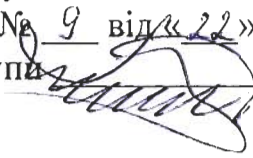
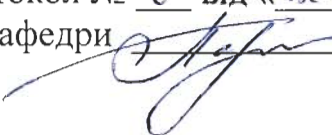


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до лабораторної роботи «Дослідження трансформатора»  
з навчальної дисциплін  
«Електротехніка та електроніка»  
для студентів денної та заочної форми навчання.  
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

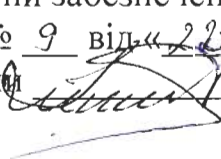
Затверджено  
на засіданні групи забезпечення спеціальності  
Протокол № 9 від «22» 12 2020 р.  
Голова групи  Мещеряков В.І.

Затверджено  
на засіданні кафедри АСМНС  
Протокол № 6 від «02» листопада 2020 р.  
Завідувач кафедри  Перелигин Б.В.

Одеса – 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до лабораторної роботи «Дослідження трансформатора»  
з навчальної дисциплін  
«Електротехніка та електроніка»  
для студентів денної та заочної форми навчання.  
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

Затверджено  
на засіданні групи забезпечення спеціальності  
Протокол № 9 від «22» / 12 2020 р.  
Голова групи  Мещеряков В.І.

Одеса – 2020

Методичні вказівки до лабораторної роботи з дисципліни «Дослідження трансформатора» для студентів другого року навчання денної та заочної форми за спеціальністю «122 «Комп'ютерні науки», рівень вищої освіти – бакалавр. Доцент кафедри ФСМНС Лавріненко Юліан Володимирович - Одеса, ОДЕКУ, 2020.

## Лабораторна робота №6 (а)

### Дослідження трансформатора

**Мета роботи :** Вивчити принцип дії електротехнічного пристрою - трансформатор і його основні характеристики.

#### Короткі відомості з теорії трансформатора

Трансформатор це електротехнічний пристрій, призначений для зміни параметрів (величини напруги і струмів) електричної енергії.

Трансформатор складається (рис. 1) з сердечника і розміщених на ній обмоток первинною і вторинною ( вторинних обмоток може бути декілька).

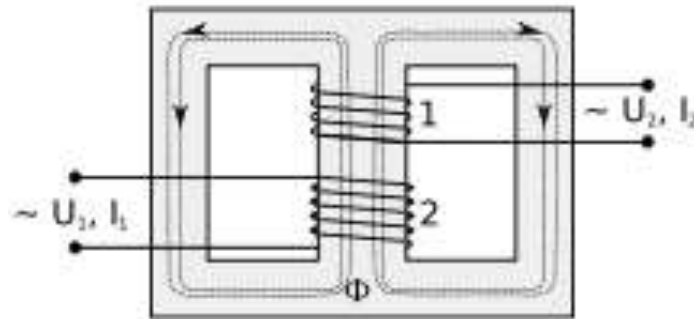


Рисунок 1 - Схематичне облаштування трансформатора:  
1 - первинна обмотка, 2 - вторинна обмотка.

Робота трансформатора ґрунтована на двох базових принципах:

1. Електричний струм, що змінюється в часі, створює магнітне поле (електромагнетизм), що змінюється в часі.
2. Зміна магнітного потоку, що проходить через обмотку, створює ЕРС в цій обмотці (електромагнітна індукція).

На одну з обмоток, що називається первинною обмоткою, подається напруга від зовнішнього джерела. Змінний струм, що протікає по первинній обмотці, створює змінний магнітний потік в магнітопроводі. В результаті електромагнітної індукції, змінний магнітний потік в магнітопроводі створює в усіх обмотках, у тому числі і в первинній, ЕРС (електрорушійна сила) індукції, пропорційну першій похідній магнітного потоку, при синусоїдальному струмі зрушеної на  $90^\circ$  у зворотний бік по відношенню до магнітного потоку.

Простий силовий трансформатор складається з магнітопроводу - сердечника, виконаного з феромагнітного матеріалу (зазвичай листована електротехнічна сталь) і двох обмоток (катушок), розташованих на стержнях магнітопроводу. Одна з обмоток приєднана до джерела змінного

струму на напругу  $U_1$ , цю обмотку називають первинною. До іншої обмотки підключений споживач  $Z_n$  - її називають вторинною.

Дія трансформатора ґрунтована на явищі електромагнітної індукції. При підключенні первинної обмотки до джерела змінного струму у витках цієї обмотки протікає змінний струм  $i_1$ , який створює в магнітопроводі змінний магнітний потік  $\Phi$ . Замикаючись на магнітопроводі, цей потік зчіплюється з обома обмотками (первинною і вторинною) і індукє в них ЕРС:

$$e_1 = - N_1 (d\Phi/dt); \quad (1)$$

$$e_2 = - N_2 (d\Phi/dt); \quad (2)$$

де  $N_1$  і  $N_2$ , - число витків в первинній і вторинній обмотках трансформатора.

При підключенні навантаження  $Z_n$  до виведень вторинної обмотки трансформатора під дією ЕРС  $e_2$  в ланцюзі цієї обмотки створюється струм  $i_2$ , а на виведеннях вторинної обмотки встановлюється напруга  $U_2$ . У трансформаторах  $U_2$ , що підвищують  $> U_1$ , а в тих, що знижують -  $U_1 < U_2$ .

З формул (1) і (2) витікає, що ЕДС  $e_1$  і  $e_2$ , відрізняються один від одного числом витків обмоток, в яких вони наводяться. Тому, застосовуючи обмотки з необхідним співвідношенням витків, можна виготовити трансформатор на будь-яке відношення напруги.

Трансформатори мають властивість оборотності; один і той же трансформатор можна використати в якості того, що підвищує і знижує. Але зазвичай трансформатор має певне призначення: або він є таким, що підвищує, або що знижує.

Трансформатор - це апарат змінного струму. Якщо ж його первинну обмотку підключити до джерела постійного струму, то магнітний потік в магнітопроводі трансформатора також буде постійним як за величиною, так і по напрямку ( $d\Phi/dt = 0$ ). Тому і в обмотках трансформатора не буде наводиться ЕДС.

### Режим холостого ходу

Коли вторинні обмотки ні до чого не підключені (режим холостого ходу), ЕДС індукції в первинній обмотці практично повністю компенсує напруга джерела живлення, тому струм через первинну обмотку невеликий. Для трансформатора з сердечником з магнітом'якого матеріалу (наприклад, з трансформаторної сталі) струм холостого ходу характеризує величину втрат в сердечнику на вихрові струми і на гістерезис. Потужність втрат можна вичислити помноживши струм холостого ходу на напругу, що

подається на трансформатор. Напряга на вторинній обмотці в першому наближенні визначається законом Фарадея.

### **Закон Фарадея**

ЕРС, створювана у вторинній обмотці, може бути вчислена за законом Фарадея, який свідчить, що:

$$U_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt},$$

де:  $U_2$  - напруга на вторинній обмотці,

$N_2$  - число витків в вторинній обмотці,

$\Phi$  - сумарний магнітний потік, через один виток обмотки. Якщо витки обмотки розташовані перпендикулярно лініям магнітного поля, то потік буде пропорційний магнітному полю  $B$  та площі  $S$  через яку він проходить. ЕДС, створювана в первинній обмотці, відповідно:

$$U_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt},$$

де:  $U_1$  - миттєве значення напруги на кінцях первинної обмотки,

$N_1$  - число витків в первинній обмотці.

Поділивши рівняння  $U_2$  на  $U_1$ , отримаємо відношення:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

### **Режим короткого замикання**

У режимі короткого замикання, на первинну обмотку трансформатора подається змінна напруга невеликої величини, виведення вторинної обмотки сполучають накоротко. Величину напруги на вході встановлюють такою, щоб струм короткого замикання дорівнював номінальному (розрахунковому) струму трансформатора. У таких умовах величина напруги короткого замикання характеризує втрати в обмотках трансформатора, втрати на омичному опорі. Потужність втрат можна вчислити помноживши напругу короткого замикання на струм короткого замикання. Цей режим широко використовується у вимірювальних трансформаторах струму.

### **Режим з навантаженням**

При підключенні навантаження до вторинної обмотки у вторинному колі виникає струм, що створює магнітний потік в магнітопроводі, спрямований протилежно магнітному потоку, що створюється первинною обмоткою. В результаті в первинному колі порушується рівність ЕРС

індукції і ЕРС джерела живлення, що призводить до збільшення струму в первинній обмотці до тих пір, поки магнітний потік не досягне практично колишнього значення.

Схемний, процес перетворення можна зображувати таким чином:

$$U_1 \rightarrow I_1 \rightarrow I_1 \cdot N_1 \rightarrow \varepsilon_2 \rightarrow I_2$$

Миттєвий магнітний потік в магнітопроводі трансформатора визначається інтегралом за часом від миттєвого значення ЕРС в первинній обмотці і у разі синусоїдальної напруги зрушать по фазі на  $90^\circ$  по відношенню до ЕРС. Наведена у вторинних обмотках ЕРС пропорційна першій похідній від магнітного потоку і для будь-якої форми струму співпадає по фазі і формі з ЕРС в первинній обмотці.

### Рівняння ідеального трансформатора

Ідеальний трансформатор - трансформатор, у якого відсутні втрати енергії на нагрів обмоток і потоки розсіяння обмоток. У ідеальному трансформаторі усі силові лінії проходять через усі витки обох обмоток, і оскільки магнітне поле, що змінюється, породжує одну і ту ж ЕРС в кожному витку, сумарна ЕРС, індукована в обмотці, пропорційна повному числу її витків. Такий трансформатор усю енергію, що поступає, з первинного кола трансформує в магнітне поле і, потім, в енергію вторинного кола. Енергія, що в цьому випадку поступає, рівна перетвореній енергії.

$$P_1 = I_1 \cdot U_1 = P_2 = I_2 \cdot U_2,$$

де:  $P_1$  - миттєве значення потужності, що поступає на трансформатор, поступає з первинного кола,

$P_2$  - миттєве значення перетвореної трансформатором потужності, що поступає у вторинне коло.

З'єднавши це рівняння з відношенням напруги на кінцях обмоток, отримаємо рівняння ідеального трансформатора:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}.$$

Таким чином отримуємо, що при збільшенні напруги на кінцях вторинної обмотки  $U_2$ , зменшується струм вторинного кола  $I_2$ .

Для перетворення опору одного кола до опору інший, треба помножити величину на квадрат відношення. Наприклад, опір  $Z_2$  підключений до кінців вторинної обмотки, його приведені значення до первинного кола буде:

$$Z'_1 = Z_2 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 .$$

Це правило справедливо також і для вторинного кола:

$$Z'_2 = Z_1 \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 .$$

### **Зовнішня характеристика трансформатора**

Зовнішня характеристика трансформатора, тобто залежність напруги на виході трансформатора від коефіцієнта навантаження  $U_2 = f(K_n)$  показує якість виготовлення трансформатора та його навантаженням здатність. Якість виготовлення, в першу чергу, включає в себе використовувані матеріали, які мають малі втрати. По-друге, істотну роль грає конструктивне виконання, що забезпечує малі втрати на розсіювання магнітного потоку сердечника та добре охолодження.

Коефіцієнт навантаження визначається за струмом як відношення номінального струму вторинної обмотки до поточного:

$$K_n = I_2 / I_{20},$$

де  $I_2$  – поточне значення величини струму у вторинній обмотці;  
 $I_{20}$  - номінальне значення струму вторинної обмотки.

### **ККД (коефіцієнт корисної дії) трансформатора**

ККД трансформатора знаходиться за наступною формулою:

$$\eta = (P_2 / P_1) \cdot 100\%,$$

де  $P_1$  – потужність споживана трансформатором від мережі;  
 $P_2$  - потужність, що віддається в навантаження.

### **Устаткування і апаратура**

Лабораторний макет трансформатора (рис. 2), лабораторна установка " Дослідження трансформатора" (рис. 3), комплект приладів електровимірювань змінного струму (два вольтметри, два амперметри, які показані на рис. 3), лабораторний автотрансформатор з розділовим трансформатором безпеки, комплект сполучних дротів.



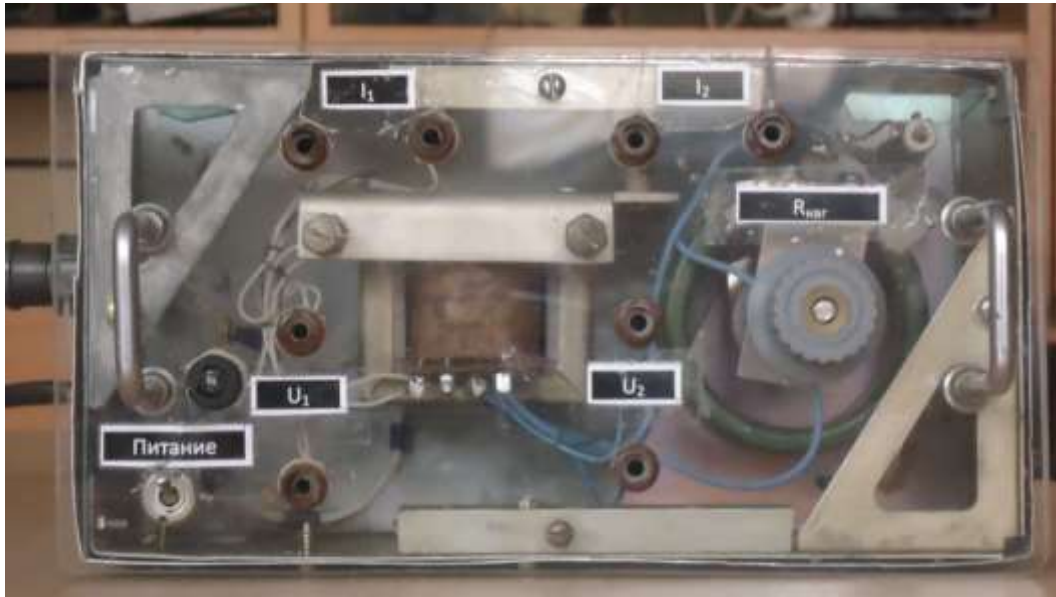


Рисунок 2 - Лабораторный макет трансформатора

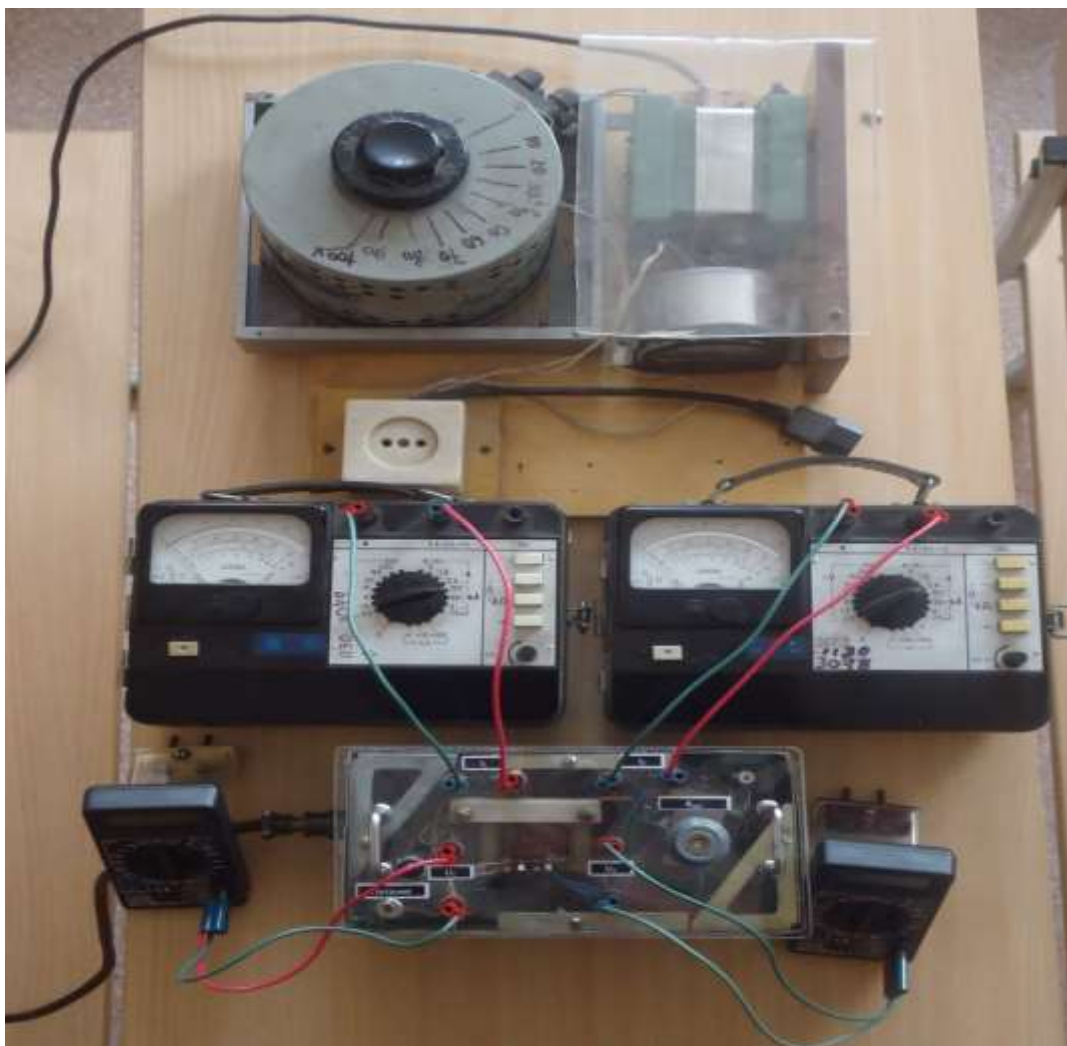


Рисунок - 3 Лабораторна установка

## Правила безпеки при виконанні роботи

Усі пункти лабораторної роботи виконуються на спеціальній установці, конструкція якої унеможливує дотик студента до оголених струмопровідних частин. Проте, при роботі слід дотримуватися наступних правил:

1. Перед першим включенням зібраної установки необхідно звернутися до викладача (інженера лабораторії) з проханням: перевірити правильність усіх підключень і отримати дозвіл на подання живлення на установку;

2. Забороняється в процесі роботи змінювати схему, виконувати додаткові підключення елементів або вимірювальних приладів при включеному живленні; у разі потреби, потрібно зняти живлення, зробити перекомутацію і виконати п.1.

## Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему лабораторної установки приведеною на рис. 4 для проведення вимірів в процесі виконання лабораторної роботи. Перевірити правильність зібраної схеми лабораторної установки:

- кола подання живлення (регулювання напруги має бути поставлене в положення мінімального рівня);
- підключення вимірювальних приладів (вольтметри паралельно елементу на якому вимірюється напруга, амперметри послідовно в колі в якій вимірюється струм);
- підключення навантаження (навантаження має бути включене на максимальний опір);
- повідомити викладачу (інженерові лабораторії) про готовність до проведення вимірів і отримати дозвіл на включення лабораторної установки.

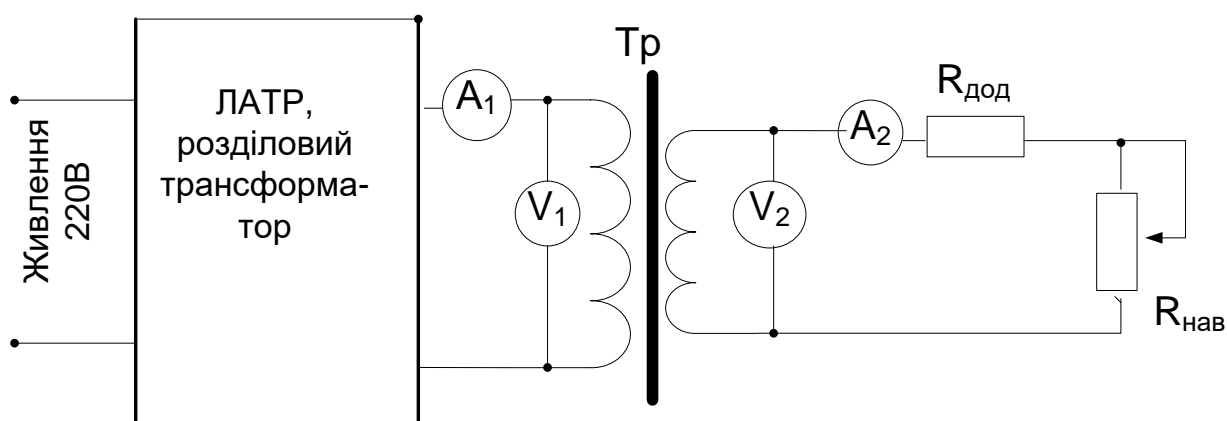


Рисунок 4 - Схема лабораторної установки для дослідження трансформатора

## 2. Ввімкнути живлення:

- вставити вилок шнура живлення установки в розетку лабораторного трансформатора;
- тумблер "Питание" поставити в положення "Вкл", повинна запалитися сигнальна лампочка.

3. Дослідження трансформатора в режимі холостого ходу (ХХ), визначення коефіцієнта трансформації:

- при відключеному навантаженні трансформатора, амперметр  $I_2$  відключений від відповідних гнізд, починаючи з мінімальної напруги на первинній обмотці ( $U_1 = 150\text{В}$ ) вимірювати напругу на виході вторинної обмотки  $U_2$ , поступово покрово (крок рівний 10В) підвищуючи його за допомогою ЛАТРа, результат занести в табл. 1.

За результатами вимірів розрахувати значення коефіцієнта трансформації при  $i$  - вимірі:

$$K_{mp.i} = U_{вих.i} / U_{вх.i}.$$

Таблиця 1- Визначення коефіцієнта трансформації трансформатора

Параметри	Номер вимірювання						
	1	2	...	$i$	...	$n-1$	$n$
Напруга на первинній обмотці, $U_{вх}, \text{В}$	$U_{вх1}$	$U_{вх2}$	...	$U_{вх i}$	...	$U_{вх n-1}$	$U_{вх n}$
Напруга на вторинній обмотці, $U_{вих}, \text{В}$	$U_{вих1}$	$U_{вих2}$	...	$U_{вих i}$	...	$U_{вих n-1}$	$U_{вих n}$
Розрахункове значення, $K_{mp i}$	$K_{mp 1}$	$K_{mp 2}$	...	$K_{mp i}$	...	$K_{mp n-1}$	$K_{mp n}$
Середнє значення $K_{mp cp}$							

Та визначити середнє значення коефіцієнта трансформації:

$$K_{mp cp} = \Sigma K_{mp i} / n; \text{ підсумовування від } I = 1 \dots n,$$

де  $K_{mpi}$  – значення коефіцієнта трансформації отримане при  $i$ -ом вимірюванні;

$n$  – загальна кількість вимірювань.

## 4. Зняття зовнішньої характеристики трансформатора:

- подати на первинну обмотку від ЛАТРа номінальну напругу  $U_1=200\text{В}$ , надалі підтримувати це значення за допомогою регулювання на ЛАТРі;

- поступово збільшуючи навантаження (зменшуючи опір реостата  $R_{наг}$ ) фіксувати струм  $I_2$  і напруга на вторинній обмотці  $U_2$ , результат занести в табл. 2 (в першій і третій рядки, відповідно)

Таблиця 2 - Дані для побудови зовнішньої характеристики трансформатора.

Параметри	Номер вимірювання						
	1	2	...	<i>i</i>	...	<i>n-1</i>	<i>n</i>
Струм вторинної обмотки, $I_2, A$							
Коефіцієнт навантаження, $K_n$							
Напруга на вторинній обмотці, $U_2, V$							
Спад напруги на вторинній обмотці під навантаженням, $\Delta U_2$							

- по даним таблиці вираховуємо коефіцієнт загрузки:

$$K_n = I_2 / I_{20},$$

де  $I_2$  – поточне значення величини струму в вторинній (перший рядок табл. 2),

$I_{20}$  - номінальне значення струму вторинної обмотки (за вказівкою викладача приймемо  $I_{20} = 900mA$ ).

Отримані результати занести в табл. 2 (другий рядок) - за даними табл. 2 обчислити падіння напруги на вторинній обмотці:

$$\Delta u_2 = E_0 - U_2,$$

де  $E_0$  - напруга на вторинній обмотці при ХХ;

$U_2$  - виміряне значення напруги на вторинній обмотці під навантаженням.

За результатами обчислювань побудувати зовнішню характеристику трансформатора  $U_2 = f(K_n)$ . Приблизний вигляд графіка показано на рис. 5

- зробити висновки.

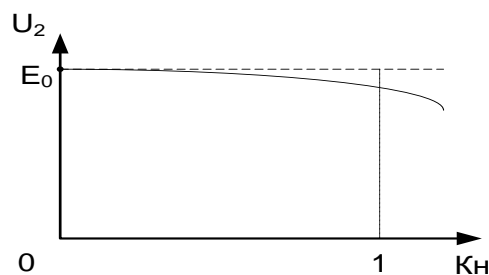


Рисунок 5 - Зовнішня характеристика трансформатора

5. Визначити залежність ККД трансформатора від величини навантаження:

- за допомогою регулювання на ЛАТРе - джерелі живлення встановити номінальну напругу на вході трансформатора -  $U_1 = 200\text{В}$ , значення занести в перший рядок табл. 3, надалі підтримувати це значення за допомогою регулювання на ЛАТРе;

- при початковому положенні движка резистора навантаження ( $R_H$ ) за допомогою приладу Ц4380 ( $A_1$  на рис. 3) виміряти струм в первинній обмотці ( $I_1$ ), значення занести в другий рядок табл. 3;

- за допомогою приладу іншого приладу Ц4380 ( $A_2$  на рис.3) виміряти струм у вторинній обмотці ( $I_2$ ), значення занести в четвертий рядок табл. 3;

- виміряти вихідну напругу трансформатора ( $U_2$ ), значення занести у п'ятий рядок таблиці

Таблиця 3 – Залежність ККД трансформатора від навантаження

Параметри	Номер вимірювання					
	1	....	$i$	...	$n-1$	$n$
Вхідна напруга $U_1, \text{В}$						
Струм первинної обмотки $I_1, \text{мА}$						
Споживна потужність $P_1, \text{Вт}$						
Струм вторинної обмотки $I_2, \text{мА}$						
Вихідне навантаження $U_2, \text{В}$						
Потужність в навантаженні $P_2, \text{Вт}$						
Розрахункове значення ККД, %						

- розрахувати вхідну потужність за формулою та результат занести в третій рядок табл. 3:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1;$$

- розрахувати вихідну потужність за формулою та результат занести в шостий рядок табл. 3:

$$P_2 = U_2 \cdot I_2;$$

- розрахувати величину коефіцієнта корисної дії по нижче приведеній формулі та результат занести в сьомий рядок табл. 3:

$$\eta = (P_2 / P_1) \cdot 100\%;$$

- за даними таблиці 3 побудувати графік залежності:

$$\eta = f(P_2).$$

Приблизний вигляд графіка наведено на рис. 6.

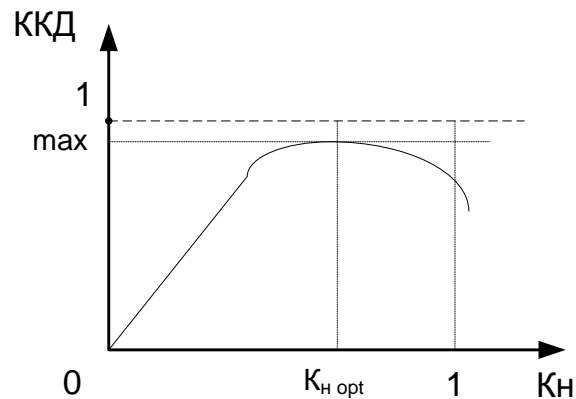


Рисунок 6 - Залежність коефіцієнта корисної дії трансформатора від величини навантаження.

- зробити висновки.

### Зміст звіту

1. На титульному аркуші:
  - назва лабораторної роботи, прізвище, ініціали, група;
  - схема лабораторної установки рис.3 з поясненням.
2. На звороті: перелік виконаних робіт, заповнені таблиці 1, 2, 3 та графіки, побудовані за даними табл. 2 та 3.
3. Висновки за результатами експериментів.

### Запитання для самоперевірки

1. Що таке трансформатор?
2. Які бувають трансформатори за коефіцієнтом трансформації?
3. У чому полягає перетворення параметрів електричної енергії?
4. Які два головні принципи лежать в основі роботи трансформатора?
5. Сформулюйте і поясніть закон Фарадея.
6. Дайте характеристику трьом режимам роботи трансформатора.
7. Приведіть і поясніть рівняння ідеального трансформатора.
8. Як практично визначити коефіцієнт трансформації?
9. Що таке зовнішня характеристика трансформатора?
10. Як визначити ККД трансформатора