що характеризують роботу трансформатора, є коефіцієнт корисної дії $\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%$, значення якого можуть бути $50 \div 70\%$

для однофазних малопотужних трансформаторів, а для трансформаторів

великої потужності його значення може сягати 98 %.

Потужність навантаження, частота та напруга джерела, до якого під'єднується трансформатор, а також якості сталі, з якої виконуються листи осердя, є вихідними даними при виборі площі перерізу магнітоводу.

Ще один, не менш важливий параметр — коефіцієнт потужності трансформатора χ , який визначається за виразом $\chi = \frac{P_2}{U_1 I_1}$.

3.5 Порядок виконання роботи

3.5.1 Дослідження трансформатора в режимі неробочого ходу (н. х.)

На набірному полі стенда скласти електричне коло за схемою рис. 3.2.

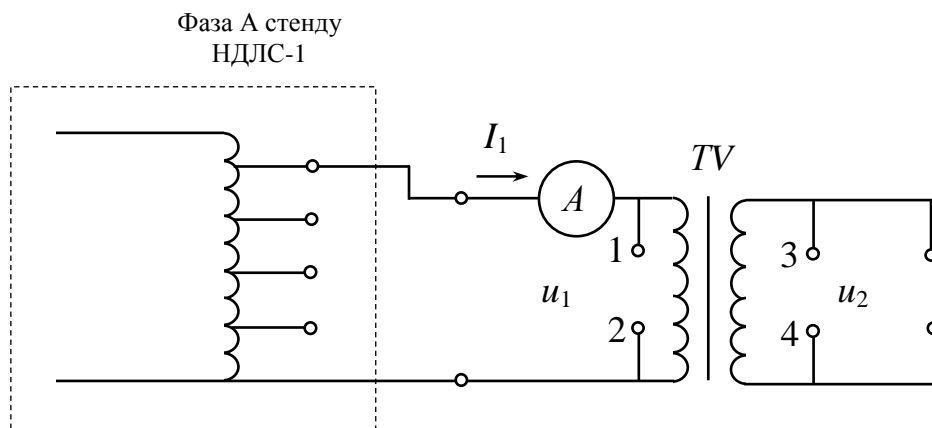


Рис. 3.2 – Схема досліджуваного трансформатора в режимі неробочого ходу

Джерелом живлення застосувати фазу *A* з блоку трифазної напруги стенду НДЛС-1, амперметр — прилад В7-20, Щ 4300, Щ4313, ВР11А, вольтметр Щ4313 Щ4300, ВР11А, які перевести в режим вимірювання змінного струму. Встановити такі межі вимірювання приладів: В7-20 – 1А , Щ4313 (Щ4300) – 200 В, ВР11А – 1А.

Підключити вольтметр *V* паралельно до первинної обмотки трансформатора *TV* та за допомогою перемикачів фази *A* блока трифазних напруг установити діюче значення первинної напруги $U_{1н.х.} = 23$ В. Провести вимірювання діючих значень струму $I_{1н.х.}$ та напруги $U_{2н.х.}$, підключаючись до затискачів 3 і 4. Відключити трансформатор від джерела живлення. Перевести мультиметр ВР-11А у режим вимірювання опору. Виміряти опір $R_{об1}$ і $R_{об2}$.

Результати вимірювань занести до табл. 3.1.

Таблиця 3.1 — Результати експерименту п. 3.5.1 і 3.5.2

Дослід	$U_1, \text{В}$	$I_1, \text{А}$	$U_2, \text{В}$	$I_2, \text{А}$	$R_{об1}, \text{Ом}$	$R_{об2}, \text{Ом}$
н. х.	$U_{1н.х.} =$	$I_{1н.х.} =$	$U_{2н.х.} =$	0		
к. з.	$U_{1к.з.} =$	$I_{1к.з.} =$	0	$I_{2к.з.} =$		

3.5.2 Дослідження трансформатора в режимі короткого замикання (к. з.)

На набірному полі стенда скласти електричне коло за схемою рис. 3.3.

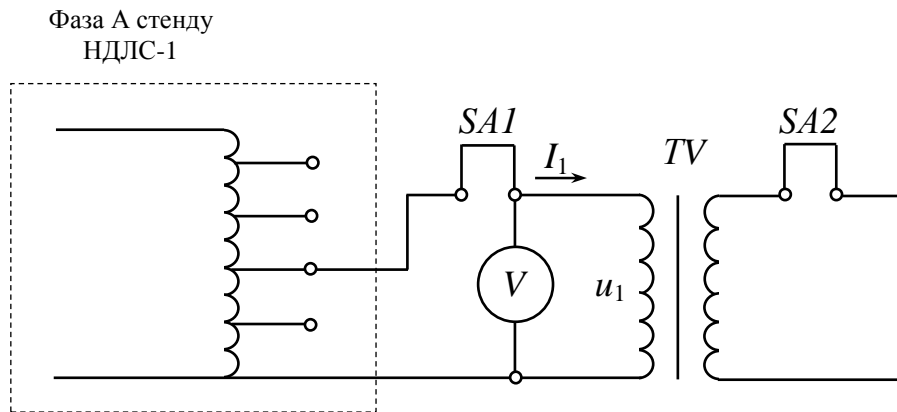


Рис. 3.3 – Схема досліджуваного трансформатора в режимі короткого замикання

Джерело живлення та вимірювальні прилади такі самі, що й у п. 3.5.1. SA1 та SA2 - перемички, що входять до складу набірних елементів стенда НДЛС-1. Установити у схему замість перемички SA2 амперметр і перемикачами, що розташовані на блоці трифазних напруг (фаза А), за амперметром встановити струм вторинної обмотки $I_{2к.з.} = 0,03$ А. Далі встановити амперметр замість перемички SA1, а перемичкою SA2 закортити вторинну обмотку трансформатора. Виміряти значення струму I_1 й напругу $U_{1к.з.}$.

Результати занести до табл. 3.1.

3.5.3 Дослідження трансформатора в робочому режимі

На набірному полі скласти електричне коло за схемою рис. 3.4.

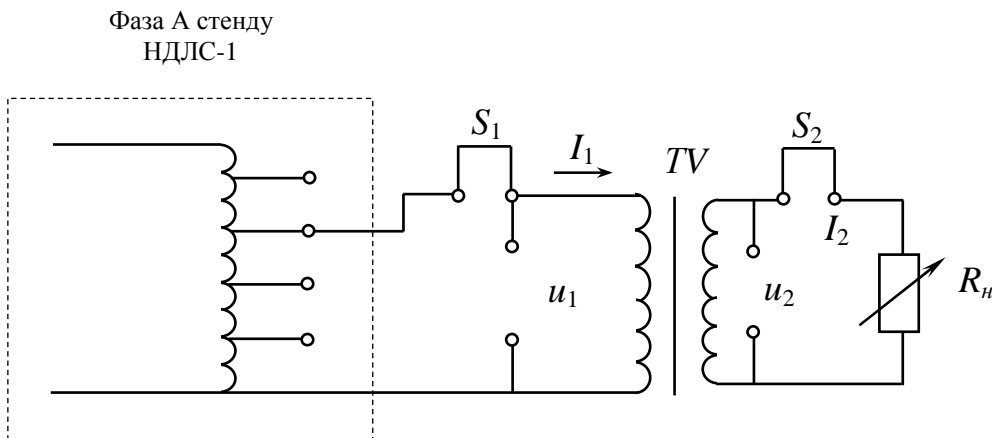


Рис. 3.4 – Схема досліджуваного трансформатора в робочому режимі

Джерело живлення та вимірювальні прилади такі самі, що й у п. 3.5.1. Навантаженням R_n використати R_4 блока змінних опорів стенда НДЛС-1. Установити значення опору навантаження $R_n = 276 \text{ Ом}$.

Перевести мультиметр ВР-11 у режим вимірювання напруги змінного струму з межею вимірювання 200 В. При зміні R_n вимірювати значення первинних і вторинних струмів та напруг. Значення первинної напруги U_1 не змінювати. Результати вимірювань занести до табл. 3.2.

Таблиця 3.2 — Результати експерименту п. 3.5.3

Вимірювання					Розрахунок
$R_n, \text{ Ом}$	$U_1, \text{ В}$	$I_1, \text{ А}$	$U_2, \text{ В}$	$I_2, \text{ А}$	χ
236					
276					
387					
579					
986					

3.6 Обробка експериментальних даних

1. За результатами експериментальних даних (п. 3.5.1) визначити в режимі неробочого ходу такі параметри трансформатора напруги:

- номінальну напругу вторинної обмотки U_{20} ;

- коефіцієнт трансформації напруги $K_U = \frac{U_{10}}{U_{20}}$;

- відсоток неробочого ходу струму відносно номінального значення

$$I_{10} = \frac{I_{10}}{I_{1н}} \cdot 100 \% ;$$

- повний Z_{10} та індуктивний X_{10} опори трансформатора в режимі неробочого

ходу, де $Z_{10} = \frac{U_{1н.х}}{I_{1н.х}}$, $X_{10} = \sqrt{Z_{10}^2 - R_{1об.}^2}$.

2. За результатами експериментальних даних (п. 3.5.2) у режимі короткого замикання визначити такі параметри трансформатора:

- номінальний стум вторинної обмотки $I_{2н} = I_{2кз}$;

- коефіцієнт трансформації струмів: $K_I = \frac{I_{2кз}}{I_{1кз}}$;

- відсоток напруги короткого замикання відносно номінального значення

$$U_{кз\epsilon} = \frac{U_{1кз}}{U_{1н}} \cdot 100 \% ;$$

- аварійний струм режиму к. з. при $U_1 = U_{1н}$, тобто $I_{1акз} = \frac{U_{1н}}{U_{1кз}} \cdot I_{1кз}$;

- повний опір трансформатора при к. з.: $Z_{кз} = \frac{U_{1кз}}{I_{1кз}}$.

3. За результатами експериментальних даних (п. 3.5.3) побудувати вихідну характеристику трансформатора в робочому режимі $U_2 = f(I_2)$; визначити такі експлуатаційні характеристики трансформатора:

- активну потужність, що передається із вторинної обмотки в навантаження (оскільки навантаження має активний характер $\cos \varphi_n = 1$) $P_2 = U_2 \cdot I_2$;

- повну потужність S_1 , що споживається з джерела напруги $S_1 = U_1 \cdot I_1$;

- коефіцієнт потужності $\chi = \frac{P_2}{S_1} \cdot 100\%$.

3.7 Висновки

За результатами роботи зробити висновки про методи визначення експериментальним шляхом параметрів і експлуатаційних характеристик трансформаторів.

3.8 Контрольні запитання

1. Що називають трансформатором і з яких елементів він складається?
2. Поясніть принцип дії трансформатора.
3. Що таке коефіцієнт трансформації та як він пов'язує напруги та струми обмоток трансформатора?
4. Як проводять дослід неробочого ходу та які параметри трансформатора можна визначити за результатами цього дослідження?
5. Як проводять дослід короткого замикання та які параметри трансформатора можна визначити за результатами цього дослідження?
6. Які спеціальні типи трансформаторів Ви знаєте? Наведіть їх призначення.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Мілих, В. І. Електротехніка, електромеханіка, електроніка та мікропроцесорна техніка” [Текст] / В. І. Мілих; Підручник. – К.: Каравела, 2007 – 688 с.
2. Касаткин, А. С. Электротехника [Текст] / А. С. Касаткин, М. В. Немцов; Учеб. пособие для вузов. – кн. 1. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1995 – 240 с.
3. Касаткин, А.С. Электротехника [Текст] / А. С. Касаткин, М. В. Немцов; Учеб. пособие для вузов. – издание 7-е, стереотипное. – М.: Высшая школа, 2002 – 220 с.
4. Борисов, Ю. М. Электротехника [Текст] / Ю. М. Борисов, Д. Н. Липатов, Ю. Н. Зорин; Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985 – 552 с.
5. Кучер В.Я. Электротехника и электроника [Текст] / В. Я. Кучер; Учеб. пособие. – СПб.:Изд-во СЗТУ, 2006 – 62 с.
6. Текст лекцій з дисципліни «Основи метрології та електровимірювань» (для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології») [Текст] / Д.В. Тугай, О.В. Дорохов; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 116 с.
7. Програма та робоча програма навчальної дисципліни «Електротехніка в будівництві» для студентів 3 курсу денної і 2 курсу заочної форми навчання освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр напряму підготовки 0921 – «Будівництво» (6.060101 – «Будівництво»), спеціальностей 6.092100 – «Промислове та цивільне будівництво», 6.092100 – «Міське будівництво та господарство» спеціалізації 6.092100 – «Охорона праці у будівництві», «Технічне обслуговування та ремонт будівель») / Укл.: О.В.Дорохов, Д.В.Тугай – Харків: ХНАМГ, 2009 – 20 с.
8. Програма та робоча програма навчальної дисципліни «Електротехніка» для студентів 3, 5 курсів денної і заочної форм навчання освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр напряму підготовки 0926 – «Водні ресурси» (6.060103 – «Гідротехніка (Водні ресурси)»), спеціальності 6.092600 – «Водопостачання та водовідведення») [Текст] / О.В.Дорохов, Н.О. Сабалаєва – Харків: ХНАМГ, 2009 – 24 с.

9. Методичні вказівки до самостійного вивчення дисциплін «Електротехніка» та «Електротехніка в будівництві» (для студентів усіх форм навчання за напрямами підготовки 6.060101 «Будівництво», 6.060103 (6.092600) «Гідротехніка (Водні ресурси)») [Текст] / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: О.В. Дорохов, Н.О. Сабалаєва, Д.В. Тугай.– Х.: ХНАМГ, 2011. – 22 с.

10. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт за темою «Дослідження електричних лінійних кіл, що знаходяться під дією синусоїдальної напруги» з дисциплін «Електротехніка» та «Електротехніка в будівництві» (для студентів усіх форм навчання напрямів підготовки 6.060101 «Будівництво» та 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)») [Текст] / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: О. Ф. Білоусов, Я. Б. Форкун, Д. В. Тугай, Н. О. Сабалаєва. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 38 с.

11. Колонтаєвський Ю.П. Електроніка і мікросхемотехніка [Текст] : підручник / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков – К. Каравела, 2007. – 384 с.

12. Фремке А. В. Электрические измерения [Текст] : учебник / А. В. Фремке, А. Е. Душина – Л. : Энергия, 1980. – 382 с.

13. Поліщук Є. С. Метрологія та вимірювальна техніка [Текст] : підручник / Є. С. Поліщук – Львів: Новий світ, 2003. – 460 с.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
за темою

**«ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ПРИСТРОЇ ТА
ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ»**

з дисциплін

**«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА» ТА
«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА В БУДІВНИЦТВІ»**

*(для студентів усіх форм навчання за напрямками підготовки
6.060101 «Будівництво» та 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)»)*

Укладачі: **БІЛОУСОВ** Олександр Федорович
ФОРКУН Яна Борисівна
САБАЛАЄВА Наталія Олегівна
ТУГАЙ Дмитро Васильович
КОЛОНТАЄВСЬКИЙ Юрій Павлович

Відповідальний за випуск: *Н. О. Сабалаєва*

Редактори: *З. І. Зайцева, О. В. Тарасюк, С. В. Тимощук*

Комп'ютерне верстання: *І. В. Волосожарова*

План 2012, поз. 318М

Підп. до друку 18.06.2012 р.
Друк на ризографі
Зам. №

Формат 60 x 84/16
Ум. друк. арк. 2,3
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4064 від 12. 05. 2011 р.